Kunststoffverwertung im Kanton Zug

Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

ZEBA
Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden
für die Bewirtschaftung von Abfällen

Juni 2004

Umschlagbild:

Annahme von Kunststoffabfällen am betreuten Tisch des Ökihofs Zug

(Foto: Edelmann)

W. Edelmann, M. Arnet, H.U. Schwarzenbach, E. Stutz

Kunststoffverwertung im Kanton Zug

Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

Im Auftrag von:

ZEBA
Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden
für die Bewirtschaftung von Abfällen
Seestr. 1, CH-6330 Cham

Juni 2004

Adressen der Autoren

Dr. Werner Edelmann
arbi, Arbeitsgemeinschaft Boenergie GmbH,
Lättichstr. 8, CH-6340 Baar
info@arbi.ch www.arbi.ch

Markus Arnet
Stadtökologie der Stadt Zug
Zeughausgasse 9, CH-6300 Zug
markus.arnet@zug.zg.ch

Hans Ulrich Schwarzenbach
ZEBA, Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden
für die Bewirtschaftung von Abfällen
Seestr. 1, 6339 Cham
zeba@zug.ch www.zug.ch/zeba

Dr. Emil Stutz
Gesundheitsabteilung der Stadt Dübendorf
Usterstr. 2, CH-8600 Dübendorf
emil.stutz@duebendorf.ch

Inhaltsübersicht

Dank 3
Summary 4
Einleitung / Ziel der Arbeit 6
Das Zuger Abfallbewirtschaftungsmodell 7
Kunststoffbewirtschaftung 1995-2000 10

- Kunststoffsammlung 10
- Abklärung der Möglichkeiten zur Kunststoffverwertung 12
- Verwertung des Zuger Kunststoffs im Zementwerk Untervaz 13
- Ökologische Aspekte der Verwertung im Zementwerk 14
- Ökonomische Aspekte der Verwertung im Zementwerk 16
- Nebeneffekte der Separatsammlung von Kunststoffen 17
- Schlussfolgerungen zur Verwertung im Zementwerk 18

Die Kunststoffverwertung ab Juni 2000 19

Möglichkeiten einer zukünftigen Verwertung 22

- Betrachtete Verfahren 23

SVZ Schwarze Pumpe, Spreewitz, Deutschland 23
RWE Umwelt, Hamm, Deutschland 23
AVE Reststoffverwertung Lenzing, Österreich 23
Plastic Conversion System, PCS, Deutschland 23
Dyckerhoff Zement Neubeckum, Deutschland 24
RWE Umwelt Ulm, Deutschland 24
ZLE Zajons Logistik Entsorgungs GmbH, Embsen, Deutschland 24
KR Wertstoffaufbereitung, Bremen, Deutschland 24
Regionale Entsorgungsanlage Niedergösgen AG, Schweiz 24

- Aktueller Stand: Wahl des PCS/OCS Verfahrens 25

Verfahrensbeschrieb 25
Aspekte des Betriebs 27

- Erkenntnisse und Aussichten 28

Quellennachweis 30

Anhang 31

1. Überlegungen im Hinblick auf ein stoffliches Recycling von Teilfraktionen (Lösung 2001 / 2002) sowie Hinweise auf die Zusammensetzung der Kunststofffraktion 31

2. Elementaranalysen der EMPA von Kunststoffproben 2002 34

3. Gehalt an Dioxinen und Furanen 36

4. Schwermetalle und weitere Parameter 38

5. Recycling von Kunststoff und Tetrapackungen (*arbi, 1999*) 42

6. Auswahl von Ergebnissen von Meinungsumfragen 51

7. Angaben zu den Presskosten 56

Die Zuger belegen weltweit einen Spitzenplatz
beim separaten Erfassen und Recycling von Abfällen aller Art

(Pressen von gemischten Kunststoffabfällen für die Verbrennung im Zementwerk;
Foto: Arnet / Stadtökologie)

Dank

Wir danken ganz herzlich dem Verwaltungsrat
des Zweckverbands der Zuger Einwohnergemeinden
für die Bewirtschaftung von Abfällen, ZEBA,
sowie der Stadtökologie der Stadt Zug
für ihre weitsichtige Haltung, Offenheit und Unterstützung
bei der Suche nach neuen Lösungen und die stets gute
Zusammenarbeit im Bereich der Abfallbewirtschaftung.

Ein spezieller Dank geht an das Bundesamt
für Umwelt, Wald und Landschaft, BUWAL,
für die Unterstützung der Publikation dieser Studie.

Last, but not least, sei gedankt all den Mitarbeitern
in den zwölf Zuger Ökihöfen und im Feld
sowie der Zuger Bevölkerung
für ihre Hilfsbereitschaft und
ihren hoch motivierten Einsatz.

Summary

The canton of Zug, Switzerland (100'000 inhabitants), does not possess an own waste incineration plant. Therefore, already more than ten years ago Zug started to separate as much garbage as possible in order to increase the recycling rate and to reduce the amount of waste to be incinerated outside the canton. Separately collected waste, such as green waste from garden and kitchen, is collected regularly by lorries, while nearly 30 other fractions can be brought to special collection centres. In each town and village of the canton there is a so called "Ökihof", i.e. a main collection centre, where all separately collected fractions are accepted by specially trained staff. Additionally, there are decentralised, unobserved containers for glass, metals and Aluminium, which are at short distances from home to be reached easily by foot. This system allows to reduce the amount per capita to be burnt to about one third compared to communities without separate collection (viz. www.zug.ch/zeba).

Today's analyses show that a very large part of the household's garbage consists of plastic waste (bottles, containers as well as sheets). This paper reports on the experiences of Zug with the collection and the use of plastic waste for energy recovery or for recycling of raw material, respectively. PET and EPS were collected separately quite from the beginning. In a first phase dating from 1995 till mid 2000, all other plastic materials were collected without additional separation in order to be burnt in the cement plant of Untervaz. Afterwards, for a short time only bottles and containers made out of PE, HDPE and LDPE (different Polyethylenes) were collected for recycling of the raw material. Today, in addition to PE's, also PS (Polystyrol), PP (Polypropylene) and Polycarbonates are reused for the production of granulates. Because this solution is not fully convincing, recently there was a search for new solutions, where again the whole plastic fraction may be treated in a reasonable way. A new process for gasoline production by treating plastic wastes is proposed to be implied in Zug.

The burning of plastic waste for energetic purposes substitutes for fossil fuels, what decreases the total amount of greenhouse gas emissions. Detailed reasons are given, why burning for energetic purposes seems to be the most reasonable use of plastic waste from households. The main reason is the extremely high number of different kind of plastics with various qualities each (colours, additives, length of the chains etc.), which hardly can be determined at first sight even by a professional.

In phase 1, all plastic was collected to be burnt in a cement klin in Untervaz. The amount of plastic brought to the centres was increasing every year. At the end of the experiment, i.e. in the beginning of 2000, about 50% of the total plastic waste of the canton was collected separately for cement production. Life cycle assessments (LCA's) showed the advantage of this solution. Though, the experiment had to be stopped for different reasons, namely for high Cadmium and Chlorine contents not allowed for secondary fuels by the current law (originating mainly from colours in large containers and PVC, respectively). Data on the chemical composition of the waste and the distribution of the different plastic qualities as well as on different other technical and social parameters of the experiment are given in this report and in its annexe, respectively.

The problems of process engineering while burning plastic waste in a cement oven are solved today. Toxic organic substances are destroyed at high temperatures and inorganic toxic compounds – such as heavy metals – are fixed inside the cement in non-critical concentrations or retained by the exhaust gas scrubbing devices. The energy content of plastic wastes may be used up to seven times better compared to incineration in a waste incineration plant. Besides these technical benefits, separate plastic collection showed a very positive effect on general collection behaviour of the population of the canton: Because plastic takes a large volume of the "grey" waste bag sent to incineration, there was a high motivation for separate collection; it was worthwhile to visit the recycling centre more often and to bring other fractions at the same time. So the total amount of separately collected waste increased considerably.

Phase 2 lasted only for the second half of the year 2000: Then, there existed the possibility to bring – besides of PET and EPS, which always were collected separately for recycling of raw materials - bottles and containers made out of different kinds of Polyethylenes to the centres (also for recycling of raw material). A collection bag of 40 litres could be bought at CHF 1.90, which is considerably less than the price of the "grey" bag. Nevertheless, this solution could not convince, because most of the population was not capable to separate PE's properly from other kinds of plastic. The motivation for separate (PE-)plastic collection decreased very much and there was also a slight negative side effect on the separation of other fractions. At the same time, the costs to separate out undesired goods at the centres increased in a not acceptable manner.

Phase 3 lasts since 2001: Due to new automated separation technologies, it is now also possible to bring bottles and containers out of PP, PS and Polycarbonates in addition to those made out of PE to the Ökihof Zug. This allows to collect most of the plastic goods with solid walls. Because the separation at the centres is less costly now, the delivery does not cost any more. This solution improved the situation by increasing the amounts to a certain extent again. However, there is still a high percentage of the population who does not take favour of this offer, because there still does not exist a solution for plastic sheets (which take a large volume in the grey bag).

In order to offer again a solution comparable to burn the plastics for cement production, new technologies have been evaluated. Data on the comparison and on the winning process are given. The comparison led to the conclusion that it seems to be the most reasonable solution to build a plant for conversion of plastic into fuel with characteristics similar to diesel fuel. The "Plastic Conversion System, PCS" plant taken into consideration is capable to convert over 70% of the plastic into fuel by a cracking process; less than 30% are needed for the process itself or remain as a small part of undesired by-product, respectively. The plant seems to fulfil the limits imposed by laws regarding the environmental impacts. Actually, the planning of the plant is in an advanced state and it seems to be possible to start the construction within 2004. In 2005, it should be possible to give "green light" to the population for bringing again all the plastics to the centres.

It has to be stressed, however, that for a long lasting solution it is necessary to impose a tax on the raw material at the source – e.g. similar to that on electronic waste - for covering the costs caused by the waste treatment.

Einleitung / Ziel der Arbeit

Im heutigen Abfall nehmen Kunststoffe einen immer bedeutenderen Stellenwert ein. Nach der Technischen Verordnung über Abfall, TVA, des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft *(BUWAL 1990)*, sollen Abfälle, deren Entstehung nicht verhindert werden kann, mit erster Priorität einem stofflichen Recycling zugeführt werden. Wenn man im Fall von Kunststoff von einigen sortenreinen Fraktionen aus Gewerbebetrieben sowie von wenigen separat erfassten Fraktionen (wie z.B. PET-Flaschen oder EPS) absieht, scheint nach heutigem Kenntnisstand auf Grund der äusserst heterogenen Zusammensetzung der Kunststofffraktion von Haushaltsabfällen ein stoffliches Recycling von Kunststoffen kaum sinnvoll zu sein (siehe weiter unten, bzw. Anhang).

Kunststoffe werden – abgesehen von einigen wenigen sogenannt biologisch abbaubaren Produkten, welche indirekt auch Öl enthalten (da sie aus biologischen Rohstoffen aufgebaut sind, deren Gewinnung nicht erneuerbare Energie erforderte...!) - praktisch ausnahmslos aus fossilen Energieträgern hergestellt. Sie weisen daher einen hohen Energieinhalt auf. Dies ermöglicht eine thermische Verwertung unter Ausnutzung des Energieinhalts zur Substitution anderer, nicht erneuerbarer Energieträger, was zu einer Reduktion der Emission von Treibhausgasen führt [1]. Voraussetzung ist dabei allerdings, dass die frei werdende Energie auch möglichst vollständig genutzt werden kann. Die thermische Nutzung kann dabei direkt erfolgen (Verbrennung), oder es werden zunächst neue, energiereiche Produkte gewonnen (Pyrolyseprodukte, Methanol, Diesel etc.), welche dann an anderer Stelle gezielt thermisch genutzt werden können.

Der vorliegende Bericht fasst die Erfahrungen mit der Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen im Kanton Zug zusammen und zeigt gleichzeitig die nach heutigem Stand des Wissens vorhandenen Alternativen zu den vergangenen und aktuellen Lösungen auf. Die Ziele der Arbeit können wie folgt umrissen werden:

1. Zusammenfassung der Erfahrungen mit den früher und aktuell angewandten Verwertungsmethoden,
2. Übersicht über die verfahrenstechnischen Grundlagen sowie ökonomischen und ökologischen Konsequenzen von heute auf dem Markt vorhandenen Verwertungsmethoden,
3. Bewertung dieser Methoden im Hinblick auf einen Einsatz für die Zuger Kunststoffabfälle,
4. Erarbeiten von Empfehlungen für das weitere Vorgehen in der Kunststoffbewirtschaftung.

Im Anhang werden zudem Angaben zur chemischen und stofflichen Zusammensetzung der Zuger Kunststofffraktion gemacht.

1 Wenn Kunststoff gezielt energetisch genutzt anstatt mit schlechter Energienutzung verbrannt oder deponiert wird, können dadurch fossile Energieträger eingespart werden.

Das Zuger Abfallbewirtschaftungsmodell

Der Kanton Zug besitzt keine eigene Kehrichtverbrennungsanlage (KVA). Er ist daher auf Verbrennungskapazitäten in Nachbarkantonen angewiesen. Dies führte schon früh dazu, dass der separaten Erfassung und Verwertung von Abfällen grosses Gewicht beigemessen wurde.

Für den Abfall ist in Zug ein kombiniertes Hol- und Bring-System sehr weit entwickelt worden: Grünabfälle werden in geeigneten Gebinden separat erfasst, durch Kehrichtfahrzeuge wöchentlich bei den Haushaltungen abgeholt und hauptsächlich in der Kompostier- und Gäranlage "Allmig" unter teilweiser Nutzung des Energieinhalts biotechnologisch verwertet. Nicht biogener Abfall wird nach Möglichkeit im Bring-System separat erfasst und einer Wiederverwertung zugeführt. Der verbleibende Restmüll, welcher in die Kehrichtverbrennungsanlage „Konsortium Winterthur“ gelangt, wird in Säcken und aus Abfallcontainern abgeholt. Diese sogenannte „Grauabfuhr“ ist gebührenpflichtig, während die Grünabfälle in offenen Gebinden (Kübel etc.) oder in sogenannt biologisch abbaubaren Säcken gratis abgeführt werden.

In allen Zuger Gemeinden bestehen "Ökihöfe", d.h. zentrale Sammelstellen, wo sehr viele unterschiedliche Abfallfraktionen bis hin zu Korkzapfen separat entsorgt werden können (vgl. Abfallmerkblätter: *ZEBA, 1997-2003*). Daneben bestehen Quartiersammelstellen für Separatabfälle mit grösserem Sammelvolumen, wie Glas, Büchsen oder Alu. Für rund die Hälfte der Zuger Bevölkerung bestehen zudem mobile Entsorgungsstellen ("Rösslitram", "Ökibus") für die separate Entsorgung von zusätzlichen Fraktionen im wöchentlichen Turnus im Quartier (www.zug.ch/zeba).

Abb. 1:
Die ganze Familie sammelt, separiert und entsorgt!

(Foto: Schwarzenbach)

Die sehr weit entwickelte separate Erfassung der Abfälle bewirkte einen deutlichen Rückgang des im „grauen“ Sack entsorgten Restmülls. In den vergangenen Jahren musste noch rund ein Drittel des Abfalls der Kehrichtverbrennung zugeführt werden: 2001 wurde beispielsweise in der Stadt Zug 32,2% des Abfalls in die KVA geführt. Dies entspricht 173 kg von insgesamt 537 kg Abfall pro Einwohner und Jahr. Andere Gemeinden erreichten sogar noch deutlich tiefere Werte.

Tabelle 1 zeigt die Entwicklung des Inhalts der grauen Säcke in Zug auf Grund von Stichproben in den Jahren 1993-2001. Da jeweils nur rund eine Tonne Abfall sortiert wurde, sind bei den einzelnen Fraktionen Ungenauigkeiten möglich wegen einzelnen Säcken, die überdurchschnittlich viel Abfall einer einzelnen Fraktion aufwiesen (z.B. Champagnerflaschen

von einem Fest im Jahr 2000 etc.). So ist auch nicht klar, wie weit die Resultate bei den Windeln einem Trend entsprechen, bzw. wie weit zufällig mehr oder weniger Säcke von Familien mit Kleinkindern dabei waren (Windeln schlagen natürlich gewichtmässig sehr stark zu Buche). Signifikant dürfte der Trend bei den kaum mehr recyclierbaren Verbundstoffen sein, welche im Verlauf der vergangenen Jahre immer häufiger zum Einsatz gelangten. Ab 2001 konnten Getränkepackungen (Milch, Fruchtsaft etc.) zudem nicht mehr zusammen mit dem Kunststoff separat abgegeben werden, was mit zu einem sehr starken Anstieg der Verbundstofffraktion in „grauen" Sack führte (Tab. 1, gelb hinterlegt).

	1993		1997		2000		2001	
Fraktion	%	kg/Pers.	%	kg/Pers.	%	kg/Pers.	%	kg/Pers.
Papier	25.0	**52.3**	23.4	**38.6**	25.6	**42.2**	13.2	**22.8**
Karton	5.6	**11.7**	5.5	**9.0**	3.0	**5.0**	4.9	**8.4**
Kunststoffe	20.0	**41.9**	18.3	**30.1**	16.4	**27.0**	20.5	**35.5**
Verbundstoffe	5.4	**11.4**	4.8	**8.0**	1.5	**2.5**	12.7	**21.9**
Glas	2.1	**4.5**	2.7	**4.5**	5.9	**9.8**	1.6	**2.8**
Windeln	7.4	**15.5**	4.4	**7.3**	10.9	**18.0**	13.3	**23.0**
Textilien	2.8	**5.9**	4.9	**8.0**	3.1	**5.1**	3.4	**5.8**
Mineralien	1.9	**3.9**	4.3	**7.1**	1.1	**1.8**	1.0	**1.7**
Metalle	2.1	**4.3**	1.9	**3.1**	1.4	**2.3**	1.7	**3.0**
Problemmüll	0.3	**0.7**	0.7	**1.2**	0.5	**0.9**	0.7	**1.1**
Organisches	16.5	**34.5**	20.3	**33.5**	20.2	**33.3**	19.9	**34.4**
Rest	11.0	**23.0**	8.8	**14.6**	10.4	**17.1**	7.3	**12.6**
Total	100.0	**209.5**	100.0	**165.0**	100.0	**165.0**	100.0	**173.0**

Tab.1: *Grauer Sack: Prozentuale Verteilung auf Grund von Müllsortierungen und Abschätzung der durchschnittlichen Grössen der einzelnen Fraktionen auf Grund der totalen Einsammelmengen und Einwohnerzahlen*

Mengen	**1997 [t]**	**1998 [t]**	**1999 [t]**	**2000 [t]**	**2001 [t]**	**2002 [t]**	**2003 [t]**	**Änderung 02/03 [%]**
Papier	549.4	743.6	878.4	1'103.8	1'216.3	1'204.8	1'255.8	4.23
Papierschnitzel	29.2	37.6	56.4	55.6	64.4	63.6	40.5	-36.32
Karton	516.0	634.4	628.8	576.8	614.8	664.7	611.2	-8.04
Sperrgut	647.9	723.3	884.1	864.0	734.0	598.6	462.3	-22.78
Bauschutt	141.0	127.0	89.7	103.2	90.6	80.5	120.4	49.58
Altmetall	168.2	168.2	169.4	215.0	186.0	163.2	165.5	1.41
Weissblech	26.2	26.8	27.5	24.6	26.4	25.5	25.8	0.98
Aluminium	4.5	4.6	4.9	4.0	4.3	4.0	1.3	-67.09
Bruchflaschen	111.9	239.8	303.7	343.2	215.2	272.0	294.4	8.26
Fenster / Spiegelglas	19.7	21.9	20.7	18.9	20.3	21.2	6.3	-70.49
Glasflaschen ganz	32.3	21.8	15.8	25.0	41.3	41.5	54.8	31.93
Haushaltapparate	9.8	8.1	11.0	7.1	5.6	6.4		-100.00
Kühlgeräte	6.6	8.3	9.6	7.1	8.6	6.9		-100.00
Autobatterien	4.0	0.0	3.0	0.1	2.0	2.6	2.5	-6.44
Altöl/Fritöl	12.1	10.7	8.9	20.8	25.4	17.7	19.0	7.59
Kunststoffe	109.3	187.8	203.1	152.1	28.0	25.2	77.7	208.05
PET	0	0	0	0	23.9	36.4	51.7	42.14
EPS	4.6	6.1	5.8	28.0	10.1	12.2	11.5	-5.42
Giftsammelstelle	35.4	0	30.6	34.3	34.6	26.4	28.4	7.62
Kehricht	0	0	0	142.0	469.0	360.9	335.8	-6.95
Diverses						52.9	68.8	30.05
Total	**2'428**	**2'970**	**3'351**	**3'726**	**3'821**	**3'687**	**3'634**	**-1.45**

Diverses: Alukapseln, Batterien, Altholz, Korkzapfen, Pneu, Papier ordinär, Wurzelstöcke

Tab. 2: *Entwicklung der Mengen der im Ökihof Zug abgelieferten einzelnen Fraktionen in den Jahren 1997 bis 2003.*

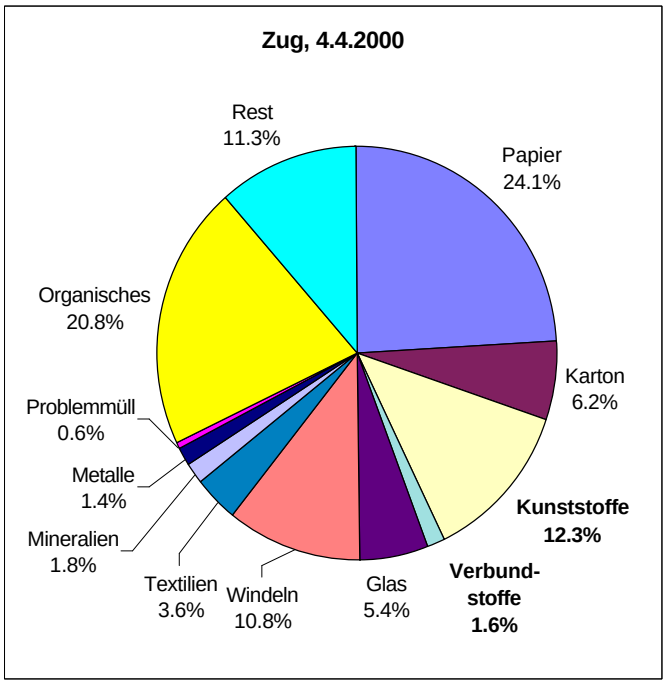
Beim Kunststoff nahm bis 2000 die Menge im grauen Sack (Tab. 1) regelmässig stark ab, obwohl tendenziell in den Haushaltungen immer mehr Kunststoffe eingesetzt wurden. Da – wie weiter unten erläutert wird – im Jahr 2001 die separate Entsorgung von Kunststoffen eingeschränkt werden musste, nahm deren Anteil im grauen Sack nun wieder zu (Tab. 1, grün).

