

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Abkürzungsverzeichnis	XII
Variablenverzeichnis	XIV
Symbolverzeichnis	XVI
Abbildungsverzeichnis	XVIII
Tabellenverzeichnis	XIX

I. Einleitung

1. Stoffflußproblematik	2
2. Erforschung von Stoffflüssen	5
3. Stoffströme im Rahmen einer zukunftsfähigen Entwicklung - Sustainable Development	8
4. Ablauf einer Stoffflußuntersuchung	9
5. Wissenschaftlicher Forschungsbeitrag	13
6. Modellannahmen der Bleistoffflußuntersuchung	17

II. Stoffflußstudien

A. Qualitative Darstellung des Bleistoffflusses	21
1. Bleistofffluß in der Technosphäre ohne künstliche Entsorgung	21
1.1 Primärer Bleigewinnungsprozeß	21
1.2 Bleiverarbeitung	27
1.3 Sekundärbleigewinnung durch Recycling	33
1.4 Phasen der Bleigewinnung - schematischer Überblick	38
1.5 Langfristige Entwicklung des Bleiverbrauchs	39
2. Bleistofffluß in der Technosphäre unter Einbezug künstlicher Entsorgungsmaßnahmen	41
2.1 Bleiemissionen und Entsorgungswege	41
2.2 Klärtechnologie	43
2.3 Müllverbrennungstechnologie	45
3. Bleistofffluß innerhalb der Volkswirtschaft	53
3.1 Qualitatives Bleistoffflußschema	53
3.2 Grenzen der Bleistoffflußbetrachtung	55

B. Quantifizierung des Bleistoffflusses	57
4. Aufbereitung des Datenmaterials	57
4.1 Statistik der Bleidaten	60
4.2 Prozeßorientierte Umdimensionierung des Datenmaterials	62
5. Quantifizierung der Bleistoffströme	62
5.1 Vorgehensweise und einschränkende Modellannahmen	63
5.2 Quantifizierung des Bleistoffflusses in der Technosphäre ohne künstliche Entsorgung	72
5.3 Quantifizierung des Bleistoffflusses in der Technosphäre unter Einbezug künstlicher Entsorgungsmaßnahmen	80
6. Quantifizierung und Analyse des Bleistoffflußschemas	81
6.1 Quantitatives Bleistoffflußschema	82
6.2 Modellbeobachtungen	84
6.3 Handlungsansätze	

III. Stoffflußmodell

A. Statisches Bleistoffflußmodell	89
1. Modifikationen gegenüber dem Bleistoffflußschema	89
1.1 Modifikationen des Bleiverarbeitungsprozesses	92
1.2 Einführung eines Sortierprozesses	93
1.3 Einführung eines Sonderdeponierungsprozesses	94
2. Input-Output-Graph des statischen Bleistoffflußmodells	97
3. Formale Herleitung des statischen Bleistoffflußmodells	97
3.1 Transformationsbeziehungen	101
3.2 Mengenbeziehungen	102
3.3 Variablenvereinfachung	103
3.4 Gleichungssystem des statischen Bleistoffflußmodells	104
3.5 Systemgleichungen des statischen Bleistoffflußmodells in Matrixform	

B. Dynamisches Bleistoffflußmodell	105
4. Dynamisierung des statischen Bleistoffflußmodells	105
4.1 Kennzeichen eines dynamischen Systems	105
4.2 Dynamik des Bleistoffflußmodells	105
4.3 Input-Output-Graph des dynamischen Bleistoffflußmodells	108
4.4 Gleichungssystem des dynamischen Bleistoffflußmodells	109
4.5 Systemgleichungen des dynamischen Bleistoffflußmodells in Matrixform	110
C. Bleistofffluß-Kontrollmodell	111
5. Kontrolltheorie	111
5.1 Planung im Kontrollmodell	111
5.2 Kontrolltheoretischer Modellansatz	112
5.3 Optimierung des Kontrollmodells	114
6. Ausbau des dynamischen Bleistoffflußmodells zu einem Kontroll- modell	122
6.1 Nebenbedingung des Bleistofffluß-Kontrollmodells	122
6.2 Zielfunktion des Bleistofffluß-Kontrollmodells	125
IV. Stoffflußanalyse	
A. Koeffizientendynamik des Bleistofffluß-Kontrollmodells	131
1. Dynamisierung der Parameter der Zielfunktion	132
2. Dynamisierung der Parameter der Nebenbedingung	133
2.1 Ausreizen von Effizienzsteigerungspotentialen im Recycling- prozeß	133
2.2 Substitutionsverhalten der bleiverarbeitenden Industrie	134
2.3 Staatlicher Klärprozeß - stoffhaltende Maßnahmen	135
2.4 Ändern der Entsorgungsstruktur für feste Bleiabfälle - weitere stoffhaltende Maßnahmen	136
2.5 Dynamisierung der Prozeßstruktur des Sonderdeponierungspro- zesses	136
2.6 Effizienzsteigernde Maßnahmen im Raffinationsprozeß	137
2.7 Effizienzsteigerungen im Sortierprozeß	138
2.8 Dynamisierung der Prozeßstruktur des Flotationsprozesses	140
2.9 Staatliche Einflußnahme auf die Höhe des jährlichen Primär- bleieinsatzes	140
2.10 Rückgang des Außenhandels mit Blei	141

