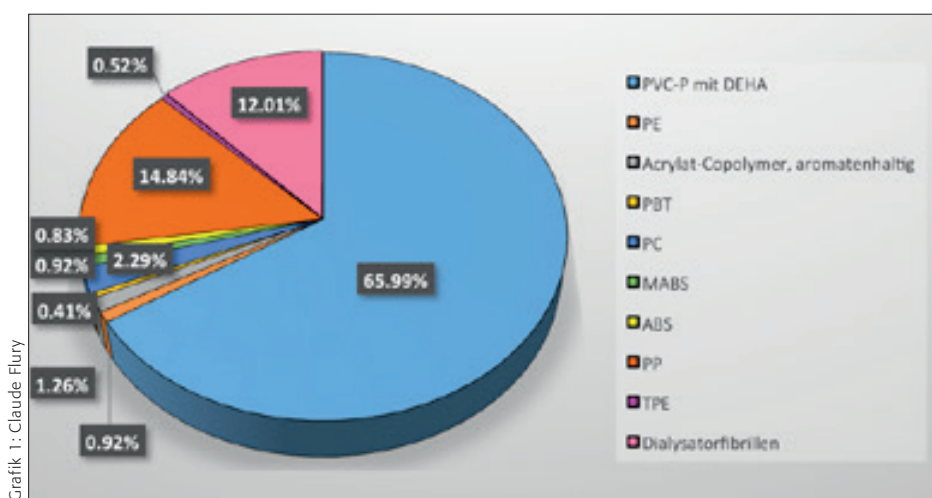


## Machbarkeitsstudie

# Recyclingkonzept für ein Dialyseset

In der Schweiz leben etwa 4000 Patienten mit Hämodialyse. Jeder dieser Patienten wird in der Regel dreimal pro Woche für etwa 4 Stunden dialysiert. Bei jeder Dialyse werden 350 Liter Trinkwasser verbraucht und es entsteht etwa ein Kilogramm infizierter Kunststoffabfall. Die vorliegende Arbeit ist Teil einer Semesterarbeit am IWK an der Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) und prüft die Möglichkeiten eines wirtschaftlich sinnvollen Recyclingkonzepts für Dialysesets am Beispiel der Abteilung Nephrologie des Universitätsspitals Zürich.



Grafik 1: Claude Flury

Bild 1: Prozentuale Kunststoffanteile eines handelsüblichen Dialysesets inkl. Dialysator.

## Prof. Stephan Segerer<sup>1</sup>, Prof. Daniel Schwendemann<sup>2</sup>, Claude Flury<sup>3</sup>

Die Zahl der Hämodialysepatienten lag im Jahr 2012 weltweit bei 2,2 Millionen. In den letzten Jahrzehnten stieg die Zahl der Patienten mit chronischen Nierenerkrankungen deutlich (+7% jährlich) an. Die Zuckerkrankheit und der Bluthochdruck tragen wesentlich zu dieser Entwicklung bei. Die Nierenfunktion kann durch zwei Formen der Dialyse ersetzt werden. Weltweit werden etwa 90% mit Hämodialyse behandelt und 10% mit Peritonealdialyse.

<sup>1</sup> Prof. Dr. med. Stephan Segerer, Leitender Arzt Abteilung für Nephrologie, Universitätsspital Zürich, Zürich, stephan.segerer@usz.ch

<sup>2</sup> Prof. Daniel Schwendemann, Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der HSR, Rapperswil, daniel.schwendemann@hsr.ch

<sup>3</sup> Claude Flury, Student am IWK der HSR Rapperswil, cflury@hsr.ch

Bei der Hämodialyse wird das Blut des Patienten entnommen und über eine Membran mit einer Spülflüssigkeit (Dialysat) in Kontakt gebracht. So können Giftstoffe und Flüssigkeit aus dem Körper entfernt werden. Bei diesem Vorgang entsteht infizierter Kunststoffabfall in Form der Blutschläuche und des Dialysefilters. In der Regel wird dieser in Kunststoffeimern sicher verschlossen und dann zur Verbrennung abtransportiert. In der Schweiz entstehen so ganz grob geschätzt etwa 624 000 (4000 Patienten x 3 Dialysen x 52 Wochen) Kilogramm infizierter Kunststoffabfall pro Jahr. Dieser wird dann in etwa 60 000 Kunststoffeimern abtransportiert und verbrannt. In dieser Arbeit stellen wir Überlegungen an, wie die Umweltverträglichkeit dieses infizierten Abfalls verbessert werden kann. Um die Frage der Recyclingmöglichkeiten zu klären, müssen zuerst die Bestandteile eines Dialysesets bestimmt werden. Die Materialanalysen mittels FTIR-Spektrome-