Tabelle 2 zeigt zum Vergleich eine Übersicht zur Entwicklung der im Ökihof Zug separat eingesammelten Mengen der einzelnen Fraktionen. Hier wird nun der Einbruch bei den Kunststoffen (inkl. Getränkepackungen) im Jahr 2001 deutlich; heute ist die Tendenz wieder leicht steigend (vgl. unten). Die Möglichkeit zur separaten Entsorgung liess zunächst die Menge des in der KVA entsorgten Abfalls sinken. Ende der 90-er Jahre verblieb die Kehrichtmenge auf tiefem Niveau. Erst 2001 zeigte sich mit Einschränkung der Kunststoffsammlung wieder ein deutlicher Anstieg.

Die beiden Kuchendiagramme der Abbildung 2 zeigen den drastischen Anstieg der Kunststoff- und der Verbundstofffraktion in der Stadt Zug nach Abbruch der Versuchsphase im Zementwerk Untervaz. Die Verbundstoffe stiegen ebenfalls stark, da – wie bereits erwähnt – die Getränkepackungen (Milch, Eistee, Fruchtsäfte etc.) nicht mehr separat abgeliefert werden konnten.

Die Kuchendiagramme zeigen nur die prozentuale Verteilung und nicht die absoluten Mengen; da die in die Verbrennung gelieferte Abfallmenge im grauen Sack gleichzeitig ebenfalls anstieg, ist der absolute Anstieg bei Kunststoff und Verbundstoffen noch etwas grösser.

Detailliertere Informationen zu den separat eingesammelten Fraktionen können den Jahresberichten sowie weiteren, unveröffentlichten Berichten des ZEBA entnommen werden. Die Resultate der Sortierungen zu Mengen und Zusammensetzung der grauen Säcke in unterschiedlichen Quartieren sind in den Berichten der arbi zusammengefasst (*arbi 1993, 1997 und 2001*).



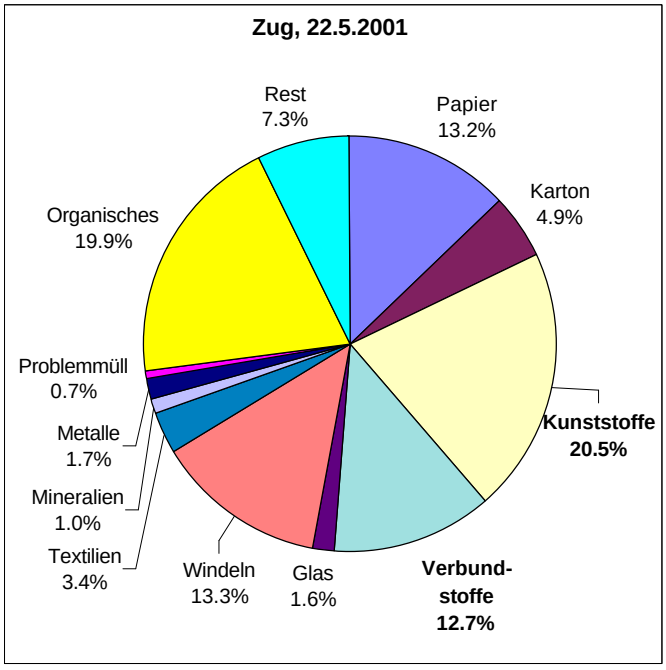


Abb.2:
Prozentuale Verteilung der verschiedenen Abfallfraktionen in „grauen Sack" in der Stadt Zug in den Jahren 2000 und 2001

Kunststoffbewirtschaftung 1995-2000

Kunststoffsammlung

Der Start der Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen fiel am 25.3.1995 zusammen mit der Eröffnung des Ökihofs Zug. Weitere Ökihöfe folgten in den Gemeinden noch vor Jahresende. Zu Beginn wurde der Kunststoff in den Ökihöfen lose in Säcken von zunächst 250 Litern, dann 500 Litern, gesammelt und ungepresst zum Presscontainer in die Sammelstelle Zug transportiert (Abb. 3). Später erfolgte der Transport ab Sammelstelle einmal wöchentlich im Kehrichtfahrzeug. 1997 waren dann fast alle Sammelstellen mit Presscontainern ausgerüstet.

Abb.3: *Kunststoffabfall lose in Säcken, bzw. nach der Pressung im Presscontainer (Fotos Schwarzenbach)*

Bei der Sammlung wurden sämtliche Plastikmaterialien mit Ausnahme von PVC entgegengenommen. Für expandiertes Polystyrol (EPS) sowie für PET-Flaschen bestehen separate Entsorgungswege. Daneben wurden Getränkekartons (Milch, Eistee, Fruchtsäfte etc.) zur gemeinsamen Verwertung mit dem Kunststoff angenommen (vgl. unten). Im Verlauf der Versuche wurden gewisse Komponenten, bei welchen auf Grund von Untersuchungen der Hinweis auf eine erhöhte Cadmiumbelastung bestand (z.B. Container > 3 Liter), nach Möglichkeit aussortiert und mit der "grauen" Kehrichtfraktion in der KVA verbrannt.

Die Sammelstellen wiesen einen unterschiedlichen Überwachungsgrad auf: Während in Zug der angelieferte Kunststoff regelmässig auf einem Tisch vor den Augen eines Mitarbeiters ausgebreitet worden ist (Titelbild), erfolgten die Kontrollen in den zehn anderen Gemeinden des Kantons unterschiedlich häufig.

Ganz allgemein konnte festgestellt werden, dass die Bevölkerung die Möglichkeit der Separatentsorgung von Plastik praktisch ausnahmslos sehr positiv aufgenommen hat. Man kann davon ausgehen, dass durch die Kunststoffsammlung signifikant grössere Anteile der Bevölkerung zur separaten Sammlung anderer Wertstoffe motiviert werden konnten. Die Kunststoffsammlung erschloss damit für die Ökihöfe ein neues, grosses Kundensegment.

Abb. 4:

Kunststoff konnte nicht nur in den Ökihöfen, sondern auch im Öki-bus abgegeben werden.

(Foto Schwarzenbach)

Die Sammlung von Kunststoff hat bei der Zuger Bevölkerung sehr grossen Anklang gefunden:

Das Sammelergebnis steigerte sich im Kanton von anfangs knapp 100 Jahrestonnen auf über 1'400 t (Tab.3). Trotz wahrscheinlich allgemein angestiegenen Kunststoffmengen sank zwischen 1993 und 1997 die jährlich über die KVA entsorgte Kunststoffmenge in der Stadt Zug von rund 41,9 kg auf 30,1 kg/Einwohner. Im Kantonsdurchschnitt wurden 1997 sogar nur noch rund 27 kg Kunststoff über die KVA entsorgt *(arbi, 1997)*. Ende 1999 dürfte beinahe die Hälfte des Zuger Kunststoffabfalls über die Separatsammlung verwertet worden sein.

Der signifikante Anstieg vor allem in der zweiten Versuchshälfte war auf die Abgabe von Sammelsäcken und auf PR-Aktivitäten (z.B. Spots mit Peach Weber oder Aufklärung zum Thema „graue Energie“ *[Siga/Zeba, 1998]* etc.) zurückzuführen. Schliesslich sammelte weit über die Hälfte der Bevölkerung - mehr oder weniger konsequent - Kunststoffabfälle. Bei den Benutzern der mobilen Sammelstellen waren es praktisch 100%, die auch Plastik ablieferten.

Der Anteil von Getränkepackungen (TetraPak etc.) am Kunststoffabfall ging von anfangs rund einem Drittel auf rund ein Viertel des Gewichts zurück, was vor allem auf die gestiegenen Plastikmengen zurückzuführen war. Nur ganz vereinzelt wurden Vorbehalte laut, dass der "Plastikabfallsack stinke". Diese Möglichkeit bestand, wenn schlecht entleerte Milch- und Fruchtsaftpackungen in der Kunststofffraktion über längere Zeit in warmer Umgebung aufbewahrt wurden.

Jahr	1995	1996	1997	1998	1999
Einsammelmenge (t/a)	**96**	**376**	**601**	**850**	**1'402**

Tab.3: *Entwicklung der separat eingesammelten Kunststoffmenge (inkl. Tetrapackungen) im Kanton Zug zwischen 1995 und 1999.*

Der wichtigste Aspekt der Separatsammlung von Kunststoff war die bereits oben erwähnte Tatsache, dass auch ein sehr positiver Einfluss auf die separate Erfassung der restlichen Fraktionen beobachtet werden konnte: Da die Kunststoffabfälle im gebührenpflichtigen Abfallsack ein grosses Volumen einnehmen, ist deren Separatsammlung aus Sicht des Abfallverursachers interessant. Dies bietet aber gleichzeitig einen grossen Anreiz, gleich auch noch andere Abfälle separat zu entsorgen, wie sich dies auch bei Meinungsumfragen zum Ausdruck kam (*IHA-GfK 1997, 1998, 2001*).

Abklärung der Möglichkeiten zur Kunststoffverwertung

Zur Verwertung der Kunststoffabfälle wurden verschiedenste Wege geprüft. Bezüglich der Energienutzung schien eine undifferenzierte Verbrennung zusammen mit anderen Abfallstoffen in Kehrichtverbrennungsanlagen - welche in der Regel vor allem im Sommerhalbjahr einen schlechten Energienutzungsgrad aufweisen - nicht vorteilhaft zu sein. Es wurde deshalb nach Alternativen gesucht. Ein Bericht zu diesem Thema findet sich im Anhang 5 (*arbi, 1999*).

Umfangreiche Abklärungen zeigten, dass eine stoffliche Verwertung nur für einige wenige, ausgewählte Teilfraktionen wie Polystyrol-Schaumstoffe, PET oder Folien aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung von Grasland sinnvoll ist. Das grosse Problem des Kunststoffrecyclings liegt in der Tatsache, dass es Dutzende von im Haushalt mehr oder weniger gebräuchlichen, chemisch grundlegend verschiedenen Kunststoffsorten gibt (vgl. Anhang 1). Durchsichtige Folien aus PVC, PE oder PP sind für den Laien ohne entsprechende Hilfsmittel (z.B. zur Bestimmung des Brechungsindex) absolut nicht zu unterscheiden. Zudem kann das Material innerhalb der einzelnen Sorten zusätzlich sehr grosse Unterschiede aufweisen: Die Kettenlänge und die Verzweigung der Ketten – und damit die Eigenschaften des Kunststoffs - können z.B. bei PE je nach Herstellungsart (Hochdruck oder Niederdruck) und Hersteller sehr verschieden sein. Gleichzeitig werden – um bestimmte Produkteigenschaften zu erreichen – Mischpolymerisate hergestellt, in welchen mehr als nur ein Grundstoff eingesetzt wird. Zudem werden den Kunststoffen Additive wie Weichmacher, UV-Schutz oder Farben beigemischt, was die Anzahl der verschiedenen Kunststoffarten auf eine nicht mehr überblickbare Grösse ansteigen lässt.

Bei einem stofflichen Recycling durch Einschmelzen, Herstellen von Granulat und Bilden neuer Formen können daher nur Produkte minderwertiger Qualität hergestellt werden, da nicht mehr die für den Verwendungszweck optimale Zusammensetzung, sondern eine Mischung verschiedener Qualitäten gegeben ist. Es werden so beispielsweise Blumentöpfe, Abfallcontainer, Stossstangen oder Paletten hergestellt, wo die etwas schlechtere Qualität durch eine etwas dickere Wandstärke kompensiert werden kann, und wo die Durchsichtigkeit bzw. Farbe eine untergeordnete Bedeutung hat. Diese Misch-Kunststoffe können dann allenfalls am Ende von ihrem Lebenszyklus immer noch durch Verbrennung energetisch genutzt werden.

Da bei den Haushaltsabfällen mehr als 60% der Kunststofffraktion aus kleinen Teilen besteht, die weniger als 10g wiegen, ist die Zerlegung in sortenreine Fraktionen bei heutigem Stand der Technik aus erwähnten Gründen nicht machbar, bzw. zu teuer. Eine Substitution von Brennstoff scheint daher zur Zeit die sinnvollste Lösung zu sein. Man kam gleichzeitig zum Schluss, dass eine thermische Nutzung von Kunststoffen nur Sinn bei einem hohen Wirkungsgrad der Energienutzung macht, wie er beispielsweise bei der Zementherstellung vorliegt: Da die Klinker-Herstellung direkt im Zementofen stattfindet und somit keine Wärmeübertragung stattfinden muss, wird die entstehende Wärme optimal genutzt. Dies war der Grund für den Entschluss, den Zuger Kunststoff in einem Zementwerk zu verbrennen. So entstand ein Pilotprojekt, welches am 25.3.1995 in Partnerschaft mit der TetraPak CH, dem Bündner Zementwerk Untervaz, dem Kunststoffverband Schweiz und dem Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen, ZEBA gestartet wurde.

Verwertung des Zuger Kunststoffs im Zementwerk Untervaz

Bei einer separaten Kunststoffsammlung und einer Verbrennung im Zementwerk sind die negativen Umwelteinflüsse gegenüber den Vorteilen klein: Positiv wirken sich neben den grossen ökologischen Vorteilen der Substitution von Primärbrennstoffen vor allem die Festlegung von anorganischen Schadstoffen in inerter Form im Klinker wie auch die vollständige Zerstörung der organischen Schadstoffe aus. Die Auswirkungen eines allenfalls zusätzlich entstehenden Transportaufwands sind im Vergleich zu den ökologischen Vorteilen vernachlässigbar. Erhöhte Stickoxidemissionen aus dem Zementwerk erfolgen verfahrensbedingt unabhängig vom eingesetzten Brennstoff. Den Geruchsemissionen durch bakteriellen Abbau von organischen Verunreinigungen ist allerdings - insbesondere bei der Lagerung vor der Verbrennung - Beachtung zu schenken.

Der Zuger Kunststoff wurde daher im Rahmen eines Versuchsbetriebs bzw. Pilotprojekts zur Sammlung von Erfahrungen während der Jahre 1995-2000 zusammen mit Tetrapackungen im Zementwerk Untervaz verbrannt. Sofern Kunststoff ausserhalb eines Versuchsbetriebs im Zementwerk hätten verbrannt werden sollen, wären Anpassungen bei den Richtlinien für Sekundärbrennstoffe notwendig gewesen.

Alle gesammelten Kunststoffe und Getränkekartons wurden ins Entsorgungszentrum Tännlimoos, Baar, transportiert. Dort wurden auf einem Band mit Magnetabscheidung allenfalls noch vorhandene ferromagnetische Fremdstoffe abgetrennt. Darauf wurde der Kunststoff in einer Ballenpresse zu Ballen von rund 350 kg/m³ gepresst. Die Ballen gelangten anschliessend durch LKW-Transport ins Zementwerk Untervaz (GR) (zunächst durch einen lokalen Unternehmer, später durch - ökologisch vorteilhaftere - Auslastung von Leerfahrten).

In Untervaz wurden die Kunststoffe und Getränkekartons zunächst mit einem Shredder auf eine Teilchengrösse von maximal 15 mm zerkleinert und im Drehrohrofen verbrannt. In einer zweiten Phase des Versuchs wurde das zerkleinerte Material zusätzlich einer Windsichtung unterzogen: Die Schwerteile wurden der Primärfeuerung zugeführt, während die Leichtteile in die Sekundärfeuerung eingeblasen wurden.

Die Versuche wurden begleitet durch flankierende Massnahmen: Eine intensive Kampagne zur Aufklärung der Bevölkerung über Zusammenhänge im Abfallbereich wurde über Presse, Radio, Fernsehen, Faltprospekte und Broschüren sowie über Stände an der Zuger Herbstmesse gestartet. Ab Versuchsmitte wurden der Bevölkerung transparente PE-Kunststoffsäcke à 40 und 100 Liter zum Einsammeln der Kunststofffraktion abgegeben. Die Akzeptanz der eingeleiteten Massnahmen wurde laufend über Umfragen - vorwiegend auf dem Ökihof Zug, aber auch im ganzen Kanton - überprüft. Zudem werden bis heute regelmässig telefonische Meinungsumfragen zur Abfallbewirtschaftung durch das „Institut für Marktanalysen“ durchgeführt (*IHA-GfK 1997, 1998, 2001*)

Da für Sekundärbrennstoffe in der Zementindustrie im Vergleich zu Primärbrennstoffen bei gewissen Schadstoffen, insbesondere bei Schwermetallen wie Cadmium, relativ tiefe Grenzwerte bestehen *(Buwal, 1998)*, wurden durch den Kunststoffverband sowie durch die Hochschule Rapperswil regelmässig Schadstoffanalysen durchgeführt (*Wirz et al., 1996; vgl. Anhang 4)*. Gleichzeitig wurden die Auswirkungen des Kunststoff-Einsatzes auf die Produktqualität (Klinker) sowie die Abluftqualität erfasst. Zusätzlich wurde das Material durch das Zementwerk Untervaz regelmässig mit Standardmethoden auf Schwermetallgehalte untersucht.

In Zusammenarbeit mit dem Kanton Zug wurde eine Ökobilanz über die Kunststoff-Separatsammlung verfasst *(Walter J., 1996; Zeba 1999b*). Daneben wurden diverse weitere Arbeiten zu den Konsequenzen der separaten Kunststoffverwertung im Rahmen eines

ganzheitlichen Abfallbewirtschaftungskonzepts durchgeführt oder in Auftrag gegeben (*Zeba, 1999a, EMPA, SSK, Rytec 2002)*. In diesem Zusammenhang wurde auch der Entwicklung des Kunststoffanteils im Restmüll Beachtung geschenkt (vgl. Tab. 1 und 2, sowie Abb. 2).

Ökologische Aspekte der Verbrennung im Zementwerk

Die Ökobilanz *(Walter J. 1996)* zeigte positive Auswirkungen der separaten Kunststofferfassung und -verwertung. Am stärksten positiv wirkte sich die deutlich bessere Energienutzung im Zementwerk gegenüber einer KVA aus: Im Zementwerk findet die Klinker-Herstellung direkt im Ofen statt. Somit muss keine Wärmeübertragung zu einem ausserhalb des Ofens gelegenen Verbraucher stattfinden, was eine optimale Nutzung der entstehenden Wärme erlaubt.

Der Heizwert von Kunststoffen ist mit 38-40 MJ/kg hoch. In Untervaz ist der Energienutzungsgrad mit rund 75% sehr hoch gegenüber einem durchschnittlich sehr viel kleineren Prozentsatz bei der Verbrennung in einer schweizerischen Kehrichtverbrennungsanlage. Durch die Verbrennung von Kunststoff in einem Zementwerk kann die Verbrennung von fossilen Energieträgern (Primärbrennstoffe wie Schweröl oder Kohle) reduziert werden: Die Primärbrennstoffe würden zusätzlichen, treibhausaktiven CO_2-Ausstoss bewirken sowie - da dann der Kunststoff gleichzeitig in der KVA ebenfalls verbrannt würde - zusätzliche, grosse Umweltbelastungen in sämtlichen Wirkungskategorien einer Ökobilanz erzeugen. Bei der Kunststoffverwertung zur Energiegewinnung wirkt sich daher die Verhinderung von Zusatzemissionen aus Primärbrennstoffen positiv aus. (Interessanterweise gelten übrigens für Primärbrennstoffe wie Kohle bei Schadstoffen wie Cadmium zum Teil mildere Grenzwerte als für Sekundärbrennstoffe wie Kunststoff.)

Der energetische Aufwand für den Transport der Abfälle ist mit nur 1-2% des nutzbaren Energieinhalts von Plastik klein. Ab Tännlimoos sind nach Untervaz 102 km LKW-Transport notwendig, wobei - wie bereits erwähnt - Leerfahrten eingesetzt werden können. Nach Winterthur in die KVA sind es zwar nur knapp 60 km; der ökologische Aufwand ist jedoch vergleichbar gross, da die Abfälle per LKW zur Bahn sowie anschliessend wieder von der Bahn in die KVA transportiert werden müssen, und für diese Kurzdistanzen kein Einsatz von Leerfahrten möglich ist.

Im vorgängig erwähnten energetischen Aufwand für Transport sind die Umwegfahrten der Anlieferer von Abfall zur Sammelstelle noch nicht berücksichtigt. Im kantonalen Durchschnitt suchen knapp drei Viertel der Anlieferer die Sammelstelle per PW auf (*IHA-GfK, 1998 & 2001; vgl. Anhang 6*). Es zeigte sich, dass Anlieferer aus Mehrfamilienhäusern die Sammelstellen öfter aufsuchen (wöchentlich) im Vergleich zu Einfamilienhausbesitzern (1-2 mal pro Monat). Dies ist wahrscheinlich auf räumlich günstigere Lagerbedingungen im EFH gegenüber einer Mietwohnung zurückzuführen. Die Sammelstelle wird jedoch in beiden Fällen normalerweise unter Ausnutzung einer Leerfahrt auf dem Weg zum Einkauf aufgesucht. Die Hauptsammelstellen liegen jeweils zentral in der Nähe der Einkaufsmöglichkeiten, während die Quartiersammelstellen einfach zu Fuss erreicht werden können. Im kantonalen Durchschnitt gaben beispielsweise 2001 in der Umfrage des IHA nur 20,6% der Befragten PW-Fahrer an, eine Extrafahrt zur Hauptsammelstelle durchzuführen.

Der Aufwand zur Einsammlung von Abfall im Sammelfahrzeug liegt bei rund 5,4 Liter Diesel pro Tonne. Wenn man von 800 m Umwegfahrt zur Sammelstelle ausgeht, kann beim PKW von rund 18 Litern Benzin pro Tonne Kunststoff ausgegangen werden. In diesem Fall wird jedoch der gesamte ökologische Aufwand dem Kunststoff zugeordnet („alloziert"); es wird nicht berücksichtigt, dass bei gleicher Gelegenheit noch verschiedene andere Wertstoffe entsorgt werden und dass dank der Kunststoffsammlung allgemein der Anteil an rezyclier-

tem Material steigt. Unter ganzheitlicher Betrachtungsweise ist daher ein allfälliger Mehraufwand gegenüber den erzielten ökologischen Vorteilen vernachlässigbar.

Schadstoffanalysen von Kunststoffproben vor der Verbrennung zeigten für einzelne Schwermetalle, insbesondere für Cadmium, Werte, die über dem Grenzwert der Richtlinie für Sekundärbrennstoffe liegen. Während der Verbrennung werden jedoch Stoffe, wie Cadmium, in inerter Form im Klinker festgelegt. Im Klinker liegen sämtliche Schadstoffe weit unter dem gesetzlichen Grenzwert. Dies gilt ebenfalls für das an die Umgebung austretende Rauchgas, in welchem Cadmium nicht nachweisbar ist, und das auch bei den anderen Schadstoffen die strengen Richtlinien einhält.

Wenn wegen zu hoher Cadmiumgehalte die Verbrennung von Sekundärbrennstoffen im Zementwerk verboten wird, erzielt man eigentlich einen nicht erwünschten Effekt: Der Kunststoff wird mit seinem Cadmium in der KVA verbrannt, wo die Cadmium-haltigen Reststoffe als Sondermüll deponiert werden müssen, und aus den fossilen Primärbrennstoffen (mit den höheren Grenzwerten!) wird im Zementwerk noch zusätzliches Cadmium in Umlauf gebracht...!

