

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Lösungsweg	2
I Verfahren und Modelle der Analyse und Prognose		
2.	Grundlagen langfristiger Marktmodelle	4
2.1	Analyse von Rohstoffmärkten, das allgemeine Marktmodell	4
2.2	Determinanten der langfristigen Nachfragefunktion	7
2.3	Die langfristige Angebotsfunktion und die sie beeinflussenden Größen.....	11
2.3.1	Anbieter auf dem Weltmarkt.....	13
2.3.2	Primäres Angebot	16
2.3.2.1	Einfluß der Betriebsgröße	16
2.3.2.2	Einfluß des Abbau- und Aufbereitungsverfahrens	19
2.3.2.3	Einfluß des Gehaltes	22
2.3.3	Sekundäres Angebot	24
2.4	Gegenüberstellung von langfristiger Angebots- und Nachfrage- funktion im statischen (Ausgangs-)Scenario	25
2.5	Dynamisierung des Modells. Bestimmung des langfristigen Preis- Mengen-Pfades	27
3.	Technischer Fortschritt	33
3.1	Produktionstheoretische Grundlagen	33
3.1.1	Produktionsprozeß und -faktoren	33
3.1.2	Die Produktivitätskennziffern.....	34
3.1.3	Die Produktionsfunktion.....	35
3.2	Eigenschaften der statischen Produktionsfunktion	36
3.2.1	Verhältnis der Produktionsfaktoren und Faktorvariation	37
3.2.1.1	Variation beider Faktoren.....	38
3.2.1.2	Variation nur eines Faktors	40

IV

3.2.2	Grenzrate der Substitution	43
3.2.3	Kostenminimierung	44
3.2.4	Substitutionselastizität	45
3.2.5	Skalenelelastizität	46
3.3	Eigenschaften der dynamischer Produktionsfunktion	49
3.3.1	Neutraler technischer Fortschritt	50
3.3.2	Nichtneutraler technischer Fortschritt	53
3.3.3	Kapazitätserhöhung durch technischen Fortschritt	57
3.4.	Quantifizierung der Produktionsfunktionen	58
3.4.1	Die statische Produktionsfunktion	59
3.4.2	Die dynamische Produktionsfunktion	60
3.4.3	Die Regressionsform	62
3.5	Die Eignung von Produktionsmodellen für die empirische Analyse	63
3.5.1	Die Auswirkung ineffizienter Faktorkombinationen	63
3.5.2	Substitutionalität	64
3.5.3	Homogenität der Produktionsfaktoren	64
3.5.4	Die Aggregationsproblematik	65
3.6	Das Kostenmodell	65
3.6.1	Übergang vom Produktions- zum Kostenmodell	65
3.6.2	Dynamisierung der Kostenfunktionen	67

II Langfristige Determinanten des Kupfermarktes

4.	Der Markt für Kupfer	70
4.1	Der Kupferaußenhandel der westlichen Länder	70
4.1.1	Der Konzentrathandel	71
4.1.2	Der Blisterkupferhandel	73
4.1.3	Der Raffinadekupferhandel	74
4.2	Der Kupfermarkt	74
4.3	Entwicklung des Kupfermarktes und der LME-/Comex-Preise	77

5.	Der Verbrauch und die Verwendung des Kupfers	80
5.1	Verbrauchsentwicklung und -struktur.....	80
5.2	Verwendungsgebiete des Kupfers.....	84
5.2.1	Bauwesen	86
5.2.2	Elektrotechnik und Elektronik.....	86
5.2.3	Maschinen- und Anlagenbau	87
5.2.4	Fahrzeugbau.....	87
6.	Der Bedarf und die Nachfragefunktion des Kupfers.....	88
6.1	Substitution und Elastizität der Nachfrage, Steilheit der Nachfragefunktion	88
6.2	Verbrauchsprognosen, Horizontalverschiebung der Nachfragefunktion	91
7.	Die primäre und sekundäre Ressourcenbasis.....	93
7.1	Primäre Ressourcenbasis.....	93
7.1.1	Theorie der natürlichen Ressourcen.....	93
7.1.2	Quantitative Entwicklung und Klassifikation der primären Ressourcen.....	95
7.1.3	Qualitative Einteilung der Ressourcen.....	102
7.1.4	Zusammenhang zwischen qualitativer und quantitativer Entwicklung der Ressourcen.....	105
7.2	Entwicklung der sekundären Ressourcen.....	109
8.	Die Verfahren und technologische Entwicklungslinien der Kupferproduktion	114
8.1	Verfahren der Kupferproduktion.....	114
8.2	Technologische Entwicklungslinien in der Kupferproduktion	118
8.2.1	Technologische Entwicklungslinien im Kupferabbau.....	119
8.2.1.1	Tiefbau.....	120
8.2.1.2	Tagebau.....	123

