

Erneuerung der KBA Hard mit dem SCHUBIO[®]-Verfahren

Reinhard Schu, Kirsten Schu

SCHU AG Schaffhauser Umwelttechnik, Schaffhausen, Schweiz

Modernization of a Swiss MBT-plant with the SCHUBIO[®]-Process

Abstract

The only operation mechanical-biological Swiss treatment plant for municipal waste and biowaste (KBA Hard) will be modernized and the SCHUBIO[®]-Process will be implemented for the first time on industrial scale. The project and the characteristics of the innovative process are presented in this paper. It is shown that all output fractions from MSW as well as from biowaste are completely recyclable.

Inhaltsangabe

Im vorliegenden Beitrag wird die Erneuerung der KBA Hard, der einzigen in der Schweiz betriebenen MBA mit dem SCHUBIO[®]-Verfahren vorgestellt. Neben der Darstellung des Projektes werden die wesentlichen Merkmale des innovativen Verfahrens erläutert. Es wird die vollständige Verwertbarkeit der Produkte sowohl aus Restabfall als auch aus Bioabfall gezeigt.

Keywords

SCHUBIO[®]-Verfahren, Restabfall, Bioabfall, Waschverfahren, Schaffhausen, KBA Hard
SCHUBIO[®]-Process, Municipal Solid Waste, Biowaste, washing process, Schaffhausen, KBA Hard

1 Einleitung

Das SCHUBIO[®]-Verfahren beruht auf langjährigen Erfahrungen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung und hat seine Wurzeln in den aus dem WABIO-Verfahren stammenden Nassvergärungsverfahren, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Restabfall wurde erstmals 1989 großtechnisch zusammen mit Klärschlamm in Vaasa, Finnland nach dem WABIO-Verfahren vergoren. Die DBA übernahm das Verfahren und baute in Bottrop die erste Bioabfallvergärungsanlage Deutschlands. Das DBA-WABIO-Verfahren wurde von Babcock nach dem Zusammenschluss der Umwelttechnik mit Steinmüller 1999 aufgegeben. EcoEnergy hat die Philosophie der Aufbereitungstechnik des DBA-WABIO-Verfahrens zu einem Waschverfahren weiterentwickelt und zur Marktreife gebracht. Das SCHUBIO[®]-Verfahren, vormals NMT-Verfahren, wurde durch die SCHU AG Schaffhauser Umwelttechnik 2008 von der EcoEnergy GmbH übernommen.

Die Inbetriebnahme der ersten großtechnischen Anlage in Schaffhausen, Schweiz ist für 2010 geplant.

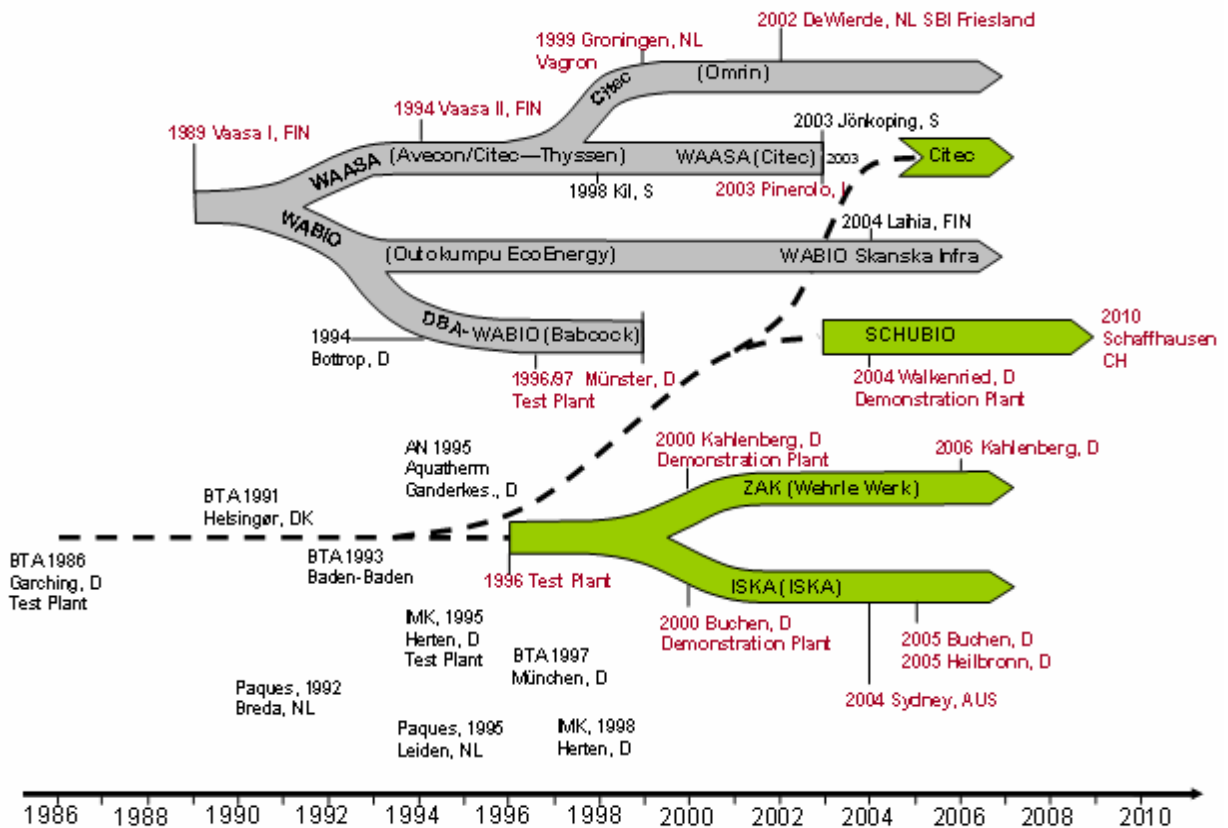


Abbildung 1: Entwicklung der Wasch- und Perkolationsverfahren

Die SCHUBIO[®]-Versuchsanlage wird seit 2004 im Technikum der EcoEnergy GmbH mit unterschiedlichem Inputmaterial betrieben. Die Anlage wurde im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes gebaut und seit Abschluss des Projektes weiter betrieben (Tabelle 1).