Gegenüber der KVA mit rund 900°C Brenntemperatur werden im Zementwerk 1'600 - 2'000°C erreicht. Dies hat zur Folge, dass aus thermodynamischen Gründen - unabhängig von der Art des Brennstoffs - der Stickoxidausstoss im Zementwerk etwa viermal höher liegt als bei der KVA: Die Stickoxide entstehen aus dem Stickstoff und Sauerstoff der Verbrennungsluft in Abhängigkeit der Temperatur: Je höher die Temperatur (und der Druck), desto grössere Anteile an Stickoxiden werden gebildet. Daher können grössere Emissionen nicht dem Kunststoff alloziert werden, da diese verfahrensbedingt bei einem Alternativbrennstoff in identischem Ausmass ebenfalls entstehen.

Die hohen Verbrennungstemperaturen im Zementwerk haben jedoch im Gegenzug den grossen Vorteil, dass auch sehr stabile organische Schadstoffe (Dioxine, etc.) totaloxidiert werden. Gegenüber einer Verbrennung in der KVA ist diese vollständige Elimination organischer Sachstoffe von Vorteil.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei einer separaten Kunststoffsammlung und einer Verbrennung im Zementwerk die negativen Umwelteinflüsse gegenüber den Vorteilen sehr klein sind: Positiv wirken sich neben den grossen Vorteilen der Substitution von Primärbrennstoffen vor allem die Festlegung von anorganischen Schadstoffen in inerter Form im Klinker wie auch die vollständige Zerstörung der organischen Schadstoffe aus.

Abb. 5:

Erfassen von Kunststoff-Abfällen im Ökihof Zug zur Zeit der Versuche in Untervaz

Ökonomische Aspekte der Verwertung im Zementwerk

Die Kosten der Separatsammlung verringerten sich im Verlauf des Versuchs kontinuierlich sowohl beim Kunststoff, wie auch bei anderen Wertstoffen. Dies ist auf verschiedene Gründe zurückzuführen:

- Steigende Mengen führten zu besserer und regelmässigerer Auslastung von Arbeitsplätzen und Infrastruktur,
- die Logistik zur Einsammlung und Bereitstellung für die Verbrennung im Zementwerk wurde ständig verbessert, was unter anderem auch dazu führte, dass
- der Kontrollaufwand sich verringerte und die Verwertungskosten dank besserer Qualität sanken.

Arbeitsschritt	**Fr./Tonne**
Transporte vom Ökihof ins Tännlimoos:	40.-
Pressung, Lagerung, Verlad:	60.-
Transport nach Untervaz:	45.-
Arbeit Ökihof, Miete bzw. Amortisation Presscontainer	150.-
Annahmepreis Untervaz:	150.-
Total:	**445.-**

Tab.4: *Zusammenstellung der Kosten der Kunststoffverwertung im Zementwerk Untervaz*

Die Vollkosten am Ökihof Zug (inkl. Arbeit, Mieten, Amortisationen etc.) reduzierten sich von ursprünglich 380.- Fr./t auf 210.- Fr./t (1997) und schliesslich auf knapp 150.- Fr./t im Jahr 1999. Tabelle 4 schlüsselt die Kosten auf, wie sie sich 1999 für den Ökihof Zug präsentierten. In nicht ständig überwachten Annahmestellen könnten – bei entsprechenden Qualitätseinbussen bei der Reinheit der Fraktion - noch rund 50.- Fr. eingespart werden.

Der Annahmepreis in Untervaz lag mit 150.- Fr./t recht hoch. Um Kostenneutralität der Entsorgung zu erzielen, müsste für den (hochwertigen) Brennstoff ein Verkaufserlös (oder mindestens Annahme ohne Gebühren) erzielt werden können. Wie weit der hohe Annahmepreis durch die effektiv nötigen Zusatzaufwendungen (Shredder, Windsichter etc.) gerechtfertigt werden kann, beziehungsweise wie weit der Preis durch die Verhältnisse am Markt für die Verwertung von Abfall bestimmt wurde, wird hier nicht diskutiert.

1999 musste für die thermische Verwertung von Kunststoffabfällen mit total knapp 450.- Fr./t gerechnet werden (Tab. 4). Die Kosten lagen damit nach fünf Versuchsjahren rund Fr.100.- tiefer als bei einer Verbrennung in der KVA (die Vollkosten der KVA belaufen sich auf 550.- Fr./t.).

Nebeneffekte der Separatsammlung von Kunststoffen

Die Verbrennung von Kunststoffabfällen im Zementwerk ist aus verfahrenstechnischer Sicht heute kein Problem mehr. Als unerwünschter Nebeneffekt traten hingegen Geruchsemissionen auf, welche bei der offenen Lagerung des Kunststoffs und speziell der Getränkepackungen entstanden. Hier wäre bei zukünftigen Lösungen vorzugsweise eine Einhausung mit Abluftbiofilter vorzusehen zur Eliminierung der Geruchsstoffe, welche beim bakteriellen Abbau von organischen Verschmutzungen (Reste von Milch und anderen Lebensmitteln) entstehen. Der Ascheanteil ist bei hohem Anteil an kartonhaltigen Getränkepackungen eher hoch. Andererseits sind deren Aluminiumbeschichtungen von Vorteil, da ein gewisser Anteil von Aluminiumoxid (Al_2O_3) bei der Klinkerproduktion erwünscht ist. Im Zementwerk Untervaz wurden neben dem relativ hohen Aschegehalt vor allem die Geruchsemissionen als problematisch erachtet.

Wie bereits mehrfach erwähnt wurde, erschliesst die Kunststoffsammlung für die Ökihöfe ein neues Kundensegment und fördert die Sammeltätigkeit anderer Wertstoffe. Die Bevölkerung trennt sauberer und liefert beim Gang in den Ökihof sogar Kleinstfraktionen, wie Korkzapfen, CD's, Kaffeekapseln etc. separat ab (vgl. Abb. 6, sowie Anhang 6).

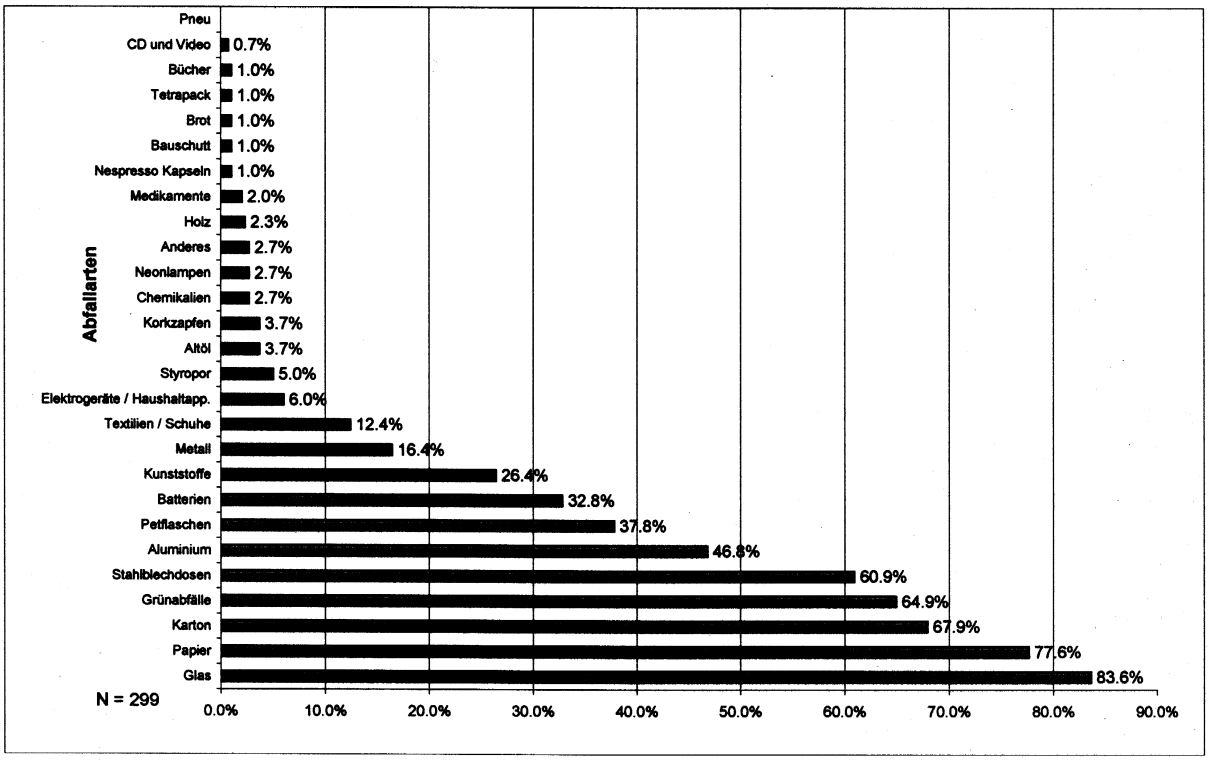


Abb. 6: *Antwort einer repräsentativen Menge von ZugerInnen auf die Frage, welche Abfälle sortiert werden (2001; nach Abbruch der Verwertung im Zementwerk)*

Da Kunststoff 50-60 Volumenprozente des Inhalts von Abfallsäcken ausmacht, erhöhte sich das Durchschnittsgewicht der 35-Liter Säcke leicht von 4,4 auf rund 5 kg. Der Anstieg ist jedoch nicht proportional zum eingesammelten Kunststoff, da - wie bereits oben erwähnt - auch die anderen Abfälle vermehrt separat entsorgt wurden, was gleichzeitig die Gesamtmenge des übrigen Abfalls für die KVA stark reduzierte.

Schlussfolgerungen zur Verwertung im Zementwerk

- Die verfahrenstechnischen Fragen der thermischen Verwertung von Kunststoff und Getränkepackungen als Sekundärbrennstoffe in Zementwerken sind gelöst, bzw. sind im Fall von Geruchsemissionen lösbar.
- Organische Schadstoffe werden bei den hohen Ofentemperaturen im Zementwerk totaloxidiert und damit zerstört.
- Anorganische Schadstoffe, insbesondere Schwermetalle, werden entweder in unkritischer Konzentration im Klinker eingelagert oder in der Rauchgasreinigung soweit zurückgehalten, dass keine Grenzwerte überschritten werden.
- Im Zementwerk kann der Energieinhalt des energetisch hochwertigen Kunststoffs rund siebenmal besser genutzt werden als in der KVA.
- Die thermische Verwertung von Kunststoffen ist gegenüber einer Verwertung in der KVA ökologisch vorteilhaft. Dabei kommt vor allem stark zum Tragen, dass treibhausaktive und umweltbelastende Primärbrennstoffe eingespart werden können.
- Die Bevölkerung hat die Möglichkeit, Kunststoff separat entsorgen zu können, äusserst positiv aufgenommen.
- Die Separatsammlung von Kunststoffen hatte gleichzeitig den sehr positiven Nebeneffekt, dass zusätzliche Kreise der Bevölkerung zum - von der TVA empfohlenen - Recycling von anderen Abfallstoffen bewogen werden konnten.
- Die separate thermische Verwertung von Kunststoffen und Getränkepackungen ist ökonomisch machbar. Auch bei relativ hohen Annahmepreisen von 150.- Fr./t bringt die Verwertung im Zementwerk nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile.
- Der Cadmiumgehalt - vor allem von älteren, grossen Gebinden - bewirkt, dass die Grenzwerte für die Verwertung von Sekundärbrennstoffen nicht eingehalten werden können. Eine Aussortierung von Cadmium-reicheren Fraktionen ist technisch bzw. ökonomisch kaum machbar. Es ist jedoch anzunehmen, dass im Verlauf der Jahre immer seltener noch alte, Cadmium-reichere Gebinde zur Verwertung anfallen (vgl. Anhang 4).
- Für Primärbrennstoffe (Kohle etc.) sind höhere Grenzwerte für den Cadmiumgehalt festgelegt als in den Richtlinien für Sekundärbrennstoffe. Es fragt sich, wie weit es sinnvoll ist, dass für die Zementherstellung an Stelle von Kunststoffen zusätzliche und umweltbelastendere Brennstoffe verwendet werden müssen, nur weil für Sekundärbrennstoffe höhere Grenzwerte festgelegt worden waren.

Für den Pilotversuch des Kantons Zug bedeutete der Cadmiumgehalt, der den Grenzwert überschritt, im Jahr 2000 das Aus. Zusätzlich stand auch noch im Raum, dass ggf. der Annahmepreis in Untervaz erhöht werden sollte, was den Anreiz dieser Verwertung zusätzlich senkte.

Die Kunststoffbewirtschaftung ab Juni 2000

Nachdem im Jahr 2000 der Kunststoffversuch abgeschlossen worden war, wurde nach einer alternativen Verwertungsmöglichkeit gesucht. Leider war es kurzfristig nicht möglich, eine Lösung zu finden, bei welcher wiederum der gesamte Kunststoffabfall verwertet werden konnte. Es wurde daher in einer ersten Phase eine stoffliche Sammlung und Verwertung von sogenannten Hohlkörpern (Flaschen und grössere Gebinde) aus Polyethylen eingeführt. Diese Hohlkörper wurden an die Firma Innorecycling zur stofflichen Weiterverarbeitung in der Firma Innoplastic in Eschlikon (M. Model) weitergeleitet. Parallel dazu wurden EPS und PET weiterhin separat erfasst. Folien sowie alle übrigen Kunststoffe aus Haushaltungen wurden mit dem grauen Sack der Verbrennung zugeführt. Diese Phase wurde mit einem relativ grossen PR-Aufwand für die Aufklärung der Bevölkerung über Merkblätter, Zeitungsartikel und Tafeln an den Sammelstellen begleitet (vgl. Abb. 7).

Abb. 7:

Beispiel einer Informationstafel in einem der Ökihöfe mit Anleitung, welche Hohlkörper separat angeliefert werden können: Verschieden Arten von Polyethylen (Hochdruck und Niederdruck-PE, etc).

Für die rund 15 Jahrestonnen Folien aus der Heusilage der Landwirtschaft wurde bereits 1999 eine Branchenlösung erarbeitet, welche sich auch heute noch bewährt: Die Firma Verora GmbH in Edlibach führt die Folien für Fr. 250.-/t über die Firma Innorecycling durch einen speziell geschulten Fahrer des Entsorgungsfahrzeugs der Wiederverwertung zu [2]. Dieser Preis gilt nicht für Kleinmengen; durch Zusammenlegen der Abfälle benachbarter Landwirtschaftsbetriebe kann er jedoch einfach erreicht werden.

Im Gegensatz zur früheren Lösung konnte die Verwertung der PE-Hohlkörper jedoch nicht mehr gratis angeboten werden: Sie kostete jetzt im speziellen 40 Liter-„Polysack“ Fr. 1.90, was gegenüber der Entsorgung im grauen Sack immer noch einer deutlichen Einsparung entsprochen hat. Trotzdem vermochte diese Kunststoffsammlung aus verschiedenen Gründen nicht mehr voll zu befriedigen:

2 In diesem Preis sind sämtliche Kosten wie Transport, Marketing, Beratung etc. enthalten. In der übrigen Schweiz kostet heute der sogenannte Polysack - welcher nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch in Industrie, Gewerbe und im Dienstleistungssektor eingesetzt wird - Fr. 9.50 pro 240 Liter. Entsorgung im *grauen Sack“ würde Fr. 400.-/Tonne kosten.

- Der Anreiz, Kunststoffe separat zu erfassen sank drastisch, da nur ein Teil der Hohlkörper und überhaupt keine Folien mehr entsorgt werden konnten. Dies führte zu einem eigentlichen Einbruch der Sammelmengen.
- Nur ein kleiner Teil der Kunden war in der Lage, die Flaschen wirklich sortenrein zu trennen. Es ergab sich ein Mehraufwand für die Kundschaft, da sie auf den Flaschen die eingeprägten Symbole (PE, HDPE, LDPE, 02, 04) suchen musste, wenn Fehlsortierungen vermieden werden sollten.
- Andererseits entstand ein unverhältnismässig grosser Mehraufwand für Kontrolle und Beratung an der Sammelstelle, da das Sammelgut nachsortiert werden musste, weil sehr häufig auch Kunststoff anderer Qualität in den Säcken mitgeliefert wurde.
- Gleichzeitig dauerte es in der Regel viel zu lange, bis in einem Haushalt ein 40-Liter-Sack gefüllt war.

. 25

bei der Neuen Zuger Zeitung
am Bundesplatz 14 in Zug, Tel. 041 - 730 56 61

E ZUGER ZEITUNG NEUE ZUGER ZEITUNG NEUE ZUGER ZEITUNG NEUE ZUGER ZEITUNG NEUE ZUGER ZEITUNG NEUE ZUGER

nd einem Monat wurden im Kanton Zug die Sammelvorschriften geändert

System verärgert Bevölkerung

Das Entsorgen von Kunststoffabfällen muss im Haushalt gemäss den geänderten Sammelvorschriften im Kanton Zug neu organisiert werden.

40-Liter-Polysack gelangen. Alles andere, was bislang zum unbedingten Sammelgut gehört hat, hat in den herkömmlichen Güselsack zu verschwinden: Tetrapackungen, Folien von Grill-Chlöpfern und Ähnliches, alle Fläschchen, die kein spezielles Zeichen eingeprägt ha-

gungsvorschrift (ab in den normalen Güselsack!) man sich offensichtlich schaurig ärgert.

Enttäuschte Anrufer

«Die Leute waren anfangs wirklich sehr aufgebracht darüber, dass plötzlich so viel

Selbstverständlich würden die aufgebrachten Anruferinnen und Anrufer schnurstracks über die Gründe und vor allem auch über die Vorteile der neuen, spezifischen Sammelaktion aufgeklärt, ergänzt Kölbach. Und nach einem entsprechenden Gespräch wür-

sie das gleiche Format hät
Vorgängermodell. «Wir wer
der Recyclingfirma Rücksp
men und über das Angebot
ren Sackes diskutieren»,
Schwarzenbach.

Abb. 8: *Ausschnitt aus einem Artikel der Neuen Zuger Zeitung, welcher den Unmut der Bevölkerung zum Ausdruck bringt.*

Da die Bevölkerung mehrheitlich dieser Art der Kunststoffsammlung nicht mehr positiv gegenüberstand (vgl. Abb. 8), wurde dieser erste Versuch zum stofflichem Recycling für die Haushalte per Ende 2000 abgebrochen. Weiterhin bestehen geblieben ist die Möglichkeit für Geschäftskunden, gewisse Kunststoffabfälle im Polysack abzuliefern.

Gleichzeitig wurde in Deutschland ein neues Verfahren zur automatischen Sortierung von Kunststoffen getestet. Mit der Firma Model konnte ein Vertrag geschlossen werden, was mit zum Bau einer entsprechenden Anlage in Eschlikon (TG) führte. Dies ermöglichte praktisch nahtlos die Einführung einer erweiterten Sammlung von Hohlkörpern: Es können nun nicht nur Hohlkörper aus PE, sondern auch aus PS, PP und Polycarbonat abgegeben werden. Folien werden weiterhin nicht angenommen. Die Motivation zum Sammeln ist aus zwei Gründen wieder etwas gestiegen: Einerseits können jetzt auch Joghurtbecher und andere Hohlkörper abgegeben werden und andererseits werden keine Gebühren mehr erhoben. Da es sich bei der Hohlkörpersammlung um ein Entwicklungsprojekt handelt, werden die Kosten von der Stadt Zug getragen. Besonders stark schlagen zur Zeit noch die Kosten des Ballenpressens zu Buche (vgl. Anhang 7).

Da die Kunden die Fraktionen PE, PS, PP und Polycarbonat nicht sauber erkennen können, ist trotzdem die manuelle Aussortierung unerwünschter Kunststoffkörper nötig. Sie wird erledigt von geschulten Mitarbeitern im Ökihof Zug, welcher die Hohlkörper aus dem gesamten Kantonsgebiet annimmt. Dies ist mit einem gewissen personellen Aufwand verbunden, welcher jedoch im Verhältnis zur wiederverwerteten Menge kleiner ist, als bei der vorherigen PE-Sammlung. Die Mitarbeiterschulung zur Erkennung der verschiedenen Kunststoffarten dauert rund eine Woche.

Im Jahr 2001 wurden rund 28 Tonnen PE, PP und PS an die Firma Model geliefert. Dies entspricht etwa zwei Dritteln der abgelieferten Hohlkörper (vgl. auch Anhang 1: *Sortierung der Kunststofffraktion im Hinblick auf ein stoffliches Recycling von Teilfraktionen* mit Angaben zur Grösse der einzelnen Fraktionen). Rund 1/3 von nicht den Kriterien entsprechenden Kunststoffen wurde aussortiert und in der KVA verbrannt. Daneben wurden rund 10.1 Tonnen EPS und 23.9 Tonnen PET separat erfasst.

Der Sammeleifer der Bevölkerung ist durch die Beschränkung der Sammlung auf Hohlkörper gegenüber der Zeit vor Juni 2000 jedoch zurückgegangen. Wenn Folien und kleinere Kunststoffschalen, welche im Abfallsack viel Volumen beanspruchen, nicht mehr abgeliefert werden können, werden oft auch Hohlkörper, wie Joghurtbecher und Flaschen im grauen Sack entsorgt. Zudem schien in einzelnen Fällen die Einschränkung, nicht mehr die gesamte (in Hinblick auf das Volumen grosse) Kunststofffraktion abliefern zu können, Ursache zu sein, sich weniger oft zur Sammelstelle zu begeben und so auch die anderen Fraktionen weniger gut zu separieren.

Aus wirtschaftlicher und logistischer Sicht musste die aktuelle Lösung daher überdacht werden. Aufgrund der Erkenntnisse der vergangenen Jahre wurden daher folgende ökologische und ökonomische Rahmenbedingungen für eine zukünftige Lösung festgelegt:

- Die Gesamtkosten für die Kunststoffentsorgung ab Ökihof dürfen maximal CHF 230.- pro Tonne betragen. Dies entspricht dem schweizerischen Durchschnittspreis für die Entsorgung von Hauskehricht. Mittelfristig ist ein Preis von Fr. 160.-/t anzustreben.
- Bei der Verwertung müssen alle gesetzlichen Emissionsgrenzwerte eingehalten werden.
- Aus ökologischer Sicht muss der Verwertungsweg Vorteile im Vergleich zur Verbrennung in einer KVA aufweisen.
- Das Sammelsystem muss für die Bevölkerung einfach und verständlich sein.

Die letzte Prämisse schliesst ein separates Erfassen einzelner Kunststoffarten – einmal abgesehen von EPS und PET - praktisch aus.

Möglichkeiten einer zukünftigen Verwertung

Wie bereits oben erwähnt wurde und auch im Anhang 5 dargelegt wird, eignen sich gemischte Kunststoffe aus Haushalten für ein stoffliches Recycling eigentlich nicht. Die aktuelle Phase der stofflichen Wiederverwertung von Hohlkörpern ist daher eher als Übergangslösung mangels besserer Alternativen zu betrachten, welche vor allem auch das Ziel hat, bei der Bevölkerung das Bewusstsein für den Wert von Kunststoffen und die Problematik des Treibhauseffekts zu erhalten.