8.2.2	Technologische Entwicklungslinien der Aufbereitung von Kupfer	129
8.2.3	Technologische Entwicklungslinien der Verhüttung und Raffination von Kupfer	135
9.	Das Kupferangebot des Weltmarktes	141
9.1	Struktur und Entwicklungslinien des Kupferangebots	141
9.2	Die Primärproduktion	147
9.2.1	Datenlage	147
9.2.1.1	Geologisch-technische Daten	147
9.2.1.2	Kostendaten	148
9.2.2	Die Kosten der Primärproduktion nach Ländern	151
9.2.2.1	<i>Chile und Peru</i>	151
9.2.2.2	Vereinigte Staaten	154
9.2.2.3	Kanada	155
9.2.2.4	<i>Sambia und Zaire</i>	157
9.2.2.5	Australien	160
9.2.2.6	<i>Mexiko</i>	161
9.2.2.7	Indonesien und Papua-Neuguinea	162
9.2.2.8	Republik Südafrika	162
9.2.2.9	Philippinen	163
9.2.3	Überblick über die Daten	163

III Modellanalyse des Kupferangebotes und Prognose für den Kupfermarkt

10.	Analyse der Vergangenheit für die Vereinigten Staaten zurück bis zum Jahr 1900	166
10.1	Die Kostenfunktionen des Angebotes in den Vereinigten Staaten für den Zeitraum 1986 bis 1990	166
10.2	Die Simulation der Kosten des Angebots in den Vereinigten Staaten für die Vergangenheit bis zum Jahr 1900	171
10.3	Die Analyse des technischen Fortschritts in der Vergangenheit ...	179

11.	Das Prognosemodell	189
11.1	Übertragung der Kostenfunktionen für die USA auf die wichtigsten Produzentenländer	189
11.2	Beschreibung des Basisfalls	191
11.2.1	Nachfrage	191
11.2.2	Angebot	192
11.3	Variation der Angebotsseite	198
12.	Zusammenfassung	201
13.	Literaturverzeichnis	205

Anhang

A1. Die Kostenfunktionen

A2. Angebots- und Nachfragefunktionen für die Vereinigten Staaten

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Der Zusammenhang zwischen langfristiger Nachfragefunktion und kurzfristigen Nachfragefunktionen bei Anpassungsverzögerungen (nach MARQUARDT 1983).	11
Abb. 2-2:	Langfristige Angebotsfunktion für einen mineralischen Rohstoff auf der Basis der langfristigen (durchschnittlichen) Produktionskosten der anbietenden Bergwerke.....	12
Abb. 2-3:	Kosten- und Gewinnfunktionen und wirtschaftliche Schwellenwerte im theoretischen Grundmodell (v. WAHL 1991).	17
Abb. 2-4:	Die Bestimmung der wirtschaftlich abzubauenen Vorratsmenge im Modell stetiger Funktionen bei variiertem Betriebsgröße (v. WAHL 1991).	18
Abb. 2-5:	Beispielhafte Verläufe der Gewinnungskosten im Untertage- und Tagebau in Abhängigkeit von der Teufe (vom Abraumverhältnis) bei unterschiedlichem Stückerlös (FETTWEIS 1990). ..	19
Abb. 2-6:	Bestimmung des optimalen Aufbereitungsausbringens nach dem Kriterium des maximalen Gewinns je Einheit geförderten und auf bereitetem Materials (v. WAHL 1991).	21
Abb. 2-7:	Beispiel für den Zusammenhang zwischen Grenzgehalten und Durchschnittsgehalten bei einer gegebenen Wertstoffverteilung eines Rohstoffvorkommen (FETTWEIS 1990).	22
Abb. 2-8:	Häufigkeitsverteilung kostenbestimmender Merkmale	23
Abb. 2-9:	Haltigkeit bzw. Kosten über der Produktion kumuliert	24
Abb. 2-10:	Das Marktmodell: Nachfragefunktion, (diskrete) Angebotsfunktion Wettbewerbspreis und Absatzmenge	26
Abb. 2-11:	Rechtsdrehung der Angebotsfunktion durch gleichmäßig auf alle Betriebe wirkenden technischen Fortschritt.....	30
Abb. 2-12:	Dynamisierung des Marktmodells zur Bestimmung des zeitbezogenen Preis-Mengen Pfades.....	32
Abb. 3-1:	Die Substitution im Isoquantenschema	38
Abb. 3-2:	Abnehmende Ertragszuwächse bei Vermehrung eines Faktors im Isoquantenschema.....	40
Abb. 3-3:	Abnehmende Ertragszuwächse bei Vermehrung eines Faktors im Isoquantenschema.....	41
Abb. 3-4:	Substitutionselastizitäten im Isoquantenschema.....	46

