

Pyrolyseverfahren in Burgau – eine Betrachtung aus Sicht der Überwachungsbehörde –

Martin Meier, Karl Schmid und Simone Heger

1.	Einleitung.....	780
2.	Aufgaben des Bayerischen Landesamtes für Umwelt als immissionsschutztechnische Überwachungsbehörde in Bayern	780
3.	Verfahrensbeschreibung der MPA Burgau	782
3.1.	Anlagengenehmigung.....	782
3.2.	Verfahrenstechnik	783
3.3.	Anlieferung und Behandlung des Abfalls.....	785
3.4.	Abfallaufgabe	785
3.5.	Entgasung der Abfälle.....	785
3.6.	Austrag der festen Pyrolyserückstände	786
3.7.	Verbrennung des Pyrolysegases und Energienutzung	786
3.8.	Abgasreinigung.....	787
4.	Abfallwirtschaftliche Betriebsdaten der MPA Burgau	788
4.1.	Abfalleinsatz.....	788
4.2.	Anfallende Rückstände.....	788
5.	Emissionssituation der MPA Burgau.....	789
5.1.	Ergebnisse der laufenden Emissionsüberwachung	789
5.2.	Energieeffizienz der MPA Burgau.....	790
5.3.	Wissenschaftliche Untersuchungen an der MPA Burgau	790
5.3.1.	Ergebnisse der Untersuchungen der anfallenden Reststoffe sowie des Abgases beim Regelbetrieb der MPA Burgau	790
5.3.2.	Ergebnisse der Untersuchungen von PCDD/F und PCB im Abgas von MVA während der Anfahrphase.....	792
6.	Zukunftsperspektiven der MPA Burgau	793
6.1.	Machbarkeitsstudie zum Verbrennen von Schwelkoks in der MPA Burgau	793
6.2.	CFK-Recycling in der MPA Burgau	794
6.3.	Einsatz von Schredderleichtfraktion in der MPA Burgau	794
7.	Literatur	794

1. Einleitung

Die Müllpyrolyseanlage (MPA) Burgau wurde 1982 vom Bayerischen Umweltministerium sowie mit Bundesmitteln gefördert, von der BKMI Industrieanlagen GmbH (Babcock – Krauss Maffei) errichtet und in der Anfangszeit vom Hersteller-Konsortium betrieben. Seit 1987 betreibt der Landkreis Günzburg die Anlage in Eigenregie. Sie dient dazu, den im Landkreis Günzburg (etwa 120.000 Einwohner) anfallenden Restmüll aus Haushalten, den hausmüllähnlichen Gewerbemüll, den Sperrmüll und in geringen Mengen auch Klärschlamm umweltschonend zu beseitigen. Die MPA finanziert sich ausschließlich aus den eingenommenen Abfallgebühren.

Die MPA war nach Betreiberangaben bis etwa 2001 die weltweit einzige großtechnische Pyrolyseanlage für Hausmüll, die im Dauerbetrieb die Entsorgung des gesamten Restabfalls der Region sicherte. Nach über dreißig Jahren Betriebserfahrung mit lediglich kleineren Betriebsstörungen kann der Betreiber von einem bewährten Verfahren mit einer sicheren Betriebsweise ausgehen. Ursprünglich erhielt die Anlagengenehmigung Anforderungen an die Emissionen nach der damals geltenden TA-Luft 86. Nach Inkrafttreten der 17. Bundes-Immissionsschutzverordnung am 23.11.1990 (17. BImSchV) für Abfallverbrennungsanlagen rüstete der Betreiber die Anlage mit einer entsprechenden Abgasreinigung zur Einhaltung der verschärften Schadstoffgrenzwerte aus.

Aufgrund der Verfahrenstechnik der Pyrolyse war der technische Aufwand der Nachrüstung der Abgasreinigung als eher gering und damit auch kostengünstig anzusehen. Die bisherigen Daten zeigen, dass die Anlage die geltenden Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV sicher einhält und teilweise deutlich unterschreitet. Die Müllpyrolyseanlage Burgau ist nach wie vor in kommunaler Hand und liegt bei den Entsorgungsgebühren im Mittelfeld der bayerischen thermischen Entsorgungsanlagen.

2. Aufgaben des Bayerischen Landesamtes für Umwelt als immissionsschutztechnische Überwachungsbehörde in Bayern

Das Bayerische Landesamt für Umwelt ist gemäß Artikel 4 Absatz 1 Satz 2 des Bayerischen Immissionsschutzgesetzes (BayImSchG) die für diese Anlagen zuständige Überwachungsbehörde. Es trifft die erforderlichen Feststellungen bezüglich der Einhaltung der Anforderungen an:

- Verbrennungs-, Pyrolyse- und Wirbelschichtanlagen zur Beseitigung von Abfällen,
- chemisch-physikalische Behandlungsanlagen und Sammelstellen der GSB zur Beseitigung von Abfällen,
- Tierkörperbeseitigungsanlagen und Sammelstellen und
- Tierkrematorien.

Zum Stand 01.10.2013 überwacht das Landesamt 46 Anlagen, wovon 40 den verschärften Anforderungen der Industrieemissions-Richtlinie unterliegen. Im Einzelnen sind dies

- fünfzehn Hausmüllverbrennungsanlagen (14 MVA, 1 MPA)
- eine Vergärungs-/Kompostieranlage bei der AVA Augsburg
- neun Sonderabfallverbrennungsanlagen (1 SAV der GSB, 6 private SAV)
- drei Monoverbrennungsanlagen für Klärschlamm
- vier Chemisch-Physikalische Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle
- sechs Sammelstellen der GSB für gefährliche Abfälle
- zwei Tierkrematorien
- sechs Tierkörperbeseitigungsanlagen
- zwei Umladestationen für Tierkörper

Weitere detaillierte Angaben hierzu finden sich unter www.lfu.bayern.de/abfall.

Im Rahmen seiner Überwachungstätigkeit prüft und überwacht das im Bayerischen Landesamt für Umwelt zuständige Fachreferat die an die Anlagen gestellten Anforderungen zu Luftreinhaltung, Abfallwirtschaft, Lärmschutz, Energieeffizienz und Störfallrelevanz. Im Rahmen der Anlagenüberwachung gemäß § 52 BImSchG werden insbesondere folgende Tätigkeiten durchgeführt:

- Vor-Ort-Besichtigungen
- Überwachung der Emissionen
- Überprüfung interner Berichte und Folgedokumente
- Überprüfung der Eigenkontrolle
- Prüfung der angewandten Techniken
- Eignung des Umweltmanagements der Anlage zur Sicherstellung der Anforderungen nach § 6 Absatz 1 Nummer 1 BImSchG.