Für eine zukünftige Lösung wurden daher aus erwähnten Gründen ausschliesslich Verfahren zur rohstofflichen oder energetischen Verwertung näher geprüft. Es wurden bei einschlägig bekannten Firmen Offerten zur Verwertung des Zuger Kunststoffs eingeholt. Das Resultat der Erhebung wird in der Folge kurz vorgestellt.

Abb. 9: *Der Sortieraufwand für ein stoffliches Recycling ist sehr gross und lohnt sich daher kaum.*
(Photo: Schwarzenbach)

Bei der rohstofflichen Verwertung entstehen neue Produkte, wie Methanol oder andere kurzkettige Kohlenstoffverbindungen, welche in einem zweiten Schritt entweder rohstofflich zur Synthese neuer Kunststoffe oder zur kontrollierten Verbrennung und damit für eine gezielte energetische Nutzung eingesetzt werden können.

Betrachtete Verfahren

SVZ Schwarze Pumpe, Spreewitz, Deutschland

Dieses Verfahren basiert auf einer Festbettdruck- bzw. Flugstromvergasung von diversen Abfällen und Kohle. Dabei können auch Kunststoffe eingesetzt werden. Als Produkte entstehen Methanol, Gips und Dampf, der zur Stromproduktion eingesetzt wird. Aus verfahrenstechnischer und ökologischer Sicht erweist sich der Prozess als prüfenswert. Der sehr hohe Annahmepreis von rund CHF 300.-/Tonne und die grosse Transportdistanz für Abfälle aus der Region Zug zur nächsten Anlage, welche zusätzliche ökonomische und ökologische Kosten mit sich bringen würde, führten aber zur Verwerfung dieses Verwertungsweges.

RWE Umwelt, Hamm, Deutschland

Die Anlage in Ulm arbeitet mit einem Pyrolyse-Verfahren. Dabei wird unter Ausschluss von Sauerstoff ein Pyrolysegas produziert, welches als Rohstoff für Verbrennungsprozesse eingesetzt wird. Der thermische Wirkungsgrad der Anlage beträgt 80%. Die Anlage ist für Abfallbrennstoffe mit einem maximalen Heizwert H_u von 20 MJ/kg konzipiert. Die Kunststoffe aus Zug weisen aber einen Heizwert H_u von rund 38 MJ/kg auf und sind daher zu energiereich für eine Verwertung in der Anlage. Zudem sind sowohl Transportdistanz wie Annahmepreis zu hoch.

AVE Reststoffverwertung Lenzing, Österreich

Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine rein thermische Verwertung. Die Kunststoffe werden in einem Wirbelschichtofen verbrannt. Die frei werdende Wärme wird zur Dampferzeugung verwendet. Der thermische Wirkungsgrad der Anlage liegt bei 80%. Hingegen sind die Qualitätsanforderungen für den Fremdstoffanteil, PVC, Cadmium und Antimon zu hoch, um gemischte Kunststoffe aus Haushaltungen verarbeiten zu können. Die offerierten Richtpreise liegen deutlich über dem vorgegebenen Maximalwert von CHF 230.-/Tonne.

Plastic Conversion System, PCS, Deutschland
(Vertrieb Schweiz: Econtec AG, Baden)

Die Anlage funktioniert nach einem petrochemischen Verfahren, welches als Weiterentwicklung des chinesischen Virgoil-Verfahrens betrachtet werden kann. Es besteht aus Einschmelzung, Verdampfung, Cracking und Destillation. Gemischte Kunststoffe werden geshreddert und der Anlage zugegeben. Als Produkt entsteht ein Öl von der Qualität Heizöl EL, das auch analog eingesetzt werden kann. Aus 1000 kg Kunststoff können nach Herstellerangaben mit dem weiter entwickelten Verfahren bis zu maximal 850 kg Öl produziert werden. Ein Teil der beim Cracking entstehenden Kohlenwasserstoffe wird direkt verfeuert und so zur Beheizung des Reaktors eingesetzt. Der Prozess funktioniert somit energieautark. Als Reststoff bleibt eine Schlacke zurück, welche deponiert werden muss. Mit einer analogen Anlage kann auch Altöl verwertet werden (Oil Conversion System, OCS).

Im Gegensatz zu den anderen geprüften Verfahren sind nach Aussagen der Herstellerfirma Fremdstoffe und eine heterogene Zusammensetzung des Ausgangsmaterials nicht problematisch, da nicht eine Verbrennung sondern Cracking und Verdampfung stattfindet und die Temperatur unter 500 °C liegt; Schwermetalle werden in der Schlacke zurückgehalten. Da

die Anlage in der Schweiz erstellt werden kann, sind keine Exportbewilligungen einzuholen und der Transportweg ist gering. Die Gesamtkosten ab Ökihof sollten sich auf weniger als CHF 200.-pro Tonne belaufen und dürften somit dem Zielwert gerecht werden.

Dyckerhoff Zement Neubeckum, Deutschland

Das Verfahren ist identisch mit demjenigen, welches in Untervaz zum Einsatz kam. Der Kunststoff wird mittels Direktverfeuerung im Drehrohrofen zur Herstellung von Klinker verbrannt. Der thermische Wirkungsgrad liegt bei über 80%. Abgesehen von der grossen Transportdistanz stellen sich beim Verfahren die selben Probleme wie im Zementwerk Untervaz (Cadmium, Chlor, ev. Antimon). Da zusätzlich keine Richtpreise zu erhalten waren, wurde diese Möglichkeit nicht weiter verfolgt.

RWE Umwelt Ulm, Deutschland

Das Werk in Ulm ist spezialisiert auf die Aufbereitung von Sekundär-Brennstoffen für die Zement- und Kalkindustrie. Daher sind die Annahmebedingungen sehr ähnlich zu denjenigen der Zementwerke. Eine Reduktion der Gehalte an Cadmium, Antimon und Chlorverbindungen ist mittels Sortierung nur sehr beschränkt zu erreichen. Obwohl die Transportdistanz vergleichsweise kurz ist, liegt der Richtpreis inkl. Transport bei über CHF 300.-/Tonne und erreicht daher die Zielvorgaben nicht.

ZLE Zajons Logistik Entsorgungs GmbH, Embsen, Deutschland

Bei diesem Verfahren handelt es sich um einen kurzen Drehrohrofen mit Vor-Calcinierung und vorgeschaltetem Wirbelschichtreaktor. Das im Reaktor entstehende Schwachgas wird in den Vor-Calcinator geleitet, wo ein Wärmetausch mit dem Rohmehl stattfindet. Aufgrund der Vorwärmung des Rohmehls kann ein kürzerer Drehrohrofen zur Herstellung des Klinkers verwendet werden. Die Probleme mit hohen Cadmium- und Chlorwerten manifestieren sich jedoch analog zu herkömmlichen Zementöfen. Die grosse Transportdistanz führt zu ökologischen Defiziten und zu einem zu hohen Preis.

KR Wertstoffaufbereitung, Bremen, Deutschland

Neben dem energetischen Einsatz in Zementwerken ist der Einsatz von gemischten Kunststoffen auch in der Stahlindustrie denkbar. KR bereitet Sekundärbrennstoffe für Hochöfen auf. Alleine die Aufbereitung ist mit CHF 350.-/Tonne jedoch so teuer, dass keine detaillierteren Abklärungen mehr erfolgt sind.

Regionale Entsorgungsanlage Niedergösgen AG, Schweiz

Diese Anlage produziert aus verschiedenen brennbaren Abfällen (Altpapier, Altholz, Klärschlamm, Schwemmgut etc.) Dampf, der für den Betrieb der Kartonfabrik Niedergösgen eingesetzt wird. Die Anlage ist aber in den nächsten Jahren vollständig ausgelastet und kann keine zusätzlichen Stoffe mehr annehmen.

Aktueller Stand: Wahl des PCS/OCS-Verfahrens

Verfahrensbeschrieb

Aus der Prüfung der oben beschriebenen Verfahren geht das PCS/OCS-Verfahren als geeignetste Alternative hervor. Es erfüllt nach Angaben des Herstellers als einzige alle festgelegten Kriterien, d.h. vertretbare Kosten, ökologische Vorteile, Einhalten der Grenzwerte und einfache Einsammelkriterien für die Bevölkerung. Abbildung 9 zeigt das Verfahren schematisch.

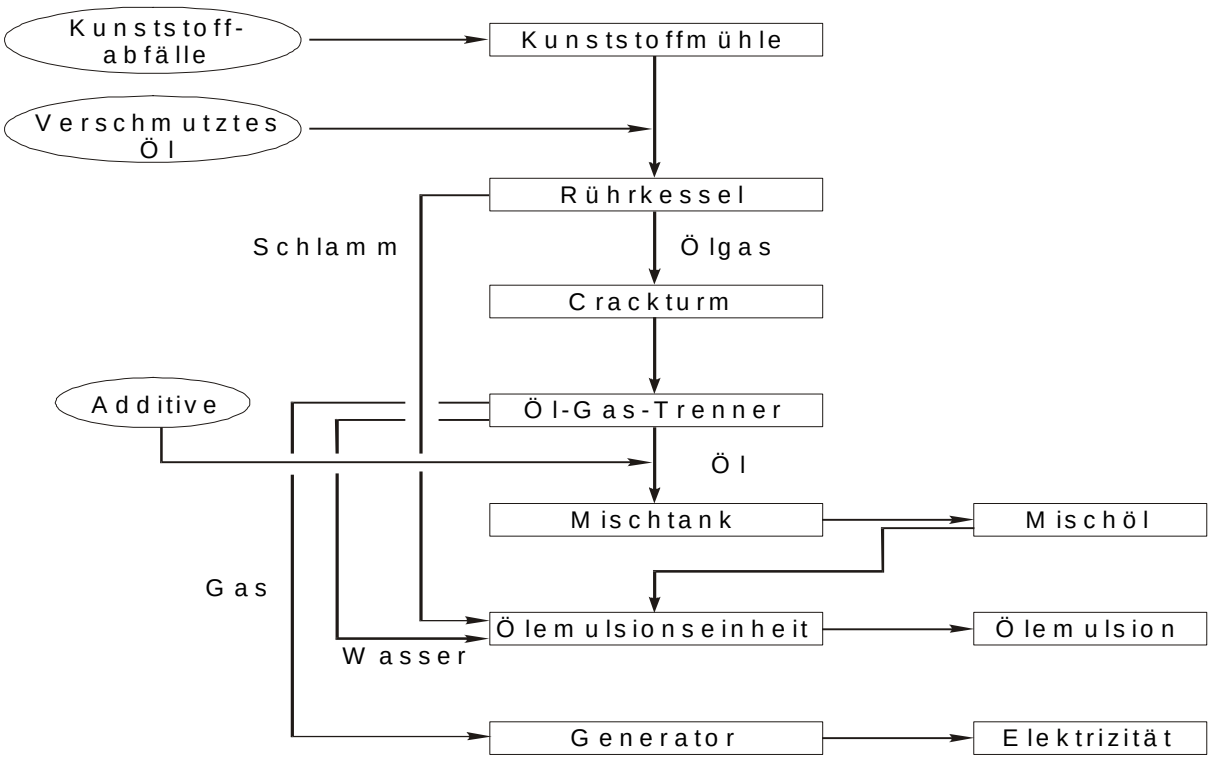


Abb. 9 *Verfahrensschema des PCS/OCS-Verfahrens (Erläuterungen im Text)*

Beim PCS/OCS-Verfahren wird der vorzerkleinerte Kunststoff - sofern verunreinigt - in einem Wasserbad gereinigt. Störstoffe (Sand, Metalle, Verunreinigungen u.a.), sowie PET und ev. PVC werden in dieser Stufe als Sink- und Schwimmschicht entfernt. (Sauberer Kunststoff wird nicht gereinigt; das Wasserbad ist nur für verunreinigte Kunststoffe notwendig.) Die gereinigten Kunststoffe gelangen mittels einer beheizten Stopfschnecke getrocknet, entgast und zerkleinert in die Anlage. Hier könnte auch noch Altöl beigemengt werden.

Im Rührkessel-Reaktor, der nach Füllung hermetisch abgeschlossen wird, findet eine Erwärmung des Kunststoffs statt, bei welcher die Makromoleküle in die Dampfphase übergehen und gekrackt werden. Die verschiedenen physikalischen Parameter (Temperatur, Druck, Verweilzeit) werden so gesteuert, dass die gewünschten Bruchstücke entstehen. Verflüssigung, Verdampfung und Cracken des Kunststoffes erfolgt bei einer Temperatur von rund 400°C (Prozesstemperatur) im Rührkessel

und im darauf aufgesetzten Crackturm. Es entsteht als Endprodukt ein Brennstoff mit einem Heizwert, der normalem Heizöl „extraleicht“ entspricht (vgl. Tab. 5). Dieser Brennstoff kann als Heizöl oder Treibstoff - beispielsweise für den Betrieb von Blockheizkraftwerken - eingesetzt werden. Im Kunststoff noch vorhandene unerwünschte Stoffe und Destillationsrückstände können über eine Schleuse abgezogen werden. In dieser Fraktion sind auch allfällig vorliegende Schwermetalle enthalten.

Die entstandenen Produkte werden in einer Kondensationsstufe mit einem geschlossenen Wasserkreislauf gekühlt. Dabei kondensieren die gewünschten Flüssigprodukte (Öl-Gas-Trenner). Der Rührkessel-Reaktor wird mit überschüssigen gasförmigen Produkten (und bei Bedarf auch mit einem Teil des flüssigen Produkts) über eine Flammenrückschlagsicherung beschickt und so beheizt. Im Fall eines Betriebsunterbruchs wird das Gas über eine Fackel verbrannt. Die Verbrennungsgase des Reaktors (und ggf. der Fackel) durchlaufen eine zweistufige Rauchgaswäsche mit Wasser und anschliessend mit Lauge.

Schliesslich wird in einem letzten Schritt das Destillat für die weitere Verwendung gelagert und allenfalls mit Zusatzstoffen (wie Anti-Oxidantien oder Frostschutzmittel) versehen. Die Anlage benötigt nur geringe Mengen an Additiven als Antioxidans und produziert nur sehr kleine Mengen an Abwasser. Abbildung 10 zeigt die kompakte Bauweise der Anlage.

Abb. 10: *Ansicht einer in einer Halle aufgestellten Virgoil-Anlage (Vorgängermodell von PCS/OCS-Verfahren). Im Hintergrund der Rührkessel mit aufgesetztem Crackturm.*

Aspekte des Betriebs

Das weiterentwickelte Verfahren benötigt weniger als 25 % des Energieinhalts des Inputs als Eigenbedarf für den Betrieb der Anlage. Für die Prozessführung werden alle Gase, Kohlenwasserstoffe mit tiefem Siedepunkt sowie die anfallenden Schlämme eingesetzt. Als Reststoffe (Mineralische Bestandteile, Metalle u.a.), fallen nur die im Wasserbad anfallenden Verunreinigung an, die sachgerecht entsorgt werden müssen. Bis zu 85 % vom Energieinhalt des Ausgangsmaterials kann als Brenn- oder Treibstoff vermarktet werden.

Die Kühlung der Anlage erfolgt mittels einem geschlossenen Kühlwasserkreislauf. Es muss dabei nur eine geringe Wassermenge (d.h. Menge, die über die Rauchgase verdampft) als Zusatzwasser ersetzt werden. Die Luftemissionen beschränken sich auf die Brennerabgase der Feuerung. Die entstehenden Rauchgase werden über ein zweistufiges Wasserbad geführt und somit gereinigt.

Die Anlage läuft automatisch; der Betrieb kann von einer Person überwacht werden. Die Verarbeitungskapazität einer PCS/OCS-Anlage beträgt zwischen 2500 und 4000 t/a und ist abhängig von der Qualität des Inputs.

Tabelle 5 zeigt die Zusammensetzung des Produkts im Vergleich zu herkömmlichen Brennstoffen. Auf Grund der geringen Investitionen und der Tatsache, dass durch den Brennstoffverkauf ein Erlös erzielt wird, kann die Anlage mit kleinen Kosten betrieben werden. Diese Kosten sollen in Zukunft nach Möglichkeit durch eine vorgezogene Entsorgungsgebühr gedeckt werden.

Parameter	**PCS/OCS**	**Heizöl / Standarddiesel**
Heizwert (kJ/kg)	40'000-42.300	ca. 42.000
Cetanwert	45-55	>40
Flammpunkt	30-60°C	>55°C
Erstarrungspunkt	- 18 bis -30°C	-30
Kohlenstoffgehalt (%)	0.1-0,3	<0.15
pour point (Wachsbildung)	0 bis -5°C	-5°C
Asche	0.001%	0.02%
Schwefel	0-100 ppm	bis 500 ppm
Viskosität (cSt bei 40°C)	2-4 (max. 6)	2,5 - 5.5
Dichte in kg/cbm (bei 20°C)	830-837	833-837
Polynukleare aromatische Kohlenwasserstoffe in %	3-6	3-6
Max. Wassergehalt in %	0,02-0,1	0,05
Kupferstreifenkorrosion	1-2	1

Tab. 5: *Produktecharakteristik von PCS-Produkten nach Herstellerangaben (Da die Produktqualität vom Input abhängig ist, sind bei einigen Parametern Bereiche angegeben, innerhalb derer sich die Werte bewegen können.)*

Die PCS/OCS-Anlage benötigt - ohne Lager und Platz für die Kunststoffabfälle sowie ohne Lagertank für den Brennstoff - ca. 60-80m^2 Grundfläche und eine Hallenhöhe von 7 m. Je nach Durchsatz und Betrieb der Anlage ist mit einer Gesamtfläche von ca. 800 m^2 zu rechnen. Die Anlage kann in bestehende Hallen integriert, oder in einer Halle in Leichtbauweise (Wetterschutz) untergebracht werden (vgl. Abb. 10).

Abbildung 11 zeigt ein Massenflussdiagramm der Anlage. Bis zu über 80% des Inputs sollen die energetisch optimierte Anlage als Produkt (Brennstoff) verlassen.

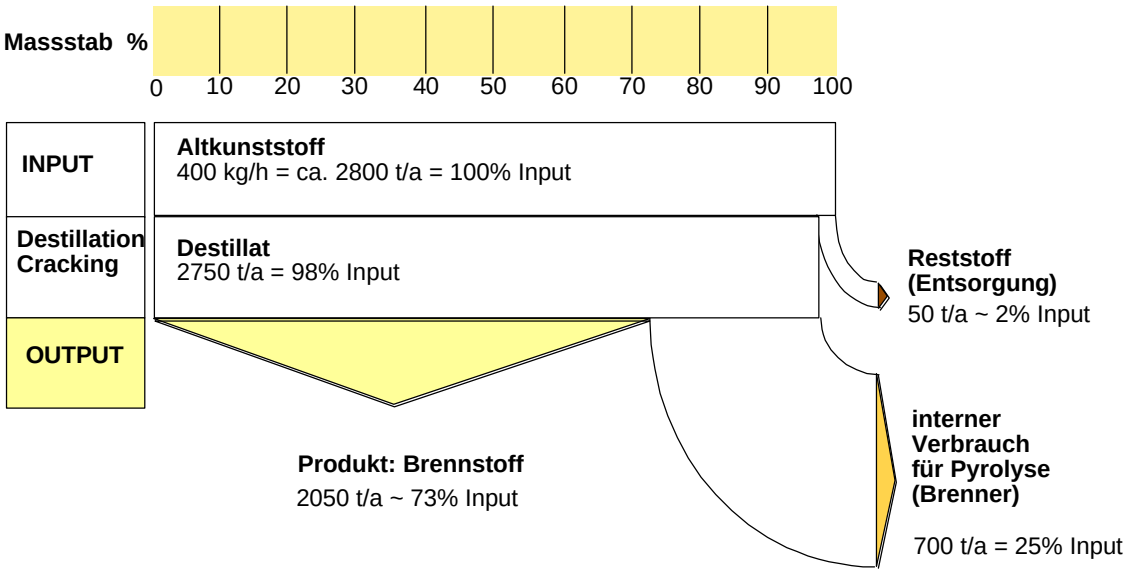


Abb. 11: *Massenflussdiagramm des PCS-Prozesses (Das Diagramm bezieht sich noch auf Messwerte des Virgol-Prozesses; gemäss Herstellerangaben von PCS sollte sich mit verbesserter Technik der Energiebedarf für den Prozess soweit reduzieren, dass mehr als 80% der Energie im Produkt vorliegt)*

Erkenntnisse und Aussichten

Die Zuger Bevölkerung zeigt eine grosse Bereitschaft, bei der Umsetzung von neuen, erfolgversprechenden Techniken zur stofflichen Verwertung mitzuwirken. Nachhaltigkeit und Schonung von Ressourcen hat sich in Zug gegenüber einer nur kurzfristig wirtschaftlichen Betrachtungsweise als konsensfähig erwiesen. Auch in den letzten Jahren mit wirtschaftlich schwierigen Rahmenbedingungen wirkten die Zugerinnen und Zuger engagiert im Konzept der Zuger Abfallwirtschaft mit. Die seit 1996 geübte Praxis des ZEBA bewährt sich: Einerseits konnte der Kosten- und Arbeitsaufwand durch Optimierungen und Synergienutzungen stetig gesenkt werden. Andererseits werden bei Annahme und Transport die Kriterien weitestgehend auf die Verwerterbedürfnisse ausgerichtet. Dadurch können die Verwertungskosten gesenkt und so die Recycling-Erlöse verbessert werden. Die interessierten, motivierten, problem- und auch risikobewussten Ökihof-Benutzer liefern in sinnvoller Zeit die nötigen Mengen und Qualitäten einer Abfallfraktion für Versuche zur Prüfung von neuen Techniken. Das Vertrauen der Kunden wird durch regelmässige, sachliche und offene Informationen gewonnen. Mit so erarbeiteten, fundierten Fakten zu einem neuen Verwertungsweg kann in der Folge auch die verursachergerechte Finanzierung geregelt werden.

Der Bundesrat hat 1996 die Branchen in einem Brief aufgefordert, Lösungen zur Finanzierung und Verwertung der verschiedenen Abfallfraktionen zu entwickeln. Beim Elektronikschrott, beim Glas, PET, Aluminium und Weissblech sind sechs Jahre später tragfähige Lösungen verwirklicht worden – wenn auch für die Gemeinden die Finanzierung der Kosten noch nicht überall ganz befriedigend gelöst ist.

Damit das Recycling glaubwürdig bleibt, müssen die Vorgaben des Kyoto Protokolls bei neuen Verwertungstechniken erfüllt werden können. Für die Fraktion Kunststoff heisst dies, dass gute, für eine flächendeckende Einführung denkbare Systeme in der Start- oder Aufbauphase im Rahmen von Entwicklungsprojekten mit einer finanziellen, ideellen und arbeitsmässigen Startunterstützung rechnen können müssen. Danach sollen die Verwertungskosten jedoch – ähnlich wie bei den erwähnten Fraktionen - durch eine auf die Fraktion bezogene Finanzierung gedeckt sein. Dies bedeutet, dass die Verwertungskosten bereits beim Kauf eines Produktes gedeckt werden müssen, damit eine neue Verwertungsart zumindest für die nächsten 10 Jahre technisch und wirtschaftlich abgesichert werden kann.