Tabelle 1: Historie SCHUBIO[®]-Verfahren

Jahr	Entwicklung SCHUBIO-Verfahren
2000	Förderantrag an die DBU
2004	Bau der Pilotanlage und Versuche im AWZ Wiefels
2005 - 2007	Pilotphase des Verfahrens im Technikum EcoEnergy
2008	Auslegungsversuche, KBA Hard, Schweiz Übernahme des Verfahrens durch die SCHU AG Schaffhauser Umwelttechnik
2009	Baubeginn Erneuerung KBA Hard

Die Ausführung als Containeranlage ermöglicht einen problemlosen Standortwechsel. Zur Auslegung der neuen KBA Hard konnten daher Vor-Ort Versuche mit dem Original-Inputmaterial durchgeführt werden (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Standorte der SCHUBIO®-Pilotanlage

2 Das SCHUBIO®-Verfahren

Das SCHUBIO®-Verfahren kann zur Behandlung von Restabfall/Schwarzabfall sowie Bioabfall/Grünabfall eingesetzt werden. Wie bei MBA-Technologien üblich, wird zunächst eine mechanische Grobaufbereitung mit Grobzerkleinerung und Siebung durchgeführt. Die Grobfraction wird balliert und kann energetisch verwertet werden. Die Feinfraktion < 50 mm bzw. 50 – 100 mm wird mit dem SCHUBIO®-Verfahren in Inertstoff-Fractionen, Organikfraktionen und eine Flüssigfraktion, die gelöste Stoffe sowie feinste Inertstoffe < 100 µm und Organikpartikel < 1 mm enthält, aufgetrennt. Als Trennmedium wird auf ca. 40 °C erwärmtes Kreislaufwasser verwendet. Durch die Erwärmung des Kreislaufwassers sinkt die Viskosität des Wassers, was dessen Trennwirkung verbessert und die Effizienz der Abpressung steigert.

Selbst bei Schwarzabfall arbeitet das Verfahren mit Wasserüberschuss. Aufgrund ihres fehlenden Wasserhaltevermögens können Inertstoffe bis auf einen Restwassergehalt < 5 % und organische Produkte bis zu einem Restwassergehalt von < 40 % mechanisch entwässert werden. Durch vorherige Fraktionierung und Inertstoffabscheidung wird eine Thermo-Mechanische-Zellyse (TMZ) ermöglicht, die eine Zerkleinerung und einen Zellaufschluss und damit einen erhöhten Entwässerungsgrad bewirkt.

Die Inertstoffe werden soweit mit Kreislaufwasser und Frischwasser gereinigt, dass sie einer Verwertung zugeführt werden können. Bei Bedarf kann die Qualität der groben Inertfraktion über eine Bauschutttaufbereitung verbessert werden. Aus den Inertfraktionen können folgende Produkte gewonnen werden:

- Steine
- Kies
- Sand
- Feinsand
- Schluff.

Die Organikfraktionen werden nach ihrer Absiebung in Schneckenpressen entwässert, wobei durch die speziellen Prozessbedingungen der Thermo-Mechanischen-Zellyse das Zellwasser ebenfalls erfasst wird und so eine weitgehende Entwässerung erreicht wird. Zudem wird die lösliche, gut vergärbare Organik quantitativ in das abgepresste Wasser überführt. Abbildung 3 zeigt das Gesamt-Verfahrensfließbild des SCHUBIO®-Verfahrens am Beispiel KBA Hard für Restabfall (Schwarzabfall) und Bioabfall (Grünabfall).

