

Stoffflussanalyse einer thermochemischen Vorbehandlungsanlage

M. Peinsipp, M. Meirhofer

Forschung Burgenland GmbH, Pinkafeld, Österreich

C. Wartha, R. Kranner

Fachhochschule Burgenland GmbH, Pinkafeld, Österreich

ABSTRACT: The material flow analysis (MFA) is used as a method for the description and analysis of defined systems to quantify flows and stocks of materials or substances. Depending on the question to be solved, the complexity of a system is to be reduced by an adapted system definition, according to which only relevant goods and processes are considered within fixed temporal and spatial framework conditions. A material flow analysis is a representation and modeling of systems such as region, plants, companies or households in order to derive targeted measures or to compare different scenarios for optimization. Uniform definitions of terms for easier traceability and comparability with other study results are important for a material flow analysis.

As a part of the research project *Waste2Material* (funded by EFRE), series of measurements are carried out on a test facility for the thermochemical processing of a residual waste fraction with a low calorific value. During the series of measurements, relevant flows such as solids, gases and fluids are analyzed within test series. The measurement data obtained from the experiments are the basis for the material flow analysis. The additional investigation of the water content from good flows enables a dry solid balance and a water balance of the test facility. After all flows of the thermochemical plant have been determined within the goods balance, the total masses of input and output flows can be identified during the respective measurement series. Furthermore, the distribution of the input material to the output flows can be examined by calculate the transfer coefficients. For the material balance based on chemical elements and compounds, system flows are analyzed for selected substances as part of the measurements. The substance concentrations are determined either continuously during the test series (gases) on site or subsequently in the laboratory (solids, wastewater). In order to identify the distribution of the chemical elements and compounds within the test facility, the transfer coefficients are calculated at the substance level.

In this article, the procedure for a material flow analysis of a thermochemical plant is explained and selected results are presented.

1. EINLEITUNG

Das absolute Aufkommen von gemischtem Siedlungsabfall aus dem kommunalen Bereich stieg in den letzten zehn Jahren in Österreich um 5,8 % (BMK 2020). Im Burgenland wird, wie in zahlreichen anderen Regionen auch, der gemischte Siedlungsabfall in einer mechanisch- biologischen Abfallbehandlung (MBA) aufbereitet. Ziel der MBA ist die Herstellung von Ersatzbrennstoffen zur thermischen Verwertung und die Herstellung stabilisierter Fraktionen zur Deponierung. Ungefähr 50 % des Inputstroms (Neubauer & Ohlinger 2006) wird am Ende der mechanischen Aufbereitung der biologischen Behandlung zugeführt, um den Abfallstrom biologisch zu stabilisieren und diesen schlussendlich deponiefähig zu machen.

Unerwünschte Nebeneffekte der biologischen Behandlung sind die Bildung von gasförmigen Emissionen, die anfallenden Deponierungskosten sowie die ungenutzten Wertstoffe im Abfallrest. Im Wesentlichen handelt es sich bei den Emissionen um Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen, wobei Kohlenstoff hauptsächlich in Form von CO₂, als flüchtige organische Verbindungen (VOC) und kleinere Mengen als Methan (CH₄) freigesetzt werden.

Im Rahmen des von EFRE geförderten Forschungsprojektes „Waste2Material“ wurden in einer Anlage Fraktionen aus der mechanischen Aufbereitung thermochemisch vorbehandelt, um die Möglichkeit zu

Bei dem verwendeten Gaswäscher handelt es sich um eine Füllkörperkolonne. Das Absorbat wird im unteren Wäscherteil gesammelt und über eine Pumpe einem Plattenwärmetauscher zugeführt. Das Reingas wird dann über ein Saugzuggebläse in den Kamin geleitet, wo es in die Umgebung emittiert wird. Das von der thermochemischen Anlage anfallende Abwasser wird einer kommunalen Kläranlage zugeführt.

