
Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik Revue suisse d'Economie politique et de Statistique

*Herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Statistik und Volkswirtschaft
Publiée par la Société suisse de Statistique et d'Economie politique*

Redaktion/Rédaction: Prof. Dr. E. Baltensperger

125. Jahrgang 125^e année Heft/Fasc. 1 März/Mars 1989

Multiple Versorgungsrisiken und optimale Reservekapazitäten in der schweizerischen Energieversorgung*

Von M. Ferrari und P. Zweifel, Universität Zürich

Einleitung

Die rasch zunehmende internationale Verflechtung der Volkswirtschaften hat eine wachsende gegenseitige Abhängigkeit von Lieferungen aus dem jeweiligen Ausland zur Folge. Auf dem Energiesektor hingegen streben die Industrieländer seit dem ersten Erdölchock ein zunehmendes Mass an Autarkie an. In der Schweiz hat der Autarkiegedanke im Zusammenhang mit der Energieversorgung eine besonders starke Tradition, wurde die Schweiz doch im Ersten Weltkrieg von ihren Kohleimporten zeitweise abgeschnitten und konnte im Zweiten Weltkrieg nur mit Schwierigkeiten ihre Erdölaufuhr sicherstellen. Die plötzliche Verknappung des Erdöls im Jahre 1973 hat dem Autarkiegedanken natürlich grossen Auftrieb gegeben (*Zen Ruffinen* 1984, 159, 160). Während sich aber ein gewisses Mass an Unabhängigkeit gegenüber Lieferungen aus dem Ausland beim Erdöl mit dem Aufbau einer Lagerhaltung vergleichsweise einfach verwirklichen lässt, hat das Streben nach vermehrter Autarkie in der Elektrizitätsversorgung weitreichende Konsequenzen: Da elektrische Energie vorderhand kaum lagerfähig ist (ausser als potentielle Energie in den Stauseen), müssen inländische Produktionskapazitäten aufgebaut werden. Damit verändert sich auch das Kostengefüge sowie die Grundlagen der Stromtarifizierung, wie bereits *Meier* (1983, 77–84) bemerkt hat.

Energiepolitische Autarkievorstellungen finden heute zur Hauptsache in der vom Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke propagierten "19 von 20 Winter-Regel" ihren Niederschlag, vgl. *Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke VSE* (1979, 1987, 108, 97). Sie besagt, dass die Schweiz in 19 von 20

* Überarbeitete Fassung eines Beitrags zur Fachtagung der International Association of Energy Economists, "Wirtschaftliche Aspekte unterschiedlicher Energieszenarien" in Bern, 14./15. April 1988.

Wintern ohne Nettoimporte von Strom auskommen soll. Eine solche Regel kommt dem aus kriegswirtschaftlichen Erfahrungen genährten Autarkiestreben entgegen. Das erste Ziel dieses Beitrags besteht darin, gewisse Schwächen von Vorschriften dieses Typs (zu denen auch diejenige der International Energy Agency IEA bezüglich Erdölvorräte gehört) aufzuzeigen. Als nachteilig erweist sich insbesondere die Eindimensionalität der Regeln: Es gibt ja nicht nur Versorgungsrisiken bei der Elektrizität oder beim Erdöl, sondern grundsätzlich bei allen Energieträgern und auch vielen Rohstoffen, und es ist denkbar, dass mehrere von ihnen gleichzeitig eintreten. Etwas überspitzt stellt sich die Frage: Ist es angenehmer, in einem beheizten als in einem unbeheizten Schutzraum zu verhungern? Das zweite Ziel des Beitrags besteht deshalb darin, für den einfachsten Fall zweier nichtkorrelierter Versorgungsrisiken Entscheidungsregeln für optimale Reservehaltung von Öl bzw. optimale Kapazitäten der inländischen Stromerzeugung herzuleiten. Dabei stellt sich heraus, dass die z. Z. propagierten eindimensionalen Vorsorgeregeln kaum je Versorgungssicherheit zu den kleinstmöglichen Kosten für die Gesamtwirtschaft gewährleisten dürften.

Zur Problematik der Versorgungssicherheit in der Schweiz

Das soeben angedeutete Szenario "Verhungern im beheizten Schutzraum" macht klar, dass die Schweiz nicht nur bei der Energie, sondern auch bei den Rohstoffen Versorgungsrisiken ausgesetzt ist. So sperrte beispielsweise im Mai 1973 die EG sämtliche Reisexporte aus Italien, die 40 bis 50 % des schweizerischen Inlandkonsums deckten (*Gautschi et al.* 1987, 25). Ein anderes Beispiel bildet die annähernde Verhundertfachung des Kobaltpreises 1978/79 auf dem Weltmarkt, nachdem in Zaire die Produktion durch Unruhen unterbrochen worden war und gleichzeitig die amerikanische Regierung ihre Absicht bekanntgegeben hatte, die strategischen Reserven von Kobalt beträchtlich zu erhöhen (*Gautschi et al.* 1987, 180–183).

Im weiteren soll aber das Problem der Versorgungssicherheit bei den Rohstoffen hier nicht weiter aufgerollt werden, obschon sich über die in gewissen Importen enthaltene "graue Energie" interessante Querverbindungen zur hier angesprochenen Fragestellung ergeben würden (*Bundesamt für Energiewirtschaft BEW* 1985, 23). Die Analyse soll sich vielmehr auf die beiden für die Schweiz wichtigsten Energieträger, das Erdöl und die Elektrizität, beschränken. Beim Erdöl gilt die Empfehlung der *IEA* an ihre Mitgliedsländer, die Lagerbestände soweit aufzustocken, dass sie den Verbrauch von 90 Tagen decken. Auf den ersten Blick erscheint eine solche Empfehlung sinnvoll, handelt es sich doch um einen lagerfähigen Energieträger, dessen eiserner Bestand in einer Beziehung zum laufenden Verbrauch stehen sollte. Bei genauere Betrachtung stellt sich aber heraus, dass eine solche einheitliche Regelung der jeweiligen Situation im Mitgliedland kaum gerecht werden dürfte. So wird die Vorgabe der *IEA* in der Schweiz bei weitem übertroffen, wenn die dezentral gehaltenen privaten

