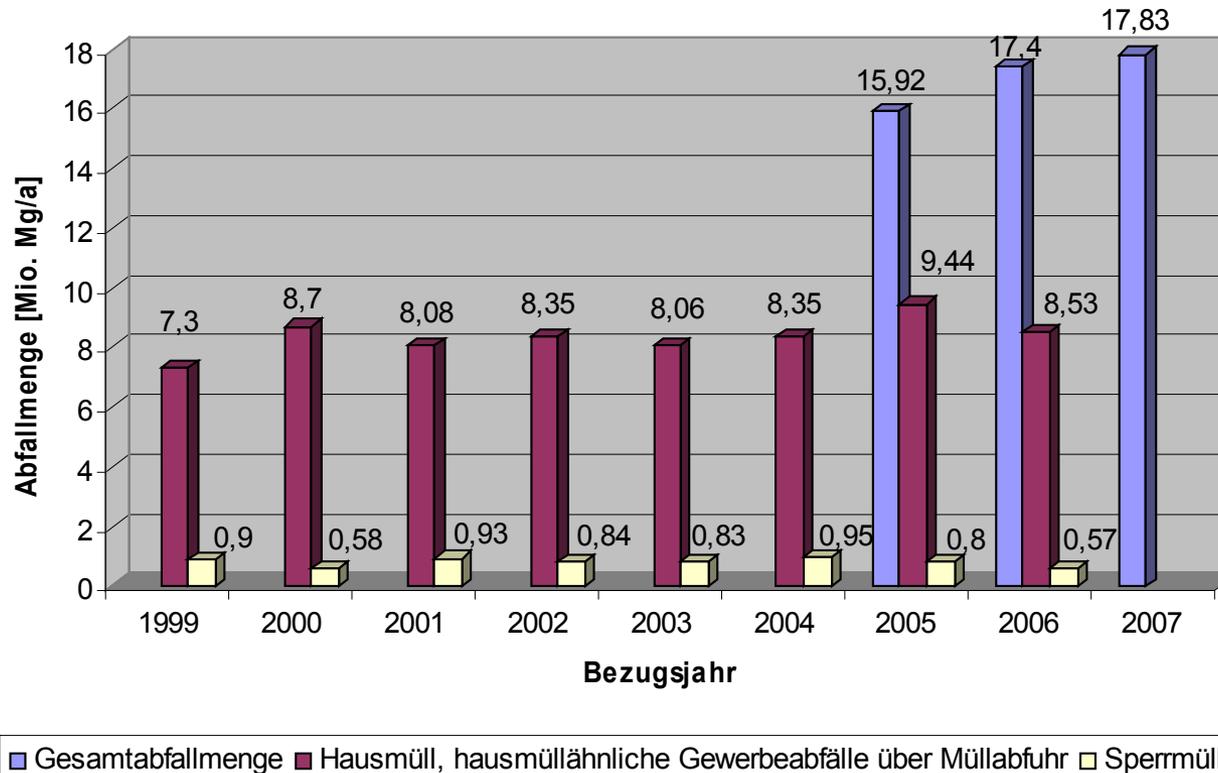


Energieeffizienz und deren Steigerung in der Abfallverbrennung

Ulan Ude, 2.07.2009

- **Ist-Situation MVA**
 - **Abfallmengenentwicklung, Abfallzusammensetzung**
 - **Energieerzeugung in MVA**
 - **Freigesetzte CO₂-Emissionen**
 - **Eingesparte CO₂-emissionen**
- **Energieeffizienzsteigerung bei MVA**
 - **Energieerzeugung**
 - **Freigesetzte CO₂-Emissionen**
 - **Eingesparte CO₂-emissionen**