Die Tiefe der Überwachungstätigkeit soll folgendes Beispiel verdeutlichen. Im Rahmen der Vor-Ort-Besichtigungen werden mindestens diese Themen mit dem Anlagenbetreiber besprochen und im Bedarfsfall Maßnahmen festgelegt:

- Anlagenidentität
- Genehmigungssituation
- Nebeneinrichtungen
- Nr. 4. BImSchV, Nr. der IED-Richtlinie, Nr. UVPG
- Anlagenkapazität
- Betriebszeiten
- Lärmsituation
- Anlagenbegehung
- aktuelle Beschwerden
- Diskussion aktueller Probleme und Fragestellungen

Um stets einen aktuellen Überblick zur Emissionssituation der Anlagen zu besitzen, führt das Landesamt eine *laufende* Überwachung der Emissionen durch. Dabei werden Emissionsmonatsberichte geprüft, Überschreitungen von Emissionsgrenzwerten bewertet und soweit erforderlich die zuständigen Genehmigungsbehörden informiert.

Die monatlich aktuellen Auszüge der Emissionswertrechner ersetzen im Rahmen einer abgestuften Unverzüglichkeit die unmittelbare Meldung von Überschreitungen von Halbstundenmittelwerten an das Landesamt. Überschreitungen von Tagesmittelwerten sind jedoch spätestens am nächsten Werktag zu melden und ebenfalls im Monatsbericht aufzuführen. Zudem sind die Betreiber verpflichtet die aufgelaufenen Überschreitungen der Emissionsgrenzwerte (insbesondere der Halbstundenmittelwerte) zu kommentieren.

Die termingerechte Durchführung von Einzelmessungen und deren Dokumentation sowie Funktionsprüfung, Kalibrierung, Wartung und Dokumentation der automatischen Messsysteme bilden hierbei einen weiteren Baustein der Anlagenüberwachung. Abgerundet wird die kontinuierliche Überwachung durch ein mit den Betreibern abgestimmtes System von unverzüglichen Meldungen und Sofortmeldungen, je nach Schwere der Betriebsstörung oder Überschreitungen von Emissionsgrenzwerten.

Die Ergebnisse der Anlagenüberwachung veröffentlicht das Landesamt gemäß § 52 a BImSchG unter www.lfu.bayern.de/abfall/ueberwachung_aba/allgemeines/index.htm. Dabei werden je Anlage der jährliche vom Landesamt erstellte Emissionsjahresbericht sowie der Überwachungsbericht veröffentlicht. Diesem engmaschigen Überwachungsregime unterliegt auch die MPA Burgau, bei der einmal pro Jahr eine Vor-Ort-Besichtigung durchgeführt wird, sofern keine anlassbezogene Überwachung erforderlich ist.

Quelle zu Kapitel 2.:

[6] Anonym: Bayerisches Immissionsschutzgesetz – BayImSchG – (BayRS 2129-1-1-UG), zuletzt geändert durch Gesetz vom 22.07.2008 GVBl S. 466

3. Verfahrensbeschreibung der MPA Burgau

3.1. Anlagengenehmigung

Der Landkreis Günzburg erhielt die unbefristete abfallrechtliche Gestattung zum Betrieb einer Müllverschmelzungs-(Pyrolyse-)Anlage bei Burgau gemäß dem Planfeststellungsbeschluss der Regierung von Schwaben vom 18.04.1984. Die im Bescheid genehmigte Durchsatzleistung beträgt insgesamt 6 t/h Abfall, also 3 t/h je Drehrohr-ofen. Derzeit unterliegt die Anlage der Nummer 8.1.1.3 des Anhangs zur 4. BImSchV. Die Anforderungen der 17. BImSchV vom 14.08.2003 sind bei der Anlage umgesetzt, sie unterliegt nicht der 12. BImSchV. Die anstehende Umsetzung der SEVESO-III-Richtlinie in deutsches Recht könnte dies ggf. ändern, so dass die Anlage dann die Grundpflichten der 12. BImSchV erfüllen muss.

3.2. Verfahrenstechnik

Die Müllpyrolyseanlage Burgau hat 2 Drehrohröfen im Parallelbetrieb zur thermischen Behandlung von Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnlichem Gewerbemüll und Klärschlamm, der im Landkreis Günzburg zur Entsorgung anfällt. Je nach Heizwert der angelieferten Abfälle erreicht die Anlage einen Durchsatz von etwa 4 t/h im Jahresmittel. Die abfallwirtschaftlichen Rahmendaten stellen sich wie folgt dar:

Grundfläche Landkreis Günzburg	763 km ²	
Einwohneranzahl	etwa 120.000	
Abfallmenge	etwa 26.000 t/a	
Abfallarten	Restabfall aus Haushalten	
	Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	
	Sperrmüll	
	Klärschlamm	
Heizwert des Abfalls	Durchschnittlich	9.000 kJ/kg
	Maximal	11.000 kJ/kg
	Minimal	6.000 kJ/kg
Durchschnittliche Abfallzusammensetzung	Feuchte	25 %
	Anorganischer Anteil	30 %
	Organischer Anteil	45 %

Tabelle 1:

Abfallwirtschaftliche Rahmendaten

Anzahl der Drehrohre	2
Drehrohrabmessungen	
- Innendurchmesser	2,2 m
- Länge	20 m
Gemeinsame Einrichtungen	2 Zyklone, Brennkammer
Abgasreinigung	SNCR-Entstickungsanlage, Flugstromreaktor, Gewebefilter, SCR-Katalysator
Brennkammertemperatur	1.250 °C
Rauchgastemperatur vor Abhitzekeessel	900 °C
Rauchgastemperatur nach Economiser	200 °C
Dampfparameter	
- Temperatur	400 °C
- Druck	25 bar
Stromerzeugung	max. 2,2 MW (theoretisch) max. 1,5 MW (tatsächlich)
Turbinentyp	Kondensationsturbine
Abwärmenutzung	Nutzung der Kondensationswärme zur Warmwassererzeugung für Gewächshäuser in der Umgebung

Tabelle 2:

Die technischen Daten der MPA Burgau im Überblick

Die Anlagenschaltung zeigt das folgende Verfahrensfließbild der Müllpyrolyseanlage Burgau, Details zu den einzelnen Komponenten werden später erläutert:

