

Schlussbericht
des Forschungsvorhabens

**Integrierter Umweltschutz in der Metallerzeugung:
Simulationsgestützte operative Produktionsplanung zur
Optimierung metallurgischer Abfallverwertungsprozesse**

gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Förderkennzeichen: 01RW0169
Laufzeit: 01.03.2002 – 28.02.2005

Prof. Dr. rer. nat. Otto Rentz
Dipl.-Wi.-Ing. Magnus Fröhling
Dipl.-Ing. Falk Nebel
Prof. Dr. rer. pol. Frank Schultmann*
Dr. rer. pol. Bernd Engels**

Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP)
Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe, im Juli 2005

* Seit 06.12.2004: Lehrstuhl für Bauwirtschaftslehre, Universität Siegen

** Seit 01.02.2003: Saarstahl AG, Völklingen

Vorwort

Als Resultat der Produktionstätigkeit in der Metallerzeugung und -verarbeitung fallen eine Reihe von Abfällen zwangsläufig als Kuppelprodukte an. Während für einige dieser Kuppelprodukte wie Schlacken etablierte Verwertungswege bestehen, ergeben sich für andere (z. B. Stäube und Schlämme aus Gasreinigungen) noch erhebliche Verwertungslücken. Zur Aufbereitung und Verwertung dieser nicht vermeidbaren Stoffe der Eisen- und Stahlindustrie und weiteren Industriebereichen konnte sich in den vergangenen Jahren die als „DK-Prozess“ bezeichnete Verwertung in modifizierten Hochöfen etablieren. Hierbei werden aus eisen- und zinkhaltigen Abfällen hochwertiges Gießereiroheisen und ein Zinkkonzentrat erzeugt, das in der Zinkgewinnung eingesetzt wird.

Um Umweltbelastungen durch Stoffentnahme aus und durch Stoffeinträge in die Umwelt zu reduzieren, ist es Zielsetzung des diesem Bericht zugrunde liegenden Forschungsvorhabens knappe, natürliche Ressourcen zu schonen, den Abfalleintrag in die Umwelt zu mindern sowie die Konkurrenzfähigkeit abfallverwertender Unternehmen zu stärken. Hierzu wird ein simulationsgestützter stoffstrombasierter Planungsansatz entwickelt und in Zusammenarbeit mit dem Betreiber des genannten DK-Prozesses, der DK Recycling und Roheisen GmbH, in einem EDV-gestützten Planungssystem implementiert. Dabei wird die Prozesskette des Verwertungsverfahrens mittels verfahrenstechnischer Prozesssimulation abgebildet und die Ergebnisse mit betriebswirtschaftlichen Produktions- und Optimiermodellen verknüpft. Die Anwendung dieses Planungssystems liefert unmittelbar umsetzbare Ergebnisse, die auf einer realitätsnahen Prozessabbildung fußen und zu einer Stärkung der Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitigen positiven Umweltauswirkungen führen. Durch exemplarische Übertragungen auf einen weiteren Verwertungsprozess sowie ein Aggregat der Kupferherstellung werden die Einsatzmöglichkeiten des entwickelten Ansatzes bei anderen Reststoffverwertern sowie weiteren Unternehmen der Prozessindustrie aufgezeigt. Dies ist umso bedeutsamer, als bislang auf taktisch-operativer Planungsebene keine Planungsansätze mit einer vergleichbaren technischen Fundierung existieren.

Wir danken an dieser Stellen allen Beteiligten, die zum erfolgreichen Abschluss dieses Forschungsvorhabens beigetragen haben.

Zuvorderst gilt unser Dank dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens sowie Herrn H. Krebs und Herrn Dr. B. Forst des Projektträgers im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) für die Betreuung des Projektes.

Für die Kooperationen, die Diskussionen und die persönliche Unterstützung insbesondere durch zur Verfügungstellung umfangreichen Datenmaterials bedanken wir uns ausdrücklich bei unseren industriellen Projektpartnern. Besonderer Dank gilt dabei Herrn Dr. R. Deike, Herrn Dr. C. Hillmann, Herrn Dr. K.-J. Sassen sowie Frau Dipl.-Ing. J. Steels von der DK Recycling und Roheisen GmbH. Ebenfalls zu Dank verpflichtet sind wir Herrn Dipl.-Ing. O. Jäger sowie Herrn Dipl.-Ing. E. von Billerbeck von der B.U.S Steel Services GmbH und der B.U.S Metall GmbH. Danken möchten wir auch Herrn Dipl.-Ing. S. Gernerth sowie Herrn Dr. C. Pitzko von der Norddeutschen Affinerie AG.

Otto Rentz

Magnus Fröhling

Falk Nebel

Frank Schultmann

Bernd Engels

Inhaltsverzeichnis

VORWORT.....	III
INHALTSVERZEICHNIS.....	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	XIII
1 PROBLEMSTELLUNG, ZIELSETZUNG UND LÖSUNGSWEG	1
2 TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN DER VERWERTUNG VON ABFÄLLEN IN DER EISEN- UND STAHLINDUSTRIE	7
2.1 Verwertung metallhaltiger Reststoffe in einem Hochofenprozess.....	7
2.1.1 Verfahrensablauf.....	8
2.1.1.1 Einsatzstoffvorbereitung.....	9
2.1.1.2 Sinterung der Einsatzstoffe	10
2.1.1.3 Erschmelzen des Roheisens im Hochofen.....	18
2.1.1.4 Legierung des Gießereiroheisens im Induktionsofen und Vergießen des Roheisens zu Masseln	31
2.1.2 Betriebswirtschaftliche Planungsaufgaben.....	32
2.1.3 Anforderungen an die Modellierung des Produktionssystems	33
2.2 Grundlagen der Stoff- und Energieflussmodellierung von Produktionssystemen	36
2.2.1 Betriebswirtschaftliche Ansätze zur Abbildung stoffstrombasierter Produktionssysteme.....	37
2.2.1.1 Aktivitätsanalytische Modellierung von Stoffflüssen	37
2.2.1.2 Betriebswirtschaftliche Input-Output-Modelle vernetzter Produktionssysteme	42
2.2.1.3 Weitere betriebswirtschaftliche Transformationsfunktionen und deren Eignung zur Abbildung verfahrenstechnischer Prozesse	45
2.2.2 Ingenieurwissenschaftliche Ansätze zur Abbildung stoffstrombasierter Produktionssysteme	51
2.2.2.1 Modellierung auf Basis von Material und Energiebilanzen	51
2.2.2.2 Modellierung auf Basis fester Verteilungskoeffizienten	52