Im Fall des Kunststoffs kann dies heissen, dass analog zum Glas die Zollangaben genutzt werden könnten, um bezogen auf die Tonne Rohmaterial „Erdöl“ die finanziellen Mittel zu beziehen. Das beim Bundesrat hängige Postulat zur Auskopplung von 50'000 t Kunststoff aus dem Abfallstrom wie auch die Kreditablehnung für die Erweiterung der Kehrichtverbrennung Oftringen im Frühling 2003 zeigen, dass die Bevölkerung erwartet, dass Wege in dieser Richtung gefunden werden.

Die Erfahrungen im Kanton Zug zeigen, dass eine sortengetrennte Sammlung von Kunststoffen zum stofflichen Recycling von der Bevölkerung nicht mit sinnvollem Aufwand zu bewältigen ist, da sich die verschiedenen Kunststoffsorten nur von Fachleuten auseinander halten lassen. Die Zukunft der Verwertung von Kunststoffen liegt daher klar in der energetischen Verwertung, welche keine kostenintensive Sortierung erfordert und daher viel kostengünstiger ist. Allerdings ist auch der Aufwand für eine energetische Nutzung nicht gratis; zur Deckung der Kosten ist daher – wie bereits oben postuliert - eine vorgezogene Recycling-Gebühr zu erheben.

Das stoffliche Recycling von Kunststoff ist sehr teuer: Die gesamten Verwertungskosten für ein gut funktionierendes System wie PET Flaschen mit 40'000 Sammelstellen betragen gemäss Homepage der Vereins „PET Recycling Schweiz“ (PRS) 1'350.- CHF pro Tonne. (Dies ist mehr als das Doppelte, was die Zuger Bevölkerung für die Verwertung aller Abfallfraktionen im Durchschnitt bezahlt!) Beim Styropor – wo eine freiwillige Vorfinanzierung wie bei der gemischten Fraktion noch fehlt - belaufen sich die Kosten pro Tonne auf rund 2'200.- CHF. Bei den hier betrachteten gemischten Kunststoffabfällen liegen die Kosten beim vorgeschlagenen Verwertungsweg leicht tiefer. Bei 10 kg gesammelter Menge sollte 1.20 Franken pro Kopf und Jahr an vorgezogenen Gebühren ausgeschüttet werden können. Dieser Betrag liegt deutlich unter den Kosten für vergleichbare Sammel- und Verwertungssysteme, wie beispielsweise für Elektronikschrott.

Die PCS/OCS-Technik erlaubt es, bei einem Wirkungsgrad von bis zu 85 % Heizöl herzustellen. Dies ist ein hochwertiger Energieträger, der einfach zu speichern und transportieren ist. Zudem könnte er von einer allfälligen CO_2-Abgabe befreit werden, da diese schon bei der Herstellung des Kunststoffs erhoben würde. Ob die Technik alle Versprechungen einhalten kann, wird zur Zeit abgeklärt. Der Zuger Zweckverband für die Bewirtschaftung von Abfällen, ZEBA, hat unterdessen einen potentiellen Anlagenbetreiber gefunden. Aktuell sind verschiedene Bewilligungsverfahren im Gang. Es besteht die Absicht – sofern alle Abklärungen positiv verlaufen – spätestens im Verlauf des Jahres 2005 die Kunststoffsammlung im Kanton Zug wieder neu zu lancieren. Der ZEBA-Verwaltungsrat wird sich - wie bei Glas, Papier, Elektronikschrott usw. – mit Nachdruck dafür einsetzen, dass mittelfristig die Kosten der Kunststoffverwertung im Rahmen einer Vorfinanzierung durch die Produzenten und Inverkehrsbringer zu 100 % gedeckt werden können. Dies ist die Voraussetzung, dass nicht nur in der nahen Zukunft wieder alle Kunststoffabfälle kostenlos am Ökihof angenommen werden können, sondern dass eine langfristig tragfähige Lösung entsteht, die auch von anderen Regionen übernommen werden kann.

Quellennachweis:

arbi (1993): *Restmüll in Zug*, Anhang in einem Bericht zur Kehrichtzusammensetzung der Stadt Kloten, Dr. E. Stutz, Stadt Kloten

arbi (1997): *Hausmüllsortierungen in Zug - Sortierungen 1997*, Bericht zu Handen von ZEBA und Stadtökologie Zug, ZEBA, Cham

arbi (1999): *Recycling von Kunststoff und Tetrapackungen*, Standortbestimmung zu Handen von ZEBA und Stadtökologie Zug, ZEBA, Cham

arbi (2001): *Hausmüllsortierungen in Zug - Sortierungen 2000 und 2001*, Bericht zu Handen von ZEBA und Stadtökologie Zug, ZEBA, Cham

ARNET M., SIMON F. BACCINI P. (1998) *Entsorgungssystem der Stadt Zug - Analyse und Optimierung nach ökologischen und ökonomischen Kriterien*, Diplomarbeit, Abt. VIII, Umweltingenieure, ETH-Z, Zürich

BUWAL (1990) : *Technische Verordnung über Abfall, TVA*, 10.12.1990, EDMZ, 3003 Bern

BUWAL (1998): *Richtlinie: Entsorgung von Abfällen in Zementwerken*, EDMZ, 3003 Bern

EMPA, SSK, Rytec (2002): *Auswirkungen der thermischen und stofflichen Verwertung von Kunststoffabfällen auf die schweizerische Abfallwirtschaft*, Schlussbericht 29.2.2002

IHA-GfK (1997): *Umfrage zur Abfallsortierung im Kanton Zug*, Ergebnisse einer telefonischen Befragung (Hergiswil, 16.7.1997) ZEBA, Cham (unveröffentlicht).

IHA-GfK (1998): *Umfrage zur Abfallsortierung im Kanton Zug*, Ergebnisse einer telefonischen Befragung (Hergiswil. 17.12.1998) ZEBA, Cham (unveröffentlicht).

IHA-GfK (2001): *Umfrage zur Abfallsortierung im Kanton Zug*, Ergebnisse einer telefonischen Befragung (Hergiswil 07.12.2001) ZEBA, Cham (unveröffentlicht).

Kremer M. et al. (1999): *Recycling and recovery of plastics from packagings in domestic waste - LCA-type analysis of different strategies,* R99, Genf, proceedings Vol. I, pp.399

Siga/Zeba (1998): *Auf den Spuren der grauen Energie,* Grundlagenbroschüre sowie Anhangbroschüre mit Datentabellen, ZEBA, Cham

Walter J. (1996): *Verbrennung von Kunststoffen aus separat gesammelten Haushaltsabfällen im Zementwerk – eine vergleichende Ökobilanz*, Zug, 19. September 1996. Amt für Umweltschutz, Zug

Wäger P. et al. (1999): *Effects of thermal recovery and materials recycling of plastic wastes - a system dynamics approach,* R99, Genf, proceedings Vol. I, pp.198

Wirz C., Mark F.E., Brunner M. (1996): *Analysis of source separated mixed plastic wastes (MPW) in the city of Zug 1996*, Technikum Rapperswil

ZEBA, Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen (1997-2003): *Entsorgungsmerkblätter der Gemeinden des Kantons Zug*, gemeindespezifische Merkblätter mit Informationen zu den Entsorgungsmöglichkeiten

ZEBA, Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen (1999a): *Daten zur Kunststoffsammlung ohne PVC im Kanton Zug*, interner Bericht, Zeba, Cham

ZEBA, Zweckverband der Zuger Einwohnergemeinden für die Bewirtschaftung von Abfällen (1999b): *Verwertung separat gesammelter Kunststoffe und Grünabfälle im Kanton Zug*, Bericht durch Rytec AG, Münsingen vom 21.10.1999 (nicht veröffentlicht)

Anhang 1:

Überlegungen im Hinblick auf ein stoffliches Recycling von Teilfraktionen (Lösung 2001 / 2002) sowie Hinweise auf die Zusammensetzung der Kunststofffraktion:

Die Firma Innorecycling in Weinfelden bekundete Interesse an einzelnen Teilfraktionen wie sauberen Folien (>A4) sowie Gebinden und Hohlkörpern. Organisch verschmutzte Kunststoffe (dreckige Folien, Essig- und Ölflaschen, nicht vollständig leere Kosmetikgebinde etc.) können mit sinnvollem Aufwand nicht stofflich weiter verwendet werden und wurden daher nicht akzeptiert. Angenommen wurden jedoch (grob vorgespülte) Milchflaschen und Joghurtbecher.

Eine Sortierung der separat gesammelten Kunststofffraktion zeigte folgende Resultate:

- Rund 40 Volumenprozente des Kunststoffs sind Hohlkörper.
- Die Hohlkörper (Flaschen, Gebinde, Joghurtbecher etc.) machen jedoch mehr als 60% des Gewichts aus.
- Die Folien sind i.d.R. ineinander verknüllt und oft stark mit organischem Material verschmutzt, was eine Abgabe an Innorecycling verunmöglicht.

Es wurde daher der Schluss gezogen, dass eine separate Erfassung von grob vorgereinigten Hohlkörpern dann sinnvoll sein kann, wenn eine thermische Verwertung in Zementwerken nicht möglich ist. Die erwähnten Hohlkörper machen eine spürbare Menge des Hauskehrichts aus und sind mit relativ kleinem Aufwand erfassbar.

Die Folien aus Haushaltungen hingegen sind - im Gegensatz zu gewerblichen Folien - für stoffliches Recycling ungeeignet, da einerseits ihre Zusammensetzung nicht mit sinnvollem Aufwand erkannt werden kann, und da sie oft stark verschmutzt sind.

Die Tabelle auf der folgenden Seite gibt Anhaltspunkte zur Zusammensetzung der aktuellen Kunststofffraktion. Erste Angaben zur Zusammensetzung der Kunststofffraktion wurden 1993 in Kloten erhoben, wo nach einer Sortierung der grauen Säcke die Zusammensetzung der Kunststofffraktion mit Spezialisten der EMPA noch zusätzlich bestimmt wurde. Es wurde zwischen Einfamilienhaus- und Mehrfamilienhausquartier unterschieden (EFH bzw. MFH). Die Resultate der Sortierung im Ökihof Zug von 1995 sind auf der übernächsten Seite dargestellt.

Die Stichprobe von 2002 in Zug bezieht sich auf separat abgeliefertem Kunststoff, welcher durch sogenannte „Ökihof-Member“ abgegeben wurde (Die Members konnten den Kunststoff inkl. Folien auch noch nach Abbruch der Verbrennung in Untervaz abliefern). Diese Stichprobe gibt einen Hinweis auf die Zusammensetzung von separat erfasstem Kunststoff, wobei allerdings eingeschränkt werden muss, dass die Members nicht einer zufälligen Stichprobe aus der Bevölkerung entsprechen.

Grosse, möglichst repräsentative Proben dieses separat abgelieferten Kunststoffs wurden homogenisiert und anschliessend auf die chemische Zusammensetzung und Schadstoffgehalte analysiert. Die Resultate finden sich in Anhang 2-4.

Fraktionen	**Zug 2002 (kg)**	**Zug 2002 (%)**	**Kloten MFH**, 11.März 93	**Kloten EFH**, 11.März 93
Hohlkörper				
PE	4.6	14.1%	10.4%	9.8%
PS	1.7	5.2%	0.0%	4.8%
PVC	0.2	0.6%		
PP	0.9	2.8%	1.3%	1.9%
PET	0.8	2.5%	3.1%	1.9%
Öl/Essig	0.18	0.6%		
Total	***8.38***	***25.7%***	***16.5%***	***16.1%***
Schalen / starre Verpackungen				
Plexi	0.6	1.8%		
geschäumt	0.08	0.2%		
PP	1.6	4.9%	2.2%	1.9%
PS	1.3	4.0%	5.1%	6.5%
PET	1.2	3.7%	1.3%	0.4%
Undefiniert	2.5	7.7%		
Total	***7.28***	***22.4%***	***12.1%***	***11.2%***
Diverse Kunststoffteile				
beliebige Form	5	15.4%		
Deckel	1.2	3.7%		
Total	***6.2***	***19.0%***	***9.8%***	***20.2%***
Folien				
div. Qualität	***10.7***	***32.9%***	***46.4%***	***40.9%***
Styropor, Tragtaschen, Yoghurtbecher	inkl.	inkl.	***15.20%***	***11.60%***

Unter „diverse Kunststoffe“ fielen z.B. Kunststoffhandschuhe, Kunststoffnetze aus dem Baubereich, Früchtenetze, Haushaltschwämme, WC-Besen, Spielzeug etc.. Bei „undefinierten Schalen“ waren viele Gebinde (v.a. Migros) welche schlecht bezeichnet waren oder wo die Bezeichnung überklebt war.

Die folgende Tabelle (Erhebung 2002) zeigt den Anteil an Verunreinigungen durch Fremdstoffe, wie volle Mayonnaise-Kunststoffflaschen, „Schüfeli und Wischerli“ mit Naturborsten, CD’s, Plastikhüllen von Software mit Metallteilen, Insektizidverdampfer etc.. Zudem wurden – wohl aus Gewohnheit von früher – noch etliche Tetrapackungen mit dem Kunststoff zusammen abgeliefert (Verbund).

Verunreinigung	kg
Karton	0.3
Metall	0.2
Papier	0.2
Alu	0.3
Verbund, Rest	3.5
Total	**4.5**
Kunststoff total	32.56
% des Abfalls	**12.1%**

Vom 16.10 bis 30.11.1995 wurden auf dem Ökihof Zug Kunststoffe von Privaten und auch aus dem Gewerbe sortiert. Die folgende Tabelle zeigt die Resultate: Pro Anlieferung aus dem Gewerbe wurde rund 5,5 mal mehr angeliefert. Bei den Privaten ist der Folienanteil und beim Gewerbe derjenige der Gebinde > 5 Liter grösser. Unter „Geräte, Sonstiges" fallen Kunststoffformen wie beispielsweise Kunststoffspielzeug oder –gehäuse.

Private			
(2470 Anlieferungen)	kg	%	kg/Anlieferung.
Folien	909.1	27.1%	0.368
Gebinde < 5 Lit.	1130.9	33.7%	0.458
Gebinde > 5lLit	183.3	5.5%	0.074
Schaumstoff	144.6	4.3%	0.059
Geräte, Sonstiges	992.3	29.5%	0.402
Summe	**3360.2**	**100.0%**	**1.360**
Gewerbe			
(274 Anlieferungen)	kg	%	kg/Anlieferung
Folien	400.5	19.1%	1.462
Gebinde < 5 Lit.	655.4	31.2%	2.392
Gebinde > 5lLit	694.2	33.1%	2.534
Schaumstoff	37.0	1.8%	0.135
Geräte, Sonstiges	310.7	14.8%	1.134
Summe	**2097.8**	**100.0%**	**7.656**

In einer weiteren Untersuchung, wurde 1996 mit dem Technikum Rapperswil die Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen sowie deren chemische Zusammensetzung erhoben *(Wirz et. al. 1996)*. Heute würde sich allerdings zumindest beim PVC ein wahrscheinlich etwas verändertes Bild ergeben.

Folien			**Gebinde > 3 Liter**		
Sample = 168.9 kg	kg	%	Sample = 48 kg	kg	%
< A4	41.2	24.4%	HDPE	12.3	25.6%
> A4	109.1	64.6%	PP	4.7	9.8%
Tragtaschen schwarz	0.9	0.5%	PE	6.4	13.3%
Tragtaschen weiss	6.3	3.7%	nicht bestimmt	24.6	51.3%
Tragtaschen bedruckt	11.4	6.7%			
Gebinde < 3 Liter			**Schaumstoffe**		
Sample = 159.9 kg	kg	%	Sample = 24.2 kg	kg	%
HDPE	10.9	6.8%	PVC	0.1	0.4%
LDPE	0.4	0.3%	LPDE	8	32.8%
PVC	5.2	3.3%	PP	4.4	18.0%
PP	17.2	10.8%	PS	3.5	14.3%
PS	26.9	16.8%	PE	0.6	2.5%
PE	52.6	32.9%	PUR	6.3	25.8%
sonstige	0.6	0.4%	sonstige	1.3	5.3%
nicht bestimmt	25.5	15.9%			

Anhang 2:

Elementaranalyse EMPA von Kunststoffproben 2002

1. Probenbeschreibung und Angaben des Auftraggebers

2 pulverförmige, grau-weisse, inhomogene Proben, durchsetzt mit gefärbten Anteilen.
Probenbezeichnungen: Bachema 10831 und 10832.

2. Resultate und Analysenmethoden

Probenbezeichnung ? **Parameter** ?		**10831 mit Hohlkörper**	**10832 ohne Hohlkörper**
		Massenanteile in g/100g (%)	
Kohlenstoff	C	80.1 ? 0.8	81.3 ? 2.0
Wasserstoff	H	11.6 ? 0.7	12.7 ? 0.4
Stickstoff	N	0.58 ? 0.09	0.52 ? 0.13
Chlor	Cl	0.92 ? 0.18	1.63 ? 0.36
Fluor	F	< 0.008	< 0.008
Schwefel	S	0.02	0.02
Aluminiumoxid	Al_2O_3	0.2	0.1
Calziumoxid	CaO	0.3	0.3
Eisenoxid	Fe_2O_3	0.03	0.03
Kaliumoxid	K_2O	0.02	0.02
Magnesiumoxid	MgO	0.04	0.03
Natriumoxid	Na_2O	0.06	0.04
Siliziumoxid	SiO_2	0.4	0.2
Titanoxid	TiO_2	0.5	0.6
		Energieinhalt in MJ/kg	
Heizwert		38.9	36.9

< = kleiner als die Bestimmungsgrenze (3?)
? = Standardabweichung absolut aus 5unabhängigen Bestimmungen

Für die Analyse von Kohlenstoff Wasserstoff und Stickstoff wurden die Original-Proben im Verbrennungsofen bei ca. 1000°C katalytisch im Sauerstoffstrom verbrannt. Dabei konnte Kohlenstoff als CO_2 und Wasserstoff als H_2O mittels Infrarot-Detektion quantitativ bestimmt werden. Stickstoff konnte als N_2 mit Hilfe der Wärmeleitfähigkeitsdetektion (WLD) bestimmt werden.

Für die Bestimmung von Fluor und Chlor wurden die Proben in einer mit Natronlauge als Absorptionslösung versehenen Sauerstoff-Druckbombe verbrannt. Die dabei interessierenden Halogene Fluor und Chlor werden als ihre Salze in der Natronlauge neutralisiert und absorbiert. Die Bestimmung der Massenkonzentration von Fluor erfolgte mittels ionenselektiver Elektrode, unter Zuhilfenahme der Standardadditionstechnik, als Fluorid. Die Bestimmung der Massenkonzentration von Chlor erfolgte mittels Ionenchromatographie als Chlorid.

Der Schwefel sowie die oxidischen Anteile der Elemente wurden mittels wellenlängendispersiver Rötngenfluoreszenzanalyse (WD-XRF) bestimmt.

Bei der semi-quantitativen Auswertung wird die matrixabhängige Elementempfindlichkeit rechnerisch über theoretische Empfindlichkeitsfaktoren berücksichtigt. Obwohl es sich um eine standardlose, semi-quantitative Auswertung im Bereich zwischen 0.01-100 % handelt, kann bei gewissen Probentypen, wie z.B. bei homogenen Glastabletten oder bei polierten Metallproben, von einer quantitativen Analyse gesprochen werden mit relativen Fehlern bei den Haupt- und Nebenelementen im Bereich unter 5 %.

Bei Pulverproben, so z.B. bei den Substanzgemischen einer Staubprobe oder der Schlacke einer Verbrennungsanlage, ist mit Abweichungen in der Grössenordnung von 10-20 % zu rechnen. Der systematische Fehler ist auf die unbekannten Massenanteile der nicht gemessenen, d.h. nicht erfassten leichten Elemente wie Sauerstoff und Kohlenstoff zurückzuführen, die rechnerisch in die Bestimmung miteinbezogen werden müssen.

Aufgrund der sehr guten Präzision der WD-XRF werden bei ähnlichen Probenmaterialien, d.h. bei ungefähr gleichen Mengenanteilen der Haupt- und Nebenelemente, die relativen Unterschiede in den Massenanteilen korrekt wiedergegeben. Die WD-XRF ist eine oberflächenspezifische Analysenmethode. Die chemische Informationstiefe ist elementspezifisch und matrixabhängig. Sie liegt bei der Analyse von Feststoffen im Mikrometerbereich. Bei Pulverproben werden die Analysenresultate deshalb durch unterschiedliche Partikelgrössen beeinflusst.

Die Bestimmung des Heizwertes erfolgte nach der DIN-Methode 51900.

Für sämtliche Bestimmungen wurden zertifizierte Standardreferenzmaterialien verwendet.

Anhang 3:

Gehalt an Dioxinen und Furanen

Labor Nr. :	S1916	Probenbezeichnung:	10381
Material:	**Altkunststoff**	Referenz:	**mit Hohlkörper**
Eingang:	**24. Juni 2002**	Auftraggeber:	**ZEBA**

	Gehalt	Tox.-	**Tox. Equivalent**
	[ng/kg]	Faktor *	**[ng/kg TE]**
2,3,7,8-TCDD	< 8.8	1	< 8.8
Summe-TCDD	< 88	0	- - - -
1,2,3,7,8-PCDD	< 11.1	0.5	< 5.5
Summe-PCDD	< 111	0	- - - -
123478-HxCDD	< 37.3	0.1	< 3.73
123678-HxCDD	< 30.8	0.1	< 3.08
123789-HxCDD	< 41.6	0.1	< 4.16
Summe-HxCDD	< 366	0	- - - -
1234678-HpCDD	< 49	0.01	< 0.49
Summe-HpCDD	< 99	0	- - - -
OCDD	< 645	0.001	< 0.65
2378-TCDF	< 8.4	0.1	< 0.84
Summe-TCDF	< 84	0	- - - -
12378-PCDF	< 3.2	0.05	< 0.16
23478-PCDF	< 3.7	0.5	< 1.9
Summe-PCDF	< 35	0	- - - -
123478-HxCDF	< 24.4	0.1	< 2.44
123678-HxCDF	< 25.2	0.1	< 2.52
123789-HxCDF	< 23.4	0.1	< 2.34
234678-HxCDF	< 33.1	0.1	< 3.31
Summe-HxCDF	< 265	0	- - - -
1234678-HpCDF	< 23	0.01	< 0.23
1234789-HpCDF	< 32.3	0.01	< 0.32
Summe-HpCDF	< 110	0	- - - -
OCDF	< 319	0.001	< 0.32
	Summe Tox.	**[ng/kg TE]**	**min. 0.0**
	Equivalente TE		**max. 40.8**

Wiederfindung 2378-TCDD 13C6 : 79%

Labor Nr. :	S1917	Probenbezeichnung:	10382
Material:	**Altkunststoff**	Referenz:	**ohne Hohlkörper**
Eingang:	**24. Juni 2002**	Auftraggeber:	**ZEBA**

	Gehalt [ng/kg]	Tox.-Faktor *	**Tox. Equivalent** [ng/kg TE]
2,3,7,8-TCDD	< 7.7	1	< 7.7
Summe-TCDD	< 77	0	- - - -
1,2,3,7,8-PCDD	< 5.8	0.5	< 2.9
Summe-PCDD	< 58	0	- - - -
123478-HxCDD	< 13.6	0.1	< 1.36
123678-HxCDD	< 11.5	0.1	< 1.15
123789-HxCDD	< 16.0	0.1	< 1.60
Summe-HxCDD	< 137	0	- - - -
1234678-HpCDD	< 52	0.01	< 0.52
Summe-HpCDD	< 104	0	- - - -
OCDD	< 526	0.001	< 0.53
2378-TCDF	< 4.0	0.1	< 0.40
Summe-TCDF	< 40	0	- - - -
12378-PCDF	< 4.2	0.05	< 0.21
23478-PCDF	< 3.3	0.5	< 1.6
Summe-PCDF	< 37	0	- - - -
123478-HxCDF	< 11.5	0.1	< 1.15
123678-HxCDF	< 11.7	0.1	< 1.17
123789-HxCDF	< 9.5	0.1	< 0.95
234678-HxCDF	< 13.8	0.1	< 1.38
Summe-HxCDF	< 117	0	- - - -
1234678-HpCDF	< 13	0.01	< 0.13
1234789-HpCDF	< 35.2	0.01	< 0.35
Summe-HpCDF	< 97	0	- - - -
OCDF	< 243	0.001	< 0.24
	Summe Tox. Equivalente TE	**[ng/kg TE]**	**min. 0.0** **max. 23.4**

< = kleiner als (Zahlenwert = Nachweisgrenze); Nachweisgrenzen sind nur für Einzelisomere bestimmbar.