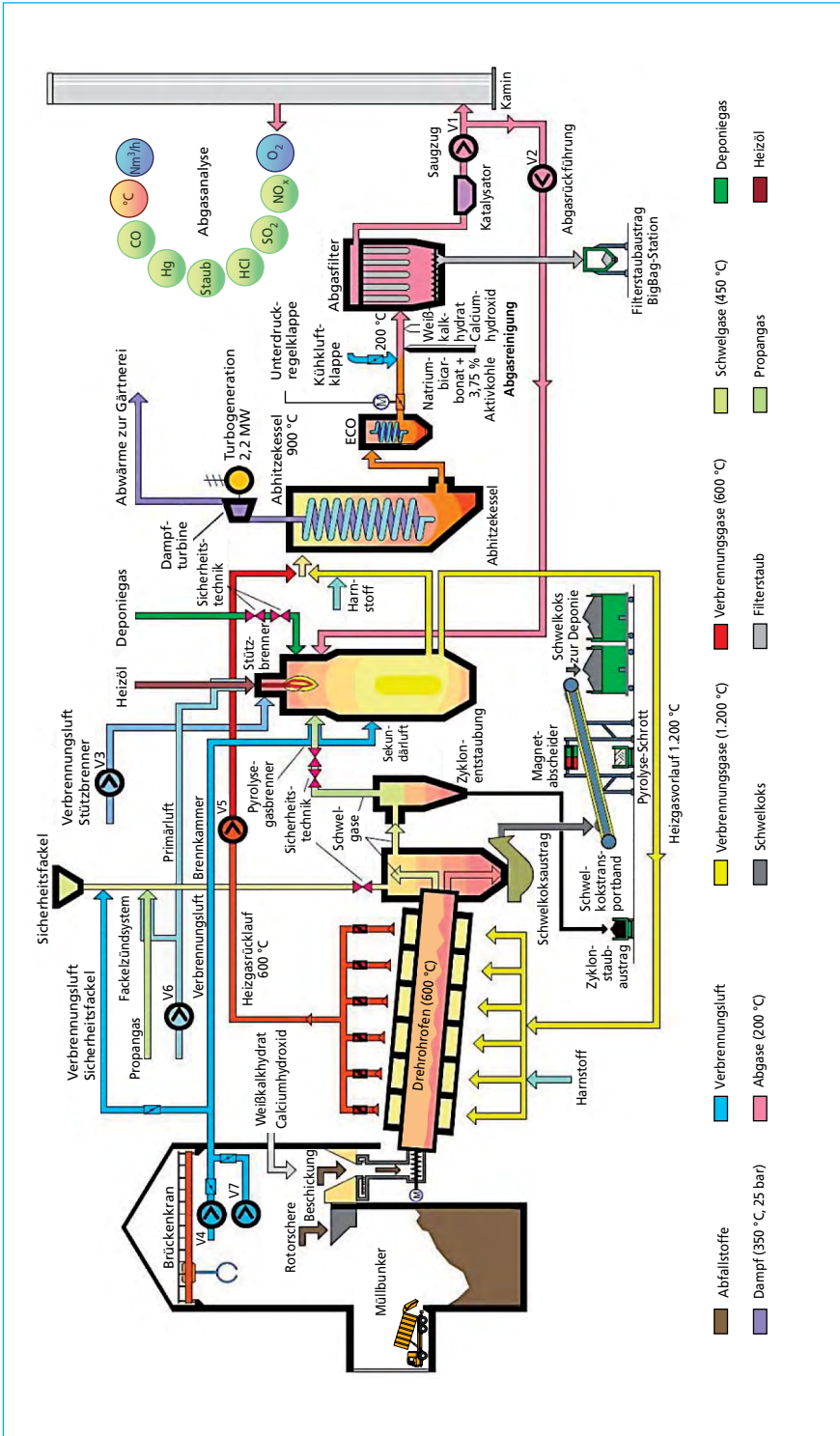


Bild 1: Müllpyrolyseanlage Burgau (MPA)

3.3. Anlieferung und Behandlung des Abfalls

Die von den Müllfahrzeugen angelieferten Abfälle (etwa 100 t pro Tag) werden gewogen und nach Registrierung der Abfallart, der Abfallmenge und der Abfallherkunft in den Grobmüllbunker entleert. Um eine gleichbleibende Abfallqualität sicherzustellen, wird der angelieferte Abfall mit dem Brückenkran homogenisiert. Im Regelfall werden die Abfälle während der Nachtzeit aus dem Grobmüllbunker mit einem Brückenkran aufgenommen und mit einer Rotorschere zerkleinert. Diese Abfälle verlassen mit einer Kantenlänge von höchstens 30 cm die Rotorschere über eine Schurre durch eine Öffnung in der Bunkerwand und gelangen anschließend in den Feinmüllbunker.

3.4. Abfallaufgabe

Aus dem Feinmüllbunker wird der Feinmüll wiederum mit dem Brückenkran aufgenommen und über Plattenbandförderer mit nachfolgender Zuteilschnecke periodisch zu den Eintragschleusen der beiden Schweltrommeln transportiert. Dort wird den Abfällen über Dosierschnecken bezogen auf die Aufgabemenge (pro Beschickung etwa 50 bis 100 kg) etwa 0,5 bis 1 Mass.-% gebrannter Kalk (CaO) zur Bindung von sauren Schadstoffen im Verschmelungsprozess (z.B. Schwefeldioxid, Chlor- und Fluorwasserstoff) zugegeben. Die auf diese Weise konditionierten Abfälle werden über Stopfschnecken in die Schwelger befördert.

3.5. Entgasung der Abfälle

Die Verschmelzung der Abfälle erfolgt zwischen etwa 470 und 500 °C unter Luftabschluss in zwei Drehrohrtrommeln (Durchmesser: 2,20 m, Länge: etwa 20 m), die über eine feststehende Einhausung indirekt beheizt werden. Die dazu erforderliche Heizenergie stammt aus der Verbrennung des Pyrolysegases. Die Verweilzeit der Abfälle in den Schwelern beträgt bei einer Drehgeschwindigkeit von 1,5 Umdrehungen pro Minute etwa sechzig Minuten. Der aus dem Schwelprozess übrigbleibende Schwelkoks wird aus den die Schweltrommeln abschließenden Austragsgehäusen über Nassentschlacker ausgetragen. Die anfallende Masse des Schwelkokes betrug in 2006 etwa 14.200 t/a (30 bis 35 Prozent Glühverlust) und nahm seither bei etwa gleichbleibender verbrannter Menge auf etwa 11.000 t/a ab. Die Gründe hierfür sind zum einen Optimierungen des Verschmelungsprozesses und zum anderen das Altholz, das im Verschmelungsprozess überwiegend *Holzkohle* erzeugt, einer Verwertungsschiene außerhalb der MPA zugeführt wurde.

Am Ende der Austragsgehäuse gelangen die mit kohlenstoffhaltigem Staub beladenen Schwelgase in die Heißgaszyklone zur Entstaubung. Der abgeschiedene Staub wird über Doppelpendelklappen und Kühlschnecken ausgetragen und separat in Containern gesammelt.