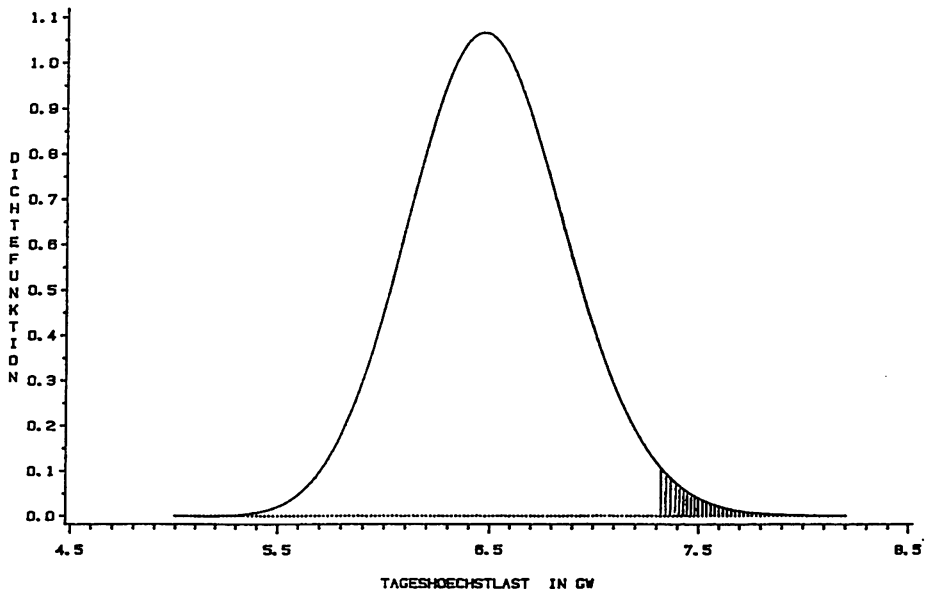
Reserven zu den Pflichtreserven gerechnet werden (*Motor Columbus* 1978, 98). Ein Grund für dieses Verhalten könnte darin bestehen, dass die Schweizer die Wahrscheinlichkeit einer neuen Erdölkrise höher einstufen als andere Völker Europas. Allgemein hängt aus der Sicht der ökonomischen Theorie das optimale Ausmass der Reservehaltung von folgenden Faktoren ab (*Henze* 1983; *Gautschi et al.* 1987, 30, 31):

1. der subjektiven relativen Wertung des durch die Vorsorge reduzierten Wohlstands in Nicht-Krisenzeiten und des durch die Vorsorge ermöglichten höheren Wohlstands in Krisenzeiten;
2. der Gegenwartspräferenz, d. h. der Diskontierung späterer Vor- und Nachteile, die mit der Vorsorge verbunden sind;
3. der Risikoaversion, die dazu führt, dass Wohlstandsschwankungen, auch wenn sie sich im Durchschnitt aufheben, möglichst vermieden werden; man gibt dem gleichwertigen sicheren Wohlstand den Vorzug;
4. der bereits erwähnten Wahrscheinlichkeit einer Versorgungskrise im Planungszeitraum;
5. der Anpassungsfähigkeit der inländischen Produktion, wobei rasche Anpassungsfähigkeit in Krisensituationen die Vorsorge weniger wichtig macht;
6. dem erwarteten Schweregrad der Krisen, d. h. deren Wohlstandswirkungen und Dauer;
7. den Kosten der Vorsorge, z. B. der Lagerhaltung oder des Aufbaus zusätzlicher Produktionskapazitäten im Inland.

Ausser dem sechsten trägt die Regel der IEA ("Öl für 90 Tage") diesen Faktoren offensichtlich keine Rechnung. Dafür hat sie den Vorteil unmittelbarer Operationalität und damit Überprüfbarkeit. Die "19 von 20 Wintern-Regel" des VSE nennt immerhin ein explizites Sicherheitsziel, berücksichtigt also den 4. und indirekt mit der Heraushebung des Winterhalbjahres den 6. der oben genannten Aspekte. Dafür ist die Regel einigermaßen interpretationsbedürftig:

- Aufgrund der kriegswirtschaftlichen Hintergründe der schweizerischen Autarkiebestrebungen könnten sowohl Laien wie auch politische Entscheidungsträger leicht zur Auffassung gelangen, dass durch den Aufbau genügender Produktionskapazitäten im Inland eine Stromversorgung geschaffen werde, welche in 19 von 20 Wintern jederzeit den Landesbedarf deckt. Dabei bleibt allerdings offen, ob in jenem ominösen 20. Winter nur in einem, in mehreren oder in allen Zeitpunkten auf Importe aus dem Ausland zurückgegriffen werden darf (VSE, 1987, 119).
- Diese Interpretationsschwierigkeit würde bei einer leicht anderen Auffassung vermieden, die der kriegswirtschaftlichen Motivation immer noch Genüge tut: Es seien 95 % der Lastspitzen eines Winterhalbjahres durch die Landesproduktion zu decken. Diese Formulierung der Regel hätte den Vorteil, dass die nötige Kapazität ziemlich zuverlässig aus den Beobachtungen ermittelt werden könnte. Dazu müsste man allerdings die gesamtschweizerischen

Abbildung 1
Häufigkeitsverteilungen auf drei Aggregierungsebenen
A) Tageshöchstlasten (schematisch)



Tageslastspitzen nach Aggregation der regionalen Netze kennen – eine Information, die z.Z. nicht zur Verfügung steht. Deshalb wird im Teil A der Abb. 1 lediglich schematisch dargestellt, wie aufgrund von immerhin etwa 180 Beobachtungen eines Winterhalbjahres eine Verteilung der Lastspitzen konstruiert und recht zuverlässig ein inländisches Produktionsniveau bestimmt werden könnte, das der 95 %-Sicherheitsanforderung genügt. Der vielbetonte Engpass bei der im Verlauf eines Winterhalbjahres produzierbaren Energie (*Infras/Motor Columbus* 1980, 2–17) würde sich gegen Ende des Winterhalbjahres in einer Reihe ungedeckter Lastspitzen niederschlagen. Zur Vereinfachung der Analyse werden mitunter nicht tägliche Lastspitzen, sondern monatliche Energiemengen verwendet, so z. B. in *Bundesamt für Energiewirtschaft BEW* (1986, 42–43). Wie der Teil B der Abb. 1 zeigt, bereitet die Bestimmung eines 95 %-Sicherheitsniveaus der Versorgung nach dieser Aggregation bereits erhebliche Schwierigkeiten.