ter ergaben, dass Dialysesets aus vielen verschiedenen, hochwertigen Kunststoffen bestehen (Bild 1). Die in der Grafik erwähnten Dialysatorfibrillen bestehen aus einem Kunststoffgemisch aus Polysulfon (PSU) und Polyvinylpyrrolidon (PVP).

Daneben fällt ein Abfallgemisch, bestehend aus Dialyseabfällen, Handschuhen, Schläuchen, verschmutzten Verpackungen etc. an, das überwiegend aus PVC-P mit DEHA als Weichmacher besteht. Da die Anteile der Restkunststoffe bedeutend kleiner sind, wurde für das Recyclingkonzept der Fokus auf die Wiederverwertung der PVC-Anteile gelegt.

Dabei galt es diverse Aspekte in Betracht zu ziehen und abzuklären: Wie können die Kunststoffabfälle nach einer Dialysebehandlung sterilisiert werden, damit diese nicht mehr pathogene Substanzen enthalten? Welche Möglichkeiten bestehen, ein derartiges Kunststoffgemisch zu recyceln? Wie viel kostet die Aufbereitung in der Schweiz und wie sieht die entsprechende Ökobilanz aus?

## Vorschriften bestimmen die Handhabung

Im Aufbereitungsprozess spielt die Sterilisation eine grosse Rolle. Der finanzielle Aspekt ist das eine, die strikten Vorschriften das andere. Gemäss den MDD (Medical Device Directives) sind Abfälle, wie sie bei Dialysen anfallen, sehr sensitiv zu handhaben. Zurzeit werden diese am Universitätsspital Zürich in PE-Behältern versiegelt und alles unter Beachtung diverser Vorlagen und Begleitschriften verbrannt.

Ideal wäre eine Sterilisation von Dialyseabfälle vor Ort. Um den pathogenen Ab-

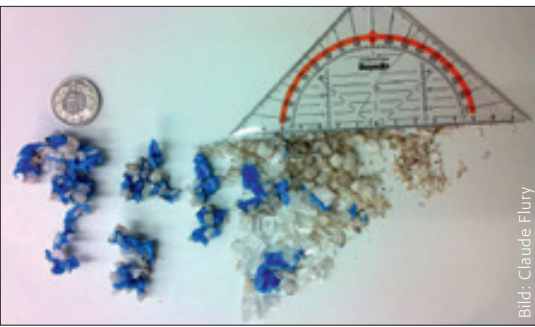


Bild: Claude Flury

Bild 2: Kunststoffkorn eines Dialysets nach einem Sterishred Zerkleinerungsprozess.

fall vom Krankenbett bis zur Sterilisationsstelle des Spitals bringen zu können, müsste ein neues Behälterkonzept mit Mehrwegfunktion erstellt werden. Eine Möglichkeit ist es, die bestehenden PE-Behälter mit einer wechselbaren, stich-, reiss- und auslaufsicheren Innenverkleidung zu versehen, unter Berücksichtigung der Vorschriften über die Handhabung von Sonderabfällen der Klasse B1.2. Nach Betrachtung unterschiedlicher Sterilisationsmöglichkeiten hat sich für die

Kunststoffabfälle, welche als Sonderabfälle der Klasse B1.2 deklariert werden, ergeben, dass diese am sichersten und preiswertesten am Entstehungsort mit Hilfe eines sogenannten Sterishred sterilisiert werden. Der Sterishred ist ein speziell für medizinische Abfälle in Kliniken und Spitälern entwickeltes Gerät zur Sterilisierung und zeitgleichen Zerkleinerung von Abfällen. Hierbei wird mittels einer Dampfsterilisation der Kunststoff sterilisiert und gleichzeitig geschreddert. Somit kann das Abfallvolumen eines Spitals stark reduziert werden. Begleitschriften für den Abfall erübrigen sich, da dieser durch die Sterilisation zu herkömmlichem Kunststoffabfall wird. Der Vorteil dieser Mehrweglösung ist es, dass der infektiöse Abfall den Entstehungsort nicht verlässt, das Haftungsrisiko des Spitals also minimiert wird.