3.6. Austrag der festen Pyrolyserückstände

Über die o.g. Nassentschlacker wird der Schwelkoks auf einen Feuchtigkeitsgehalt von etwa dreißig bis vierzig Prozent gebracht, auf etwa 40 bis 50 °C abgekühlt und anschließend ausgetragen. Der Wasserstand in den Nassentschlackern verhindert den Eintritt von Luft in den Drehrohrofen und gleichzeitig den Austritt von Pyrolysegas.

Über ein gemeinsames Förderband wird der Schwelkoks beider Drehrohre in Container-Mulden abgeführt. Unmittelbar vor den Containern wird mittels eines Überbandmagneten (Magnetabscheider) der eisenhaltige Grobanteil aus dem Schwelkoks abgetrennt, in separate Container abgeworfen und der Verwertung zugeführt. Der Schwelkoks wird anschließend auf der landkreiseigenen Deponie in Burgau abgelagert.

3.7. Verbrennung des Pyrolysegas und Energienutzung

Das vorentstaubte Pyrolysegas aus beiden Drehrohrofen wird in einer gemeinsamen Brennkammer unter Luftzugabe mit einem Sauerstoffüberschuss von 1,3 bis 1,5 bei einer Temperatur von etwa 1.250 °C verbrannt. Die Entnahme der Verbrennungsluft erfolgt aus dem Abfallbunker, wobei die Bunkerluftabsaugung gleichzeitig der Vermeidung von Geruchsbelästigung in der näheren Umgebung der Abfallentsorgungsanlagen Burgau dient. Neben dem Pyrolysegas wird in der Brennkammer auch Deponiegas aus der angrenzenden Deponie verbrannt.

Bei einem Absinken der Brennkammertemperatur auf etwa 1.100 °C wird ein erdölbefuerter Stützbrenner manuell in Betrieb genommen, um einen ausreichenden Ausbrand der Verbrennungsabgase sicherzustellen. Sobald die Temperatur in der Brennkammer 1.000 °C unterschreitet, geht die Fackelschaltung in Betrieb. Das vom Austragsgehäuse der Schweltrommeln kommende Schwelgas wird in diesem Fall vor dem Zyklon in einer offenen Sicherheitsfackel verbrannt.

Durch die hohe Brennkammertemperatur liegen für das Pyrolysegas optimale Ausbrandbedingungen vor, so dass sich für Kohlenmonoxid, Dioxine und Furane sowie Kohlenwasserstoffverbindungen sehr niedrige Emissionswerte im Abgas ergeben. Weitere Maßnahmen zur Minderung von Dioxin- und Furan-Emissionen sind jedoch aus Vorsorgegründen erforderlich.

Die aus der Brennkammer austretenden Verbrennungsabgase werden in zwei Teilströme aufgeteilt. Ein Teil der Verbrennungsabgase wird über die Heizgasleitungen in die Heizkammern der Drehrohrofen geführt und dient zur indirekten Beheizung der Drehrohre. Dieser Abgasstrom kühlt dabei auf etwa 600 bis 680 °C ab. Das überschüssige Abgas und die abgekühlten Heizgase werden in einen Abhitzekessel und einen nachgeschalteten Economiser (Speisewasservorwärmer) zur Nutzung der Restenergie abgeführt. Hierzu werden die Verbrennungsabgase zunächst im Abhitzekessel (Auslegungsdampfleistung: 12 t/h bei 25 bar und 400 °C) abhängig vom Lastanfall von etwa 900 °C auf etwa 350 °C abgekühlt.

Anschließend durchlaufen die Abgase den Economiser, der das für den Dampfkessel benötigte Speisewasser von 105 °C auf etwa 200 °C vorwärmt. Das Abgas selbst wird dabei je nach Zustand des Dampfkessels und des Economisers auf 180 bis 220 °C abgekühlt.

Mittels einer Kondensations-Dampfturbine mit angekoppeltem Generator ($P_{el} = 2,2 \text{ MW}$) wird elektrische Energie für den Eigenbedarf und zur Einspeisung ins öffentliche Netz erzeugt. Die Kondensationswärme der Turbine wird teilweise für die Beheizung einer nahegelegenen Gärtnerei genutzt.

3.8. Abgasreinigung

Die Abgasreinigungsanlage für die Verbrennungsabgase der Abfallpyrolyseanlage Burgau ist als zweistufiges und abwasserfreies Verfahren ausgeführt. Sie setzt sich aus einer Kombination aus einer SNCR- und SCR-Einrichtung zur Entstickung der Abgase und einem Flugstromadsorber mit nachgeschaltetem Gewebefilterabscheider (vier-Kammer-Gewebefilter) zusammen.

Über sechs Zerstäuberlanzen je Schweler, die im Bereich der Heizgasleitungen der beiden Pyrolysetrommeln angebracht sind, und eine Lanze im Abgaskanal vor dem Abhitzeessel wird nach dem SNCR-Verfahren eine wässrige Harnstofflösung (Carbamin 5.730) in das heiße Abgas der Brennkammer eingedüst.

Das aus dem Economizer kommende Abgas wird nach Zugabe von Natriumhydrogencarbonat (Bicar) und Aktivkohle (Gesamtmasse etwa 39 kg/h) im Gewebefilter gemäß dem Prinzip des Flugstromadsorbers bei 220 bis 230 °C gereinigt. Jede der vier Filterkammern enthält 156 Filterschläuche (BWF Envirotec, Offingen, PTFE/PTFE 704 MPS CS18). Die Abgase werden mit dem Adsorbensgemisch beaufschlagt und durchströmen dann die Filterschläuche im Gewebefilter von außen nach innen. Im Flugstromadsorber werden Stäube, elementares Quecksilber, sonstige gas- und dampfförmige Metalle und Metallverbindungen sowie Dioxine und Furane weitgehend abgeschieden. Zusätzlich findet im Gewebefilter eine Abscheidung von sauren Abgasbestandteilen (Fluor-, Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid) statt. Der abgeschiedene Filterstaub wird zur Zwischenspeicherung (für einen Tag) kontinuierlich in ein Silo ausgeschleust und von dort über eine Abfüllstation in Big-Bags überführt. Nach dem Gewebefilter durchströmen die Abgase zur Stickstoffoxidminderung einen wabenförmigen SCR-DeNOx-Katalysator (beschichtet mit Vanadiumpentoxid und Wolframtrioxid dotiertem Titandioxid). Nach dem Saugzug wird ein Teilstrom des Abgases mit etwa 180 bis 190 °C über den 39 m hohen Kamin an die Umgebung abgegeben. Der restliche Abgasstrom (maximal 8.000 m³/h) wird zur Temperatursteuerung in die Brennkammer zurückgeführt.