Die Summen-Nachweisgrenzen sind mittels VDI-Empfehlungen angenäherte Werte
* : Auswertung mit internationalen Toxizitätsäquivalentsfaktoren (ITEF).

Wiederfindung 2378-TCDD 13C6 : 87%

Bern, 22. Juli 2002 LABOR DR. MEYER AG

Sachbearbeiter : Dr. D. Stadler, Naturwissenschafter ETHZ Dr. G. Meyer

Anhang 4

Schwermetalle und weitere Parameter

Objekt : **ZEBA Cham, Altkunststoffanalyse**

Auftraggeber	**zeba**
Probenahmeort	**Zug**
Eingang Bachema	**17. Juni 2002**
Entnommen durch	**TEAM Engineering AG**
Auftrags-Nr. Bachema	**20022082**

		mit Hohlkörper	ohne Hohlkörper
Probenummer Bachema		**10831**	**10832**
Entnahmedatum		**17/06/02**	**17/06/02**
Probenmenge	**kg**	**5.3**	**7.2**
Physikalisch Chemische Parameter			
Trockensubstanz (105°C)	% von NS	**99.4**	**99.5**
Glührückstand (550 °C)	% von TS	**3.1**	**1.2**
Asche-Gehalt (850°C)	% von TS	**2.9**	**1.0**
Heiz-Wert (extern)		siehe Anhang 2	siehe Anhang 2
Allgemeine und Anorganische Parameter			
Elementanalyse CHNS (extern)		siehe Anhang 2	siehe Anhang 2
Summe C + H	%	**99.7**	**94.0**
Chlor (gesamt) (extern)		siehe Anhang 2	siehe Anhang 2
Fluor (extern)		siehe Anhang 2	siehe Anhang 2
Brom	Br mg/kg TS	**<100**	**<100**
Phosphor (gesamt)	P mg/kg TS	**<500**	**<500**
Cyanide (gesamt)	CN mg/kg TS	**0.66**	**0.30**

ISO 17025: Die mit * bezeichneten Analysen fallen nicht in den akkreditierten Bereich.

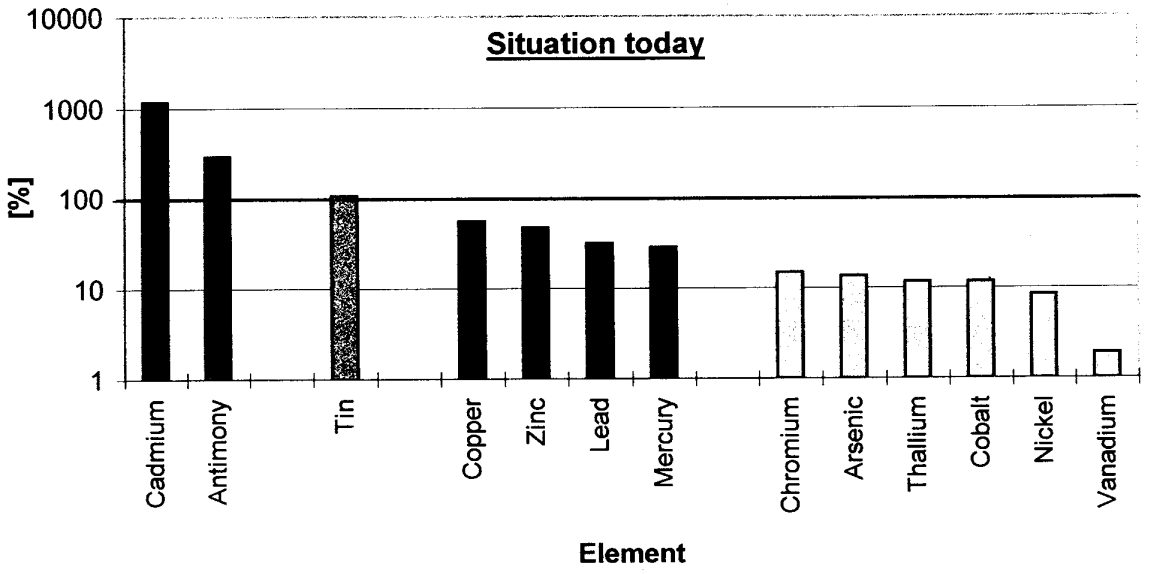
Der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) ist die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode.

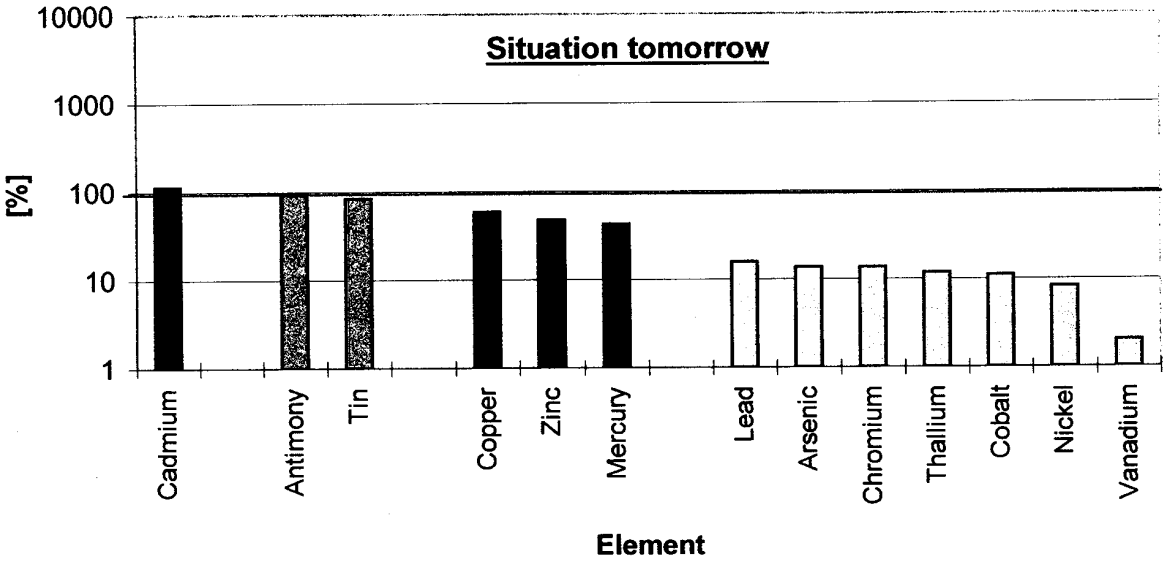
		mit Hohlkörper	ohne Hohlkörper
Elemente und Schwermetalle		mg/kg/TS	mg/kg/TS
Antimon (gesamt)	Sb mg/kg TS	**28**	**15**
Arsen (gesamt)	As mg/kg TS	**<1.0**	**<1.0**
Barium (gesamt)	Ba mg/kg TS	**77**	**17**
Beryllium (gesamt) *	Be mg/kg TS	**<5.0**	**<5.0**
Blei (gesamt)	Pb mg/kg TS	**18**	**21**
Cadmium (gesamt)	Cd mg/kg TS	**17**	**1.0**
Chrom (gesamt)	Cr mg/kg TS	**15**	**7.8**
Kobalt (gesamt)	Co mg/kg TS	**4.7**	**<2.5**
Kupfer (gesamt)	Cu mg/kg TS	**156**	**17**
Mangan (gesamt)	Mn mg/kg TS	**<5**	**<5**
Molybdän (gesamt)	Mo mg/kg TS	**<5**	**<5**
Nickel (gesamt)	Ni mg/kg TS	**3.1**	**<1.0**
Quecksilber (gesamt)	Hg mg/kg TS	**0.11**	**0.09**
Selen (gesamt)	Se mg/kg TS	**<1**	**<1**
Silber (gesamt)	Ag mg/kg TS	**10**	**12**
Tellur (gesamt) *	Te mg/kg TS	**<5.0**	**<5.0**
Thallium (gesamt)	Tl mg/kg TS	**<0.25**	**<0.25**
Titan (gesamt) *	Ti mg/kg TS	**4420**	**2290**
Vanadium (gesamt) *	V mg/kg TS	**<10**	**<10**
Zink (gesamt)	Zn mg/kg TS	**779**	**162**
Zinn (gesamt)	Sn mg/kg TS	**28**	**13**
Organische Parameter			
PCB 28	mg/kg TS	**<0.003**	**0.007**
PCB 52	mg/kg TS	**0.009**	**0.018**
PCB 101	mg/kg TS	**0.010**	**0.012**
PCB 118	mg/kg TS	**0.005**	**0.005**
PCB 138	mg/kg TS	**0.012**	**0.012**
PCB 153	mg/kg TS	**0.011**	**0.011**
PCB 180	mg/kg TS	**0.004**	**0.003**
Summe PCB nach AHR	mg/kg TS	**0.20**	**0.28**
Pentachlorphenol	µg/kg TS	**<50**	**<50**
Dioxine und Furane (extern)		siehe Anhang 3	siehe Anhang 3
Extrahierbare Ölbestandteile *(hochgerechnet aus wässerigem Eluat)*			
Kohlenwasserstoffe Gesamt	mg/kg TS	**310**	**180**
% Aromaten KW-Gesamt	% Anteil	**<20**	**<20**
Kohlenwasserstoffe Rohextrakt **	mg/kg TS	**1270**	**430**
% Aromaten KW-Rohextrakt	% Anteil	**<20**	**<20**
DOC (mit Wasser extrahierbarer organischer Kohlenstoff)	C mg/kg /TS	**2870**	**1060**

Die folgende Tabelle zeigt durchschnittliche Schwermetallgehalte von Kunststoffabfällen in den 90-er Jahren *(Wirz et al., 1996).* Wie die beiden Säulendiagramme *(ibidem)* zeigen, wurde 1996 („Situation today") mit einer Abnahme des Gehalts von Schwermetallen gerechnet („Situation tomorrow") – was etwa der heutigen Situation entsprechen sollte. Die aktuellen Analysen der gesamten Fraktion inklusive Hohlkörper (vorhergehende Seite) zeigen allerdings, dass der Rückgang weniger schnell als erwartet vonstatten geht.

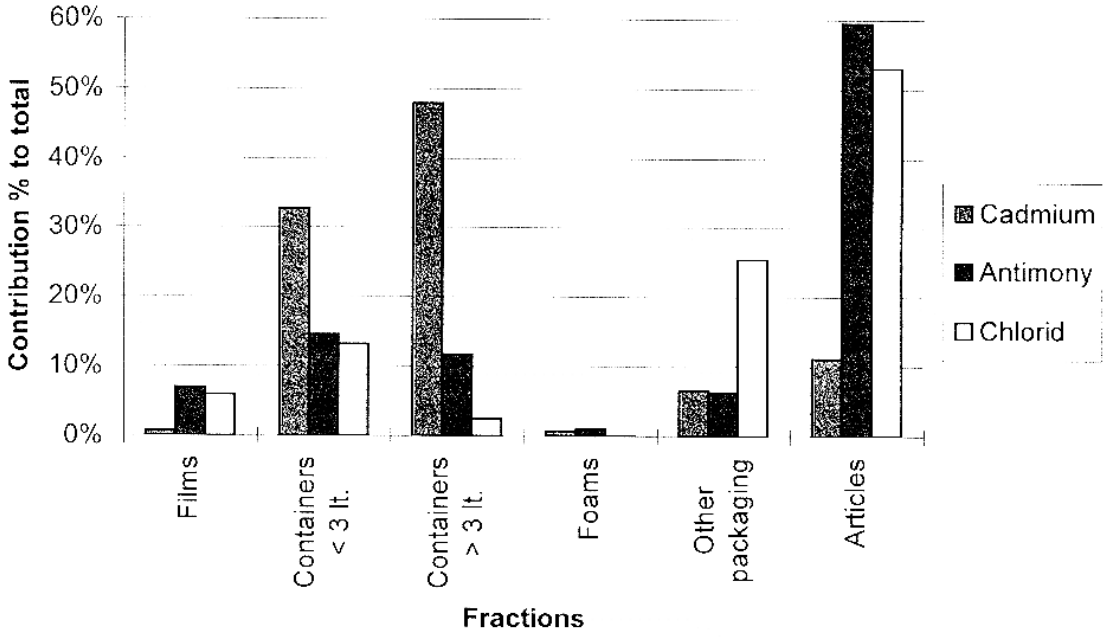
Value in [mg/kg]

Heavy Metal	Average Belgium	Average Germany	Netherlands	Switzerland Graubünden	**Switzerland Zug**	Average all studies
Antimony	57	42,5	10	19	**20,5**	30
Arsenic	n.a.	n.a.	n.a.	< 20	**2,9**	3
Cadmium	24	25	10	15	**33,5**	22
Chromium	32	37	100	37	**21**	45
Cobalt	6	3	n.a.	7	**3,3**	5
Copper	176	25,5	100	37	**77,9**	83
Lead	350	286	59	76	**88,7**	172
Manganese	n.a.	n.a.	n.a.	38	**6,1**	22
Mercury	n.a.	n.a.	n.a.	1	**0,2**	1
Nickel	10	44	50	26	**12**	28
Thallium	n.a.	n.a.	n.a.	< 0,4	**0,5**	1
Tin	56,5	42	0	20	**15**	27
Vanadium	n.a.	n.a.	n.a.	4	**2,7**	3
Zinc	207	383	127	307	**264,7**	258





Das folgende Säulendiagramm zeigt auf, in welchen Fraktionen der Cd, Sb und Cl-Gehalt besonders hoch ist. Antimon findet sich zusammen mit Chlor (PVC!) vor allem bei den „Articles“, d.h. bei Gehäusen von Elektronic- und Haushaltgeräten und anderen Gerätschaften. Cadmium ist andererseits vor allem in Gebinden > 3 Liter zu finden (farbige Eimer, Kunststoffharassen etc.).



Der relativ langsame Rückgang von Cd und Sb, sowie von Cl – trotz starkem Rückgang von PVC bei neuen Kunststoffen - kann eventuell mit der Tatsache erklärt werden, dass diese Stoffe vor allem Gegenständen mit einer längeren Lebensdauer vorkommen, welche erst nach vielen Jahren entsorgt werden. Die bei heutigen Neuprodukten vorhandene Reduktion dieser Problemstoffe kommt daher nur langsam zum Tragen.

Arbeitsgemeinschaft Bioenergie
CH-6340 Baar, Tel: 0041(0)41 7632121, Fax: 0041(0)41 7632133
Internet: http://www.arbi.ch E-Mail: info@arbi.ch

Anhang 5:

Recycling von Kunststoff und Tetrapackungen

Standortbestimmung zu Handen von ZEBA und Stadtökologie Zug

Kunststoffrecycling

Eine erste Literaturrecherche hat einen aktuellen Artikel zutage gefördert, welcher sich auf das Problem der verschiedenen Verwertungswege bezieht. Es zeigt sich dabei, dass das Recycling im Sinn der Herstellung neuer Rohstoffe aus dem Haushaltsplastik - wie bei unserer Besprechung bereits als Vermutung geäussert - kaum eine Lösung sein kann. Im Vordergrund steht eine thermische Verwertung. Aus meiner Sicht offen ist die Frage, ob allenfalls mit Vergasung/Pyrolyse und gezielter Energienutzung bzgl. Umwelt befriedigendere Resultate erzielt werden könnten als mit einer Verbrennung in der KVA - welche sich anbieten würde, wenn der Weg über die Zementindustrie wegfallen sollte.

Kunststoffanfall in der BRD

Gedanken aus: ***J. Bandrup (1999): Verfahrenswege der Kunststoffverwertung aus ökonomischer und ökologischer Sicht, in Wiemer und Kern: Bio- und Restabfallbehandlung III, Baeza Verlag, pp. 173-182***

- in der BRD werden rund 9 Mio t/a Kunststoffe verarbeitet.
- 3,2 Mio t/a Abfälle
- 1,85 Mio t/a wiederverwertet (v.a. aus Produktion etc.)
- Verpackungen stellen nur 24,6 % der Kunststoffanwendungen dar.

Bei den Erzeugern entsteht relativ wenig Abfall (44 kt/a); mehr bei den Verarbeitern (835 kt/a). Diese Abfälle werden rezykliert, was sowohl ökonomisch als ökologisch sinnvoll ist. Bei beiden Gruppen fallen noch 75 kt/a an Abfällen an, welche entsorgt werden müssen. Etwa 60% der Kunststoffe wird für langlebige Zwecke eingesetzt; 25% kurzlebig. Etwa ein Viertel der Kunststoffe geht in die Bauwirtschaft Etwa 5-6% (Gewicht) des Haushaltabfalls ist in der BRD Kunststoff.

Verwertungsmöglichkeiten

Es bestehen neben der Entsorgung prinzipiell drei Verwertungsmöglichkeiten:

- **Werkstofflich:** Erzeugung von Granulat zwecks Erzeugung von neuem Kunststoff. Ist nur bei sortenreinen Kunststoffen in der Produktion und Verarbeitung sinnvoll.

- **Rohstofflich:** Spaltung der Polymerketten, um aus den entstehenden Monomeren wieder neue petrochemische Grundstoffe (Öle und Gase) und Produkte (z.B. Treibstoff) herzustellen. Verfahren: Hydrierung, Pyrolyse/Vergasung.
- **Energetisch:** Verbrennung oder Pyrolyse in KVA, Industrie oder einem speziell zu errichtenden Kraftwerk.

Kosten

In der BRD ist anscheinend eine Quote von 36% der Verpackungsabfälle festgelegt, welche werkstofflich verwertet werden muss. Diese Sammlung, Sortierung und Verwertung kostet 2 Mia DM oder DM 270.-/t. Allerdings werden nur 23% des Inputs schliesslich werkstofflich verwertet, wovon 1/3 für ökologisch fragwürdige Verwendungszwecke. Die 100'000 t/a, welche wirklich Primärwaren ersetzen, kosten damit rund 2'000 DM/t.

Energieeinsparungen:
- Thermische Nutzung: 300'000 t/a
- Rohstofflich: 400'000 t/a
- Werkstofflich: 500'000 t/a

Der Mehraufwand für die werkstoffliche Nutzung beträgt aber 2 Mia DM, was für den zusätzlichen Nutzen zu Herstellungskosten von DM 10.- pro Liter Heizöl führt !

Fazit: Da bei den Haushaltsabfällen mehr als 60% des Kunststoffs weniger als 10g wiegen, ist die Zerlegung in sortenreine Fraktionen bei heutigem Stand der Technik unrentabel, bzw. kaum machbar. Eine Substitution von Brennstoff ist zur Zeit die sinnvollste Lösung. Dies ist allerdings die Situation in der BRD, wo im gelben dualen Sack neben Kunststoffen auch noch andere Fraktionen eingesammelt werden und daher die Sortierung aufwendiger ist.

Situation Recycling Schweiz

Nach Auskunft von Herrn Wehrli, Poly Recycling Weinfelden, sei die Situation in der Schweiz besser (Tel. 5.5.99). Vom Zuger Kunststoff-Müll inkl. Tetrapackungen könne etwa 60% für die Granulatherstellung genutzt werden bei einem Sortierpreis von schätzungsweise 230.-/t. Es laufe jetzt ein einjähriger Versuch in Thun. Vom Rest müsse (infolge Belastung mit Schadstoffen) nur 3% zwingend in die KVA (v.a. PVC wegen Chloremissionen in den Zement).

Probleme

Nach unserer Ansicht ist diese Optik zu optimistisch. Ein grosses Problem bei der werkstofflichen Verwertung liegt darin, dass heute der grössere Teil der Kunststoffarten nicht aus einer einzigen, sortenreinen Art von Monomeren besteht (z.B. Ethylen, Propylen, Styrol etc.), sondern, dass (vermehrt) für bestimmte Einsatzzwecke entwickelte Mischpolymerisate eingesetzt werden, welche aus Mischungen von zwei und mehr Monomer-Typen bestehen. Dazu kommen ev. Zuschlagstoffe, wie organische und/oder mineralische Weichmacher etc..

Gewisse Kunststoffe (PVC, PP, PS, PE) sind zudem in gewissen Kombinationen untereinander in einem hohen Mass unverträglich **(*Härdtle G. et al., 1989: Recycling von Kunststoffabfällen, Beiheft 27 zu Müll und Abfall*)**, was bei Fehlsortierungen zu negativem Einfluss auf die Kunststoffqualität führt.

Erschwerend kann dabei sein, dass Kunststoffe in Verbundform auftreten können. (Vgl. auch: ***Marti J. (1991): Sinn und Unsinn des Kunststoffrecyclings, Abfallspektrum, 4/91*)**.

Zudem ist ein Produkt nicht gleich einem Produkt mit demselben Namen: Zum Beispiel ist PE nicht gleich PE: die Kettenlängen und Verzweigungsgrade der Kohlenwasserstoffmoleküle können je nach Hersteller und Technologie stark voneinander abweiche. Wenn auch sortenreines PE gewonnen werden kann, kann damit kaum mehr ein PE mit jenen Spezifikationen hergestellt werden, welche bei einer Neusynthese des Granulats erfüllt werden können. (Mischpolymerisate vgl. Beilage 2: Auszug aus ***Schnurer H. (1999): Ausblick auf die künftige Verpackungsabfallentsorgung aus nationaler und europäischer Sicht*, *in Wiemer und Kern: Bio- und Restabfallbehandlung III, Baeza Verlag*)**.