Der Sterishred wurde mit einem Dialyset auf seine Funktionalität hin getestet. Das Problem, das bei der Behandlung auftrat ist, dass sich durch die Temperatur von 120°C während des Prozesses die

PP- und PE-Anteile im Abfall plastisch verformen, was zu einem Zusammenklumpen der Abfälle führt (Bild 2). Dies wiederum macht eine Kunststofftrennung für ein Recycling sehr schwierig und aufwändig. Eine Trennung der Kunststoffe vor der Sterilisation ist kaum möglich, da zum einen gefährliche Stoffe am Kunststoff haften und zum anderen ein Dialyset teilweise geklebt ist. Diese Verbindung ist von Hand kaum separierbar oder nur unter grossem Aufwand. Eine Sink-Treib-Trennung der Kunststoffe ist aufgrund der sehr ähnlichen Dichteverteilung der unterschiedlichen Stoffe nicht möglich.

### Vinyloop-Verfahren bietet sich an

Da, wie bereits erwähnt, der Hauptanteil des Abfalls aus PVC-P besteht, wurden speziell PVC Recyclingmöglichkeiten untersucht. Als Favorit für ein werkstoffliches Recycling für durchmischte PVC-Abfälle schälte sich der sogenannte Vinyloop-

## Ingenieurbureau DR. BREHM AG

### Gravimetrische Chargendosiergeräte der SOMOS® BB- bzw. BB-EC-Serie

... für die schnelle, genaue und fehlerfrei reproduzierbare Herstellung von Materialmischungen

- Durchsätze von 20 bis 600 kg/h
- Bedienerfreundliche Steuerung mit Touch-Screen
- Optional mit Extruderregelung



BB 150

BB 500



### ProTec Polymer Processing

Stubenwald-Allee 9  
D-64625 Bensheim

– Ihr Spezialist für Materialhandling –

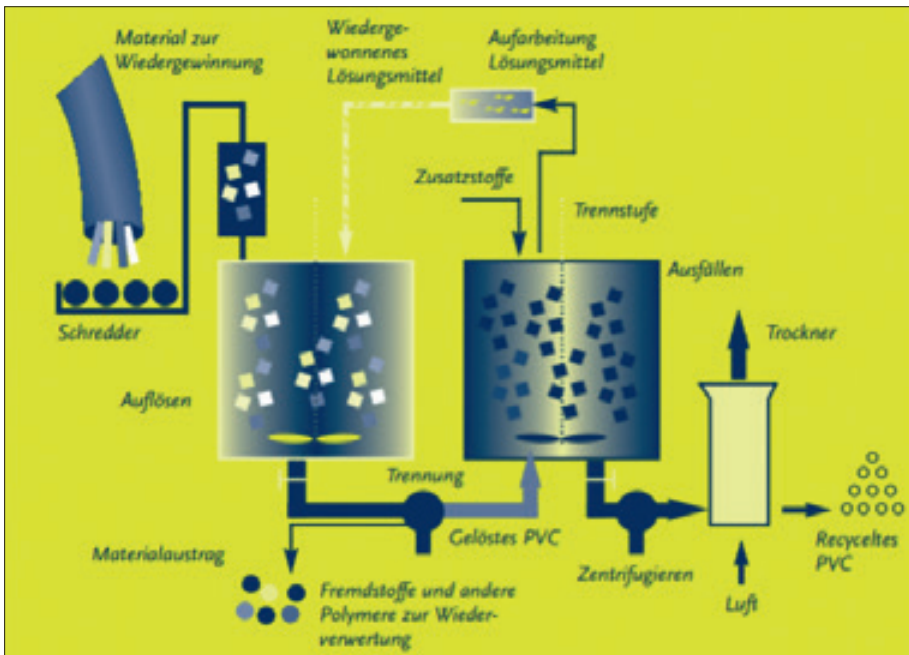


Bild 3: Trennung von PVC aus Verbundstoffen [2].