Quellen zu Kapitel 3.:

- [1] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 1999: Bericht über Messungen an der Müllpyrolyse-Anlage (MPA) Burgau, Ergebnisse der Abgas- und Reststoffuntersuchungen im Untersuchungszeitraum vom 16.11.1998 bis 03.12.1998
- [2] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, 2005: Untersuchungsbericht Anfahrvorgang an der MPA Burgau, 23.-24.02./02.03.2005
- [3] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Jahresemissionsbericht der Müllpyrolyseanlage Burgau, www.lfu.bayern.de; Augsburg, 2013

4. Abfallwirtschaftliche Betriebsdaten der MPA Burgau

4.1. Abfalleinsatz

Bei einer jährlichen Betriebszeit von etwa 7.860 h setzte die Anlage im Jahr 2012 rund 23.100 t Abfälle durch. Die folgende Tabelle zeigt die abfallwirtschaftlichen Betriebsdaten der MPA Burgau für das Jahr 2012.

Tabelle 3: Abfallwirtschaftliche Betriebsdaten der Abfallpyrolyseanlage Burgau für das Jahr 2012

Abfallart	Gesamtmenge t
Haus-, Sperr- und Geschäftsmüll	15.184
Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall	7.609
Klärschlamm verbrannt: (Durchschnitt 35 % TS)	159
Gefährliche Abfälle	118
Gesamtdurchsatz	23.070

Die gefährlichen Abfälle waren Aufsaug- und Filtermaterialien, AVV-Schlüssel 15 02 02*. Die MPA Burgau erzeugte 2012 als Energie 31.591 t Dampf und 5.128 MWh Strom. Bei einem Eigenbedarf an Strom von 4.168 MWh (und 286 MWh Strombezug) konnten 1.246 MWh Strom in das öffentliche Netz abgegeben werden. Die Fernwärmeabgabe betrug etwa 1.500 MWh.

4.2. Anfallende Rückstände

Zur weiteren Entsorgung werden folgende Rückstände und Reststoffe abgegeben:

- MV-Asche, entschrottet oder teilentschrottet, AVV 19 01 17*, 11.008 t, Eigenentsorgung auf der Deponie Burgau
- Kesselasche (Staub aus Heizgasvorlauf, Schweler und Brennkammer), AVV 19 01 11*, 2,8 t, Deponierung bei der GSB Sonderabfall Bayern GmbH
- Zyklonstaub, AVV 19 01 13*, 398 t, Verbrennung bei der GSB Sonderabfall Bayern GmbH,
- Gewebefilterstaub, AVV 19 01 13*, 367 t, Bergversatz bei der AUREC GmbH Bernburg
- abgegebener Schrott, AVV 19 01 02, 273 t

Der weitere Betrieb der MPA Burgau ist im Wesentlichen durch die Ablagerung des Schwelkokes auf dem Bauabschnitt IV der Deponie Burgau bestimmt. Der Bauabschnitt IV entspricht der DK II, hat aber Sicherungsmaßnahmen einer Deponie der DK III. Auf Grund der Neufassung der Deponieverordnung genehmigte die zuständige Behörde gemäß Tabelle 2, Fußnote 3, die weitere Ablagerung des Schwelkokes, da es sich um Abfälle aus einem Hochtemperaturprozess handelt. Der über den Wert der Deponieverordnung liegende Wert für den Glühverlust beträgt im Schnitt etwa dreißig Prozent

und ist für Schwelkoks systemimmanent, da keine vollständige Verbrennung vorliegt. Der noch enthaltene Kohlenstoff ist jedoch eher reaktionsträge, so dass keine Deponiegasbildung auftritt. Der auf der Deponie abgelagerte Pyrolysekoks hält die sonstigen gemäß Bescheid vorgegebenen Grenzwerte ein. Kesselasche, Zyklonstaub und Gewebefilterstaub sind als gefährliche Abfälle eingestuft. Die Entsorgung und Verwertung dieser Abfälle erfolgt entsprechend ihrer Eigenschaften.

5. Emissionssituation der MPA Burgau

5.1. Ergebnisse der laufenden Emissionsüberwachung

Die MPA Burgau erfüllt derzeit sicher die Anforderungen der 17. BImSchV vom 14.08.2003 i.d.F. vom 27.01.2009 und hat die nachfolgenden Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Die in Tabelle 4 aufgeführten Schadstoffe werden kontinuierlich ermittelt, aufgezeichnet und im Emissionswertrechner automatisch ausgewertet. Die Gesamtzahl aller pro Jahr gültigen verfügbaren Halbstundenmittelwerte beträgt etwa 15.900 und die aller Tagesmittelwerte etwa 330. Zur Ermittlung der (Jahresemissions-)Frachten gemäß § 22 der 17. BImSchV müssen die Halbstundenmittelwerte vor Abzug der in der Kalibrierung ermittelten Messunsicherheit (normierte Werte) verfügbar sein.

Insgesamt gab es nur sehr wenige registrierte Überschreitungen der Halbstundenmittelwerte und Tagesmittelwerte. Die Spalte der *maximalen Tagesmittelwerte* zeigt, wie weit die Emissionen selbst bei maximaler Emission vom zulässigen Grenzwert entfernt sind (Ausnahmen HCl und SO₂). Die berechneten Frachten liegen in einer mit anderen Anlagen vergleichbaren Größenordnung.

Tabelle 4: Ergebnisse der laufenden Emissionsüberwachung im Vergleich zu den Grenzwerten

Schadstoff	GW für TMW	GW für HMW	Überschreitung		JMW	Max. TMW	Fracht
	mg/m ³		TWM	HWM	mg/m ³		
CO	50	100	0	0	4,17	9,69	534
Staub	10	30	0	2	1,94	7,36	308
HCl	10	60	1	3	4,31	10,30	587
SO ₂	50	200	1	0	13,78	57,09	1.752
NO _x	200	400	0	0	158,76	187,82	19.391
Hg	0,03	0,05	0	3	0,0026	22,34	0,504

Die Novelle der 17. BImSchV vom 02.05.2013 wird nachzeitigem Kenntnisstand zu keinen größeren Investitionen bei der MPA Burgau führen. Lediglich die kontinuierliche Messung der Ammoniakemissionen steht im Raum und ist ab dem 01.01.2016 durchzuführen.