Abb. 3-5:	Skalenerträge im linear-homogenen Isoquantenfeld.....	48
Abb. 3-6:	Neutraler technischer Fortschritt im Isoquantenschema	52
Abb. 3-7:	Arbeitssparender technischer Fortschritt.....	54
Abb. 3-8:	Kapitalsparender technischer Fortschritt.....	55
Abb. 3-9:	Kapazitätsanpassung bei technischem Fortschritt entlang verschiedener langfristiger Kostenfunktionen	57
Abb. 4-1:	Organisationsstruktur des Weltkupfermarktes	75
Abb. 4-2:	Entwicklung des TC/RC in Japan für ein durchschnittliches Konzentrat	77
Abb. 4-3:	Entwicklung des LME-/US-Produzentenpreises in 1990 US-Cent / pound.....	78
Abb. 5-1:	Entwicklung des Gesamtverbrauchs an Kupfer der westlichen Welt.....	82
Abb. 6-1:	Entwicklung des Kupfer-Aluminium-Preisverhältnisses.....	90
Abb. 7-1:	"Semidynamische" (n_{dyn1}) und "dynamische" (n_{dyn2}) Lebensdauer von Vorräten mineralischer Rohstoffe (nach v. WAHL 1993).....	97
Abb. 7-2:	Summenkurven für die aufgefundenen Lagerstättenvorräte und die Fördermenge, sowie die Entwicklung der nachgewiesenen Vorräte als Funktion der Zeit (HUBBERT 1969).....	98
Abb. 7-3:	Verhältnis zwischen Auffindrate (dq_a/dt), Förderrate (dq_f/dt) und Rate der Veränderung der Vorräte (dq_v/dt) (HUBBERT 1969).....	99
Abb. 7-4:	Summenkurven für die aufgefundenen Kupfervorräte und die Fördermenge der Vereinigten Staaten, sowie die Entwicklung der nachgewiesenen Vorräte als Funktion der Zeit.....	101
Abb. 7-5:	Kupferressourcen als Funktion des Mineralgehaltes	103
Abb. 7-6:	Entwicklung des Durchschnittsgehaltes in der Kupferförderung	106
Abb. 7-7:	Entwicklung des Abraumverhältnisses über den Betrachtungszeitraum.....	108
Abb. 7-8:	Sekundäranteil an der Gesamtproduktion der westlichen Welt.....	109
Abb. 7-9:	Modellierung des Schrotteinsatzes	113
Abb. 8-1:	Produktionsstufen und Produktionsverfahren von Kupfer	115

Abb. 8-2:	Anteil der Produktionsverfahren auf der Produktionsstufe Abbau	116
Abb. 8-3:	Anteil der Produktionsverfahren auf der Produktionsstufe Aufbereitung	117
Abb. 9-1:	Simulierte Angebotsfunktion für Chile im Jahr 1991	152
Abb. 9-2:	Simulierte Angebotsfunktion für die USA im Jahr 1991	154
Abb. 9-3:	Simulierte Angebotsfunktion für Kanada im Jahr 1991	156
Abb. 9-4:	Simulierte Angebotsfunktion für Sambia im Jahr 1991	157
Abb. 9-5:	Simulierte Angebotsfunktion für Zaire im Jahr 1991	159
Abb. 9-6:	Simulierte Angebotsfunktion für Australien im Jahr 1991	160
Abb. 10-1:	Funktionale Form der Fortschrittsfunktionen für Investitionskosten	173
Abb. 10-2:	Funktionale Form der Fortschrittsfunktionen für den Tagebau	174
Abb. 10-3:	Entwicklung des Stundenlohnes in der Kupferindustrie	175
Abb. 10-4:	Indexwerte der Kostenentwicklung	176
Abb. 10-5:	Beobachtete und simulierte Realpreisentwicklung des Kupfers	177
Abb. 10-6:	Beobachtete und simulierte Anzahl der Beschäftigten	178
Abb. 10-7:	Produktionsfunktionen 1990 bis 1970 mit historischer Produktion	182
Abb. 10-8:	Produktionsfunktionen 1990 bis 1970 mit gleicher Produktion	182
Abb. 10-9:	Produktionsfunktionen 1970 bis 1950 mit historischer Produktion	184
Abb. 10-10:	Produktionsfunktionen 1970 bis 1950 mit gleicher Produktion	184
Abb. 10-11:	Produktionsfunktionen 1950 bis 1930 mit historischer Produktion	185
Abb. 10-12:	Produktionsfunktionen 1950 bis 1930 mit gleicher Produktion	185
Abb. 10-13:	Produktionsfunktionen 1930 bis 1910 mit historischer Produktion	187
Abb. 10-14:	Produktionsfunktionen 1930 bis 1910 mit gleicher Produktion	187