3. SYSTEMDEFINITION

Innerhalb der Systemdefinition werden konkrete Fragestellungen formuliert, welche für die Charakterisierung des Systems essentiell sind und eine sowohl räumliche als auch zeitliche Abgrenzung definieren. Grundsätzlich sind folgende Punkte innerhalb einer Systemdefinition zu beschreiben (ÖWAV 2003):

- Räumliche und zeitliche Systemgrenze
- Definition von Prozessen und Gütern
- Definition von Subsystemen (optional)
- Stoffauswahl

Die thermochemische Anlage besteht grundsätzlich aus einer Vielzahl von Anlagenteilen, welche jedoch nicht alle in der Stoffflussanalyse berücksichtigt werden, um so eine erhöhte Komplexität des Systems zu vermeiden. In diesem Sinne wird die Versuchsanlage in drei Hauptprozesse untergliedert, welche nachfolgend angeführt sind:

- Prozess **Pyrolyse**: Der Prozess **Pyrolyse** besteht aus den Pyrolysereaktoren, dem der Pyrolyse nachgeschalteten Zyklon sowie der Bewässerung des Pyrolyseprodukts
- Prozess **Nachverbrennung**: Der Prozess **Nachverbrennung** umfasst die thermische Nachverbrennung der Pyrolysegase in der Brennkammer, den nachgeschalteten Aschezyklon und das anfallende Ascheprodukt
- Prozess **Rauchgasreinigung**: Der Prozess **Rauchgasreinigung** beinhaltet den Keramikwärmetauscher sowie den Abgaswäscher

Abb. 2 zeigt die Systemdefinition der thermochemischen Aufbereitungsanlage mit den Hauptprozessen, den Ausgangs- und Zielprozessen und der räumlichen Systemgrenze.

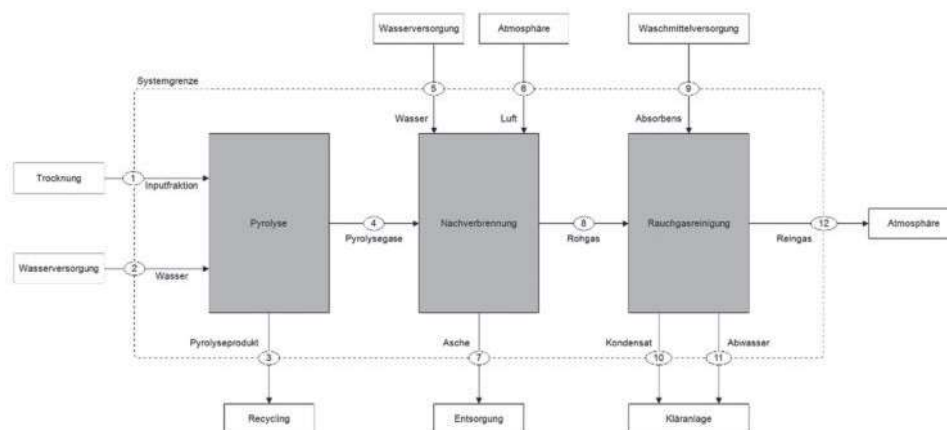


Abb. 2: Systemdefinition der thermochemischen Vorbehandlungsanlage

Die Abbildung der Systemdefinition wurde mit dem Stoffflussanalysetool STAN der Technischen Universität Wien erstellt.

4. MESSDURCHFÜHRUNG

Im Rahmen der einzelnen Messreihen erfolgten Analysen der Feststoffe (Pyrolyseprodukt, Asche), des Abwassers und des Abgases. Zur Überprüfung der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte wurden nach der Abfallverordnung (AVV 2013) und der Allgemeinen Abwasserverordnung (AAEV 2019) die aus der Anlage austretenden Gas- und Flüssigkeitsströme untersucht.

4.1 FESTSTOFFANALYSE

Grundsätzlich wurde eine Beprobung des Inputmaterials (Restmüllfraktion), des während des Pyrolyseprozesses anfallenden Pyrolysekokes sowie der Aschen der Brennkammer und des Brennkammer-Zyklons durchgeführt. Die Beprobung des Inputmaterials erfolgte vor Beginn der Versuchsmessungen. Der anfallende Pyrolysekoks wurde kontinuierlich beprobt, sodass je Versuchstag zwei Halbtagesmischproben entnommen wurden. Während des stationären Betriebs der Versuchsanlage wurden stündlich drei Liter des Pyrolysekokes entnommen. Die Probenahme der Zyklon- und Brennkammerasche wurde am Ende der jeweiligen Versuchsreihe im kalten Anlagenzustand durchgeführt. Innerhalb der Anlagenreinigung wurden hierbei die Feststoffrückstände entfernt und mittels repräsentativer Mischproben beprobt. Sämtliche Proben wurden während der Probenahme in handelsübliche Kübel geleert, abgewogen und Probemasse, Zeit sowie Probennummer dokumentiert. Die Feststoffanalysen der entnommenen Proben wurden anschließend betreffend der Grenzwerte für Reststoffdeponien und Massenabfalldeponien (BMLFUW 2008) vom Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft der Montanuniversität Leoben durchgeführt.