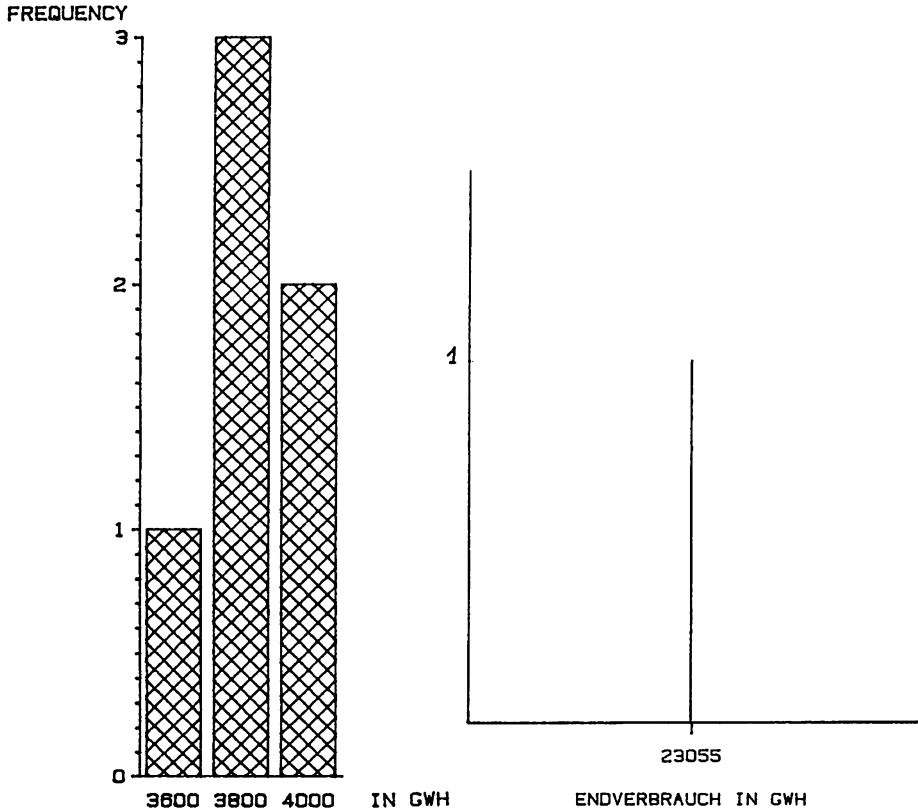
Die Interpretation der “19 von 20 Wintern-Regel” durch den VSE selber ist jedoch eine ganz andere: Sie soll in 19 von 20 Fällen sicherstellen, dass über das Winterhalbjahr kumuliert die inländische Produktion den Landesbedarf mindestens deckt. Damit schmilzt aber die Menge der Beobachtungen pro Jahr auf eine einzige zusammen (vgl. Teil C der Abb. 1), was eine rasche Bestimmung des 95 %-Sicherheitsniveaus verunmöglicht. Wartet man

Fortsetzung: Abbildung 1

Häufigkeitsverteilungen auf drei Aggregierungsebenen

B) Monatlicher Endverbrauch
(6 Wintermonate 1985/86)

C) Winterendverbrauch
(1985/86)



die Beobachtungen mehrerer Jahre ab, so verschiebt sich die im Teil A gezeigte Verteilung, i. d. R. nach aussen. Die "19 von 20 Wintern- Regel" nach Lesart des VSE erweist sich damit als schlecht operationalisierbar. Sie wird ausserdem der kriegswirtschaftlichen Motivation schweizerischer Autarkiebestrebungen in keiner Weise mehr gerecht, indem theoretisch 179 von 180 Tagesspitzen eines Winterhalbjahres ungedeckt bleiben könnten, wenn nur der Ausgleich am 180. Tag verwirklicht würde.

Der zentrale Schwachpunkt der Empfehlungen sowohl der IAE wie auch des VSE liegt aber woanders: 90 Tage Reserven an Erdöl können dann massive gesamtwirtschaftliche Einbussen nicht verhindern, wenn gleichzeitig zur Ölverknappung noch ein Ausfall der Versorgung mit Elektrizität hinzutreten sollte. Für die

Schweiz könnte das Szenario etwa wie folgt lauten (*Menzler/Rebstock* 1984, IX – 8): Infolge einer plötzlichen Erdölverknappung steigt die Nachfrage nach dem Substitut Elektrizität in jenen Ländern an, die sonst die Schweiz beliefert hätten. Daraus ergibt sich auch für die Schweiz eine gewisse Wahrscheinlichkeit, gleichzeitig von einer Erdöl- und Elektrizitätsverknappung betroffen zu werden. Diese Möglichkeit wird zwar durchaus beschrieben und auch in Bezug auf Bruttoinlandprodukt (BIP)-Verluste quantifiziert, doch die Auswirkungen dieser Tatsache auf die zu wählenden Entscheidungsregeln sind bislang nicht herausgearbeitet worden. Dies soll in den nachstehenden Abschnitten versucht werden.

Grundzüge einer globalen Optimierung der Vorsorge

In diesem Abschnitt soll ein Optimierungsmodell skizziert werden, das multiple Versorgungsrisiken bei Erdöl und Elektrizität berücksichtigt. Es enthält eine Reihe von Vereinfachungen:

- Die durchschnittlichen Gesamtkosten aus BIP-Verlust im Störfall und Kosten der Vorsorge sollen für eine Periode minimiert werden. Damit bleiben Punkt 1 der obigen Liste von Faktoren (subjektives Abwägen zwischen den Vorsorgeaufwendungen in Normalzeiten und dem Wohlstandsgewinn in Krisenzeiten), Punkt 2 (Gegenwartspräferenz) und besonders wichtig Punkt 3 (Risikoabneigung) unberücksichtigt.
- Über die Punkte 4, 6 und 7 der Liste werden dagegen Aussagen gemacht, indem unterschiedliche BIP-Verluste für den Fall einer Störung der Ölversorgung, der Elektrizitätsversorgung und der beiden Versorgungsungen in Kombination eingeführt werden.
- Die Dauer des Störfalles wird in Übereinstimmung mit *Menzler/Rebstock* (1984, II – 42) auf ein Jahr normiert.

Um ein simultanes Versorgungsrisiko bei Öl und Elektrizität abzubilden, müssen vier Zustände unterschieden werden (vgl. Tab. 1). Mit Wahrscheinlichkeit p_O soll es zu einem Ausfall der Ölversorgung kommen, und mit Wahrscheinlichkeit p_E zu einem Ausfall der Elektrizitätsversorgung, insbesondere durch eine Verknappung der Importe aus dem Ausland. Falls die beiden Risiken unabhängig voneinander sind, beträgt die Wahrscheinlichkeit ihres gleichzeitigen Eintretens $p_O \cdot p_E$, vgl. 4. Zeile der Tab.1

Wollte man allerdings das am Ende des vorhergehenden Abschnitts zitierte Szenario von *Menzler/Rebstock* (1984, IX – 8) abbilden, müsste man mit bedingten Wahrscheinlichkeiten arbeiten. Die Wahrscheinlichkeit p_E würde sich dann zusammensetzen aus einem Risiko, dass bei ungestörter Ölversorgung eine Elektrizitätsverknappung (evtl. als Produktionsausfall im Inland) eintritt ($p_{E/\bar{O}}$) und einem anderen Risiko, dass die Elektrizität als Folge eines Ölschocks knapp wird ($p_{E/O}$); zu dieser zweiten Möglichkeit vgl. auch *Motor Columbus* (1978, 44).