Die diskontinuierlich zu überwachenden Grenzwerte gemäß 17. BImSchV und Bescheid stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 5: Diskontinuierlich zu überwachende Grenzwerte gemäß 17. BImSchV und Bescheid

	Einzelmesswerte 2012			Mittelwert	Max. Einzelwert	Grenzwert
	mg/m ³					
NH ₃	1,9	4,1	6,0	4,09	6,0	20
HF	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	4
N ₂ O	19,0	17,8	13,9	16,9	19,0	---
C _{ges}	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	20
Dioxine und Furane in ng I-TE/m ³	0,0010	0,0011	0,0010	0,0010	0,0011	0,1
Cd, Tl	< 0,004	< 0,004	< 0,007	< 0,005	< 0,007	0,05
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	0,010	< 0,011	< 0,012	< 0,011	0,012	0,5
As, Benzo(a)pyren, Cd, Co, Cr	< 0,004	< 0,004	< 0,006	< 0,005	< 0,006	0,05

Quelle zu Kapitel 5.1.:

- [1] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 1999: Bericht über Messungen an der Müllpyrolyse-Anlage (MPA) Burgau, Ergebnisse der Abgas- und Reststoffuntersuchungen im Untersuchungszeitraum vom 16.11.1998 bis 03.12.1998

5.2. Energieeffizienz der MPA Burgau

Derzeit erfüllt die MPA Burgau das Energieeffizienzkriterium R1 nicht. Grund ist die fehlende Nutzung des im Pyrolysekoks enthaltenen Energiepotentials. Deshalb besitzt die Anlage derzeit auch keinen Status als Verwertungsanlage.

5.3. Wissenschaftliche Untersuchungen an der MPA Burgau

An der MPA Burgau führte das Landesamt für Umwelt 1998 (Ergebnisse der Abgas- und Reststoffuntersuchungen im Untersuchungszeitraum) und 2005 (Bericht zu PCDD/F und PCB im Abgas von MVA während der Anfahrphase) wissenschaftliche Untersuchungen durch.

5.3.1. Ergebnisse der Untersuchungen der anfallenden Reststoffe sowie des Abgases beim Regelbetrieb der MPA Burgau

Die umfangreichen Untersuchungen des Landesamtes für Umwelt über die anfallenden Reststoffe und das Abgas hatten zum Ziel, weiterführende Erkenntnisse über die Schadstoffbeladung der einzelnen Verfahrensstoffströme und hier insbesondere die Funktionalität der mit Mitteln des Freistaats Bayern geförderten Entstickungsanlage zu gewinnen.

In einer zur normalen Betriebsweise der Anlage vergleichenden Messkampagne wurde in einem zeitlich befristeten Versuchsbetrieb das Einsatzverhalten von anteilig zu etwa fünfzehn Prozent dem Restmüll beigemengten Destillationsrückständen (gefährlicher Abfälle aus der Reinigung von Lösungsmitteln aus Chemischen Reinigungen) untersucht. Hierzu wurden Probenahmen im Rohgas und Reingas sowie Feststoffuntersuchungen an den Destillationsrückständen und an den Reststoffen (Schwelkoks, Zyklonstaub und Gewebefilterstaub) vorgenommen. Dazu wurde als Referenz die Schadstoffbelastung der Verfahrensströme im Normalbetrieb untersucht.

Der Schwelkoks enthält verfahrensbedingt einen Restanteil von 13 Prozent an organisch gebundenem Gesamtkohlenstoff, der sich auch in einem Glühverlust von dreißig Prozent und in einem Heizwert von 5,2 MJ/kg in der Originalsubstanz widerspiegelt. Der Chlorgehalt des Schwelkokes liegt bei 3,3 Prozent und wird zu über fünfzig Prozent von auswaschbaren Chloriden bestimmt; der Chloridgehalt im Schwelkokseluat beträgt 1,7 g/l. Ähnliches zeigt sich beim Schwefel, der mit 0,6 Prozent im Schwelkoks enthalten ist; der Sulfatgehalt im Eluat beträgt 0,26 g/l. Die Belastung des Schwelkokes mit Schwermetallen liegt im Bereich der Konzentrationen von Aschen aus Hausmüllverbrennungsanlagen.

Im Schwelkoks ist mit durchschnittlich 1,3 g/kg ein hoher Anteil an adsorbierbaren organischen Halogenverbindungen (AOX) zu finden. Niedrige Gehalte wurden für polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (1,5 ng I-TE/kg), polychlorierte Phenole (1,5 mg/kg) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (0,28 mg/kg) gefunden. Von den gesuchten Lösungsmitteln Tetrachlorethen, Tetrachlormethan und Trichlorethen ist nur Tetrachlorethen in einem nennenswerten Gehalt von 1,1 mg/kg vorhanden.

Der Zyklonstaub zeigt im Vergleich zum Schwelkoks einen mehr als doppelt so hohen Gehalt (31 Prozent) an organisch gebundenem Kohlenstoff, der hohe Glühverluste (47 Prozent) und Heizwerte (11 MJ/kg OS) bedingt. Gleichzeitig ist eine Zunahme im Chlor- (6,7 Prozent) und Schwefelgehalt (1,4 Prozent) erkennbar; Chlor und Schwefel liegen zu über neunzig Prozent in leichtlöslicher Form als Chloride und Sulfate vor. Eine signifikante Mehrbelastung des Zyklonstaubs mit Schwermetallen gegenüber dem Schwelkoks ist nicht zu finden.

Im Vergleich zum Schwelkoks sind die polychlorierten Dibenzodioxine und -furane in 13-fach höherer (20 ng I-TE/kg) und die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe in 44-fach höherer Konzentration (12 mg/kg) vorhanden. Die polychlorierten Phenole liegen hingegen in deutlich niedrigerer Konzentration (0,12 mg/kg) vor.

Der Gewebefilterstaub weist aufgrund des Einsatzes von Herdofenkoks in Flugstromadsorber und Gewebefilterstufe einen organischen Kohlenstoffgehalt von 1,3 Prozent und einen Glühverlust von 4,3 Prozent auf. Die erwünschte Reaktion saurer Abgaskomponenten mit dem basischen Adsorbens Natriumhydrogencarbonat führt zu hohen Chlor- (18 Prozent) und Schwefelgehalten (5,8 Prozent) im Gewebefilterstaub. Wie zu erwarten, sind vor allem die leichtflüchtigen Schwermetalle wie Arsen, Cadmium, Quecksilber und Thallium im Gewebefilterstaub gegenüber dem Schwelkoks oder Zyklonstaub angereichert.

Der Gehalt an adsorbierbaren organischen Halogenverbindungen liegt mit durchschnittlich 0,27 g/kg deutlich unter den Gehalten der Reststoffe aus der Pyrolysestufe. Dagegen ist die Belastung mit polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (230 ng I-TEQ/kg) um ein bis zwei Größenordnungen höher als im Schwelkoks und Zyklonstaub. In den Gewebefilterstäuben werden mit Werten von 7,5 mg/kg Tetrachlorethen, 15 mg/kg Tetrachlormethan und 66 mg/kg Trichlorethen die höchsten Lösungsmittelgehalte der untersuchten Reststoffe gefunden.