4.2 ABWASSERANALYSE

Die Abwasseranalysen beschränkten sich während der Messreihen auf die Untersuchung des Gaswäscher-Abwassers und des anfallenden Kondensates in einem der Wärmetauscher. Die Abwasserproben wurden von der RM Umweltkonsulten ZT GmbH auf vorgegebene Parameter der AAEV und AEV Verbrennungsgas (AEV 2019) untersucht.

4.3 GASANALYSE

Im Zuge der durchgeführten Messreihen für die thermochemische Vorbehandlungsanlage wurden bei zwei Messstellen kontinuierliche Gasanalysen durchgeführt. Zum einen wurde das Rohgas aus der Brennkammer vor dem Gaswäscher und zum anderen das über den Kamin emittierte Reingas analysiert. Abb. 3 zeigt beispielhaft den Messaufbau für die Gasanalyse des Rohgases. Das Messequipment und die Datenaufzeichnung wurden in einem externen Messcontainer gelagert und das Gas dann über eine beheizte Messgasleitung von der Messstelle entnommen. Das Probengas wurde anschließend in zwei Teilströme aufgetrennt und der beheizten Messgaszelle am FTIR-Spektrometer (Fourier-Transform-Infrarotspektrometer) sowie einem paramagnetischen Sauerstoffanalysator zugeführt. Im Abgas wurden Staub, NO₂, CO, org. C, SO₂, O₂, HCl, HF, PCDD/F, Cadmium, Thallium, Quecksilber und die Summe der Elemente Antimon, Arsen, Blei, Chrom, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Vanadium und Zinn gemessen.