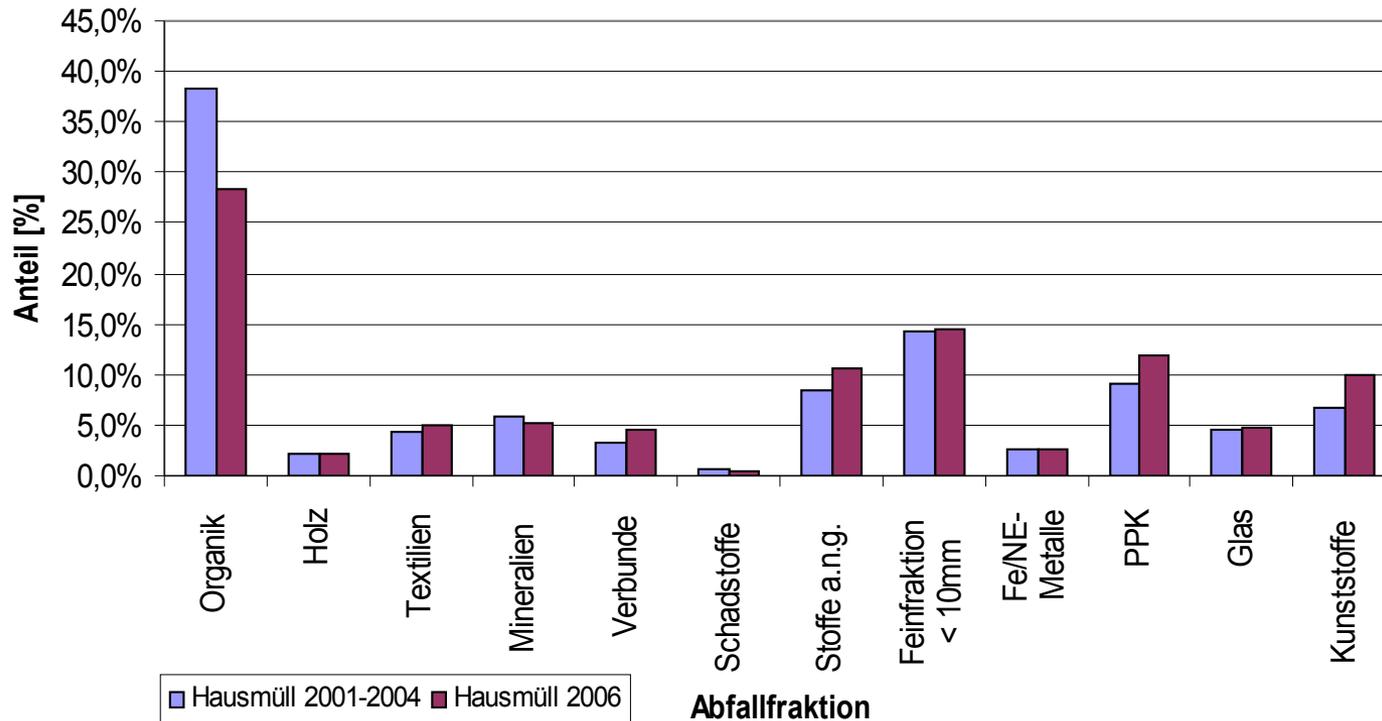
Abfallmengenentwicklung in MVA



- verbrannte Menge an Haushaltsabfällen und Sperrholz geht auf das statistische Bundesamt zurück
- Gesamtmenge bei Interessengemeinschaft thermischer Abfallbehandlungsanlagen Deutschland (ITAD) erfragt
- es ist zu beachten, dass die ITAD für Restabfall Mengen von 2005-2007 von ca. 12 Mio. Mg/a angibt, also 30% mehr als das statistische Bundesamt
- große Menge an Gewerbeabfällen, Bau und Abbruchabfälle werden nicht bilanziert