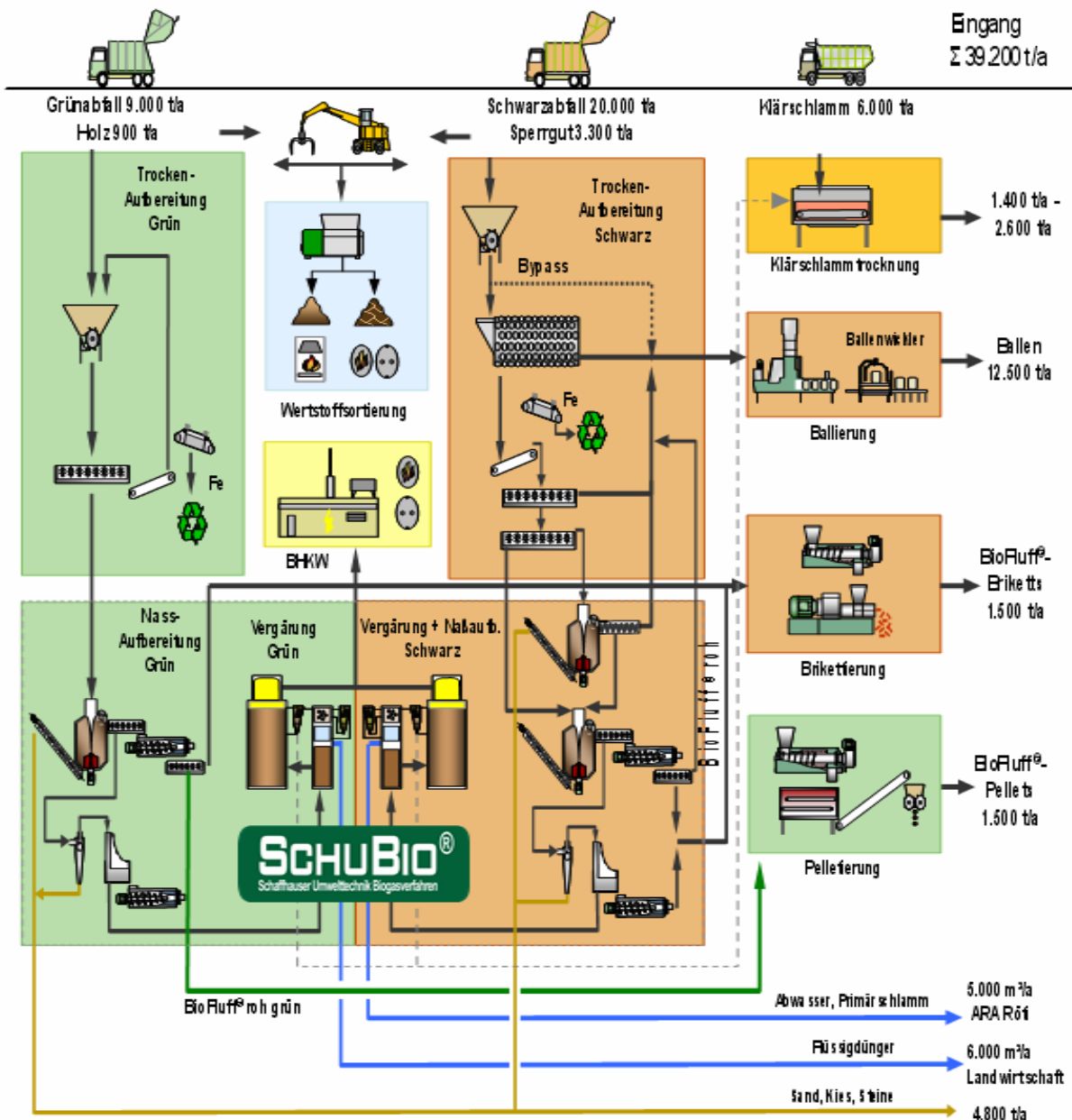


Abbildung 3: Verfahrensfließbild Erneuerung KBA Hard mit dem SCHUBIO-Verfahren

Der Schadstoffgehalt in den Biomassefraktionen (BioFluff®) ist verfahrensbedingt gering. Der Chlorgehalt ist aufgrund der Kunststoffabtrennung niedrig und ist lediglich als so genanntes „Hintergrundrauschen“ aus gelösten Salzen vorhanden. Durch den hohen Entwässerungsgrad ohne thermische Trocknung werden alle löslichen Schadstoffe mit dem Press- und Waschwasser, je nach Waschwasseraufbereitungs- und Presskonzept, zu 50 % bis 90 % ausgetragen, die Qualität des BioFluff® wird somit erhöht.

Das Abpressen der Organikfraktionen 2 und 3 erfolgt zur Erhöhung der Effizienz der Abpressung bei Temperaturen von $> 70\text{ °C}$, wobei ein Teil der Wärmeenergie durch Dampf, erzeugt aus BHKW-Abwärme, und zusätzlich durch die Pressen in das Material gebracht wird.

Zur Pelletierung der Biomassefraktionen ist eine Trocknung erforderlich. Nach der Trocknung wird die Organik bei 15 mm gesiebt, wobei im Siebüberlauf die verbleibenden Kunststoffe abgetrennt werden.

Im Siebdurchgang befindet sich zu fast 100 % native Organik, der BioFluff®. Der getrocknete und gesiebte BioFluff® wird entsprechend dem vorgesehenen Verwertungsweg konfektioniert. BioFluff® ist eine schadstoffreduzierte, trockenstabilisierte, aufgefaserete Biomasse und als Rohstoff vielseitig einsetzbar. Für eine direkte energetische Verwertung des BioFluff® aus Restabfall/Schwarzabfall ist eine Brikettierung vorgesehen.

Beim SCHUBIO®-Verfahren wird die leicht vergärbare Organik des Abfalls quantitativ in das Kreislaufwasser überführt. Das Kreislaufwasser inkl. der suspendierten Organik < 1 mm wird der Vergärung zugeführt, wobei ein Vergärungsverfahren mit Biomasserückhaltung eingesetzt wird.

Der CSB-Abbau liegt, abhängig vom anaerob abbaubaren CSB-Anteil, bei 85 % bis 95 % und die Verweilzeit bei ca. 5 bis 10 Tagen gegenüber 18 bis 21 Tagen bei konventionellen Biogasanlagen. Das erzeugte Biogas wird im BHKW verwertet, der erzeugte Strom eingespeist und die Wärme zur Klärschlamm-trocknung und Trocknung der Organik aus Grünabfall vor der Pelletierung verwendet.

Der Ablauf aus der Vergärung wird in einem Aerob-Reaktor mit Biomasserückführung nachbehandelt und kann als Waschwasser für das SCHUBIO®-Verfahren zurückgeführt oder als Überschusswasser der weitergehenden Abwasserbehandlung zugeführt und dann eingeleitet werden.

Der Klärschlamm, der in der Anaerob- und Aerobstufe der Abwasserbehandlung anfällt, ist die Schadstoffsенke des Gesamtverfahrens.

3 Projektbeschreibung

Die KBA Hard in Beringen wurde dieses Jahr 35 Jahre alt. Vor 20 Jahren wurde sie von einer KVA (Kehrichtverbrennungsanlage) zu einer KBA (Kehrichtbehandlungsanlage) umgerüstet. Das gewählte, zum damaligen Zeitpunkt sehr innovative, Rotteverfahren ist auch bekannt unter dem Schlagwort „Schaffhauser Modell“. In der Anlage werden zurzeit ca. 18.000 t/a Restabfall (Schwarzabfall), ca. 6.000 t/a Bioabfall (Grünabfall) und ca. 6.000 t/a Klärschlamm sowie 3.000 t/a Sperrabfall behandelt.