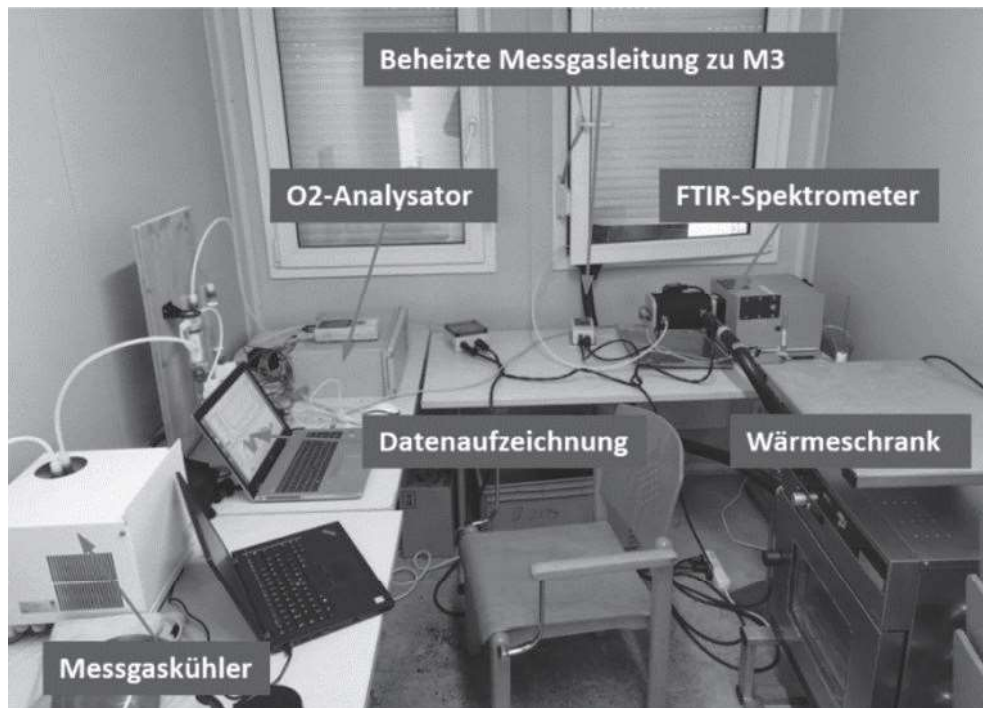


Abb. 3: Aufbau der Gasanalytik im Messcontainer

5. GÜTERBILANZIERUNG

Innerhalb der Güterbilanzierung werden sämtliche Input- und Outputströme der thermochemischen Vorbehandlungsanlage während des jeweiligen Messzeitraumes ermittelt. Da die Ergebnisse der Feststoffanalysen auf Trockensubstanz bezogen sind, wird sowohl Trockenmasse als auch Gesamtmasse (inkl. Wassergehalt) bilanziert. Nachfolgend wird für die jeweiligen Input- bzw. Outputströme die Vorgehensweise in der Berechnung der Ströme erklärt.

- Die mechanisch aufbereitete **Inputfraktion** wird gesiebt, gewogen, getrocknet und danach der thermochemischen Anlage zugeführt. Der Massenstrom des Inputmaterials wird aus der Differenz von zu Beginn gewogenem Material und dem Abwiegen des noch im Lagerbunker befindlichen Materials erhalten. Nach Analyse der Wassergehalte des Inputmaterials im Labor kann somit auch der trockene Inputstrom berechnet werden.
- Das zur Kühlung des Pyrolyseprodukts eingebrachte **Frischwasser** und das **Kühlwasser** für die Nachverbrennung werden über einen Wasserzähler erfasst.
- Die **Verbrennungsluft** für die Nachverbrennung wird mittels Verbrennungsrechnung ermittelt. Die entnommenen Proben des Inputmaterials werden zunächst aufbereitet und im Labor analysiert. Dabei werden CHNS-Analysen sowie Bestimmungen des Aschegehalts durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Elementaranalysen der Proben wird ein repräsentativer Mittelwert gebildet und anschließend über die Verbrennungsrechnung die Luftmenge und das Abgasvolumen berechnet.
- Der Massenstrom an Absorbens an beiden Versuchstagen wurde messtechnisch erfasst. Das **Absorbens** ist grundsätzlich ein Gemisch aus Frischwasser, rückgeführtem Absorbens und frischer Natronlauge.

- Das **Pyrolyseprodukt** wurde während des Verlassens der Anlage mit Kühlwasser besprüht. Durch Wiegung wurde die Menge an Pyrolyseprodukt ermittelt. Im Labor wurde anschließend der Wassergehalt bestimmt.
- Die **Asche** von Brennkammer und Zyklon wurde nach der jeweiligen Messreihe entnommen und abgewogen.
- Das anfallende **Abwasser** des Rauchgaswäschers wurde messtechnisch erfasst.
- Der Güterstrom des **Reingases** wurde aus der Verbrennungsrechnung sowie aus der Bilanz erhalten. Durch die Bestimmung des Abgasvolumens aus den Elementaranalysen der Inputfraktion kann der Massenstrom an Reingas erhalten werden. Der Wassergehalt des Reingases ergibt sich aus den Messwerten der Abgasanalysen, wo auch der Wasserdampfgehalt ermittelt wurde.

6. STOFFBILANZIERUNG

Die Auswahl an zu analysierenden Stoffen wird an die Fragestellungen und Zielsetzungen der Stoffflussanalyse angepasst und es wird versucht, einen möglichst hohen Informationsertrag im Verhältnis zum Untersuchungsaufwand zu erhalten (ÖWAV 2003). In diesem Sinne wurden während der Messreihen nur ausgewählte Stoffe in den jeweiligen Anlagenströmen analysiert. Aus der Vielzahl an erhaltenen Messdaten wurde unter Einbezug von Störeinflüssen und Messfehlern ein für die jeweilige Messreihe repräsentativer Mittelwert errechnet. Weiters wurden innerhalb der Stoffbilanzen nur chemische Elemente bilanziert, wobei im Falle gebildeter chemischer Verbindungen Umrechnungen durchgeführt wurden. Auf Basis der Güterbilanz wurden durch Multiplikation der Stoffkonzentrationen mit den Anlagenströmen die Stoffflüsse der thermochemischen Vorbehandlungsanlage errechnet. Mittels der durchgeführten Stoffbilanzen wurden die Transferkoeffizienten einzelner Stoffe ermittelt. Ein Transferkoeffizient beschreibt die Verteilung eines Stoffes ausgehend vom Inputstrom in die einzelnen Outputströme der thermochemischen Anlage.

7. ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Aus den Ergebnissen der Stoffflussanalyse resultiert, dass sich aufgrund der starken Inhomogenität des Inputmaterials teils große Schwankungen hinsichtlich der einzelnen Stoffflüsse und dahingehend der stofflichen Zusammensetzung der austretenden Anlagenströme ergeben. Aus der Stoffbilanzierung wurde festgestellt, dass bei Halbmetallen, Schwermetallen und Nichtmetallen prozentual der größte Teil der jeweiligen Stoffströme im Pyrolysefeststoff vorzufinden ist. Die Transferkoeffizienten betragen für das Pyrolyseprodukt zumeist über 90 % bezogen auf den entsprechenden Stofffluss im Inputstrom.

Abb. 4 und Abb. 5 zeigen die Ergebnisse der Stoffbilanzierung für die Schwermetalle Blei und Cadmium. Für Blei ist ersichtlich, dass 98 % des im Inputmaterial vorhandenen Bleis mit dem Pyrolysefeststoff ausgetragen wird und sich nur geringe Anteile in Abwasser, Asche und Reingas befinden. Bei Cadmium hingegen ergibt sich aus der Analyse, dass 82 % über den Pyrolysefeststoff, 8 % über das Reingas, 7 % über die Asche und 3 % über das Abwasser ausgetragen werden.

Es wurde zur Erkenntnis gelangt, dass durch die Zugabe von Kalkhydrat zum Inputmaterial eine signifikante Reduktion des Chlorgehalts im Reingas erreicht werden konnte. In Abb. 6 und Abb. 7 sind die Ergebnisse der Stoffbilanz für Chlor ohne und mit der Zugabe von Kalkhydrat zum Inputmaterial ersichtlich. Befinden sich bei der Messreihe ohne Kalkhydrat noch 92 % des Chlors im Reingas, so sind es mit Kalkhydrat nur mehr ein Prozent. Durch die Beigabe von Kalkhydrat zum Inputstrom konnte HCl gebunden und zum größten Teil als CaCl_2 mit dem Pyrolysefeststoff ausgetragen werden.