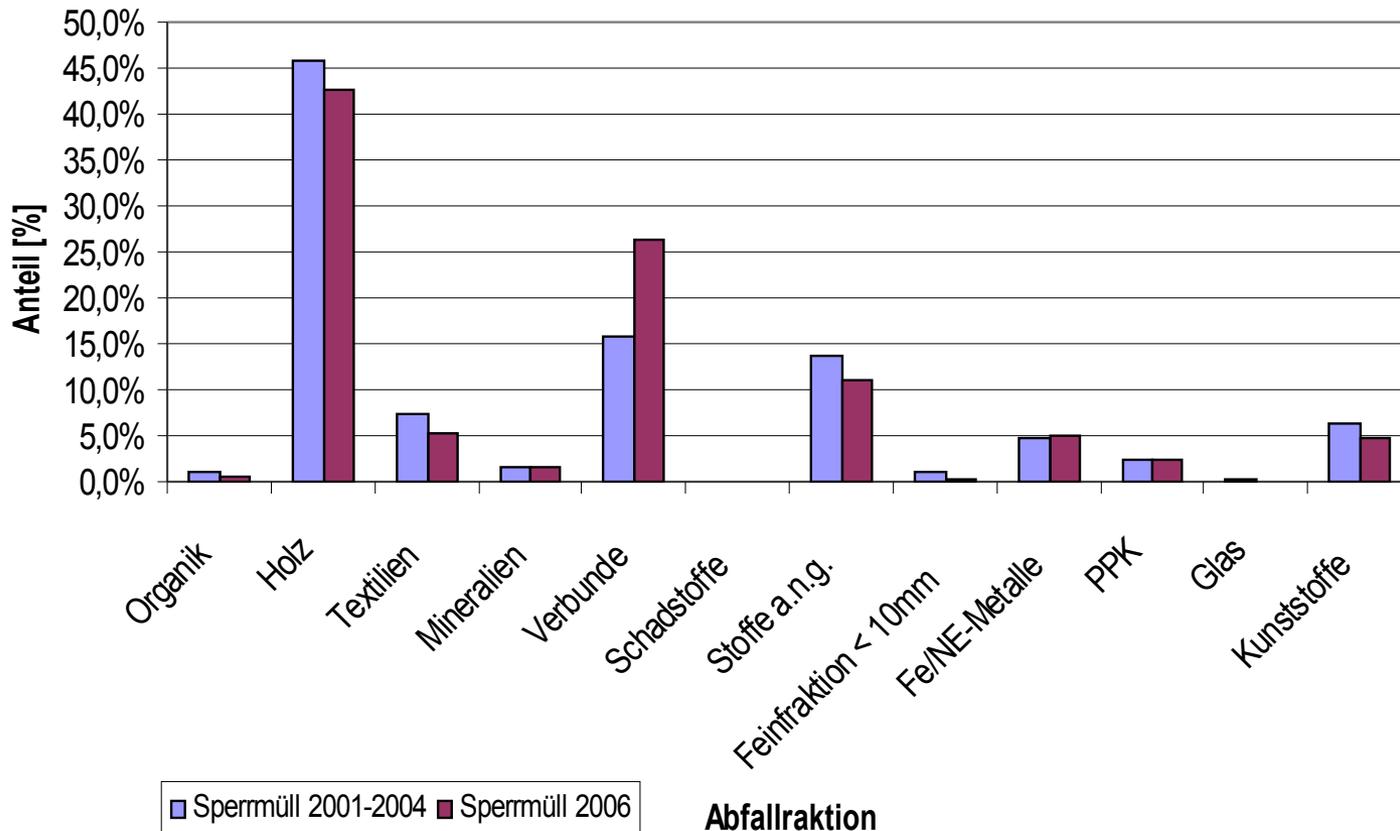
- geringe Klärschlammengen werden mitverbrannt, es gibt aber keine Statistik
- für Berechnung wurden ca. 98.000 Mg aus dem Jahr 2003 hinzugezogen

Zusammensetzung Hausmüll



- Vergleich der Zusammensetzung des Restabfalls über Sortieranalysen des IAA und Intecus von 2001-2004 und von 2006
- Organik mit größtem massenmäßigen Anteil Anteil aber stark rückläufig (gute Annahme der Biotonne)
- Anstieg der Fraktionen mit hohem fossilen Anteil: Verbunde und vor allem Kunststoffe (hat Einfluss auf fossilen CO₂-Emissionsfaktor)

Zusammensetzung Sperrmüll



- die signifikante Menge an Holz geht leicht von ca. 45% auf 43% zurück
- Fraktionen der Textilien, Stoffe anders nicht genannt und Kunststoffe gehen leicht zurück
- Die Fraktionen der Verbunde steigen deutlich von 16% auf fast 27% an
- Der Rückgang fast aller Fraktionen ist auf den starken Anstieg der Verbunde zurückzuführen
Grund ist starker Anstieg