Zurzeit werden die festen Abfälle Hausmüll und Gewerbeabfall zunächst vorzerkleinert und durch Absiebung in eine trockene heizwertreiche Grobfraction und in eine

heizwertarme und feuchte Feinfraktion aufgetrennt. Die Grobfraktion wird balliert und direkt bzw. nach einer Zwischenlagerung in der KVA Buchs energetisch verwertet. Die Feinfraktion wird mit dem Klärschlamm vermischt und in der Rottehalle biologisch behandelt, wodurch eine Trocknung, Stabilisierung und Mengenreduktion erreicht wird. Das Rottegut wird ebenfalls in der KVA Buchs energetisch verwertet. Die Grünabfälle werden mechanisch aufbereitet und kompostiert.

Die Anlagen haben das Ende ihrer technischen Lebenszeit erreicht und müssen daher erneuert werden. Zudem ist eine Verbesserung der Abfallbehandlung bzgl. Ressourcenschutz und Energieeffizienz gewünscht.

Der Kläranlageverband Schaffhausen, Neuhausen am Rheinfl, Feuerthalen und Flurlingen hat daher entschieden, die bestehende Kehrichtbehandlungsanlage Hard nach dem SCHUBIO®-Verfahren zu erneuern.

Nachfolgende Abbildungen zeigen die geplante KBA Hard im Überblick:

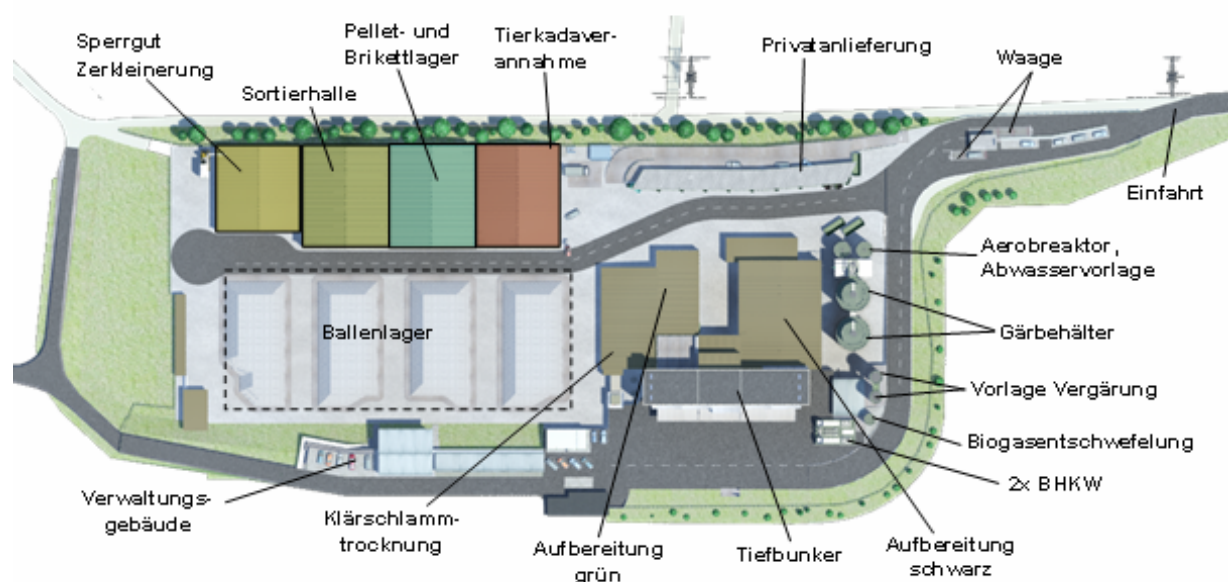


Abbildung 4: Erneuerung KBA Hard Draufsicht

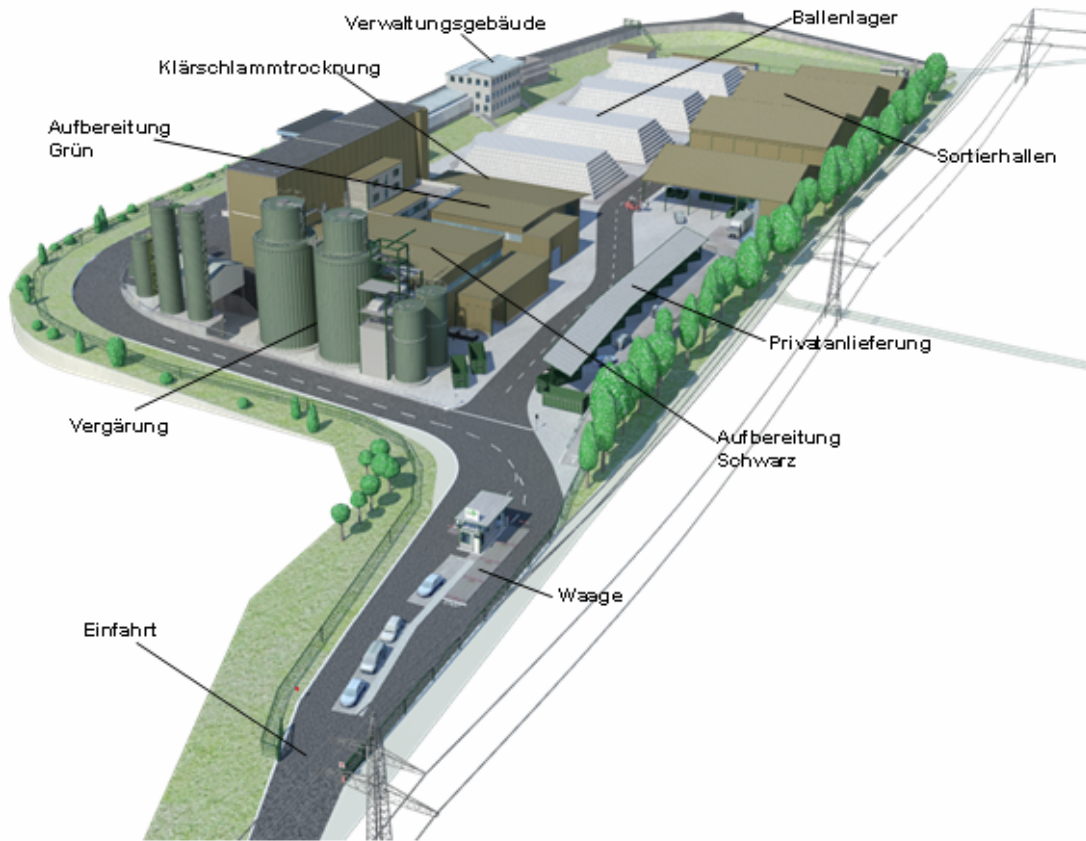


Abbildung 5: Erneuerung KBA Hard Ansicht

Die Erneuerung der Anlagentechnik wird vorrangig im bestehenden Betriebsgebäude durchgeführt, zusätzlich werden lediglich die Gärbehälter sowie zwei BHKW mit je 450 kW Leistung aufgestellt. Die bisherige Rottehalle wird abgerissen und die Fläche als offenes Ballenlager genutzt. Die Logistik der Privatanlieferung wird verbessert und z. B. die Sperrmüllzerkleinerung eingehaust. Die Gesamtinvestitionssumme beträgt ca. 30 Mio. CHF.

4 Nachhaltige Stoffstromtrennung

Das Verfahren hat als erklärtes Ziel die möglichst vollständige Verwertung der angelieferten Abfälle. Im Folgenden wird der Nachweis der Verwertbarkeit für die erzeugten Stoffströme und Produkte geführt.

4.1 Biomasse

4.1.1 Biomasse aus Grünabfall

Die Organikfraktionen aus Grünabfall (Bioabfall) weisen geringere Schadstoffgehalte als die meisten Komposte auf. In der folgenden Tabelle 2 sind die Schwermetallgehalte der Organikfraktionen im Vergleich zum Input (Grünabfall < 50 mm), zu dem zurzeit auf der KBA Hard erzeugten Kompost sowie zu dem Mittelwert der Schweizer Komposte für den Gartenbau (Kupper et al., 2007) dargestellt.

Die Werte sind den Grenzwerten der Deutschen Bioabfallverordnung sowie der Schweizer Stoffverordnung gegenübergestellt.

Die Schwermetallanreicherung ist deutlich zu erkennen. Ein Artefakt aus der Versuchsanordnung ist die Anreicherung von Chrom und Nickel in der Feinfraktion Organik 3, die durch Abrieb aus der aus Chrom-Nickel-Stahl konstruierten Versuchsanlage verursacht wurde.

Tabelle 2: Schwermetalle in den Organikfraktionen Grün im Vergleich zu Grünabfall-Input und Kompost der KBA Hard (Mittel)

Parameter (mg/kg TS)	Grünabfall < 50	Grün Organik 1	Grün Organik 2	Grün Organik 3	Kompost KBA Hard	Schweiz Kompost Gartenbau	Stoff-VO (CH)	Bio Ab-VO (D)
Blei (Pb)	21,0	16,0	11,6	15,8	47,5	69,7	120	150
Cadmium (Cd)	n.n.*	n.n.*	n.n.*	n.n.*	0,2	0,1	1	1,5
Chrom (Cr)	13,5	14,5	12,5	45,5	23,2	20,0	100	100
Kupfer (Cu)	30,5	18,0	9,5	17,3	56,8	58,4	100	100
Nickel (Ni)	9,5	8,5	6,3	22,8	16,3	15,8	30	50
Zink (Zn)	94,5	57,0	95,0	94,0	215,3	155,4	400	400
Quecksilber (Hg)	0,1	n.n.**	n.n.**	n.n.**	0,1	n.n.	1	1

* Nachweisgrenze 0,4 mg/kg TS

** Nachweisgrenze 0,1 mg/kg TS

Bereits 2002 hat das Umweltbundesamt einen Vorschlag zur gestaffelten Grenzwertregelung für Düngemittel vorgestellt, der zum Ziel hatte, die langfristige Schadstoffanreicherung im Boden zu verhindern („Gleiches zu Gleichem“) (UBA, 2002). Bei einem Vergleich mit diesen bodenangepassten Grenzwerten zeigt sich, dass die Organikfraktionen aus Grünabfall diese ebenfalls problemlos einhalten könnten.

Tabelle 3: Schwermetalle in den Organikfraktionen Grün im Vergleich zu Grünabfall-Input und Kompost der KBA Hard (Mittel) mit den Werten „Gleiches zu Gleichem“

Parameter (mg/kg TS)	Grün- Abfall	Grün Organik 1	Grün Organik 2	Grün Organik 3	Kompost KBA Hard	„Gleiches zu Gleichem“		
	< 50					Ton	Lehm	Sand
Blei (Pb)	21	16	11,6	15,8	47,5	71,75	50,45	29,15
Cadmium (Cd)	n.n.*	n.n.*	n.n.*	n.n.*	0,2	1,09	0,73	0,31
Chrom (Cr)	13,5	14,5	12,5	45,5	23,2	71,34	42,94	21,64
Kupfer (Cu)	30,5	18	9,5	17,3	56,8	46,72	32,52	18,32
Nickel (Ni)	9,5	8,5	6,3	22,8	16,3	50,62	36,42	11,57
Zink (Zn)	94,5	57	95	94	215,3	173,71	138,21	74,31
Quecksilber (Hg)	0,1	n.n.**	n.n.**	n.n.**	0,1	0,72	0,37	0,08

* Nachweisgrenze 0,4 mg/kg TS ** Nachweisgrenze 0,1 mg/kg TS

Die erzeugten Biomasse-Fraktionen Organik 2 und 3 werden als Torfersatz regional an Privatabnehmer und Gartenbaubetriebe abgegeben. Die Fraktion Organik 1 wird als Biomasse-Brennstoff verwertet.