Abb. 10-15: Produktionsfunktionen 1920 bis 1900 mit historischer Produktion	188
Abb. 11-1: Entwicklung der mit 1,5 % p.a. simulierten Nachfrageentwicklung	192
Abb. 11-2: Angebots- und Nachfragefunktion für das Jahr 1992	194
Abb. 11-3: Angebots- und Nachfragefunktion für das Jahr 2000	194
Abb. 11-4: Angebots- und Nachfragefunktion für das Jahr 2010	195
Abb. 11-5: Angebots- und Nachfragefunktion für das Jahr 2020	195
Abb. 11-6: Angebots- und Nachfragefunktion für das Jahr 2030	196
Abb. 11-7: Angebots- und Nachfragefunktion für das Jahr 2040	196
Abb. 11-8: Angebots- und Nachfragefunktion für das Jahr 2050	197
Abb. 11-9: Preisentwicklung des Basisfalles	198

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1:	Zusammenhang zwischen Skalanelastizität und Skalenerträgen bei einem Kollektiv von Betrieben.....	47
Tab. 3-2:	Einteilung des technischen Fortschritts nach HICKS	53
Tab. 3-3:	Ökonomische Einteilung des nichtneutralen technischen Fortschritts.....	56
Tab. 4-1:	Handel mit Kupfervorstoffen und dem Endprodukt Raffinadekupfer der westlichen Länder untereinander.....	71
Tab. 4-2:	Chronologie des Kupfermarktes	79
Tab. 5-1:	Regionale Aufteilung des Verbrauchs an raffiniertem Kupfer [in 1000 t] und seine zeitliche Entwicklung.....	83
Tab. 5-2:	Kupferverbrauch nach Endverbrauchergruppen für den Markt der Vereinigten Staaten.....	84
Tab. 6-1:	Übersicht über langfristige Nachfrageelastizitäten.....	91
Tab. 7-1:	Die zeitliche Entwicklung der statischen Vorhaltdauer der Kupferreserven der Vereinigten Staaten	100
Tab. 7-2:	267 Lagerstätten der Welt nach ihrem Typ, ihrer durchschnittlichen Größe und Gehalt, der Anzahl und dem absoluten und relativen Inhalt	104
Tab. 7-3:	Durchschnittliche Lebensdauer der Kupferprodukte in den Endverbrauchsgruppen	112
Tab. 8-1:	Chronologie des technischen Fortschritts im Kupferabbau.....	128
Tab. 8.2:	Chronologie des technischen Fortschritts in der Kupferaufbereitung.....	134
Tab. 8-3:	Chronologie des technischen Fortschritts in der Kupferverhüttung und -raffination.....	140
Tab. 9-1:	Regionale Aufteilung der Bergwerksproduktion in 1000 Tonnen Kupfer und ihre zeitliche Entwicklung.....	142
Tab. 9-2:	Der Staatsanteil an Betrieben des Bergbaus, der Verhüttung und Raffination	144
Tab. 9-3:	Konzentration nach Produzenten im Kupferbergbau der westlichen Welt	145
Tab. 9-4:	Konzentration nach Konzernen im Kupferbergbau der westlichen Welt	145

Tab. 9-5:	Produktion und Kupfergehalt der produzierenden Bergwerke	164
Tab. 9-6:	Durchschnittliche Produktionskosten über die Lebensdauer der Anlagen.....	165
Tab. 10-1:	Parameter der Fortschrittsfunktion für Investitionskosten	173
Tab. 10-2:	Parameter der CES-Funktionen	179
Tab. 10-3:	Werte für den Produktionspunkt der Produktionsfunktionen mit historischer Produktionshöhe	180
Tab. 11-1:	Zeitlicher Rückstand und Niveauparameter	190
Tab. 11-2:	Variation der Eingangsparameter gegenüber dem Basisfall	199
Tab. 11-3:	Preisentwicklung der sieben Szenarien	200