	Input [Mg/a]	Input [%]	Heizwert [kJ/kg]	FWL [GWh/a]	FWL [%]
Restabfall:	8.529.000	49,02%	8.619	20.421	41,85%
Sperrmüll:	572.000	3,29%	13.278	2.110	4,32%
Altholz:	3.500	0,02%	16.000	16	0,03%
EBS aus MBA	189.000	1,09%	13.450	706	1,45%
Klärschlamm:	98.290	0,56%	2.612	71	0,15%
sonstige:	8.008.210	46,02%	11.451	25.473	52,20%
Gesamt:	17.400.000	100,00%	10.093	48.796	100,00%

- neben Restabfall, Sperrmüll und Klärschlamm werden geringere Mengen an Altholz und EBS aus MBA eingesetzt
- Die Gesamtabfallmenge, der durchschnittliche Heizwert und die Gesamtfeuerungswärmeleistung wurden über Daten der ITAD ermittelt
- Anteil der Sonstigen wurde über Differenz des Gesamtabfallaufkommens und des Heizwertes der gesamten verbrannten Abfalls zu den bekannten Abfallströmen berechnet

Abfall:	Strom [MWh/a]		Abgegebene Fernwärme/ Prozessdampf [MWh/a]
	produziert:	exportiert:	
Restabfall:	2.589.692	1.878.148	5.675.811
Sperrmüll:	267.545	194.034	586.377
Altholz	1.973	1.431	4.324
EBS aus MBA	89.549	64.945	117.343
Klärschlamm:	9.044	6.559	19.823
sonstige:	3.302.196	2.394.883	7.316.322
Gesamt:	6.260.000	4.540.000	13.720.000

- Die gesamten erzeugten und abgegebenen Energiemengen wurden über die Statistiken der ITAD ermittelt
- Die restlichen Mengen wurden über ihre Anteile an der FWL berechnet
- der Anteil von Öl an der FWL der zu 0,4% an der FWL Anteil hat, wurde anteilig von den Abfallfraktionen abgezogen und der Fraktion der Sonstigen zugerechnet

Freigesetzte fossile CO₂-Emissionen

Abfall:	Inputmenge [Mg/a]	CO₂-Emissionsfaktor [kg_{CO₂,äquivalent}/kg_{BS}]	fossile CO₂-Emissionen [Mg/a]
Restmüll:	8.529.000	0,344	2.931.943
Sperrmüll:	572.000	0,435	248.825
EBS aus MBA:	189.000	0,367	69.363
Öl:	393.317 MWh/a	0,19 Mg_{CO₂,äq}/MWh	74.730
Gas:	1.229.117 MWh/a	0,27 Mg_{CO₂,äq}/MWh	331.862
Gesamt:	10.912.434		3.656.677

- Altholz und Kläraschlamm setzen keine fossilen CO₂-Emissionen frei
- Anteil von Öl beträgt 0,8% der FWL für Stütz- und Anfahrvorgänge
- Anteil an Gas beträgt 2,5 % der FWL für die Wiederaufheizung der Rauchgase bei der SCR
- für den Anteil der Sonstigen liegt kein CO₂-Emissionsfaktor vor, daher können keine fossilen CO₂-Emissionen berechnet werden

	CO ₂ -Einsparung durch Strom [Mg/a]	CO ₂ -Einsparung durch Wärme [Mg/a]	CO ₂ -Gesamteinsparung [Mg/a]
Restmüll:	1.119.376	1.225.975	2.345.351
Sperrmüll:	115.644	126.657	242.302
Altholz:	853	934	1.787
EBS aus MBA:	38.707	42.393	81.100
Klärschlamm:	3.909	4.282	8.191
Gesamt:	1.278.489	1.400.241	2.678.731

- Berechnet sich durch Multiplikation der bereitgestellten Energiemengen der Abfallfraktionen und dem spezifischen CO₂-Emissionfaktoren des deutschen Strommixes (0,569 kg_{CO2}/kg_{BS}) und des deutschen Wärmemixes (216 kg_{CO2}/kg_{BS})
- Vergleich von eingesparten zu erzeugten CO₂-Emissionen ergibt Negativbilanz von 977.922 Mg_{CO2}/a
- EdDE-Studie von 2005 konnte noch CO₂-Emissionen von 2,6 Mio. Mg/a verzeichnen

