

# **Einsatz der Hassediagrammtechnik zum Vergleich von Bergbaubetrieben unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit – Dargestellt am Beispiel Kupfer**

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik  
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
genehmigte Dissertation

vorgelegt von Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing.  
Daniela Gutberlet

aus Nürnberg

**Berichter:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Per Nicolai Martens  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Andreas Seeliger

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung .....	1
1.2	Zielsetzung und Lösungsweg .....	4
<b>2</b>	<b>Der Rohstoff Kupfer</b> .....	<b>7</b>
2.1	Allgemeines .....	7
2.2	Profil des internationalen Kupferbergbaus .....	8
2.3	Prozesskette des Kupferbergbaus .....	13
2.3.1	Abbau in Tagebau und Tiefbau .....	14
2.3.2	Aufbereitung .....	14
2.3.3	Entsorgung der bei der Aufbereitung anfallenden Massenabfälle .....	15
2.4	Ökologische, ökonomische und soziale Wirkungen des Kupferbergbaus .....	16
2.5	Ableitung des Betrachtungsschwerpunktes .....	18
<b>3</b>	<b>Nachhaltige Entwicklung und die Schwierigkeit ihrer Quantifizierung</b> .....	<b>21</b>
3.1	Allgemeines .....	21
3.2	Nachhaltige Entwicklung im Bergbau .....	23
3.3	Indikatoren als Kernelemente für ein Entscheidungsunterstützungssystem .....	25
3.3.1	Zielsetzungen und Anforderungen .....	25
3.3.2	Ökonomische Indikatoren .....	28
3.3.2.1	Beurteilung der Ertragslage .....	29
3.3.2.2	Beurteilung der finanziellen Stabilität .....	30
3.3.3	Ökologische Indikatoren .....	31
3.3.3.1	Beurteilung der Ressourceninanspruchnahme des Kupferbergbaus .....	32
3.3.3.2	Beurteilung der Emissionen des Kupferbergbaus .....	33
3.3.4	Soziale Indikatoren .....	34
3.3.5	Darstellung der Ersatzindikatoren .....	36
<b>4</b>	<b>Multikriterielle Analysemodelle</b> .....	<b>39</b>
4.1	Anforderungen an multikriterielle Analysemodelle .....	39
4.2	Auswahl multikriterieller Analysemodelle .....	41
4.2.1	Grundlagen .....	41
4.2.2	MADM-Verfahren zur Entscheidungsfindung .....	43
4.2.2.1	Nutzwertanalyse .....	43
4.2.2.2	Analytical Hierarchy Process .....	45
4.2.2.3	Multiple-Attribute Utility Theory .....	47
4.2.3	Multikriterielle Analysemodelle zur Entscheidungsunterstützung .....	48
4.2.3.1	Outranking-Verfahren .....	49

4.2.3.1.1	ELECTRE .....	50
4.2.3.1.2	PROMETHEE .....	51
4.2.3.2	Ordnungstheoretische Verfahren: Hassediagrammtechnik .....	53
4.2.4	Auswahl eines Verfahrens .....	56
4.3	Anwendung der Hassediagrammtechnik .....	58
4.3.1	Wichtige Begriffsbildungen .....	58
4.3.2	Kenngrößen zur Interpretation von Hassediagrammen .....	59
4.3.3	Hasse for Windows .....	63
<b>5</b>	<b>Einsatz der Hassediagrammtechnik zum Vergleich von Kupferbergwerken .....</b>	<b>65</b>
5.1	Einsatz der Rohdaten .....	66
5.2	Klassifizierung der Daten .....	71
5.3	Aggregation der Daten .....	78
5.4	Ergebnisse .....	80
<b>6</b>	<b>Diskussion und Ausblick .....</b>	<b>85</b>
6.1	Diskussion der Ergebnisse .....	85
6.2	Ausblick .....	87
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>89</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>97</b>
8.1	Berechnung der Ersatzindikatoren .....	97
8.2	Datenbasis für die Berechnung der Ersatzindikatoren .....	97
8.2.1	Allgemeine Daten .....	97
8.2.2	Bergwerksspezifische Daten .....	98
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>101</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>105</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>107</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>109</b>
	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>111</b>