4.1.2 Biomasse aus Schwarzabfall

Die erzeugten Biomasse-Fraktionen (Organik 2 und Organik 3) aus Schwarzabfall sind so schadstoffreduziert, dass die Werte für Kompost ebenfalls eingehalten werden können.

In der folgenden Tabelle sind die Schwermetallgehalte der Organikfraktionen im Vergleich zum Input (Schwarzabfall < 50 mm) und zu dem Mittelwert Schweizer Komposte für den Gartenbau dargestellt.

Tabelle 4: Schwermetalle in den Organikfraktionen Schwarz im Vergleich zu Schwarzabfall-Input und Kompost der KBA Hard (Mittel)

Parameter (mg/kg TS)	Schwarz- abfall < 50	Schwarz Organik 2	Schwarz Organik 3	Kompost KBA Hard	Schweiz Kompost Gartenbau	Stoff-VO (CH)	BioAbfVO (D)
Blei (Pb)	190,0	62,8	57,0	47,5	69,7	120	150
Cadmium (Cd)	n.n.*	n.n.*	n.n.*	0,2	0,1	1	1,5
Chrom (Cr)	38,0	46,8	36,0	23,2	20,0	100	100
Kupfer (Cu)	111,0	75,9	45,5	56,8	58,4	100	100
Nickel (Ni)	24,5	19,0	17,5	16,3	15,8	30	50
Zink (Zn)	400,0	227,5	130,5	215,3	155,4	400	400
Quecksilber (Hg)	0,4	0,1	0,2	0,1	n.n.	1	1

* Nachweisgrenze 0,4 mg/kg TS

Ein landwirtschaftlicher Einsatz ist dennoch bereits aufgrund der Herkunft aus Schwarzabfall ausgeschlossen. Im Projekt wird der Einsatz der Fraktionen als schadstoffarmer Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie erfolgen. Die Annahmekriterien sind vergleichbar mit dem Einsatz zur Mitverbrennung in einem Kohlekraftwerk.

Zur Bewertung der Brennstoffeigenschaften der im SCHUBIO®-Verfahren erzeugten Organikfraktionen werden die Annahmekriterien für gütegesicherte Ersatzbrennstoffe (BGS) sowie die Annahmekriterien für Biobrennstoffe zur Mitverbrennung in einem Kohlekraftwerk den ermittelten Schadstoffgehalten gegenüber gestellt.

Tabelle 5: Schadstoffgehalte der Organikfraktionen im Vergleich zu den Kriterien der BGS und Annahmekriterien im Kohlekraftwerk in mg/kg TS

Parameter in mg/kg TS	BGS	Kohle- kraftwerk	Schwarz z O1	Schwarz O2	Schwarz O3	Grün -O1	Grün- O2	Grün- O3
Arsen (As)	5	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Blei (PB)	190	70	84	61,3	58,8	16	13,3	16,2
Cadmium (Cd)	4	0,4	9,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Chrom (Cr)	125	125	94,5	39	36,3	14,5	13,2	45,3
Kupfer (Cu)	350	120	41,5	94,6	45,7	18	9	16,7
Nickel (Ni)	80	80	31,5	21,7	17,5	8,5	6,4	22,5
Quecksilber (Hg)	0,6	0,6	6,3	0,14	0,2	n.n.	n.n.	n.n.
Antimon (Sb)	25	25	-	140	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Zinn (Sn)	30	60	23	24	28	n.n.	n.n.	n.n.
Thallium (Tl)	1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Kobalt (Co)	6	6	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Mangan (Mn)	250	250	108,5	90	110	185	97	155
Vanadium (V)	10	25	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

n.n. = nicht nachgewiesen, unterhalb der Bestimmungsgrenze

Mit zunehmendem Kunststoffgehalt erhöht sich auch der Schwermetallgehalt. Nach Absiebung der Kunststoff-Fraktion aus Organik 2 ist der Siebdurchlauf < 10 mm von Kunststoffen und damit von Schadstoffen entfrachtet, so dass sicher die Einhaltung der Grenzwerte für die energetische Verwertung in einem Kohlekraftwerk möglich ist. Die Schadstoffentfrachtung nach der Siebung ist in Tabelle 6 dargestellt als Ergebnis eines Siebversuches bei 20 mm.

Die Schadstoffanreicherung nach der Siebung ist deutlich erkennbar, besonders bei Chrom, Kupfer und Cadmium, Antimon wird sogar um den Faktor 20 reduziert. Mit geringerem Kunststoffanteil sinkt auch der Chlorgehalt.

Tabelle 6: Siebversuch mit der Fraktion Organik 2 aus Restabfall, Absiebung bei 20 mm

Parameter	Organik 2 Restabfall >20 mm	Organik 2 Restabfall <20 mm	Organik 3 Restabfall
Blei (PB) mg/kg TS	73,9	91,4	92,7
Chrom (Cr) mg/kg TS	128,4	78,2	100,4
Kupfer (Cu) mg/kg TS	249,9	68,8	85,5
Nickel (Ni) mg/kg TS	78	52,2	74
Zinn (Sn) mg/kg TS	80,8	88,8	61,5
Mangan (Mn) mg/kg TS	205,9	189,7	259,1
Cadmium (Cd) mg/kg TS	5,3	1,4	0,1
Quecksilber (Hg) mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Antimon (Sb) mg/kg TS	293	12,9	1,1
Chlor in % TS	1,45%	1,00%	0,38%
Heizwert Hu in kJ/kg	23.587	19.626	14.616

Ein weiterer wichtiger Parameter zur Eignung als Ersatzbrennstoff ist der Chlorgehalt. Durch die Abtrennung von Kunststoffen und damit des Chlorträgers PVC als auch durch die Reduzierung der Salzbelastung durch die Wäsche können Chlorwerte erreicht werden, die eine Mitverbrennung sogar im Kohlekraftwerk ermöglichen. Nur die Fraktion Schwarz-O1, die grobe Organikfraktion aus Schwarzabfall, enthält überwiegend Kunststoffe, daher ist der Chlorgehalt entsprechend hoch (siehe Abbildung 5).