Prozess heraus. Dabei wird ein organisches Lösungsmittel genutzt, um PVC aus dem Kunststoffverbund herauszulösen. Das ausgefällte PVC wird anschliessend getrocknet und liegt nun wieder in der Form vor, in welcher es verarbeitet wurde, d.h. also als PVC-P mit DEHA. Eine schematische Darstellung dazu ist in Bild 3 zu sehen. Anlagen für das Vinyloop-Verfahren finden sich u.a. in Italien (Ferrara), Deutschland (Bernburg) und Frankreich.

### Green Dialysis

Die Idee des Recyclings oder generell eines weniger abfallgenerierenden und ökologischeren Dialyseprozesses ist nicht

neu. Der Reduktion des sehr hohen Wasser- und Energieverbrauchs widmet sich zum Beispiel ein deutscher, weltweit tätiger Gesundheitskonzern mit dem Projekt «Green Dialysis». Der Fokus ist dabei auf das gesamte Dialysezentrum gerichtet, also auch auf die Optimierung eines Gebäudes und den Wasserverbrauch für die Dialyseprozesse. Das Unternehmen hat ein mehrlagiges Polymer als Substitut für PVC in den bestehenden Dialysesets entwickelt. Das PVC-freie Material soll das Recycling der Sonderabfälle vereinfachen. Das PVC-freie Material soll für flache Beutel und Leitungsröhrchen in Blutschlachsystemen Anwendung finden und dient auch der Gewichtseinsparung, dank dünnerer Schichtdicken.

### Passende Anwendungen für Recyclate finden

Im Allgemeinen sind grosse Anstrengungen erforderlich, um geeignete Anwendungen und einen aufnahmefähigen Markt für Recyclate zu finden. Da es sich bei den Kunststoffabfällen der Dialysebehandlungen um einen vielfältigen Kunststoffmix handelt, gestaltet sich dies als eine zusätzliche Herausforderung. Ein Verwertungsmix aus werkstofflichem und rohstofflichem Recycling und energetischer Verwertung bildet hierbei wohl die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung, denn die Recyclingoptionen für die Dialyseabfälle orientieren sich an diesem Verwertungsmix. Es gilt diese Ideen weiter zu vertiefen und vor allem auf ihre Wirtschaftlichkeit und Ökologie hin zu untersuchen, um die Umsetzung eines Recyclingkonzepts für Dialyseabfälle in der Praxis zu realisieren. Natürlich sind die Kunststoffe nicht unbeschränkt wiederverwertbar: denn bei allen Kunststoffen ist wegen fortschreitender Eigenschaftsveränderung bei wiederholter Verarbeitung ein Recycling mit der Zeit nicht mehr möglich. Aus diesem Grund steht am Ende jedes Kunststoff-Lebenslaufes die Verbrennung mit Energierückgewinnung. In Spitälern werden jedoch sehr hochwertige Kunststoffe eingesetzt, deren Lebensspanne durchaus erweitert werden kann. Aus diesem Grund ist es auch wichtig zu versuchen, die Idee – Wiederaufbereitung resp. Reduzierung der Sonderabfälle aus der Nephrologieabteilung – umzusetzen und weiter zu verfolgen. Das Recycling von Kunststoffen soll nicht



<http://app.dr-boy.de>

Das Spritzaggregat für die 2. Komponente\* macht mehr aus Ihren Spritzgießmaschinen.

- Flexiblere Alternative zu Mehrkomponenten-Maschinen
- Mit eigenem Hydraulik-Antrieb und Steuerung ausgestattet.
- Wahlweiser Einsatz auch an anderen Maschinentypen.
- Vertikale und/oder horizontale Konfiguration der Spritzeinheit.
- Durch Rollen leicht transportierbar.

\* Plastifiziervolumina bis 76,5 cm<sup>3</sup>



Spritzgiessautomaten

**Flexibel & kompakt**

**Plastiversum AG**  
Aachstrasse 2 • 9326 Horn  
backoffice@plastiversum.ch  
[www.plastiversum.ch](http://www.plastiversum.ch)

**Perfekte Verbindung auf höchstem Niveau**

dem Selbstzweck dienen, sondern zur Schonung der Ressourcen und zur Vermeidung der Umweltbelastung beitragen. Wirtschaftlich macht ein stoffliches Recycling mit den momentanen Materialien, aus welchen ein Dialysetest besteht, keinen Sinn. Um die Wirtschaftlichkeit des stofflichen Recyclings von Sonderabfällen in den Spitälern zu fördern, ist eine Zusammenarbeit mit den Materialherstellern und der Verarbeiter unumgänglich.