Tabelle 1

Wahrscheinlichkeiten und Verluste infolge von Versorgungsausfällen

Versorgungsausfall bei

Öl	Elektrizität	Wahrscheinlichkeit	Verlust
Nein	Nein	$(1 - p_O)(1 - p_E)$	0
Ja	Nein	$p_O(1 - p_E)$	L_O
Nein	Ja	$(1 - p_O)p_E$	L_E
Ja	Ja	$p_O p_E$	L_{OE}

Die Wahrscheinlichkeit p_E wäre dann gegeben durch den gewichteten Mittelwert der beiden bedingten Wahrscheinlichkeiten:

$$p_E = p_{E/O} \cdot p_O + p_{E/\bar{O}} (1 - p_O).$$

Damit hängt p_E von p_O ab, und die beiden Ereignisse "Ölausfall" und "Elektrizitätsausfall" sind miteinander korreliert. Dieser Komplikation wird im folgenden aber nicht Rechnung getragen.

Was die verursachten BIP-Verluste betrifft, so fällt selbstverständlich der gleichzeitige Ausfall von Öl und Elektrizität (L_{OE}) am meisten ins Gewicht, vgl. Tab. 1. Abschätzungen der *Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption GEK* (1978, 103) zufolge dürfte ein vergleichbarer relativer Ausfall der Elektrizität einen grösseren Schaden anrichten als ein solcher des Erdöls ($L_E > L_O$); diese Rangfolge erweist sich aber in der anschliessenden Analyse als nicht besonders zentral.

Die BIP-Kosten eines Erdölausfalls können durch erhöhte Vorräte S zwar reduziert werden, doch mit abnehmender Wirksamkeit (vgl. auch *Menzler/Rebstock* 1984, IX-12):

$$L_O = L_O(S), \quad \frac{\partial L_O}{\partial S} < 0, \quad \frac{\partial^2 L_O}{\partial S^2} > 0 \quad (1)$$

S : Vorräte an Erdöl, ohne Unterscheidung nach Raffinerungsstufe (*Motor Columbus* 1978, 85).

Im Gegensatz zum Erdöl ist die Inlandnachfrage nach Elektrizität soweit durch die Landesproduktion gedeckt, dass durch die Wahl genügend hoher Kapazitäten unmittelbar die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls p_E reduziert werden kann. Hier ist die Schweiz in der seltenen Lage, Prävention an der Quelle anstelle blosser Schadenseindämmung nach erfolgtem Unglück zu betreiben. Bei einem Entscheidungsträger, der durch Risikoaversion geprägt ist, kann dieser Unterschied eine erhebliche Rolle spielen; hier kommt er nicht zum Tragen, weil ja die Risikoaversion vernachlässigt wird (s.o.). Die

Modellformulierung macht also die Ausfallswahrscheinlichkeit p_E zu einer Funktion der inländischen Produktionskapazität K . Demgegenüber sollen die BIP-Kosten eines Elektrizitätsausfalls nicht von K abhängen. Im Gegensatz zum Erdöl, dessen Preis auf dem Weltmarkt bestimmt wird, würde zusätzliche Produktionskapazität nicht einfach auf Lager gelegt, sondern sich in der Tarifgestaltung der Elektrizitätswerke niederschlagen, mit der Folge einer erhöhten Abhängigkeit der Gesamtwirtschaft von der Elektrizität. Aus diesem Grund trägt eine erhöhte inländische Produktionskapazität eher wenig zur Eindämmung des Schadens L_E bei, wenn die Elektrizitätsverknappung einmal eingetreten ist.

Im übrigen bringt die nachstehende Gleichung (2) eine abnehmende marginale Wirksamkeit von Kapazitätsaufstockungen zum Ausdruck. Für den Funktionsverlauf ist an sich von Bedeutung, ob diese Aufstockung in Form einiger weniger Grossanlagen oder aber dezentral, mit verstärkter Risikostreuung, erfolgt (Menzler/Rebstock 1984, IX-6, IX-8); einfachheitshalber wird aber K als homogene Grösse behandelt. Schliesslich kann vollkommene Sicherheit nie erreicht werden:

$$p_E = p_E(K), \quad \frac{\partial p_E}{\partial K} < 0, \quad \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} > 0, \quad p_E > 0 \quad (2)$$

K : Inländische Produktionskapazität für Elektrizität.

Um den Grössenunterschied zwischen L_{OE} (dem BIP-Verlust bei einem kombinierten Ausfall beider Energieträger) und L_E bzw. L_O in anschaulicher Weise zum Ausdruck zu bringen, wird ein Verschärfungsfaktor A eingeführt, der seinerseits in gewohnter Weise von der Höhe der Lagerhaltung an Erdöl abhängt:

$$L_{OE} = A(S) \cdot L_E, \quad A > 1, \quad \frac{\partial A}{\partial S} < 0, \quad \frac{\partial^2 A}{\partial S^2} > 0, \quad L_{OE} > L_O. \quad (3)$$

A : Verschärfungsfaktor beim gleichzeitigen Ausfall der Öl- und Elektrizitätsversorgung.

Das Entscheidungsproblem einer politischen Instanz kann nun im Grundsatz darin gesehen werden, ein gewisses Niveau an Versorgungssicherheit zu kleinstmöglichen gesamtwirtschaftlichen Kosten herzustellen. Dazu stehen die beiden Entscheidungsvariablen S (Lagerhaltung von Erdöl) und K (inländische Produktionskapazität für Elektrizität) zur Verfügung. Werden K und S angehoben, so lässt sich dadurch der im Mittelwert zu erwartende BIP-Verlust reduzieren. Doch diese Vorkehrungen haben ihrerseits ihre Kosten: Ein zusätzlicher Aufbau der Erdölvorräte belegt Raum und bindet Kapital (π_S je Einheit), und die Bereitstellung zusätzlicher Produktionskapazität ist ebenfalls mit Kosten (π_K je Einheit) verbunden. Beide Kosten haben in letzter Zeit zugenommen. Der eine Grund dafür liegt im Umstand, dass die für den Betrieb günstigsten Standorte für Öltanklager und Speicherseen bereits belegt sind. Darüber hinaus hat sich der

Widerstand der betroffenen Bevölkerung gegen beide Alternativen in letzter Zeit verstärkt. Der damit verbundene Anstieg von π_S und insbesondere π_K nimmt die Form erhöhter Aufwendungen für Verhandlungen, Kompromissuche mit der betroffenen Bevölkerung und Verzögerungen bei der Projektdurchführung an. Der Einfachheit halber soll im folgenden davon abstrahiert werden, dass diesen Kosten Erträge aus der Belieferung des Auslandes gegenüberstehen können. Im einfachsten Fall lässt sich somit das Entscheidungsproblem formulieren wie folgt:

$$\min_{K,S} Z = p_O(1 - p_E)L_O + (1 - p_O)p_E L_E + p_O p_E A \cdot L_E + \pi_S S + \pi_K K \quad (4)$$

π_S : Kosten einer Erhöhung der Erdölvorräte um eine Einheit (als unabhängig von S angenommen)

π_K : Kosten der Erhöhung der inländischen Produktionskapazität für Elektrizität um eine Einheit (als unabhängig von K angenommen).