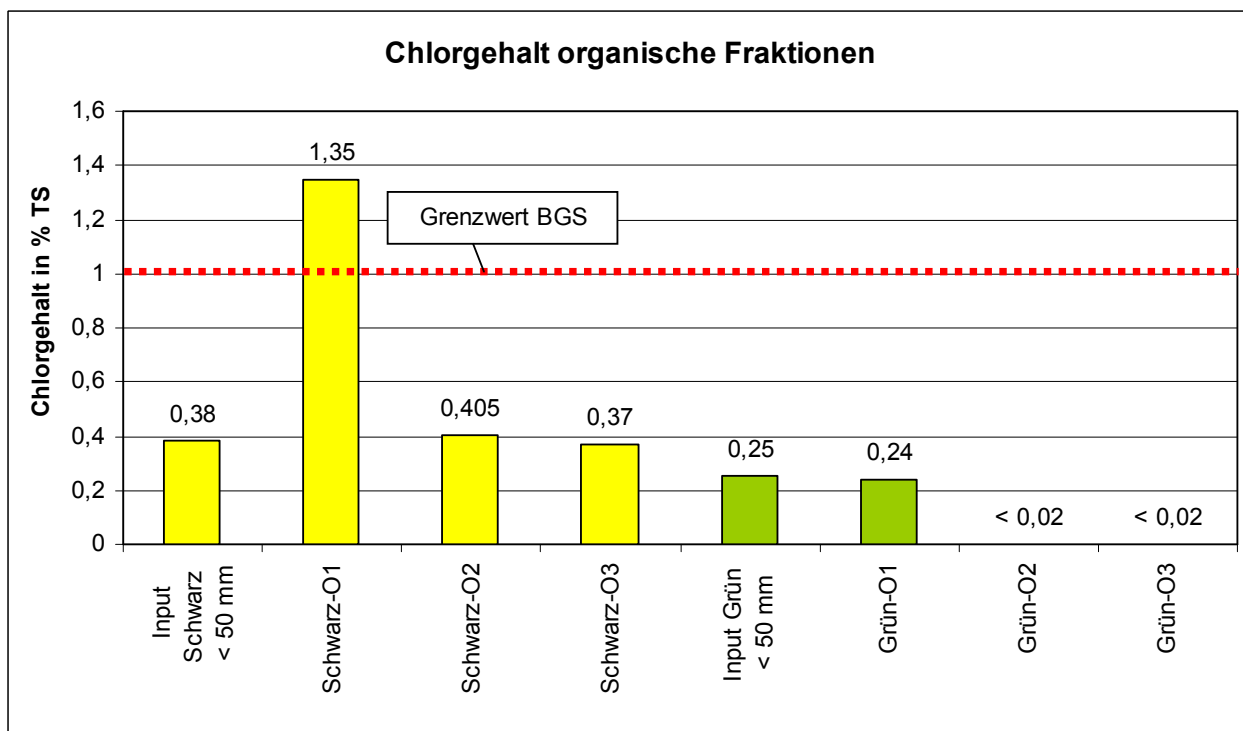


Abbildung 6: Chlorgehalt der organischen Fraktionen aus Schwarz- und Grünabfall

4.2 Biogas

Die Flüssigphase enthält die vergärbaren organischen Bestandteile und wird zur Biogaserzeugung genutzt. Ein Vergleich mit der Ausbeute von Vollstromvergärungsverfahren zeigt, dass das SCHUBIO[®]-Verfahren mindestens 75 % bis 85 % des Biogas-Energieertrages von optimalen Vollstromvergärungsverfahren erreicht.

Tabelle 7: Vergleich der Biogasausbeuten verschiedener Vergärungsverfahren für Bioabfall und Restabfall

Material / Verfahren	Nm ³ Biogas / t Input	Nm ³ Methan / t Input
Grüngut, Bioabfall		
SCHUBIO [®]	85 - 110	55 - 77
Kompogas - Garantiewert	115	63
Kompogas - Realwert	125	72-80
Dranco - Garantiewert	140	77
Dranco- Realwert	157	90
Strabag - Garantiewert	115	k.A.
Strabag- Realwert	100 - 135	55 - 81
Bekon - Realwert	87	48
Schwarzgut, Restabfall		
SCHUBIO [®]	75 - 90	49 - 63
Trockenvergärung		
Valorga - Realwert Hannover Input < 60 mm	100	55 - 60
Dranco - Realwert Bassum Input < 40 mm	130	72 - 78
Nassvergärung		
Schaumburg - Realwert	60	39 - 45
Lübeck - Planwert	100	k. A.
Perkolations		
ISKA - Realwert Buchen, Heilbronn	40 - 60	26 - 45
ZAK - Realwert Kaiserslautern	50 - 60	33 - 45

Das Biogas wird in zwei BHKW mit je 450 kW verstromt. Die Abwärme wird für die Prozesswärme der Thermomechanischen Zellyse, zur Trocknung des angelieferten Klärschlammes sowie des Überschussschlammes aus der Vergärung genutzt. Gleichzeitig wird auch der im Verfahren abgeschiedene Feinschluff getrocknet. Das Wärmenutzungskonzept ist wärmegeführt, die Schlämme werden je nach verfügbarer Abwärme auf 65 % bis 85 % Trockensubstanzgehalt getrocknet. Die anfallende Wärme wird zu 100 % genutzt.

4.3 Abwasser

Nach der Vergärung enthält das Abwasser noch Stickstoff in erheblichen Mengen. Über einen mehrstufigen chemischen Abluftwäscher wird der Stickstoff aus der aeroben Abwasserreinigung der Grün- und Schwarzabfall-Linie als auch der bei der Trocknung aus dem Klärschlamm ausgetriebene Stickstoff zurück gewonnen und daraus ein Ammonium-Sulfat-Dünger produziert. Auch der Überschuss-Schlamm aus der Biomasserückhaltung der Vergärung wird mit dem Klärschlamm getrocknet und der Stickstoff zurück gewonnen. Ein Teil des vorgereinigten Wassers wird als Kreislaufwasser wieder im Verfahren genutzt.

