

**Schriftenreihe  
Energie- und Rohstoffwirtschaft  
Technische Universität Berlin**

---

Herausgeber: Prof. Dr. Dietmar Winje

**Band 1**



**U. Lorenz**

**Elektrizitätsversorgungsplanung  
für ländliche Gebiete  
in Entwicklungsländern**

**Ein Optimierungsmodell**

**Mit 55 Abbildungen und 28 Tabellen**

**Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo 1988**

**Dipl.-Ing. Ulrich Lorenz**  
Fachgebiet Energie- und Rohstoffwirtschaft  
Technische Universität Berlin

**Prof. Dr. Dietmar Winje**  
Fachgebiet Energie- und Rohstoffwirtschaft  
Technische Universität Berlin

**D 83 (Diss. TU Berlin)**

**Entwicklung eines Optimierungsmodells zur Elektrizitätsversorgungsplanung für ländliche Gebiete in Entwicklungsländern**

**ISBN-13: 978-3-540-19424-8 e-ISBN-13: 978-3-642-83519-3**  
**DOI: 10.1007/978-3-642-83519-3**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funkübertragung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1988  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1988

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zur Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Gesamtherstellung: Color-Druck, G. Baucke, Berlin  
2068/3020-543210

---

## Vorwort des Herausgebers

Die Versorgung mit Energieträgern und Rohstoffen sowie deren effiziente Nutzung unter Berücksichtigung der Umweltbelastung hat für alle Volkswirtschaften herausragende Bedeutung. Die ausreichende Bereitstellung von Energieträgern und Rohstoffen ist wesentliche Voraussetzung für den wirtschaftlichen Fortschritt sowie für die soziale Entwicklung der Bevölkerung. Insbesondere die Berücksichtigung des Aspektes der Endlichkeit der Ressourcen, der Abhängigkeit vieler Volkswirtschaften von diesen sowie der zunehmend erkannten Umweltwirkungen bei der Verwendung haben dazu geführt, daß Probleme der Nutzung der natürlichen Ressourcen in der Bevölkerung einen hohen Stellenwert gewonnen haben.

An der Technischen Universität Berlin werden Forschungsvorhaben zur Lösung von Problemen im Bereich der Energie- und Rohstoffwirtschaft durchgeführt. Die Vorhaben gehen davon aus, daß Energie- und Rohstoffsysteme offene Systeme darstellen, die eine Vielzahl von interdependenten Beziehungen zu ihrer Umwelt aufweisen. Entsprechend sind auch die Untersuchungsmethoden zu gestalten.

Das Ziel der vorliegenden Schriftenreihe besteht darin, über aktuelle Forschungsergebnisse und Lösungsbeiträge des Bereiches Energie- und Rohstoffwirtschaft zu berichten.

Der vorliegende Band der Schriftenreihe behandelt die Entwicklung und Anwendung eines Optimierungsmodells zur Elektrizitätsversorgungsplanung für ländliche Gebiete in Entwicklungsländern. Mit Hilfe eines auf einem Mikrocomputer implementierten Algorithmus wird der kostenminimale Ausbau von Stromerzeugungsanlagen für langfristige Planungszeiträume errechnet. Die Anwendung des Modells auf Regionen in verschiedenen Entwicklungsländern zeigt, daß neben der

standortspezifischen Ausbaureihenfolge eine übergeordnete wirtschaftliche Rangfolge im Ausbau der Kraftwerke existiert.

Insbesondere durch die vergleichende Betrachtung dezentraler Anlagen mit einer zentralen Netzstromversorgung versucht die vorliegende Arbeit, eine vorhandene Lücke bei den Optimierungsmodellen zur Stromversorgung für Entwicklungsländer zu schließen.