Die Nennung von lediglich zwei Entscheidungsvariablen in der Gleichung (4) sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass noch andere Mittel zur Lösung des Problems existieren, von der Verschiebung von Lastspitzen durch eine entsprechende Tarifstruktur bis hin zur Rationierung im Krisenfall.

Notwendige Bedingungen für ein Optimum

In einem ersten Schritt sollen die notwendigen Bedingungen für ein Optimum bezüglich einer Variation der beiden Entscheidungsvariablen hergeleitet werden:

$$\frac{\partial Z}{\partial K} = -p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} L_O + (1 - p_O) \frac{\partial p_E}{\partial K} L_E + p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} A \cdot L_E + \pi_K = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial S} = p_O(1 - p_E) \frac{\partial L_O}{\partial S} + p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} L_E + \pi_S = 0. \quad (6)$$

Für einen risikoneutralen Entscheidungsträger müssen die durchschnittlichen zusätzlichen Erträge aus der Vermeidung von BIP-Verlusten [das sind die ersten drei Terme in Gleichung (5) und die ersten beiden Terme in Gleichung (6)] die dafür aufzuwendenden zusätzlichen Kosten (π_K bzw. π_S) decken. Ein risikoaverser Entscheidungsträger würde vermutlich über diesen Punkt hinausgehen wollen, stellt für ihn doch jede Reduktion der Diskrepanz zwischen Normalfall und Störfall einen subjektiven Vorteil dar. In den beiden Bedingungen erscheinen zwar die Optimalwerte K^* und S^* nicht direkt; wenn aber die Werte der Gradienten $\partial p_E / \partial K$ und $\partial L_O / \partial S$ festgelegt sind, werden damit wegen der Gleichung (1)

und (2) auch die dazugehörigen Werte K^* und S^* bestimmt. Die Auflösung von Gleichung (5) nach $\partial p_E / \partial K$ ergibt:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p_E}{\partial K}(K^*) &= -\pi_K \cdot \frac{1}{-p_O L_O + (1 - p_O) L_E + p_O A \cdot L_E} \\ &= -\pi_K \cdot \frac{1}{-p_O L_O + (1 - p_O + p_O A) L_E} \\ &< 0 \quad \text{weil } p_O A \cdot L_E > p_O L_O. \end{aligned} \quad (7)$$

Der negative Wert des Ausdrucks (7) weist darauf hin, dass im Optimum noch Raum für eine weitere Senkung der Ausfallswahrscheinlichkeit vorhanden sein muss, so dass umgekehrt die optimale Kapazität K^* unter einem denkbaren Maximum zurückbleiben wird. Interessanterweise gilt bei der Lagerung von Erdöl eine analoge Aussage nicht zwingend:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L_O}{\partial S}(S^*) &= -\left(\pi_S + p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} L_E\right) \frac{1}{p_O (1 - p_E)} \\ &< 0 \quad \text{solange} \quad \left| \frac{\partial A}{\partial S} \cdot \frac{S}{A} \right| < \frac{\pi_S S}{p_O p_E L_{OE}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Zur einfachen Interpretation ist die Bedingung in Elastizitätsform ausgedrückt, d.h. beide Terme in der Klammer sind mit dem Faktor (S/A) multipliziert, unter Verwendung von $L_{OE} \equiv A \cdot L_E$. Die Lagerhaltung von Erdöl würde im Optimum also dann nicht maximal ausgedehnt, wenn die Elastizität des Verschärfungsfaktors A bezüglich erhöhter Lagerhaltung S relativ klein ist. Die Obergrenze für diese Elastizität ist gegeben durch die Kosten der Öllagerhaltung in der Ausgangssituation im Verhältnis zum Erwartungswert des maximalen BIP-Verlustes. Da die Schweiz in Sachen Lagerhaltung bereits grosse Anstrengungen unternommen hat, dürfte die Elastizität von A bezüglich S eher kleine Werte annehmen und so die Bedingung der Gleichung (8) erfüllen.

Partielle Betrachtung der Entscheidungsregel bezüglich der Elektrizität

Offensichtlich sind mit K und S zwei Entscheidungsgrössen optimal festzulegen. Doch die bisherige Diskussion in der Schweiz (aber auch in anderen Ländern) verlief so, dass immer nur Versorgungsprobleme bei einem Energieträger aufs Mal untersucht wurden, wie wenn eine Erhöhung der Versorgungssicherheit insgesamt über den jeweils anderen Energieträger nicht möglich wäre. Im folgenden soll diese (zu enge) Betrachtungsweise für den Fall der Elektrizität nachvollzogen werden, indem die Entscheidungsgrösse S konstantgehalten

wird. Wie wäre dann – unter künstlich eingeschränkten Bedingungen – die optimale inländische Erzeugungskapazität für Elektrizität im Zuge des Wirtschaftswachstums anzupassen? Im Rahmen des Modells schlägt sich eine solche Zunahme in erhöhten absoluten BIP-Verlusten im Falle eines Versorgungsmankos nieder. Ausgehend von der Gleichung (7) kann man also untersuchen, wie die abhängige Grösse $\partial p_E / \partial K$ reagieren müsste, wenn L_E zunimmt. Die partielle Differenzierung ergibt:

$$\frac{\partial}{\partial L_E} \left[\frac{\partial p_E}{\partial K} \right] = +\pi_K \frac{1}{[-p_O L_O + (1 - p_O + p_O A) \cdot L_E]^2} \cdot (1 - p_O + p_O A) \quad (9)$$

$$> 0 \rightarrow \frac{\partial K^*}{\partial L_E} > 0.$$

Wie zu erwarten, wird der Gradient $\partial p_E / \partial K$ neu so gewählt, dass er zwar noch negativ bleibt, aber sich in Richtung Null verschiebt. Diese Verschiebung wird dadurch bewerkstelligt, dass die optimale inländische Produktionskapazität nach oben angepasst wird [vgl. die Festlegungen in Gleichung (2)]. Die Kapazitätserhöhung als solche entspricht durchaus der Intuition; ihr Ausmass hängt allerdings positiv von π_K ab. Je grösser also die Grenzkosten zusätzlicher Kapazität, desto stärker müsste der Bau von Elektrizitätswerken vorangetrieben werden. Diese unhaltbare Implikation zeigt die Gefahr auf, die mit einer eindimensionalen “Versorgungspolitik im Interesse der Allgemeinheit” verbunden sind.