- Momentan elektrische Wirkungsgrade von erzeugtem Strom von ca. 14%, der Stromabgabe von ca. 10% und der Wärmeabgabe von ca. 28%
- Großes Steigerungspotential ist vorhanden

Erhöhung des Kesselwirkungsgrades

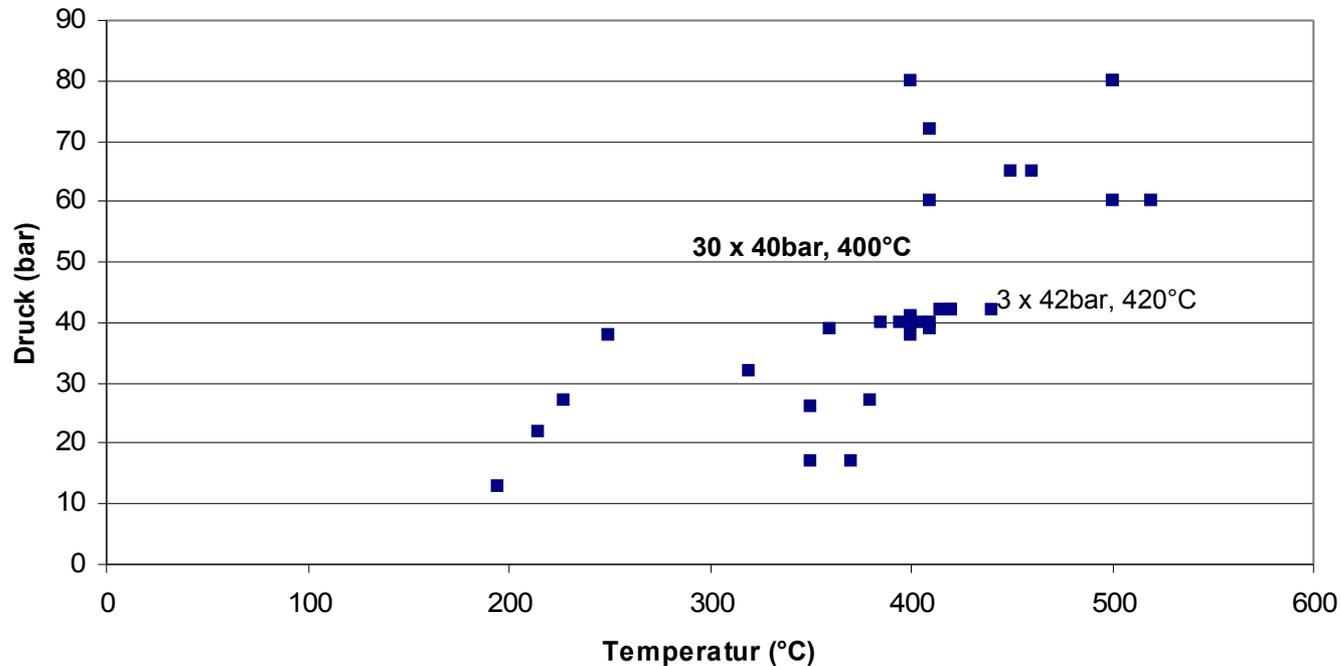
	Anteil an FWL vor Optimierung	Anteil an FWL nach Optimierung
thermische Ascheverluste	0,7%	0,5%
chemische Ascheverluste	3,0%	1,0%
thermische Rauchgasverluste	11,2%	8,0%
chemische Rauchgasverluste	vernachlässigbar	
Strahlungsverluste	4,0%	2,0%
Gesamt:	18,9%	11,5%

- Steigerung des Kesselwirkungsgrades von 81,1% auf 88,5% möglich

Steigerung des idealen thermischen Wirkungsgrades

Erhöhung Frischdampfparameter:

Frischdampfparameter deutscher MVA (2007)



- Frischdampfparameter von 40 bar 400°C haben sich als Optimum herausgestellt
- Höhere Dampfparameter ergeben größere Probleme mit Hochtemperatur-chlorkorrosion
- Niedrigere Frischdampfparameter führen hingegen zu geringeren Stromausbeuten
- Die Anlagen mit niedrigen Dampfparametern erzeugen nur Sattdampf und stellen in der Regel keinen Strom her