Die Abgasreinigungseinrichtungen an der Müllpyrolyseanlage arbeiten für die Mehrzahl der untersuchten Stoffe sehr effektiv. Für die Abgaskomponenten Gesamtstaub, gasförmige anorganische Chlorverbindungen, gasförmige anorganische Fluorverbindungen, Schwefeloxide, Summe von Cadmium, Thallium und ihren Verbindungen, Summe von Antimon, Arsen, Blei, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Vanadium, Zinn und ihren Verbindungen sowie polychlorierte Dibenzodioxine und -furane werden in der Regel hohe Abscheidegrade erzielt und die in der 17. BImSchV festgelegten Emissionsgrenzwerte deutlich unterschritten.

Durch den Betrieb der nach einem kombinierten Verfahren aus SNCR- und SCR-Technologie arbeitenden Entstickungsanlage können die Stickstoffoxidkonzentrationen zuverlässig auf ein Niveau unterhalb der zulässigen Emissionsgrenzwerte reduziert werden. Daneben zeigt der in der SCR-Stufe eingesetzte Katalysator ein Potential zur weiteren Reduzierung der Gehalte an organischen Spurenschadstoffen. Es ergeben sich hohe Abscheidegrade für polychlorierte Biphenyle, polychlorierte Benzole, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, polychlorierte Dibenzodioxine und -furane und für polychlorierte Phenole.

Quelle zu Kapitel 5.3.1.:

- [1] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 1999: Bericht über Messungen an der Müllpyrolyse-Anlage (MPA) Burgau, Ergebnisse der Abgas- und Reststoffuntersuchungen im Untersuchungszeitraum vom 16.11.1998 bis 03.12.1998

5.3.2. Ergebnisse der Untersuchungen von PCDD/F und PCB im Abgas von MVA während der Anfahrphase

Nach Berichten über hohe Dioxin- und Furanemissionen während und nach dem Anfahren einer thermischen Abfallbehandlungsanlage führte das LfU ein bayernweites Untersuchungsprogramm durch. Eine der untersuchten Anlage war die MPA Burgau. Die etwa 36-stündige Anfahrphase von Start Brennerbetrieb bis zwei Stunden nach Abfallaufgabe in die zweite Schweltrommel wurde in Abhängigkeit der Gastemperatur an der Rohgasmessstelle nach Abhitzeessel untersucht.

Die PCDD/F-Probenahmen während des Anfahrbetriebs wiesen im Rohgas mit Werten von 0,28 bis 7,7 ng I-TEQ/m³ durchgehend ansteigende und im Vergleich zum Regelbetrieb (0,090 ng I-TEQ/m³) erhöhte Konzentrationswerte auf. Die allgemeine Feststellung, dass primärseitig die PCDD/F-Bildung und Freisetzung in Zusammenhang mit der Höhe der Kohlenmonoxidgehalte steht, konnte im Rahmen der Anfahruntersuchung nicht belegt werden.

Die frühzeitige Inbetriebnahme der PCDD/F-Abscheidestufe der Abgasreinigungsanlage im Anfahrbetrieb führte in den beiden Untersuchungszeiträumen bei Reingasgehalten von 0,40 und 2,2 pg I-TEQ/m³ zu einer effizienten Reduzierung der Rohgaswerte. Gegenüber dem Regelbetrieb waren die Werte etwa halb so hoch und maximal um den Faktor 2,5 erhöht.

Insgesamt wurde während des Anfahrvorgangs eine Dioxin- und Furanfracht von 1,3 µg I-TEQ emittiert. Bezogen auf die jährliche Emissionsfracht im Regelbetrieb (ohne An-/Abfahrvorgänge, berechnet aus dem Mittelwert der jährlichen PCDD/F-Messungen der vergangenen fünf Jahre, dem durchschnittlichem Abgasvolumenstrom während der Regelbetriebsmessung und der Anlagenbetriebszeit im Jahr 2004) entsprach dies einem Anteil von 1,2 Prozent.

Unter der Annahme, dass die Untersuchungsergebnisse repräsentativ für alle Anfahrvorgänge der MPA Burgau sind, bedarf es unter Beibehaltung des bisherigen Anfahrschemas keinen betrieblichen und organisatorischen Maßnahmen im Hinblick auf eine Reduzierung der PCDD/F-Gehalte im Anfahrbetrieb.

Quelle zu Kapitel 5.3.2.:

- [2] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, 2005: Untersuchungsbericht Anfahrvorgang an der MPA Burgau, 23.-24.02./02.03.2005

6. Zukunftsperspektiven der MPA Burgau

Wie bereits beschrieben ist die Ablagerung des Pyrolysekokes auf der Deponie Burgau ein Hemmschuh, der auf mittlere Sicht den Betrieb der MPA Burgau in Frage stellen wird. Deshalb gibt es seit geraumer Zeit immer wieder Überlegungen und Ansätze, wie ein in der Zukunft tragfähiger Betrieb dieser Anlage gesichert werden kann. Dazu einige Beispiele.

6.1. Machbarkeitsstudie zum Verbrennen von Schwelkoks in der MPA Burgau

Die MPA Burgau muss stillgelegt werden, wenn die Deponieflächen im Bauabschnitt IV, auf denen der Pyrolysekoks abgelagert wird, verfüllt sind, da eine Erweiterung der Deponie nach dem Vertrag zwischen der Stadt Burgau und dem Landkreis nicht mehr möglich ist. Schätzungen des Restvolumens lassen ein damit verbundenes Ende des Betriebes in 2020 möglich erscheinen. Es gibt jedoch bereits seit längerem die Überlegung, den in der Pyrolyse anfallenden Schwelkoks zu verbrennen und die dabei anfallende Wärme zur Trocknung von Biomasse zu verwenden und damit auch das R1-Energieeffizienzkriterium zu erfüllen. Gleichzeitig wäre es möglich, die im Pyrolysekoks enthaltenen Metalle zurückzugewinnen. Ob dieses Projekt technisch und wirtschaftlich durchführbar ist, soll eine Machbarkeitsstudie des bifa Umweltinstituts klären.