Zum Abschluss dieser partiellen Betrachtungen sei noch die Frage aufgeworfen, was für einen Einfluss auf die optimale Erzeugungskapazität von Elektrizität im Inland eine Zunahme des Versorgungsrisikos auf Seiten des Erdöls haben müsste:

$$\frac{\partial}{\partial p_O} \left[\frac{\partial p_E}{\partial K} \right] = +\pi_K \frac{1}{[-p_O L_O + (1 - p_O + p_O A) \cdot L_E]^2} (-L_O - L_E + A \cdot L_E) \quad (10)$$

$$= \begin{cases} > 0, & \text{falls } A \cdot L_E \equiv L_{OE} > L_E + L_O \rightarrow \frac{\partial K^*}{\partial p_O} > 0 \\ < 0, & \text{sonst} \rightarrow \frac{\partial K^*}{\partial p_O} < 0. \end{cases}$$

Falls die gesamtwirtschaftlichen Kosten eines kombinierten Ausfalls beider Energieträger die Summe der jeweiligen Kosten infolge eines Ausfalls der einzelnen Energieträger übersteigen, müsste sich das neue Optimum so verschieben, dass die marginale Wirkung einer weiteren Kapazitätsausdehnung auf die Ausfallwahrscheinlichkeit p_E gegen Null geht. Mit andern Worten, unter realistischen Bedingungen würde ein erhöhtes Risiko bei der Ölversorgung zu verstärkten Anstrengungen bei der Sicherung der Stromversorgung führen. Der Umstand, dass einmal mehr die “optimale” Anpassung um so ausgeprägter ausfällt, je höher die

Grenzkosten zusätzlicher elektrischer Kapazität sind, unterstreicht aber die sehr eingeschränkte Rationalität dieser eindimensionalen Versorgungspolitik.

Eine globale Betrachtung

Jetzt wird die verengte eindimensionale Betrachtungsweise aufgegeben: Beide Entscheidungsvariablen, die inländische Erzeugungskapazität für Elektrizität K und die Öllagerhaltung S , sollen simultan an Veränderungen der Umweltbedingungen angepasst werden können. Eine solche Veränderung könnte einmal mehr das Wirtschaftswachstum, möglicherweise begleitet von einer Umstellung der Produktion, welche die Abhängigkeit von der Elektrizität vergrößert, sein. Entsprechend fallen die BIP-Verluste bei einem Elektrizitätsmanko gegebener Grösse höher aus, also $dL_E > 0$.

Dieser Impuls wirkt nun auf die Optimalbedingungen erster Ordnung (5) und (6) ein, wobei durch Anpassungen dS^* und dK^* ein neues Optimum in der Umgebung des Ausgangspunktes zu finden ist. An diesem neuen Optimum sind jedoch die notwendigen Bedingungen wiederum erfüllt. Die totale Differenzierung der Gleichung (5) ergibt somit:

$$\begin{aligned} & -p_O \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} L_O \cdot dK^* - p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \frac{\partial L_O}{\partial S} \cdot dS^* + (1-p_O) \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} L_E \cdot dK^* \\ & + (1-p_O) \frac{\partial p_E}{\partial K} dL_E + p_O \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} A \cdot L_E \cdot dK^* + p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \frac{\partial A}{\partial S} L_E dS^* \\ & + p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} A \cdot dL_E = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Aber auch die notwendige Bedingung bezüglich S wird durch den Impuls gestört, was in Gleichung (6) Anpassungen dK^* und dS^* auslöst:

$$\begin{aligned} & -p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \frac{\partial L_O}{\partial S} \cdot dK^* + p_O(1-p_E) \frac{\partial^2 L_O}{\partial S^2} \cdot dS^* \\ & + p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \frac{\partial A}{\partial S} L_E \cdot dK^* + p_O p_E \frac{\partial^2 A}{\partial S^2} L_E dS^* + p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} \cdot dL_E = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Insgesamt wirkt also der Impuls dL_E über drei Kanäle auf die Entscheidungssituation des Energiepolitikers ein: Zum einen erhält eine Veränderung des Versorgungsrisikos bei der Elektrizität ein grösseres Gewicht; vgl. den vierten Summanden der Gleichung (11). Die gleiche Überlegung trifft auch auf den kombinierten Störfall zu, weswegen im letzten Summanden der Gleichung (11) der Verschärfungsfaktor A hinzutritt. Drittens wird die Lagerhaltung beim Erdöl tangiert, weil sie ja im kombinierten Störfall auch einen Beitrag zur Entschärfung der Situation leistet, der jetzt mit $dL_E > 0$ ein grösseres Gewicht erhält; vgl. den

letzten Summanden der Gleichung (12). Die beiden Gleichungen lassen sich nun in Matrixalgebra zusammenfassen zum System:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} \left[-p_O L_O + (1 - p_O + p_O A) L_E \right] & p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \left[\frac{\partial A}{\partial S} L_E - \frac{\partial L_O}{\partial S} \right] \\ p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \left[\frac{\partial A}{\partial S} L_E - \frac{\partial L_O}{\partial S} \right] & p_O (1 - p_E) \frac{\partial^2 L_O}{\partial S^2} + p_O p_E \frac{\partial^2 A}{\partial S^2} L_E \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} dK^* \\ dS^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(1 - p_O + p_O A) \frac{\partial p_E}{\partial K} \\ -p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S} \end{pmatrix} dL_E. \quad (13)$$

Aus der Optimierungstheorie ist bekannt, dass im Falle einer inneren Lösung des in Gleichung (4) formulierten Minimumproblems die Matrix auf der linken Seite der Gleichung (13) positiv-definit sein muss (Goldberger 1964, 44, 37). Für die Determinante Δ dieser Matrix gilt deshalb:

$$\Delta > 0 \quad (14)$$

Mit Hilfe der Cramerschen Regel kann für dK^*/dL_E gelöst werden wie folgt:

$$\frac{dK^*}{dL_E} = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} \underbrace{-(1 - p_O + p_O A) \frac{\partial p_E}{\partial K}}_{(+)} & \underbrace{p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \left[\frac{\partial A}{\partial S} L_E - \frac{\partial L_O}{\partial S} \right]}_{(+/-)} \\ \underbrace{-p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S}}_{(+)} & \underbrace{p_O (1 - p_E) \frac{\partial^2 L_O}{\partial S^2} + p_O p_E \frac{\partial^2 A}{\partial S^2} L_E}_{(+)} \end{vmatrix} \quad (15)$$

$$= \begin{cases} > 0 & \text{falls } L_E \text{ und } \partial^2 A / \partial S^2 \text{ gross oder } |\partial A / \partial S| \text{ klein} \\ < 0 & \text{falls } |\partial A / \partial S| \text{ oder } |\partial L_O / \partial S| \text{ gross.} \end{cases}$$