Verringerung des Kondensationsdrucks:

- Kondensationsdruck deutscher MVA momentan bei 0,1 bis 0,25 bar
- Anlagen die nur Sattedampf erzeugen kondensieren Dampf schon bei Sattedampfdruck
- Höhe des Kondensationsdrucks ist von Umgebungstemperatur abhängig, fast alle MVA kondensieren mit Luftkondensatoren
- Möglichkeiten zur Verringerung des Kondensationsdrucks:
 - Kondensatorleistung erhöhen
 - Kondensationsdruck durch Kühlung mit Fluss-, See-, oder Hafenwasser senken
 - Kondensatorflächen mit Wasser bedüsen
- **Verminderung des Kondensationsdrucks um 0,1 bar erhöht den idealen thermischen Wirkungsgrad um 2%**
- durchschnittlicher Kondensationsdruck durch Luftkondensatoren in MVA von 1,5 bar erscheint realistisch

Steigerung des idealen thermischen Wirkungsgrades

Luft und Speisewasservorwärmung:

- Nutzung der sonst ungenutzten Kondensationswärme des Dampfes
- Speisewasservorwärmung erfolgt in deutschen MVA auf 110°C bis 140°C
- Erhöhung der Speisewassereintrittstemperatur um 10K erhöht den idealen thermischen Wirkungsgrad um 0,1%
- Der Ausbau von ein auf zwei Vorwärmstufen erhöht den idealen thermischen Wirkungsgrad um ca. 2%, von 2 auf 3 Vorwärmstufen um ca. 1,3%.
- Luftvorwärmung von 10K durch Anzapfdampf senkt realen thermischen Wirkungsgrad um ca. 0,1 %, erhöht aber Kesselwirkungsgrad um ca. 0,6%. Daher Einsparung von 0,5%-Punkten

Maßnahme:	Wirkungsgradsteigerung
Erhöhung der Vorwärmstufen von 1 auf 2	ca. 2%
Erhöhung der Vorwärmstufen von 2 auf 3	ca. 1,3%
Erhöhung Speisewassereintrittstemperatur um 10K	ca. 0,5%
Erhöhung Luftvorwärmung um 10K	ca. 0,5%

Steigerung des idealen thermischen Wirkungsgrades

- Mit den folgenden Dampfparametern und Anzapfstufen für die Speisewasservorwärmung auf 140°C- und Luftvorwärmung auf 120°C durch Anzapfdampf aus der 4 bar Anzapfung errechnet sich ein idealer thermischer Wirkungsgrad von 38,5 %

	Druck [bar]	Temperatur [°C]	Enthalpie [kJ/kg]
Frischdampfparameter	40,00	400	3.214,37
Erste Anzapfstufe	4,00	0,97 Dampfgehalt	2.674,06
Zweite Anzapfstufe	1,00	0,9 Dampfgehalt	2.449,20
Kondensationsparameter Wasser	0,15	0,825 Dampfgehalt	2.183,14
Kondensationsparameter Dampf	0,15	52	225,94
erste Vorwärmstufe	1,00	100	417,44
zweite Vorwärmstufe	4,00	140	589,23

- mit modernen Turbinenwirkungsgraden von 83% errechnet sich ein realer thermischer Wirkungsgrad von 32%

- Der elektrische Eigenenergiebedarf der deutschen MVA ist von 2005 bis 2007 ist nahezu konstant bei 10,4% der Feuerungswärmeleistung (ITAD)
- große Einsparpotentiale beim Eigenbedarf vorhanden:
 - Einsatz von Frequenzumformern zur Minderung der Leistungsaufnahme von Motoren
 - Austausch alter Aggregate mit schlechten Wirkungsgraden, vor allem bei dem elektrische Großabnehmer wie die Motoren der Saugzüge und Luftkondensatoren
 - Einsatz von Dampfturbine für die Kesselwasserspeisepumpe, die mit selbst produziertem Hochdruckdampf betrieben wird
- Prognose über die Entwicklung des Eigenenergiebedarfs ist schwer, Rückgang von momentan 10,1% der FWL auf ca. 7% erscheint realistisch