Grundsätzlich stellt sich kostenmässig das Problem, dass die Nachfrage zwar für das Recycling solcher Kunststoffabfälle vorhanden ist – wie zahlreiche Feedbacks von Produzenten während der Arbeit auch gezeigt haben – jedoch das Angebot, solche Kunststoffgemische zu verwerten, relativ klein ist, was meist höhere Preise nach sich zieht. Wichtig ist, dass trotz aller Ambitionen Ressourcen zu sparen, das thermische Recycling nicht ausser Acht gelassen wird. Schnell kann bei einer angestrebten Ressourcenschonung – durch stoffliches Recycling – die Ener-

Diese Arbeit soll als Anstoss für ein «Greening» der Dialyse und ähnlicher Medizinbereiche mit hohem Ressourcenverbrauch dienen. Das Universitätsspital Zürich ist interessiert an Vorschlägen aus der kunststoffverarbeitenden Industrie von Experten für Recycling und auch anderen Medizinbereichen, um dieses Projekt voranzutreiben. [stephan.segerer@usz.ch](mailto:stephan.segerer@usz.ch)

gieinvestition in das Recyclingsystem grösser werden, als die effektiv daraus gewonnene Energie. Auch das Erdöl, welches gespart werden soll mit einem stofflichen Recycling, gilt es im Auge zu behalten, damit der Treibstoffverbrauch für den Transport die gesparte Erdölmenge nicht übersteigt. Diese Faktoren müssen in Betracht gezogen werden, bevor ein Konzept umgesetzt wird, welches sich als umweltbelastender oder ressourcenverschleissender entpuppen kann als der momentane Recyclingprozess. Zu guter

Letzt darf auch nicht vergessen werden, dass die Schweiz über eine enorm gut ausgebaute Infrastruktur für thermisches Recycling verfügt. Es wäre unsinnig davon nicht Gebrauch zu machen. Im Moment ist die thermische Verbrennung wohl noch erste Wahl.

#### Literatur

- [1] Claude Flury, Machbarkeitsstudie eines Recyclingkonzepts für ein Dialysetest, Studienarbeit HS 09/2014 am IWK der HSR Rapperswil, Mentor Prof. Daniel Schwendemann  
 [2] Dipl.-Ing. Rolf Bühl, et al. Oekoeffizienz.at. [Online] Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V. Bonn, Dezember 2001. [Zitat vom: 19. November 2014.] <http://www.oekoeffizienz.at/d/PVC-Recycling.pdf>

#### Kontakt

HSR Hochschule für Technik Rapperswil  
 IWK, Claude Flury  
 Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil  
 Telefon +41 (0)79 437 30 50  
[cflury@hsr.ch](mailto:cflury@hsr.ch), [www.hsr.ch](http://www.hsr.ch)

## FORMENBAU



**Runde Feinzentrierung**  
 Spielfrei und wartungsarm

**AGATHON**  
 SWITZERLAND

Agathon AG | 4512 Bellach | Schweiz  
 Tel. +41 32 617 45 02 | Fax +41 32 617 47 01  
[normalien@agathon.ch](mailto:normalien@agathon.ch) | [www.agathon.ch](http://www.agathon.ch)

# HELIOS

Granulattrockner mit Lebensgarantie

**Perfektion**  
 für **Präzision**

Der einzige Präzisions-  
 trockner, auch für  
 Kleinstmengen, der  
**fördert, trocknet und  
 entstaubt.**

- Aufsatztrockner
- Beistelltrockner

- mit Kalibrierzertifikat
- wartungsfrei
- mit Lebensgarantie

**14 Tage  
 kostenlos testen**

+49/171/3008656



Helios GmbH • Hechtseestraße 8 • 83022 Rosenheim/GERMANY  
 Tel. +49/8031/354180 • [info@helios-systems.de](mailto:info@helios-systems.de) • [www.helios-systems.de](http://www.helios-systems.de)