Quelle zu Kapitel 6.1.:

- [7] Augsburger Allgemeine Onlineausgabe der Augsburger Allgemeinen: vom 26.09.2012 www.augsburger-allgemeine.de/guenzburg/Analyse-dauert-noch-bis-Spaetherbst-id22097286.html

6.2. CFK-Recycling in der MPA Burgau

Eine besondere Stellung nahm in der Cluster-Initiative MAI Carbon das Teilprojekt Recycling von CFK in der MPA Burgau ein. Das bifa Umweltinstitut führte in 2011 eine Studie zur Eignung der Abfallpyrolyse für ein Recycling von CFK-Abfällen durch. Das bifa kam im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu dem Ergebnis, dass ein CFK-Recycling in der MPA Burgau sowohl aus ökologischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten möglich ist. Derzeit ist allerdings noch offen, ob das CFK-Recycling in der MPA Burgau weiter vorangetrieben wird.

Quellen zu Kapitel 6.2.:

- [7] Augsburgs Allgemeine Onlineausgabe der Augsburgs Allgemeinen: vom 26.09.2012 www.augsburger-allgemeine.de/guenzburg/Analyse-dauert-noch-bis-Spaetherbst-id22097286.html
- [8] Hertel, M.: bifa Umweltinstitut GmbH Zukunftsperspektiven der Pyrolyseanlage Burgau, Entscheidung des Landkreises für einen optimierten Weiterbetrieb. bifa aktuell, 01/2010 www.bifa.de/userfiles/files/bifa%20aktuell%201%202010%20web.pdf bifa aktuell, 04/2010, www.bifa.de/userfiles/files/bifaaktuell%2042010web.pdf
- [9] Hartleitner, B.: bifa Umweltinstitut GmbH Cluster-Initiative MAI Carbon. bifa aktuell, 01/2012 www.bifa.de/userfiles/files/bifaaktuell%201_2012s.pdf

6.3. Einsatz von Schredderleichtfraktion in der MPA Burgau

Soweit mit den Fachbehörden und den Kreisgremien abgestimmt, wurden gelegentlich Verschmelungsversuche mit anderen Abfall- und Wertstofffraktionen, wie Schredderleichtfraktionen oder Aluminiumverbunden durchgeführt. Geplant ist auch ein Versuch mit der sog. Schredderschwerfraktion aus der Aufbereitung von Altfahrzeugen.

7. Literatur

- [1] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 1999: Bericht über Messungen an der Müllpyrolyse-Anlage (MPA) Burgau, Ergebnisse der Abgas- und Reststoffuntersuchungen im Untersuchungszeitraum vom 16.11.1998 bis 03.12.1998
- [2] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, 2005: Untersuchungsbericht Anfahrvorgang an der MPA Burgau, 23.-24.02./02.03.2005
- [3] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Jahresemissionsbericht der Müllpyrolyseanlage Burgau, www.lfu.bayern.de; Augsburg, 2013
- [4] Anonym: Siebzehnte Verordnung über die Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – 17. BImSchV – Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen. Vom 14.08.2003 i.d.F. vom 27.01.2009. BGBl. I (2003), S. 1633 und BGBl. I (2009), S. 129, 131
- [5] Anonym: Siebzehnte Verordnung über die Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – 17. BImSchV – Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen. Vom 02.05.2013 BGBl. I (2013), S. 1021, 1044
- [6] Anonym: Bayerisches Immissionsschutzgesetz – BayImSchG – (BayRS 2129-1-1-UG), zuletzt geändert durch Gesetz vom 22.07.2008 GVBl S. 466
- [7] Augsburgs Allgemeine Onlineausgabe der Augsburgs Allgemeinen: vom 26.09.2012 www.augsburger-allgemeine.de/guenzburg/Analyse-dauert-noch-bis-Spaetherbst-id22097286.html

- [8] Hertel, M.: bifa Umweltinstitut GmbH Zukunftsperspektiven der Pyrolyseanlage Burgau, Entscheidung des Landkreises für einen optimierten Weiterbetrieb. bifa aktuell, 01/2010 www.bifa.de/userfiles/files/bifa%20aktuell%201%202010%20web.pdf bifa aktuell, 04/2010, www.bifa.de/userfiles/files/bifaaktuell%2042010web.pdf
- [9] Hartleitner, B.: bifa Umweltinstitut GmbH Cluster-Initiative MAI Carbon. bifa aktuell, 01/2012 www.bifa.de/userfiles/files/bifaaktuell%201_2012s.pdf

Planung und Umweltrecht



Planung und Umweltrecht, Band 1

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Andrea Versteil
Erscheinungsjahr: 2008
ISBN: 978-3-935317-33-7
Gebund. Ausgabe: 199 Seiten
Preis: 25.00 EUR

Planung und Umweltrecht, Band 4

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Andrea Versteil
Erscheinungsjahr: 2010
ISBN: 978-3-935317-47-4
Gebund. Ausgabe: 171 Seiten
Preis: 25.00 €

Strategie Planung Umweltrecht, Band 7

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Andrea Versteil
Erscheinungsjahr: 2013
ISBN: 978-3-935317-93-1
Gebund. Ausgabe: 171 Seiten,
farbige Abbildungen
Preis: 25.00 €

Planung und Umweltrecht, Band 2

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Andrea Versteil
Erscheinungsjahr: 2008
ISBN: 978-3-935317-35-1
Gebund. Ausgabe: 187 Seiten
Preis: 25.00 €

Planung und Umweltrecht, Band 5

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky
Erscheinungsjahr: 2011
ISBN: 978-3-935317-62-7
Gebund. Ausgabe: 221 Seiten
Preis: 25.00 €

Planung und Umweltrecht, Band 3

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Andrea Versteil
Erscheinungsjahr: 2009
ISBN: 978-3-935317-38-2
Gebund. Ausgabe: 209 Seiten
Preis: 25.00 €

Planung und Umweltrecht, Band 6

Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky,
Andrea Versteil
Erscheinungsjahr: 2012
ISBN: 978-3-935317-79-5
Gebund. Ausgabe: 170 Seiten
Preis: 25.00 €

110,00 EUR
statt 175,00 EUR

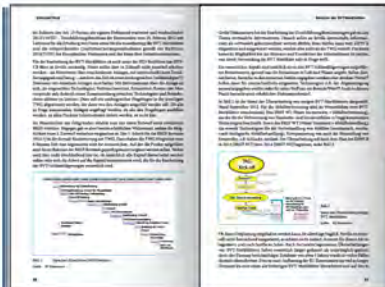
Paketpreis

Planung und Umweltrecht, Band 1 bis 6;
Strategie Planung Umweltrecht, Band 7

Bestellungen unter www.vivis.de
oder

Dorfstraße 51
D-16816 Nietzwerder-Neuruppin
Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky



Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Energie aus Abfall – Band 11

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Michael Beckmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014

ISBN 978-3-944310-06-0

ISBN 978-3-944310-06-0 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2014

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ginette Teske, Fabian Thiel, Cordula Müller, Ina Böhme,

Janin Burbott

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.