Kesselwirkungsgrad	88,50%
idealer thermischer Wirkungsgrad	38,67%
innerer Turbinenwirkungsgrad	83,00%
Rohrreibungswirkungsgrad	98,00%
mechanischer Wirkungsgrad an der Kupplung	99,00%
Generatorwirkungsgrad	99,00%
elektrischer Eigenbedarfswirkungsgrad	93,00%
elektrischer Gesamtwirkungsgrad:	27,28%

Abfallfraktion:	Strom [MWh/a]	
	produziert:	exportiert:
Restabfall:	5.600.661	5.208.614
Sperrmüll:	578.613	538.110
EBS aus MBA:	115.790	107.684
Klärschlamm:	19.560	18.191
sonstige:	7.169.563	6.667.694
Gesamt:	13.484.186	12.540.293

- Komplette Verstromung der Dampfenthalpie von 40 bar 400°C auf 0,15 bar 53°C
- durch geringen Stromeigenbedarf geringe Differenz zwischen produzierter und abgegebener Strommenge

Abfallfraktion:	Strom [MWh/a]		Erzeugte Fernwärme/ Prozessdampf [MWh/a]
	produziert:	exportiert:	
Restabfall:	3.897.873	3.625.022	14.628.579
Sperrmüll:	402.695	374.507	1.511.301
EBS aus MBA:	134.785	125.350	505.843
Klärschlamm:	13.613	12.660	51.090
sonstige:	4.935.577	4.590.087	18.523.048
Gesamt:	9.384.543	8.727.625	35.219.861

- Die Wärmeauskopplung erfolgt bei 4 bar und ca. 170°C
- daher nur die Hälfte der Enthalpiedifferenz des Dampfes zu Stromerzeugung nutzbar
- Durch Nutzung der Kondensationswärme des Dampfes hohes Potential an Prozessdampf- und Fernwärmeabgabe

CO₂-Einsparung

- stromgeführte Fahrweise

Abfallfraktion	CO ₂ -Einsparung durch Strom [Mg/a]
Hausmüll:	3.091.917
Sperrmüll:	319.431
Altholz:	2.355
EBS aus MBA:	106.916
Klärschlamm:	10.798
Gesamt:	3.531.417

- Fernwärmenutzung bietet hohe Potentiale CO₂-Emissionen einzusparen ohne in teure Anlagentechnik zu investieren
- Jedoch schlechte Anbindung an Fernwärmenetze, im Sommer schlechte Abnahmebedingungen und oft Konkurrenz zu anderen Wärmelieferern

- wärmegeführte Fahrweise

Abfallfraktion:	CO ₂ -Einsparung durch Strom [Mg/a]	CO ₂ -Einsparung durch Wärme [Mg/a]	CO ₂ -Gesamteinsparung [Mg/a]
Restmüll:	2.151.871	3.147.134	5.299.005
Sperrmüll:	222.313	325.135	547.448
Altholz:	1.639	2.397	4.037
EBS aus MBA	44.488	108.825	153.314
Klärschlamm:	7.515	10.991	18.507
Gesamt:	2.427.827	3.594.483	6.022.310

	stromführend	wärmeführend
erzeugte CO ₂ -Emissionen [MgCO ₂ /a]	3.653.987	3.653.987
Eingesparte CO ₂ -Emissionen [MgCO ₂ /a]	3.531.417	6.022.310
Netto CO ₂ -Einsparung[MgCO ₂ / a]	-122.570	2.368.323

- Stromgeführte Fahrweise führt auch nach Energieeffizienzsteigerung bei gegebener Abfallzusammensetzung nicht zu positiven fossilen CO₂-Emissionen
- Erst die wärmeführende Fahrweise führt zu CO₂-Einsparungen, wobei die abgegebene Menge unrealistisch ist, da nicht die gesamte anfallende Wärme das ganze Jahr über Abnehmer finden wird

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!

Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten

Tel.: 03501-530021

Mail : abfall@mail.zih.tu-dresden.de

Web: www.tu-dresden.de/fghhiaa/