Das überschüssige, vorgereinigte Abwasser wird in der verbandseigenen Kläranlage geklärt. Die Wasserbilanz des Verfahrens ist durch die hohe mechanische Entwässerung der Produkte und durch die Kreislaufführung des Waschwassers sehr günstig (siehe Abbildung 3).

4.4 Getrockneter Klärschlamm

Der Klärschlamm und der Überschussschlamm aus der Vergärung sind auch nach der Trocknung reich an wichtigen Düngekomponenten, vor allem an P, aber auch Mg, K und Ca sowie N, wobei ein Teil des Stickstoffs schon bei der Trocknung ausgetrieben wird.

Der getrocknete Schlamm wird in einer Klärschlammverbrennungsanlage energetisch verwertet. Es ist geplant, aus den bei der Verbrennung entstehenden Aschen durch nochmalige Erhitzung die Schwermetalle auszutreiben und integriert in die vorhandene Flugaschewäsche dabei sogar einzelne Schwermetalle zurück zu gewinnen (Schu und Seiler, 2008).

Die dann entstehenden Aschen sind schadstofffrei und können zur Düngung eingesetzt werden. Somit ist der Phosphatkreislauf nicht nur für Bioabfall und Klärschlamm sondern auch für Restabfall geschlossen. Die Rückgewinnung von Phosphat gewinnt vor dem Hintergrund der Ressourcenschonung immer mehr an Bedeutung.

4.5 Inertstoffe

Im Verfahren werden Inertfraktionen, getrennt nach Korngrößen, erzeugt, die entweder bereits Verwertungsqualität besitzen oder nach einer mechanischen Nachbehandlung diese erreichen können. Die Inertfraktionen Steine, Kies und Sand werden dennoch auf einer Deponie verwertet, da der Absatz als Recyclingbaustoffe zurzeit noch nicht gesichert ist. Stärker schadstoffbelastet aufgrund des ungünstigen Gewichts-/Oberflächen-

verhältnisses ist die Feinschluff-Fraktion $< 100 \mu\text{m}$, die separat erfasst und der Klärschlamm-trocknung zugeführt wird.

5 nicht verwertbare Fraktionen

Alle bisher genannten Fraktionen können fast komplett verwertet werden. Selbst der schadstoffreiche Überschussschlamm aus der Vergärung und der Feinschluff, die als Schadstoffsene des Verfahrens konzipiert sind, können teilweise stofflich verwertet werden.

Einzig für die Grobfraction aus der mechanischen Vorbehandlung sowie die Fraction Organik 1 gibt es keine Verwertungsmöglichkeiten. Diese Fraktionen bestehen fast ausschließlich aus Kunststoffen und werden balliert und in einer KVA (MVA) verbrannt. Es gibt zurzeit keine nachhaltige Lösung zur werkstofflichen Verwertung von gemischten Kunststofffraktionen. Aufgrund der hohen Schadstoffbelastung ist eine Entsorgung nur in einer KVA/MVA möglich.

Das SCHUBIO[®]-Verfahren hat zum Ziel, Kunststoffe von Biomassen zu trennen, um die Verwertbarkeit der Biomassefraktionen sicherzustellen. Dies wird durch mehrere Verfahrensschritte erreicht:

1. Selektive Zerkleinerung und Abtrennung einer kunststoffreichen Grobfraction durch Siebung bei 100 mm
2. Aus der Fraction 50 mm bis 100 mm wird durch Waschung und Pressung die Biomasse im Wesentlichen in der Fraction $< 50 \text{ mm}$ angereichert und eine kunststoffreiche Fraction $> 50 \text{ mm}$ abgetrennt.
3. In der Fraction $< 50 \text{ mm}$ wird durch Waschung und temperaturgeführte Pressung Biomasse auf $< 10 \text{ mm}$ zerkleinert und durch Siebung bei 10 mm abgetrennt. Die Kunststoffe verbleiben in der Fraction $> 10 \text{ mm}$.

Die abgetrennten Biomassefraktionen sind schadstoffarm und können in Biomassekraftwerken, Kohle- oder Zementkraftwerken energetisch verwertet werden bzw. landwirtschaftlich als Torfersatz genutzt werden.

Die in Kapitel 4.1 dargestellte Schadstoffanreicherung der Biomassefraktionen durch Siebung hat im Umkehrschluss eine Aufkonzentrierung der Schadstoffe im kunststoffhaltigen Siebüberlauf zur Folge. Diese Fraction unterliegt der gleichen Problematik wie die übrigen kunststoffhaltigen Fraktionen.

Die Problematik der Entsorgung von Kunststoffen vor dem Hintergrund der Schadstoffbelastung wird in einer separaten Veröffentlichung dargestellt.

6 Literatur

- Kupper et al. 2007 Organische Schadstoffe in Kompost und Gärgut.
Hrsg.: BAFU, Schweiz
- Schu, R. und Seiler, U. 2008 HOK- und reststofffreie Abgasreinigung im Jahr
2013. In „Energie aus Abfall“, Band 4, Hrsg.: K. J.
Thomé-Kozmiensky, M. Beckmann, TK Verlag, Neu-
ruppin
- Umweltbundesamt (UBA) 2002 Zur einheitlichen Ableitung von Schwermetallgrenz-
werten bei Düngemitteln. 31.07.2002, UBA.

Anschrift der Verfasser(innen)

Dipl.-Ing. Reinhard Schu
Dipl.-Biol. Kirsten Schu
SCHU AG Schaffhauser Umwelttechnik
Winkelriedstrasse 82
CH-8203 Schaffhausen
Telefon +41 52 5 11 10 10
Email R.Schu@schu-ag.ch
Website: www.schu-ag.ch