Im Rahmen einer globalen Anpassungsregel ist durchaus denkbar, dass auf einen grösseren BIP-Verlust im Falle eines Stromausfalls nicht mit einer Erhöhung der inländischen Erzeugungskapazität reagiert wird. Die "indirekte" Reaktion mittels einer Aufstockung der Erdölvorräte bietet sich offenbar dann an, wenn diese zusätzlichen Vorräte im kombinierten Störfall besonders wirksam sind ($\partial A / \partial S$ gross) oder wenn sie die Ausfallkosten einer Ölverknappung stark senken ($\partial L_O / \partial S$ gross) und so zu einer massiven Reduktion der drohenden Ausfallkosten beitragen. In der Regel wird allerdings die "Normalreaktion" der Kapazitätsausweitung zu empfehlen sein, besonders wenn die BIP-Verluste eines Strommankos (L_E) schon zuvor bedrohliche Ausmasse angenommen haben. Mithin ergibt sich aus einer zunehmenden Elektrifizierung der Wirtschaft eine

Art Einschliesseffekt: Die BIP-Kosten eines Stromausfalls nehmen zu, der Beitrag von Ölvorräten zur Entschärfung einer kombinierten Verknappungssituation hingegen ab, und ein Kapazitätsausbau erscheint immer mehr als die optimale Alternative.

Will man einen solchen Einschliessungseffekt vermeiden, muss man stattdessen die Erdölvorräte erhöhen. Diese Reaktion kann durchaus kostenminimierend sein. Nochmalige Anwendung der Cramerschen Regel ergibt nämlich für die optimale Anpassung von S^* an den Impuls $dL_E > 0$:

$$\frac{dS^*}{dL_E} = \frac{1}{\Delta} \left| \begin{array}{cc} \frac{\partial^2 p_E}{\partial K^2} \left[\underbrace{-p_O L_O + (1 - p_O + p_O A) L_E}_{(+)} & \underbrace{-(1 - p_O + p_O A) \frac{\partial p_E}{\partial K}}_{(+)} \\ p_O \frac{\partial p_E}{\partial K} \left[\underbrace{\frac{\partial A}{\partial S} L_E - \frac{\partial L_O}{\partial S}}_{(+/-)} & \underbrace{-p_O p_E \frac{\partial A}{\partial S}}_{(+)} \end{array} \right| \quad (16)$$

$$= \begin{cases} < 0 & \text{falls } |\partial L_O / \partial S| \text{ und } |\partial p_E / \partial K| \text{ klein} \\ > 0 & \text{falls } |\partial A / \partial S| \text{ oder } |\partial L_O / \partial S| \text{ gross.} \end{cases}$$

Es sind die gleichen Parameter der Erdölversorgung, die gegen den Kapazitätsausbau bei der Elektrizität sprechen können [vgl. Gleichung (15)], die umgekehrt eine Politik der Vorratshaltung vorteilhaft erscheinen lassen. Ermöglichen vermehrte Erdölvorräte in hohem Masse, einen Ausfall der Elektrizität zu überbrücken ($|\partial A / \partial S|$ gross), oder die insgesamt drohenden BIP-Kosten zu senken ($|\partial L_O / \partial S|$ gross), dann ist wie vermutet die "indirekte" Reaktion mit der Öl-Lagerhaltung vorzuziehen.

Andererseits schliessen sich Kapazitätsausweitung und Lageraufbau nicht aus. Ist die Wahrscheinlichkeit einer gleichzeitigen Verknappung beider Energieträger ($p_O p_E$) nur gross genug, so kann das Ergebnis durchaus $dK^* / dL_E > 0$, $dS^* / dL_E > 0$ lauten.

Insgesamt zeigt der Blick auf die Gleichungen (15) und (16), dass eine etwas globalere Politik der Versorgungssicherung eine Reihe von Parametern mitberücksichtigen müsste, von denen bisher in der energiepolitischen Debatte kaum die Rede war, wie z. B. den sich verändernden Effektivitäten einer weiteren Kapazitätssteigerung für inländische Stromproduktion bzw. der Vorratshaltung von Erdöl ($\partial^2 p_E / \partial K^2$, $\partial^2 L_O / \partial S^2$ und $\partial^2 A / \partial S^2$). Andererseits sind zumindest grobe Schätzungen für manche Parameter dank der Untersuchungen von *Menzler/Rebstock* (1984, Kap. II-4, VIII und IX-1) und *Infras/Motor Columbus* (1980, 3-13 und 4-15 bis 4-17) bekannt, so z. B. ungefähre Vorstellungen über die Wahrscheinlichkeiten eines Öl- oder Elektrizitätsmankos (p_O und p_E), die damit verbundenen BIP-Ausfallkosten (L_O und L_E), ja sogar über die zu erwartende Verschärfung der Situation, sollten beide Energieträger simultan knapp werden (Verschärfungsfaktor A). Die Gleichungen (15) und (16) haben aber den Vorteil, dass sie die genaue Verknüpfung all dieser Parameter

beschreiben, wenn auf eine bestimmte Veränderung der Umweltbedingungen (hier einer Erhöhung der mit einem Elektrizitätsmanko verbundenen Ausfallkosten) kostenminimal reagiert werden soll.

Schlussbemerkungen

Autarkiebestrebungen und wirtschaftlich vorteilhafter internationaler Austausch von Gütern und Leistungen stehen in einem Spannungsverhältnis. Dies gilt auch für die Energieversorgung und dort in besonderer Ausprägung für die "19 von 20 Wintern-Regel". Diese vom *Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)* propagierte Vorgabe verlangt, dass die Schweiz in 19 von 20 Wintern ohne Nettoimporte von Elektrizität auskommen soll. Was sich auf den ersten Blick wie eine kriegswirtschaftliche Norm ausnimmt, geht einher mit einer Stromausfuhr, die bis zu 40 % der inländischen Nettoerzeugung ausmacht (*Bundesamt für Energiewirtschaft* 1986, 29). Tatsächlich gewährleistet die Regel in der vom VSE vorgeschlagenen Form keine Versorgungssicherheit in dem Sinn, dass 95 % aller Lastspitzen eines Winterhalbjahres durch inländische Produktion gedeckt wären. Sie eignet sich deshalb nicht dafür, den Ausbau der Erzeugungskapazitäten mit einem Verweis auf die Unabhängigkeit der nationalen Energieversorgung zu begründen.