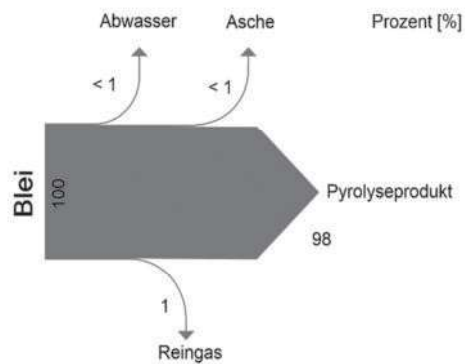


Abb. 4: Stoffbilanz Blei

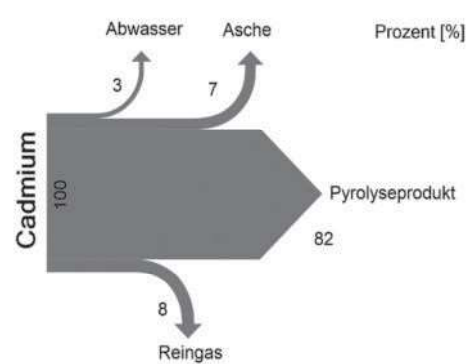


Abb. 5: Stoffbilanz Cadmium

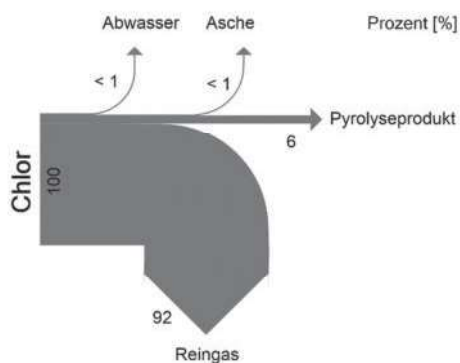


Abb. 6: Stoffbilanz Chlor ohne Kalkhydrat

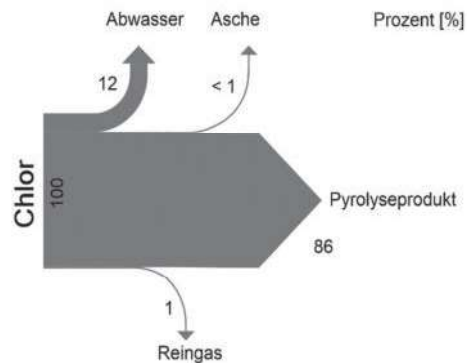


Abb. 7: Stoffbilanz Chlor mit Kalkhydrat

Die Stoffbilanzen für Schwefel und Quecksilber sind in Abb. 8 und Abb. 9 dargestellt. Aus der Schwefelbilanz ergibt sich, dass der Großteil an Schwefel im Pyrolyseprodukt gebunden wird (89 %).

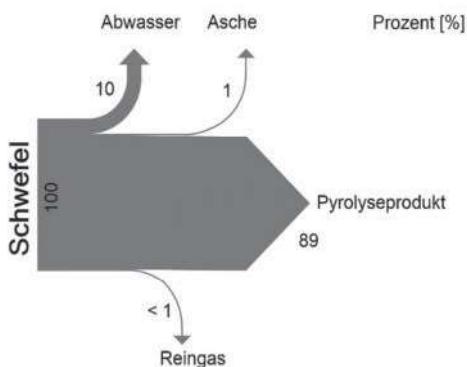


Abb. 6: Stoffbilanz Chlor ohne Kalkhydrat

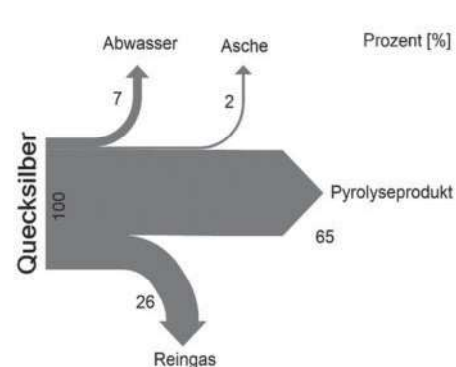


Abb. 7: Stoffbilanz Chlor mit Kalkhydrat

Zehn Prozent des Schwefels werden in Form von Sulfit und Sulfat im Abwasser nachgewiesen. Aus der Stoffbilanz von Quecksilber resultiert, dass ca. 65 % des im Inputmaterial befindlichen Quecksilbers in den Pyrolysefeststoff und 7 % in das Abwasser übergegangen sind. Da innerhalb der thermochemischen Vorbehandlung Temperaturen über 500 °C erreicht und somit der Siedepunkt von Quecksilber (356,7 °C) überschritten wurde, konnten 26 % des Quecksilbers im Reingas vorgefunden werden.

Der Prozess der thermochemischen Vorbehandlung ist noch nicht ausgereift und es sind daher noch weitere Optimierungen nötig. In der nächsten Stufe wird eine Verbesserung der Staubabscheidung sowie der Abwasserbehandlung getestet.

LITERATUR

- Abfallverbrennungsverordnung (AVV). (2013) Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über die Verbrennung von Abfällen
- Abwasseremissionsverordnung - Verbrennungsgas (AEV). (2019) Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Reinigung von Verbrennungsgas
- Allgemeine Abwasseremissionsverordnung (AAEV). (2019) Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen
- BMK (2020) Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2020 (Referenzjahr 2018). Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Wien.
- BMLFUW (2008) Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen (Depotierung). Bundesministerium für Land-, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Wien
- Dunst G. (2019) Anlagenschema. Sonnenerde GmbH. Riedlingsdorf
- Neubauer C., Ohlinger A. (2006) Ist-Stand der Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Österreich, Zustandsbericht 2006; Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2006, ISBN 3-85457-868-7
- ÖWAV (2003) Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft. Wasser-Abfall Regelwerk, Regelblätter des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)-Regelblatt 514. Wien

Kontakt Daten:

Michael Peinsipp

Steinamangerstraße 21

7423 Pinkafeld

Email: michael.peinsipp@forschung-burgenland.at