Mai 1988

Dietmar Winje

---

## Inhaltsübersicht

	Seite
1	1
2	7
2.1	7
2.2	16
3	30
3.1	30
3.2	32
3.2.1	32
3.2.1.1	34
3.2.1.2	36
3.2.1.3	41
3.2.2	46
3.2.3	49
3.2.3.1	50
3.2.3.2	56
3.2.3.3	65
3.2.4	67
3.2.4.1	67
3.2.4.2	69
3.2.4.3	72
3.2.4.4	77
3.2.4.5	77
3.2.4.6	81
3.2.5	83
3.2.5.1	83
3.2.5.2	91
3.2.5.3	95
3.2.5.4	101
3.2.6	104
3.2.6.1	104
3.2.6.2	105

---

	Seite	
3.2.7	Betriebskenngrößen von Wasserkraftanlagen	108
3.2.7.1	Regionales Wasserkraftpotential	109
3.2.7.2	Leistungskennzahlen von Wasserkraftanlagen	111
3.2.7.3	Kostenfunktion von Wasserkraftanlagen	114
3.3	Bestimmungsgleichungen des verwendeten LP-Ansatzes	116
3.3.1	Zeitliche Unterteilung der Planungsperiode	117
3.3.2	Zugrundegelegtes Investitionsrechenverfahren	119
3.3.3	Zielfunktion	120
3.3.4	Restriktionen der Kraftwerkskapazität	123
3.3.5	Restriktionen der generierten Leistung	124
3.3.6	Restriktionen bei Energiespeicherung	126
4	Annahmen über die Kosten der elektrischen Energie	130
4.1	Kosten der Erzeugung elektrischer Energie	130
4.1.1	Kosten photovoltaischer Anlagen	130
4.1.2	Kosten solarthermischer Turmkonzepte	132
4.1.3	Kosten solarthermischer Farmkonzepte	134
4.1.4	Kosten von Windenergieanlagen	135
4.1.5	Kosten von Dieselergeneratoranlagen	138
4.1.6	Kosten von Wasserkraftanlagen	138
4.2	Kosten der Übertragung und Verteilung elektrischer Energie	141
4.3	Kosten der Netzbetriebsführung	145
5	Entwicklung eines Rechnerprogramms zur Minimierung der Gesamtkosten der Elektrizitätsversorgung	149
5.1	Dateneingabe und Bedienerführung	151
5.2	Struktur und Funktion des Matrixgenerators	154
5.3	Ablauf des LP-Algorithmus	155
5.4	Ausgabe der Ergebnisse	157
6	Anwendung des Modells zur regionalen Elektrizitätsversorgung	159
6.1	Fallbeispiel 1: Das Altiplano-Gebiet in Peru	161
6.1.1	Objektbeschreibung	161
6.1.2	Eingangsdaten der Berechnungen	163
6.1.3	Ergebnisse der Berechnungen	167
6.1.3.1	Basislauf	167
6.1.3.2	Simulationsrechnungen	168
6.1.4	Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen des Fallbeispiels 1	181
6.2	Fallbeispiel 2: Die Region Terengganu in Malaysia	182
6.2.1	Objektbeschreibung	182
6.2.2	Eingangsdaten der Berechnungen	184
6.2.3	Ergebnisse der Berechnungen	188
6.2.3.1	Basislauf	188
6.2.3.2	Simulationsrechnungen	188
6.2.4	Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen des Fallbeispiels 2	197

---

	Seite	
6.3	Fallbeispiel 3: Die Ortschaft Manglaralto in Ecuador	198
6.3.1	Objektbeschreibung	198
6.3.2	Eingangsdaten der Berechnungen	200
6.3.3	Ergebnisse der Berechnungen	203
6.3.3.1	Basislauf	203
6.3.3.2	Simulationsrechnungen	204
6.3.4	Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen des Fallbeispiels 3	208
6.4	Schlußfolgerungen aus der Modellanwendung	210
7	Zusammenfassung	213
Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen		216
Abbildungsverzeichnis		220
Tabellenverzeichnis		224
Literaturverzeichnis		226
Anhang		238
Sachwortverzeichnis		242