Zudem ist zu bedenken, dass die Kunststoffe eingefärbt sein können (z.B. Blumentöpfe, Eimer, Waschmittelflaschen etc. aus PP). Dies schränkt ein sinnvolles Recycling zusätzlich ein.

Die beiden vorangehenden Abschnitte beziehen sich auf die im Verpackungsbereich vorwiegend eingesetzten **Thermoplaste**. Bei den Duroplasten ist eine werkstoffliche oder rohstoffliche Nutzung kaum möglich: **Duroplaste** (Bakelit, Phenoplaste, Aminoplaste etc.; z.B. gewisse Gehäuseteile etc.) behalten wegen der inneren Vernetzung ihre Form, bevor sie verkohlen. Sie sind damit nicht zu neuen Formen einschmelzbar. Man kann sie allenfalls zu Granulaten zermahlen, welche als Füllstoffe eingesetzt werden.

Ebenfalls sind **Elastomere** (gummiartige Kunststoffe) nicht wiederverwendbar, da sie - wenn auch weniger stark - wie Duroplaste ebenfalls innerlich dreidimensional vernetzt sind.

Markt

Es stellt sich daher nach unserer Ansicht die Frage, ob noch ein genügend grosser Markt für (minderwertiges) Recycling-Granulat vorhanden ist, sofern das Recycling flächendeckend eingeführt wird, bzw. welche Folgen für die Entwicklung des Granulatpreises abzusehen sind. Diese Vermutung bestätigt sich mit dem Brief der Poly-Recycling an die ZEBA vom 14.5.99, wo unter anderem festgehalten wird: *...Die Preise für neues Granulat sind immer noch nicht stabil und tendieren weiterhin abwärts. Auf dem europäischen Markt besteht nach wie vor ein Überhang von allen Kunststoffprodukten ..... Die Preise sind gegenüber dem Vorjahr um 40-50% geschrumpft und die Zukunftsaussichten bleiben weiterhin trüb...*

Nach N.Mayne, Association of plastic manufacturers in Europe, besteht ein Markt für gewisse Produkte, wie unverschmutzte Landwirtschaftfolien, industrielle LDPE-Folie oder klare PET-Flaschen ***(N.Mayne, (1999): The potential for post-user plastics waste recycling in western Europe in the period up to 2006, R99, Genf, proceedings Vol. I, pp.48)***. Er hält ausdrücklich fest: *...It is unlikely that the mechanical recycling of small food packaging is ever justified, either in economic or environmental terms. (P.53).*

unerwünschte Produkte

Die Anforderungen an das zu recyclierende Material steigen bei gleichzeitig fallenden Preisen: nicht erwünscht sind neuerdings z.B. Waschmittel-, Getränke- und Shampooflaschen aus PET; Schläuche, Öl-/Essigflaschen, Spielzeuge, Klarsichtmappen etc. aus PVC; Lebensmittelverpackungen von Fleisch und Käse aus PE/PA, Gehäuse aus ABS/ASA; Gummiprodukte; CD's, Milchflaschen, Sichtfenster aus Polycarbonat; Sagex, Styropor, Poly-Urethan etc. Bei gewissen Kunststoffen sind Einschränkungen da, wie z.B. bei PE-HD, wo die grauen, flammhemmenden Rohre auch wegen Verputzrückständen unerwünscht sind (Orientierungsblatt der Polyrecycling AG).

biologisch abbaubare Kunststoffe

Fraglich ist ebenfalls der Einfluss der Einführung von sogenannt bioabbaubaren Kunststoffen: Damit wird einerseits die Palette von Kunststoffen zusätzlich erweitert. Andererseits ist anzunehmen, dass die - gegenüber Thermoplasten vollkommen anders aufgebauten - Bio-Kunststoffe stärker stören, sofern sie versehentlich in eine falsche Fraktion geraten, als Fehlsortierungen von Thermoplasten untereinander.

Ökobilanz

Noch offen sind Fragen im Zusammenhang mit der Ökobilanz der Kunststoffwiederverwertung. Die Aufarbeitung von Kunststoffen erträgt viel weniger Schmutz als jene von Glas oder Metall. Damit ist neben einem grossen Aufwand zur Trennung der einzelnen Fraktionen u.a. auch ein beträchtlicher Wasser- und Energieaufwand gegeben. Zur Zeit läuft diesbezüglich ein Projekt an der EMPA St. Gallen, wobei sich das Projekt erst im Stadium der Evaluation der Methoden befindet ***(Förster R., Ishikawa M. (1999): The methodologies for impact assessment of plastic waste management options - how to handle economic and ecological impacts?, R99, Genf, proceedings Vol. I, pp.220*)**.

Ökobilanz der Verwertungswege

Vom Fraunhofer Institut, Freising, sind verschiedene Wiederaufbereitungsmethoden und die thermische Nutzung in einer Ökobilanz verglichen worden. ***(M.Kremer et al. (1999): Recycling and recovery of plastics from packagings in domestic waste - LCA-type analysis of different strategies, R99, Genf, proceedings Vol. I, pp.399*)** (Beilage 3). Allerdings fehlen Sensitivitäten und verschiedene Angaben zu Annahmen. So ist beispielsweise nicht einmal erwähnt, was die Zusammensetzung der funktionalen Einheit „1kg plastic wastes" war (relativ reine Verpackungsfraktion von Grossverteilern oder „dreckige" Haushaltsverpackungen), oder von welchem Typ KVA ausgegangen wurde (Rauchgasreinigung?), etc.. Es wird jedoch festgehalten, dass „*energy recovery becomes comparable to feedstock recycling if the available energy (mainly heat) will replace heat from virgin fuels to a high extent*" (p.403, Beilage 3). Die Studie ging bei der KVA von 17% thermischer und 17% elektrischer Nutzung aus.

Fazit

Ganz allgemein kann auf jedem Fall festgehalten werden, dass der Kunststoffabfall aus Haushaltungen ein sehr heterogenes Gut mit daher sehr hoher Entropie ist. Um diese Entropie zu erniedrigen, d.h. um Ordnung zu schaffen, ist viel Energie nötig. Aus einer gewissen Distanz betrachtet scheint es wahrscheinlich sinnvoller zu sein, den Energieinhalt des Kunststoffs aus Haushalten über thermische Verwertung möglichst vollständig zu nutzen und so fossile Energieträger zu substituieren, als unter Einsatz von sehr viel Fremdenergie zur Separierung und Aufbereitung ein Produkt zu gewinnen, welches nach Abzug des Aufwandes grosse ökologische und ökonomische Vorteile bringen kann

Thermische Verwertung von Kunststoffen

Konzepte

N. von Thielen (1999): Recycling of post-consumer-plastic waste in Germany - a foresight study, R99 (Beilage 4) vergleicht verschiedene Szenarien: Verbrennung mit unterschiedlichem Wirkungsgrad der Energienutzung und verschiedene Grade des Recyclings. Sieger bzgl. Energie- und CO_2-Einsparung ist hoher Wiederverwertungsgrad (sowohl Back To Polymer [BTF] als Back To Feedstock [BTF] kombiniert mit Verbrennung bei gutem Wirkungsgrad. Knapp dahinter rangiert jedoch tiefer Wiederverwertungsgrad kombiniert mit guter Verbrennung. Da von Thielen die Kosten *nicht* berücksichtigt hat[3], darf davon ausgegangen werden, dass bei ganzheitlicher Betrachtung unter Einbezug der Kosten die zweitgenannte Lösung weit obenauf schwingt.

Pyrolyse

Bei heutigem Wissensstand hat die Verbrennung von Kunststoffen kurz- und mittelfristig einen höheren Stellenwert als die Pyrolyse. Bei der Pyrolyse scheinen noch verschiedene Fragen bezüglich der optimalen Betriebsbedingungen offen zu sein (vgl. z.B. ***F.Pinto et al. (1999): Effect of experimental parameters on plastics pyrolysis reactions, R99, Genf, proceedings Vol.II, pp.248)***. Die Pyrolyse bringt infolge der anoxischen Zustände Vorteile gegenüber der Verbrennung speziell bei Kunststoffen mit hohem PVC-Anteil (kaum Dioxine). Es kommen verschiedene Technologien zum Einsatz. Im Grossmassstab erprobt sind aber erst wenige der Verfahren **(*Jaspers H. (1999): PVC Feedstock recycling - a selection of technologies, AKZO Nobel Chemie, R99, Genf, proceedings Vol.II, pp.22)*** (vgl. Beilage 5). Produkte sind neben Gas, welches immer entsteht, unterschiedliche Anteile flüssige und ev. feste Produkte (Schlacke). Die Plasma-Strahl Pyrolyse, welche nur Gas erzeugen würde, ist erst im F&E Zustand.

Hochtemperaturprozesse

Neu werden vermehrt Hochtemperatur-Prozesse in Abwesenheit von Sauerstoff in Betracht gezogen: Zugabe des Kunststoffs in flüssige Metall- oder Schlacke-Bäder bei 1400? C oder Hochtemperaturpyrolyse bei 900? C erzeugt Syngas plus - in Abhängigkeit des PVC- Anteils - Salzsäure. Der Flüssigmetallprozess ist vor allem auch interessant im Zusammenhang mit dem Recycling von Autos, welche ohne vorgängige Zerlegung in die Metallschmelze gegeben werden könnten. Produkt ist eine Schmelze mit hohem Eisenanteil und Syngas welches zur Synthese oder zur thermischen Nutzung eingesetzt werden kann (div. Papers R99).

Verbrennung in der Schweiz

In der Schweiz realisiert ist die Verbrennung in Zementwerken oder – zusammen mit anderem Abfall - in der KVA. Die separat gesammelten Abfälle des Kantons Zug werden in einem 5-jährigen Versuch in der Zementfabrik Untervaz verbrannt. Von der Zementfabrik sind Vorbehalte angebracht worden bezüglich der durch die Kunststoffe (mit-)verursachten Schwermetallbelastung. Es ist nicht klar, ob die Belastung rein aus materialtechnischen Gründen kritisch ist (und wenn ja: aus welchen?) oder ob gesetzliche Grenzwerte nicht eingehalten werden können.

1 Es ist zudem fraglich, ob die ökologischen und energetischen Folgekosten des Reinigens und des Recyclings voll bilanziert wurden.

In der Schweiz realisiert ist die Verbrennung in Zementwerken oder - zusammen mit anderem Abfall - in der KVA. Die separat gesammelten Abfälle des Kantons Zug werden in einem 5-jährigen Versuch in der Zementfabrik Untervaz verbrannt. Von der Zementfabrik sind Vorbehalte angebracht worden bezüglich der durch die Kunststoffe (mit-)verursachten Schwermetallbelastung. Es ist nicht klar, ob die Belastung rein aus materialtechnischen Gründen kritisch ist (und wenn ja: aus welchen?) oder ob gesetzliche Grenzwerte nicht eingehalten werden können.

Schwermetalle

Die ZEBA hat Massnahmen ergriffen, um die Schwermetallgehalte im Abfall zu senken. Aus Daten des ZEBA wird ersichtlich, dass die Schwermetallgehalte der Kunststofffraktion recht stark streuen. Einzelne „Ausreisser" verfälschen das Bild. Es wird empfohlen - wie bei der Kompostanalytik ebenfalls üblich - nicht auf arithmetische Mittelwerte, sondern mit Medianwerte zurückzugreifen. Obwohl die Datenmenge bei den beobachteten Schwankungen wahrscheinlich für verlässliche Aussagen zu klein ist, scheint doch ein rückläufiger Trend zu beobachten sein.

Nach Auskunft BUWAL (Tel. mit H.P. Fahrni) sind heute nur noch sehr wenig Schwermetalle in den Kunststoffen. Die Belastung scheint daher - je nach Schwermetall mehr oder weniger - vor allem aus alten, d.h. nicht kurzlebigen Kunststoffgebrauchsgütern zu stammen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Gehalte in Zukunft rückläufig sein werden. Nach einer Graphik der ZEBA *„Performance of plastics as fuel in cement kilns - contribution of different fractions to the total"* stammt rund die Hälfte des (anscheinend problematischen) Cadmiums aus Behältern <3 ltr und weitere 32,8% aus Behältern >3 ltr. (vgl. Anhang 4). Dies deckt sich mit den Angaben des BUWAL, wonach Cadmium v.a. aus Leuchtfarben (farbige Kübel) sowie noch aus Kunststofffensterrahmen (bessere Stabilität/Alterungsschutz) stammt. Antimon wird als Glanzbildner auf PET eingesetzt - ist aber anscheinend weniger problematisch. Molybdän kommt hauptsächlich von roten Farben.

Ökobilanz Zement

An der EMPA St.Gallen laufen Vergleichsuntersuchungen zum Recycling von Kunststoffabfällen bzw. zur thermischen Nutzung in KVA und Zementwerk ***(Wäger P. et al. (1999): Effects of thermal recovery and materials recycling of plastic wastes - a system dynamics approach, R99, Genf, proceedings Vol. I, pp.198)***. Da auch diese Studie, wie die weiter oben erwähnte Arbeit der EMPA, erst ein Zwischenbericht ist, können noch keine definitiven Schlüsse gezogen werden über den Vergleich KVA und Zementwerk. Die Autoren geben einige (im Bericht nur sehr lückenhaft dokumentierte) Graphiken zum energetischen und ökonomischen Vergleich vor (auf doppelte Grösse vergrössert als Beilage 7); allenfalls könnte jedoch eine Rückfrage bei der EMPA wertvolle Zusatzinformationen liefern.

Papierfabriken: Perlen

Es ist sicher empfehlenswert, nicht nur mit der Zementindustrie, sondern auch mit anderen Industrien, welche einen grossen Bedarf an Energie haben, das Gespräch zu suchen. Vorteilhaft wäre u.U. eine Applikation, wo das Industrieprodukt nicht direkt mit den Verbrennungsgasen in Kontakt kommt (Dampferzeugung etc.). In der Papierfabrik Perlen wurde ein Rückstandsverbrennungsofen installiert, welcher zu 100% mit Abfällen betrieben wird und 50% des Energiebedarfs der Fabrik deckt.

Perlen produziert Altpapier und verbrennt neben kurzfasrigen Papierschlämmen (die mit Schneckenpresse auf 60% TS abgepresst werden) v.a. Altholz, heute aber vermehrt auch Kunststoffe. Die restlichen 50% werden mit Öl in einem separaten, älteren Kessel erzeugt. Die Rückstandsverbrennungsanlage (Wirbelschicht) verfügt über einen Elektrofilter und Denox-Anlage. Die Stäube gelangen in die Deponie (weil die Richtlinien des BUWAL bzgl. Schwermetallen nicht mehr die Entsorgung via Zementindustrie erlauben; Auskunft Hr. Niederer, Utzensdorf). Es könnten problemlos auch Kunststoffabfälle von Zug verbrannt werden. Die Altholzverbrennung bringt Fr. 100.-/t ein. (Verantwortlicher für Energie und Umwelt, Herr Scherrer, 041 455'80'00).

Utzensdorf

Gemäss Auskunft von Herrn Niederer, Sicherheitsbeauftragter Utzensdorf, hat Utzensdorf eine ähnliche Anlage wie Perlen - aber weniger Abnutzungsprobleme, da sie mit kleineren Geschwindigkeiten im Wirbelschichtofen fahren. Dies führt allerdings zu Problemen mit Plastik, da sich dort der Kunststoff wie eine Schrumpffolie an Alkaliansammlungen an Sandkörner legt und dann den Ofen verpappt. Utzensdorf nimmt keine externen Brennstoffe mehr. Tela hingegen verbrenne Spuckstoffe (Kunststoff), habe aber ähnliche Probleme.

CA

Die Cellulose Attisholz, CA, hat gemäss Auskunft von Herrn Binder zwei Öfen: der eine wird zu 4/5 mit hauseigenem Lignin betrieben und der Wirbelschichtofen mit Rinden und Klärschlamm. Beide Öfen sind je nach Bedarf (Wassergehalt) mit Schweröl gestützt. Das Abwasser wird zur Hälfte mit Erdgas und zur Hälfte mit Lignozellulose eingedampft. Es bestehe bei heutiger (funktionierender) Technologie kein Bedarf an anderen Brennstoffen.

RENI

Nach Auskunft von Herr Baumeler, RENI (Regionale Entsorgung Niedergösgen, 062 8583060), wird dort in einem intern zirkulierenden Wirbelschichtofen Klärschlamm verbrannt. Der Dampf geht in die Kartonfabrik Niedergösgen (z.Zt. ohne Elektrizitätgewinnung, da dies nach Berechnung von Herr Adam, GL, nicht rentabel sei). Zur Schlammverbrennung ist Zusatzenergie nötig. Versuche zeigen, dass Kunststoff, insbesondere auch PVC, keine Probleme bei der Stützfeuerung bringt. RENI wäre interessiert, auf das Jahr 2000 mit Zug ins Gespräch zu kommen.

Fazit

Es besteht einerseits die Möglichkeit, dass andere Zementwerke, welche über eine andere Verfahrenstechnik verfügen oder unter anderer Leitung stehen, gegenüber Kunststoffverbrennung eine andere Haltung einnehmen (z.B. ein Zementwerk wie Wildegg, welches neu eine Pyrolyse der Verbrennung vorschaltet). Es bestehen aber bei geeigneter Suche neben der Zementindustrie sicher auch noch andere sinnvolle Entsorgungswege. Es wäre in diesem Zusammenhang ratsam, mit einem Herrn Vock Kontakt aufzunehmen, welcher i.A. des BFE Industriefeuerungen untersucht hat. Zudem solle eine EKV (statistische Energieerhebung?) bestehen, wo die in Frage kommenden Industrien aufgelistet seien.

TetraPak's

Es ist tatsächlich so, dass in Österreich die Tetrapak-Tüten >1 Liter separat erfasst werden. Die Firma Ökobox ist seit 1992 im Markt. Gemäss Auskunft von Herrn Brunner

Oekobox GmbH
Prinz Eugenstr.18, A-1040 Wien,
Tel: 0043 1 5051280, Fax: 0043 1 5055970

können auf den Postämtern gratis Schachteln für rund 100 flachgedrückte Tetrapackungen bezogen und in gefülltem Zustand gratis spediert werden. Die Packungen werden dann in eine Papierfabrik gesandt, wo sie im diskontinuierlichen Pulper (mit überdurchschnittlicher Aufenthaltszeit) aufgeschlossen werden. Plastik und Alu wird abgetrennt und anschliessend verbrannt, bzw. rezycliert. Die Zellulosefasern von Tetrapackungen sind darum für die Papierfabrik interessant, weil für Tetrapackungen Primärrohstoff ohne Zugabe von Recycling Karton/Papier mit einer guten, d.h. langen Faserqualität verwendet wird. Das bedeutet, dass ein hoher wiederverwertbarer Faseranteil anfällt.

Die Kosten werden als vorgezogene Entsorgungsgebühren im Verpackungspreis erhoben. Die Einsammlungslogistik inkl. Gebinde und Transport kostet ca. Fr. 2'000.-/t, was umgelegt auf die einzelne Packung relativ wenig ist, aber aus Sicht der Entsorgung einen stolzen Preis darstellt.

Herr Brunner steht für weitere Auskünfte gerne zur Verfügung. Daneben scheint im Vorarlberg eine Firma Pobit (?), 0043 55 7784898 ebenfalls in diesem Bereich tätig zu sein.

Schlussfolgerungen:

- Bei heutigem Stand der Wiederaufbereitungstechnologien scheint kurz- bis mittelfristig die thermische Nutzung der Kunststoff- und Tetrapackfraktion aus Haushalten am sinnvollsten zu sein.

- Bei der thermischen Nutzung ist von grösster Bedeutung, dass der Energieinhalt des Plastiks möglichst vollständig genutzt werden kann. (Andernfalls können Recycling-Technologien ökologisch sinnvoller sein).

- Kunststoffabfall eignet sich - im Gegensatz zu gemischtem Hausmüll - zum Einsatz in Industriefeuerungen (Wenig Asche und Schlacke).

- Es ist daher vorzuziehen, den Kunststoffabfall in Industriebetrieben zu verfeuern, wo - wie in der Zementindustrie - eine 100%ige Energienutzung gegeben ist.

- Mit erster Priorität sollte nochmals mit den Zementwerken Kontakt aufgenommen werden, um abzuklären, ob Lösungen für die vorhandenen, bzw. vermuteten Probleme gefunden werden können.

- Sofern Grenzwertprobleme bestehen, sollte mit dem BUWAL Kontakt aufgenommen werden, um die Möglichkeit einer Sonderregelung abzuklären.

- Um Redundanz zu schaffen, ist es jedoch sicher sinnvoll, auch andere Industrien mit grossem Wärmebedarf anzusprechen und die Möglichkeit der Verbrennung abzuklären.

- Wenn die Verbrennung in der KVA erfolgen muss, ist nach Möglichkeit eine Anlage mit hohem Prozentsatz der Energienutzung auszuwählen.

- Es ist sinnvoll abzuklären, ob es sich im Fall der KVA lohnen würde, den Kunststoffabfall über die Sommermonate zwischenzulagern, um im Winter - wo die Abwärme besser genutzt werden kann - mehr Energie freizusetzen. (Lagerkosten vs. Preisnachlass bei der Verbrennung).

- Mittelfristig wäre eventuell die Machbarkeit eines speziell für Kunststoffabfall aus Haushalten konzipierten Kraftwerks abzuklären, bzw. Kontakt mit Firmen des Brennerbaus aufzunehmen, um abzuklären, ob das Handling der Kunststofffraktion noch weiter vereinfacht werden kann, sodass Schwellenangst bei der Industrie abgebaut werden kann.

- Die österreichische Lösung für Tetrapackungen scheint zu teuer zu sein. Auch hier sollte zunächst mit der (Zement-) Industrie abgeklärt werden, ob allenfalls bestehende Probleme gelöst werden können.

Maschwanden, den 8. Juni 1999

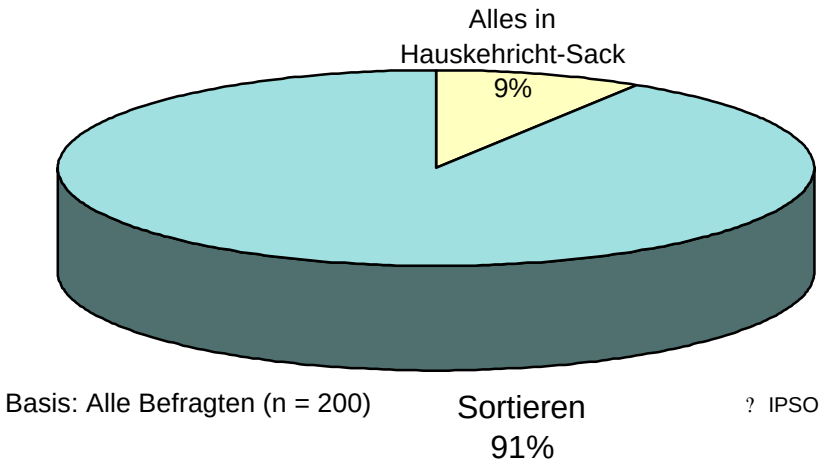
Dr. W. Edelmann, arbi GmbH

Anhang 6:

Auswahl von Ergebnissen von Meinungsumfragen

Wie verschiedentlich im Beicht erwähnt wurde, sind begleitend zu den Kunststoffversuchen regelmässig Meinungsumfragen durchgeführt worden. Nach dem Umfragen in den Jahren 1997, 1998 und 2001 (*IHA-GfK*) sollen auch in Zukunft regelmässig Umfragen durchgeführt werden, um Informationen zur Optimierung des Sammelkonzepts zu erhalten. Die Umfragen betrafen jeweils die Stadt Zug sowie einige ausgewählte Gemeinden. Hier werden einige ausgewählte Resultate, die sich vorwiegend auf den Kantonsdurchschnitt beziehen, vorgestellt.