Aber auch die Empfehlung der *Internationalen Energieagentur (IEA)*, Erdöl zur Deckung des Bedarfs von 90 Tagen zu lagern, greift zu kurz, sobald ausser dem Öl auch andere Energieträger überraschend knapp werden. Der zentrale Schwachpunkt sowohl der IEA-Empfehlung wie auch der "19 von 20 Wintern-Regel" liegt demnach darin, dass jeweils nur ein Energieträger für sich angesprochen wird. Der vorliegende Beitrag zeigt, dass diese eindimensionale Betrachtung nicht mit einer Versorgungspolitik vereinbar ist, die ein gegebenes Sicherheitsniveau mit minimalen Gesamtkosten erreichen will, wobei die Gesamtkosten aus Aufwendungen für die Prävention von Versorgungsmankos und dem Erwartungswert der Verluste infolge solcher Mankos bestehen. Insbesondere stellt sich heraus, dass eine Ausweitung der inländischen Erzeugungskapazitäten für Elektrizität im strengen Gleichschritt mit dem Wirtschaftswachstum, wie sie aufgrund der "19 von 20 Wintern"-Regel nötig erscheint, nicht angezeigt ist. Damit ist die gesamtwirtschaftliche Sinnhaftigkeit einer solchen Regel zur Diskussion gestellt, die zudem aus der Sicht gerade der EG-Handelspartner einen deutlich protektionistischen Einschlag haben dürfte. Einen Protektionismus aber, der nicht eindeutig auf kriegswirtschaftliche Vorsorge zurückgeführt werden kann, werden die EG-Partnerländer nach dem Vollzug ihrer Liberalisierungsmassnahmen immer weniger akzeptieren.

Literatur

- Bundesamt für Energiewirtschaft (1985); Schweizerische Elektrizitätsstatistik.
- Bundesamt für Energiewirtschaft (1986); Schweizerische Elektrizitätsstatistik.
- Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption GEK (1978); Das schweizerische Energiekonzept – Zusammenfassung, Bern, November.
- Gautschi, Alfred/Kappel, Rolf/Streit, Ruedi* (1987): Sicherheitsprobleme der Versorgung mit Rohstoffen – Eine Pilotstudie, WIF/ETH: Verlag Rüegger.
- Goldberger, Arthur S.* (1964): *Econometric Theory*, New York: Wiley & Sons.
- Henze, Arno* (1983): Nutzen – Kosten – theoretische Überlegungen zur Sicherstellung der Versorgung für Krisenzeiten, in: Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Berlin, 129 – 142.
- Infras/Motor Columbus (1980): Reservestellung in der Elektrizitätserzeugung, Schriftenreihe des Bundesamt für Energiewirtschaft, Studie Nr. 14, Bern.
- Meier, Kurt* (1983): Spitzenlasttarifizierung, Ökonomische Effizienz und Erhaltung der Eigenwirtschaftlichkeit – Eine angewandte Studie der Elektrizitätswirtschaftlichen Preisbildung, Bern und Stuttgart: Verlag Paul Haupt.
- Menzler, Gerhard/Rebstock, Franz* (1984): Analyse und Risiken von Energieversorgungsstörungen sowie der Kosten von Massnahmen zur Risikoverminderung, Schweizerischer Nationalfonds NFP 44, Gesuchsnummer 4.479 – 0.81.44.
- Motor Columbus (1978): Energie-Risiko-Analyse – Die ökonomischen Konsequenzen einer Störung in der Erdölversorgung der Schweiz, Schriftenreihe der Eidg. Kommission für die Gesamtenergiekonzeption, Studie Nr. 20, Bern.
- Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke VSE (1979): Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz 1979 – 1990 (Sechster Zehn-Werke-Bericht), Juni.
- Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke VSE (1987): Vorschau auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz bis 2005 (Siebter Zehn-Werke-Bericht), September.
- Zen Ruffinen, Bernard S.* (1984): Energie et sécurité: La situation de la Suisse en cas de crise internationale de l'approvisionnement en pétrole, in: Schweizerisches Jahrbuch für politische Wissenschaft 24, 159 – 174.

Zusammenfassung

Multiple Versorgungsrisiken und optimale Reservekapazitäten in der schweizerischen Energieversorgung

Dieser Beitrag geht von der Tatsache aus, dass die Schweiz mehreren Versorgungsrisiken ausgesetzt ist, beispielsweise einem gleichzeitigen Ausfall der Importe von Erdöl und Elektrizität. Um diesen Risiken zu begegnen, können Öllager aufgebaut und inländische Produktionskapazitäten für Elektrizität bereitgestellt werden. Aus der Zielsetzung einer möglichst kostengünstigen Versorgungspolitik lassen sich Entscheidungsregeln ableiten, die angeben, wie Lagerhaltung und Produktionskapazitäten z. B. im Zuge des Wirtschaftswachstums anzupassen sind. Im Vergleich dazu erweisen sich die herkömmlichen, auf einen einzigen Energieträger bezogenen Regeln ("Öl für 90 Tage", "Keine Netto-Stromimporte in 19 von 20 Wintern") als ungenügend, ja irreführend.

Résumé

Risques multiples d'approvisionnement et capacités de réserve optimales – le cas de l'énergie en Suisse

Le point de repère de cette étude est le constat que la Suisse se trouve exposée à plusieurs risques d'approvisionnement – par exemple, un manque simultané de produits pétroliers et de l'électricité importés. Pour faire face à ces risques, il convient de créer des stocks de carburants et des capacités de production indigènes d'électricité. Or, une politique d'approvisionnement visant à minimiser les coûts donne lieu à des règles qui prescrivent la manière dont les stocks et les capacités de production doivent être adaptés à la croissance économique p. ex. Par contre, les règles conventionnelles, axées sur un seul agent énergétique ("réserves pétrolières pour 90 jours", "19 sur 20 hivers sans importations nettes d'électricité") s'avèrent insuffisantes, voire trompeuses.

Abstract

Multiple risks in energy supply and optimal reserve capacities – the case of Switzerland

This study starts from the observation that Switzerland is exposed to multiple supply risks, e.g. a simultaneous disruption of oil and electricity imports. To cope with these risks, oil can be stocked and indigenous capacity for electricity production built up. Given the policy objective of cost minimization, decision rules can be derived prescribing adjustments of stocks and capacities to economic growth e.g. Against this benchmark, conventional rules, focusing on one energy source only ("Oil reserves for 90 days", "19 out of 20 winters without net electricity imports") turn out to be deficient and even misleading.