B. Definition der gemeinsamen Datengrundlage aller Szenarien	143
3. Beschreibung der Datengrundlage	144
3.1 Festlegen des Planungszeitraumes	144
3.2 Ermittlung einer geeigneten Startlösung	144
3.3 Wahl eines geeigneten Zielvektors	148
C. Bleistoffflußszenarien	150
4. Ausgangsszenario	150
4.1 Entwicklung des dynamischen Systems im Planungszeitraum	150
4.2 Entwicklungspfade des Bleistoffflußsystems im Planungszeitraum bei Optimalverhalten aller Beteiligten	153
4.3 Interpretation der Entwicklung der Optimallösung im Planungszeit- raum	155
5. Szenarien der Bleistoffflußbewirtschaftung	158
5.1 Szenarienvergleich	159
5.2 Szenario einer nahezu vollkommenen Recyclinggesellschaft	173
5.3 Modellanalyse	175
V. Stoffflußpolitik	
1. Stoffpolitische Handlungsempfehlungen	182
1.1 Graphischer Überblick über die stoffpolitischen Handlungsempfeh- lungen - exemplarisch für den Rohstoff Blei	182
1.2 Erschweren des Eintritts primärer Rohstoffe in die Technosphäre einer Volkswirtschaft	183
1.3 Stofferhaltende Lenkungseingriffe des Staats	185
2. Strukturwandel innerhalb der Volkswirtschaft als Folge der Stofffluß- steuerung	189
3. Abschließende Bemerkungen	191

Anhang

Anhang A	Herleitung der prozentualen Input-Output-Relationen des reinen Bleistroms im Klärprozeß	193
Anhang B	Herleitung der prozentualen Input-Output-Relationen des reinen Bleistroms im Müllverbrennungsprozeß	195
Anhang C	Herleitung der Optimalbedingungen nach dem Lagrange-Verfahren	197
Anhang D	Optimalität aller Entscheidungen in jedem Jahr des Planungszeitraumes - Bellmann'sches Prinzip und Lagrange-multiplikator λ_t	203
Anhang E	Ermittlung der Startlösung der Bleistoffflußszenarien	204
Anhang F	Koeffizientendynamik der Bleistoffflußszenarien	206
Anhang G	Entwicklung der Koeffizienten des Ausgangsszenarios	218
Anhang H	Entwicklung der Koeffizienten der Systemmatrizen und -vektoren im Ausgangsszenario des Bleistofffluß-Kontrollmodells während des Planungszeitraums	222
Anhang I	Computergestützte Auswertung der Bleistoffflußszenarien	236
Anhang J	Entwicklung der Variablen im Szenarienvergleich	239
Anhang K	Entwicklung der Koeffizienten aus Szenario 22	241
	Literaturverzeichnis	246

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung	4
Abbildung 1	9
Abbildung 2	22
Abbildung 3	24
Abbildung 4	25
Abbildung 5	27
Abbildung 6	29
Abbildung 7	31
Abbildung 8	36
Abbildung 9	36
Abbildung 10	37
Abbildung 11	37
Abbildung 12	38
Abbildung 13	39
Abbildung 14	40
Abbildung 15	47
Abbildung 16	48
Abbildung 17	49
Abbildung 18	50
Abbildung 19	51
Abbildung 20	67
Abbildung 21a	74
Abbildung 21b	75
Abbildung 22	116
Abbildung 23	155

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Einsatz primärer Vorstoffe	57
Tabelle 2: Einsatz sekundärer Vorstoffe	58
Tabelle 3: Produktion von Fertigblei	58
Tabelle 4: Versorgung mit Fertigblei	59
Tabelle 5: Verbleib von Blei im Inland	59
Tabelle 6: Verbleib von Blei im Inland - aufgliedert nach Verwendungsrichtungen	90
Tabelle 7: Außenhandel mit Blei in Endprodukten	145
Tabelle 8: Entwicklung der Optimallösung des Ausgangsszenarios des Bleistofffluß-Kontrollmodells für einen Planungszeitraum von zehn Jahren	154
Tabelle 9: Entwicklung der Optimallösung von Szenario 22 des Bleistofffluß-Kontrollmodells für einen Planungszeitraum von zehn Jahren	173