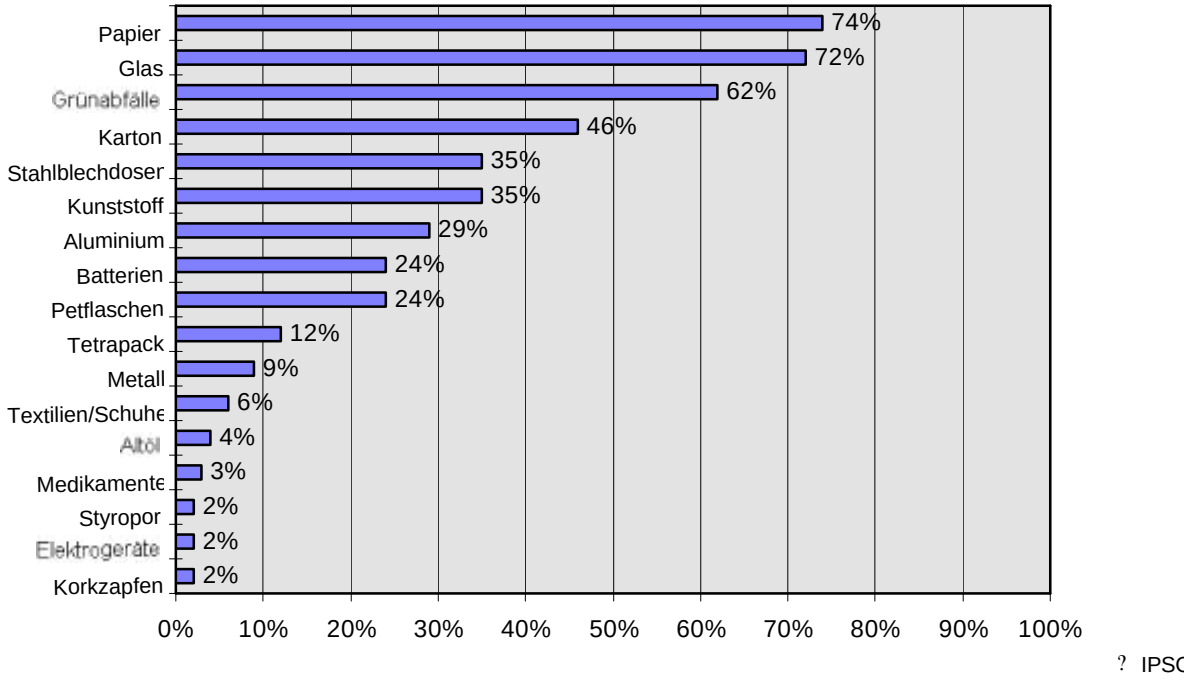
Sortieren Sie in Ihrem Haushalt Abfälle oder geben Sie alles in den Hauskehricht-Sack?



Die vorhergehende Graphik zeigt, dass bereits 1998 ein grosser Anteil der Bevölkerung einzelne Abfälle separat erfasste. Allerdings sortierten von den „Separierern“ nur ein kleiner Teil auch viele verschiedene Abfallfraktionen konsequent: Wie das Balkendiagramm auf der folgenden Seite zeigt, müssen einige Befragte nur eine einzige Fraktion – z.B. Papier oder Glas - gesammelt haben (keine Fraktion erreicht die 91% der obenstehenden Graphik).

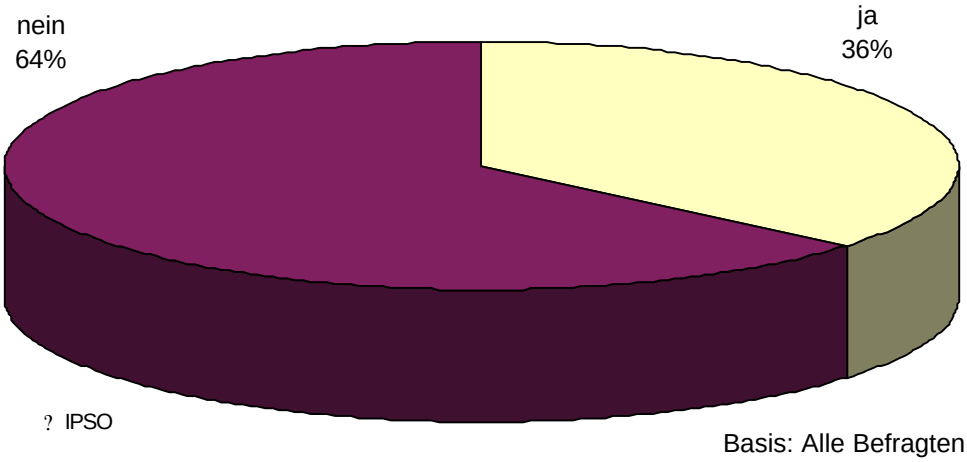
Wenn man die folgende Graphik über die eingesammelten Fraktionen 1998 mit Abbildung 6 auf Seite 17 vergleicht, fällt sofort auf, dass 1998 noch viel weniger separat abgegeben werden konnte. Mit Ausnahme des Kunststoffs – wo 2001 nur noch die Möglichkeit der Abgabe von Hohlkörpern in der Hauptsammelstelle Zug bestand – nahmen der Prozentsatz der Sammler und die eingesammelten Mengen bei den einzelnen Fraktionen mehrheitlich signifikant zu. Während 1998 noch Papier an der ersten Stelle lag, wurde dieses 2001 vom Glas auf den zweiten Platz verdrängt. Während von den Separierern die „beliebten“ Fraktionen, wie Papier, Glas oder Metall recht vollständig erfasst werden, werden auch heute noch einige Fraktionen, wie etwa Korkzapfen, nur beschränkt separiert.

Welche Abfälle sortieren Sie? Basis: Alle Befragten (n = 182)



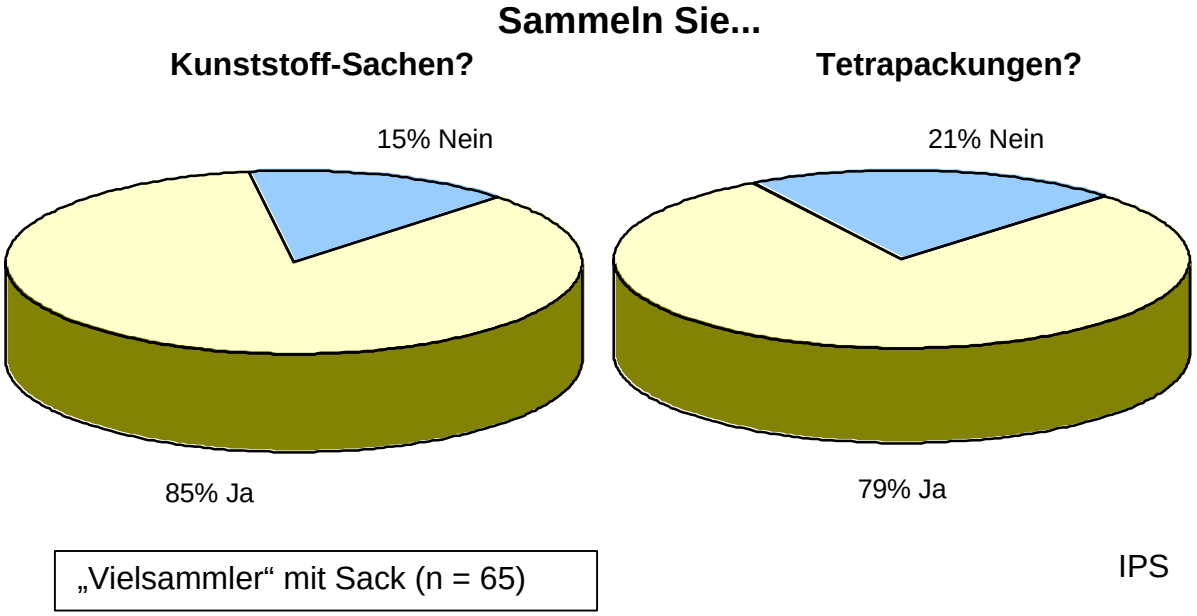
Die nachfolgende Graphik zeigt, dass 1998 – wo die Kunststoffe in Untervaz im Zementwerk verbrannt wurden, noch viele Kunden (damals noch vorwiegend aus Unkenntnis?) nicht vom Sammelsack Gebrauch machten.

Untersuchungen von Kehrichtsäcken haben gezeigt, dass 60% vom Kehricht aus Kunststoffen und Tetrapackungen besteht. Beim Kunststoff geht es zum Beispiel um Plastiksäckli, Zahnbürsten und Plastikflaschen. Bei den Tetrapackungen um Milch- und Fruchtsaftpackungen. Sie bekommen in Ihrer Gemeinde gratis einen speziellen Sack, um das zu sammeln. **Haben Sie jetzt einen solchen Sack zu Hause, wo Sie Kunststoff und Tetrapack sammeln?**



Basis: Alle Befragten (n = 183)

Wie die nachfolgende Abbildung zeigt, nutzten jene Kunden, die in die Kategorie der „Vielsammler“ gehörten und die gleichzeitig einen Sack zu Hause hatten (vgl. vorhergehende Graphik) das Angebot, Kunststoff und Plastik zu sammeln recht gut.



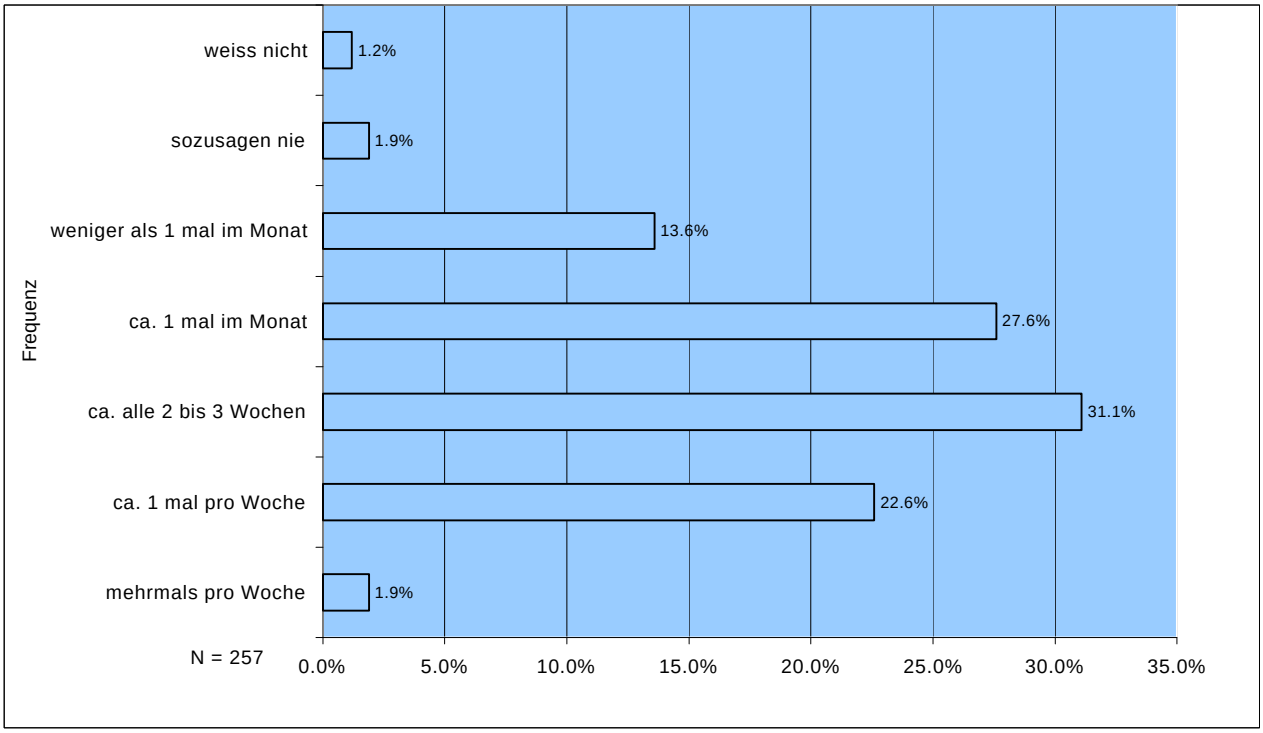
Bis zum Abbruch der Versuche (Mitte 2000) änderte sich die Situation klar: Die Kenntnis der Möglichkeit Kunststoff abzugeben verbreitete sich immer mehr, und sowohl die prozentuale Menge der Kunden wie auch die absoluten Mengen pro Kunde stiegen bis zum Abbruch des Versuchs im Jahr 2000 kontinuierlich an.

Die Abbildung 6 auf Seite 17 reflektiert die Situation nach Abbruch der Phasen „Zementwerk“ und „Polyethylen“ im Jahr 2001: Von der Möglichkeit, Hohlkörper abzugeben, wurde (und wird) mit rund 26% in der aktuellen Phase deutlich weniger Gebrauch gemacht als von der allgemeinen Kunststoffsammlung vor Abbruch der Versuche im Zementwerk, wo die überwiegende Mehrheit der Bevölkerung Plastik ablieferte.

Die folgenden Darstellungen geben noch einige Angaben zum Einsammelverhalten im Zuger Durchschnitt im Jahr 2001. Daten zu den einzelnen Gemeinden sowie zu den früheren Jahren können den Studien der IHA-GfK entnommen werden. Der Prozentsatz derjenigen, welche den Gang zum Ökihof mit anderen Vorrichtungen kombinieren, und die Wahl des Transportmittels variieren in den einzelnen Gemeinden etwas in Abhängigkeit von der mehr oder weniger zentralen Lage des jeweiligen Ökihofs.

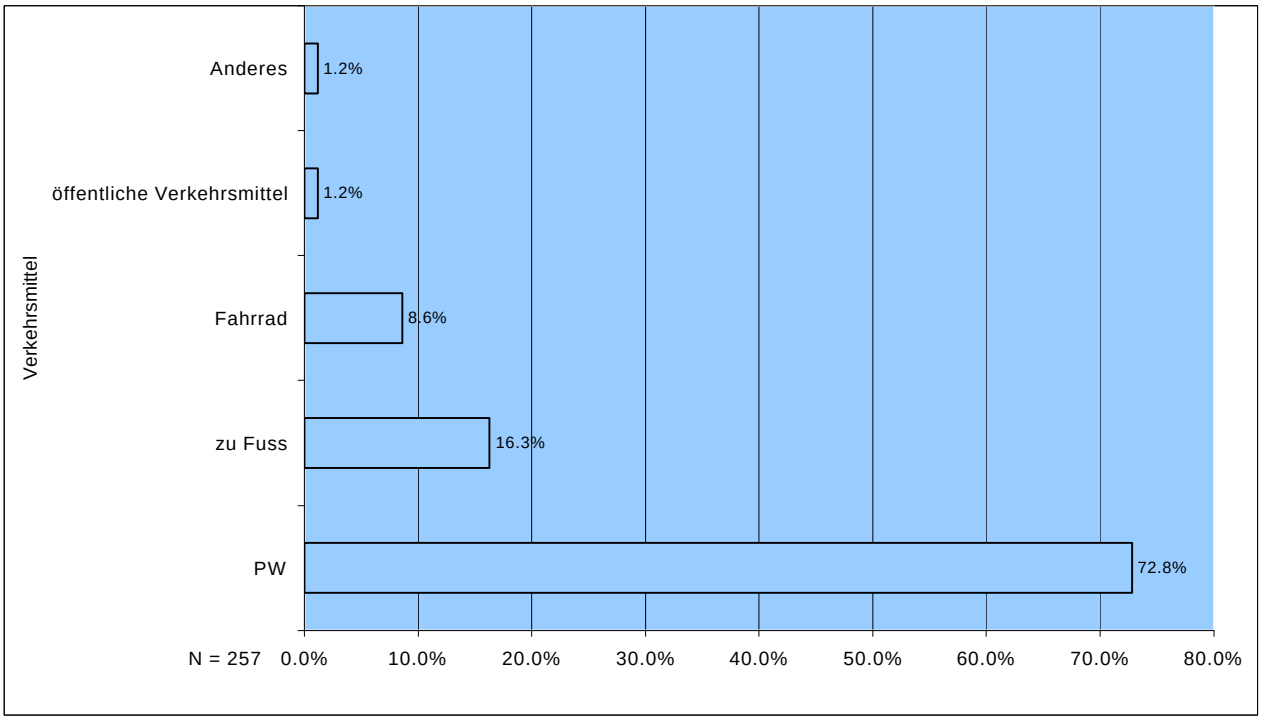
Kanton Zug

Wie oft gehen Sie durchschnittlich zur Hauptsammelstelle?



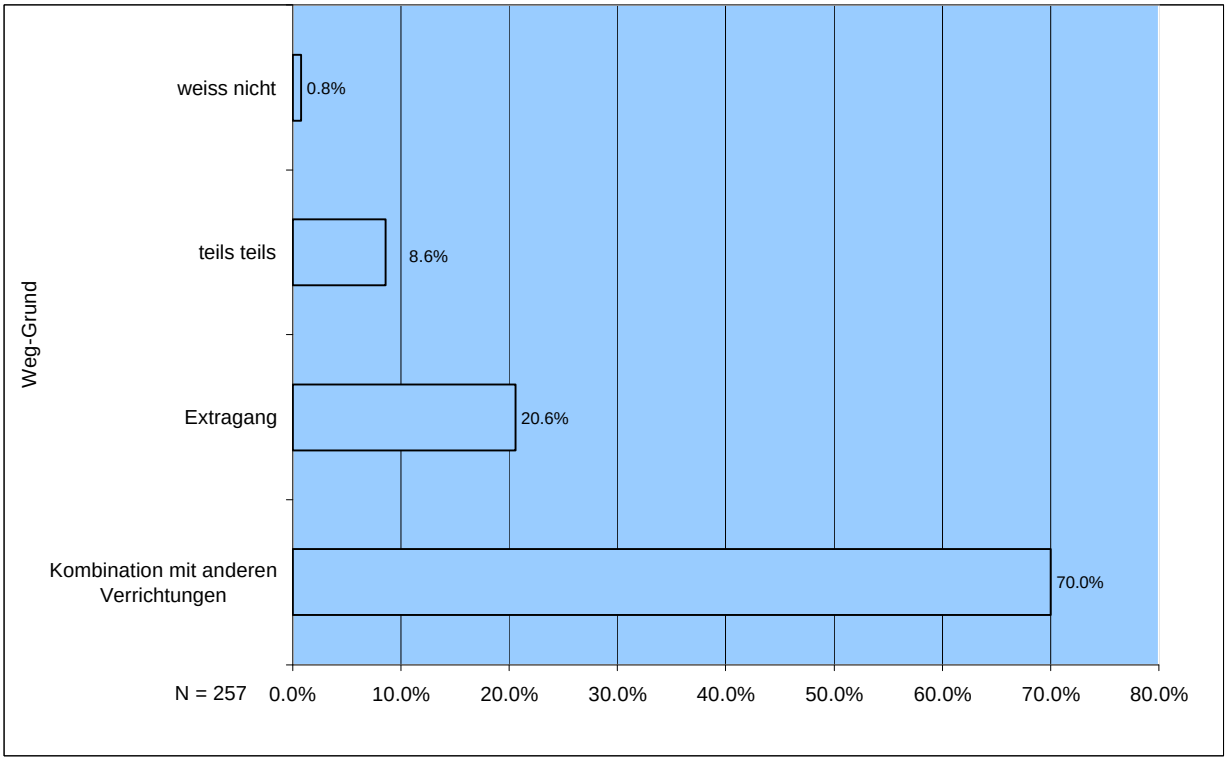
Kanton Zug

Mit welchem Verkehrsmittel gelangen Sie zur Hauptsammelstelle?



Kanton Zug

Gehen Sie extra zur Hauptsammelstelle oder können Sie kombinieren?



Anhang 7:

Angaben zu den Presskosten

Die Kosten der Verarbeitung (Pressen zu Ballen inkl. Transporte) sind ein gewichtiger Kostenfaktor. Die folgenden Angaben wurden aufgrund der Gespräche mit F. Twerenbold (Pressbetrieb) und B. Zimmermann, Leiter Ökihof Zug, zusammengestellt.

Datum	**Zug** Menge kg	Presszeit Twerenbold AG	Mann-stunden	Stunden Total	Stunden Zufuhr Material	**Baar** kg frei Ökihof	Stunden	Anzahl Pers.	Stunden total
06.07.02		Aufräumzeit			ab Zug	311	0.5	2	1
08.07.02	1152	1	2	2	1				0
12.07.02				0		308	0.5	2	1
15.07.02	1111	1	2	2	1				0
19.07.02				0		313	0.5	2	1
22.07.02	926	1	2	2	1				0
26.07.02				0		347	0.5	2	1
29.07.02	1004	1	2	2	1				0
31.07.02				0		370	0.5	2	1
05.08.02	846	1	2	2	1				0
09.08.02				0		352	0.5	2	1
Total	**5039**			**10**	**5**	**2001**			**6**
kg pro Stunde für Zug					**335.9**				
kg pro Stunde für Baar									**333.5**
Stunden pro Tonne					**2.98**				**3.00**
Ansatz pro Stunde in CHF					85.-				85.-
Kosten pro Tonne in CHF					**253.05**				**254.85**

Die im Jahr 2002 benutzte Presse erforderte, dass spätestens nach der dritten Balle Kunststoff wieder Karton oder Papier gepresst wurde. Die Verschmutzungen führten dazu, dass bei konstantem Druck das Gewicht nicht mehr erreicht wurde, da durch die Verunreinigungen ein besserer Schlupf, bzw. ein geringerer Widerstand entstand, wodurch das Gewicht der Ballen sank. In der Zwischenzeit hat die Firma Twerenbold eine neue leistungsfähigere Presse installiert, die elektronisch gesteuert den Druck erhöht, wodurch die Gewichte konstant bleiben.

Die Kosten für den "Hohlkörper-Versuch" betrugen im März 2003 für die Gemeinde Baar noch Fr. 194.-/Tonne für Pressen. Lagern und Transport ins Tännlimoos. Es werden weiterhin Anstrengungen unternommen, die Kosten von rund Fr. 200.- /t weiter zu senken, da diese Kostenstelle als noch zu hoch erscheint. Nähere aktuelle Angaben zu den einzelnen Posten können bei Bedarf beim ZEBA in Cham erfragt werden.