

KfK 2978/II

April 1981

Materialien zum Optimierungsmodell für das Energieversorgungssystem von Baden-Württemberg

**B. Fürniß, D. Hoch, V. Schulz, H. Stehfest
Abteilung für Angewandte Systemanalyse**

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Abteilung für Angewandte Systemanalyse

KfK 2978/II

Materialien zum Optimierungsmodell für das
Energieversorgungssystem von Baden-Württemberg

B. Fürniß, D. Hoch, V. Schulz,
H. Stehfest

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Materialien zum Optimierungsmodell für das
Energieversorgungssystem Baden-Württembergs

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden die methodischen, rechentechnischen und numerischen Grundlagen zum KfK-Bericht 2978/I "Optimierung des Energieversorgungssystems von Baden-Württemberg bei mehrfacher Zielsetzung" gegeben. Der erste Teil gibt die Grundlagen zur Berechnung der Zielerreichungsgrade aus den Werten der Entscheidungsvariablen, die das jeweilige Energieversorgungssystem definieren. Im zweiten Teil wird die Schätzung der Nutzenfunktionen, die als Zielfunktionen bei der Optimierung dienen, erläutert. Im dritten Teil schließlich wird das Programmsystem dokumentiert.

Background Materials to the Energy Supply
Optimization Model of Baden-Württemberg

Summary

This report is a supplement to KfK-Report 2978/I "Optimization of the Energy Supply System of Baden-Württemberg with Multiple Objectives" and gives the methodological and numerical details of the optimization model. The first part describes how the attributes, which measure the degree to which the various objectives are achieved, are calculated as functions of the decision variables. The second part is devoted to the assessment of the multi-attribute utility functions, which served as objective functions of the optimization model. The program package used is documented in the last part.

Inhaltsverzeichnis:

- Teil I : Berechnungsgrundlagen zum Zielsystem
(V. Schulz, H. Stehfest)
- Teil II : Bestimmung der Nutzenfunktionen
(D. Hoch, V. Schulz, H. Stehfest)
- Teil III : Numerische Realisierung des Optimierungsmodells
(B. Fürniß, V. Schulz, H. Stehfest)

TEIL I :

BERECHNUNGSGRUNDLAGEN ZUM ZIELSYSTEM
DES OPTIMIERUNGSMODELLS FÜR DAS ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEM
BADEN-WÜRTTEMBERGS

V. SCHULZ
H. STEHFEST

Zusammenfassung

Zweck des Modells ist die Ermittlung der optimalen Kombination von Energieumwandlungsoptionen bei vorgegebener, sektoral gegliederter Endenergienachfrage. Dabei wird einerseits allein nach den Kosten optimiert, andererseits werden auch Problemstellungen betrachtet, die neben den Kosten weitere Zielsetzungen enthalten, wie z.B. Umweltbelastung, Energieeffizienz, Versorgungssicherheit. Gegenstand des vorliegenden Berichts ist der quantitative Zusammenhang zwischen den verschiedenen Zielerreichungsgraden (Attributen) und den Energieumwandlungsprozessen (Entscheidungsvariablen).

Den größten Raum nehmen hierbei die Herleitungen der Immissions-Emissions-Beziehungen für die verschiedenen Schadstoffe und Emittentengruppen ein. Um ein Maß für die Gesamtwirkung der Emissionen zu bekommen, wird dabei zwischen den Wirkungen auf Gemeindeebene sowie regionalen und globalen Wirkungen differenziert. Diese drei Komponenten müssen naturgemäß auf unterschiedliche Art berechnet werden. Bei der Wirkung auf Gemeindeebene, die nur bei niedrigen Emissionshöhen zu betrachten ist, wird wiederum zwischen drei Gemeindegrößenklassen unterschieden.

Relativ umfangreich sind auch die Erläuterungen zur Beschreibung der Angebotsvielfalt durch einen entsprechenden Index. Weitere Attribute, deren Berechnung aus den Entscheidungsvariablen beschrieben wird, sind: Verdunstungsverluste der Gewässer, Landschaftsverbrauch, Unfallträchtigkeit, Gesamtwirkungsgrad, Vorratshaltungskosten, Importabhängigkeit.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Ermittlung der Schadstoffimmissionen für Schwefeldioxid, Feinstaub, Stickoxide und Kohlenmonoxid	3
2.1 Zur Beziehung zwischen Ziel und Indikator bei den Luftschadstoffen	3
2.2 Die Kenngröße zur Beschreibung der Immissionssitua- tion	6
2.3 Immissionen durch Hausbrand und Gewerbe	9
2.3.1 Charakteristische Eigenschaften	9
2.3.2 Ausbreitungsmodell	10
2.3.3 Gemeindegrößenstruktur Baden-Württembergs	22
2.3.4 Emissionsfaktoren und Beispielrechnungen	27
2.4 Immissionen durch Kfz-Verkehr	28
2.4.1 Charakteristische Eigenschaften	28
2.4.2 Emissionen des innerörtlichen PKW-Verkehrs	31
2.4.3 Beziehungen zu den Entscheidungsvariablen des Optimierungsmodells	33
2.4.4 Emissionsfaktoren und Beispielrechnungen	35
2.5 Immissionen der großindustriellen Emittenten	36
2.5.1 Charakteristische Eigenschaften	36
2.5.2 Ausbreitungsmodell	37

	<u>Seite</u>
2.5.3 Emissionsfaktoren und Rechenbeispiel	38
2.5.4 Zurechnung von Immissionen durch Energieumwandlungsanlagen außerhalb Baden-Württembergs	39
2.6 Untergrund-Anteil der Hausbrand- und Kfz-Immissionen ..	40
3. Ermittlung der radiologischen Belastung	42
4. Indikator für die Konsequenzen der CO ₂ -Produktion	48
5. Gewässerbelastung durch Verdunstungsverluste	50
6. Landinanspruchnahme durch Anlagen der Energiewirtschaft	52
7. Erläuterungen zum Indikator "Gesamtwirkungsgrad"	55
8. Index zur Beschreibung der Angebotsvielfalt	57
9. Indikator für die Unfallträchtigkeit des Energiesystems	61
10. Indikatoren für das Ziel "Versorgungssicherheit"	68
11. Literatur	71

1. Einleitung

Energiepolitische Probleme werden i.a. nicht ausschließlich im Hinblick auf Kosten behandelt, sondern es werden dabei auch Kriterien wie Umweltbelastung, Importabhängigkeit usw. mit bedacht. Daher wird im Rahmen des Vorhabens "Optimierungsmodell für das Energieversorgungssystem Baden-Württemberg" neben der Kostenminimierung auch die Optimierung bei mehrfacher Zielsetzung betrachtet /FÜRNISS et al. (1980)/. Insbesondere wird auch bezüglich mehrdimensionaler Nutzenfunktionen optimiert. Die unabhängigen Variablen dieser Nutzenfunktionen sind Indikatoren dafür, inwieweit die verschiedenen, i.a. konträren energiepolitischen Ziele erreicht werden (Zielerfüllungsgrade oder Attribute). Durch die Werte der Nutzenfunktion werden die (subjektiv determinierten) Präferenzen zwischen den Kombinationen von Indikatorwerten festgelegt, im Falle von Unsicherheit bei den Indikatorwerten ist der Erwartungswert der Nutzenfunktion maßgebend. Auf die Verwendung des nutzentheoretischen Ansatzes bei der Optimierung eines Energieversorgungssystems ist ausführlich in /STEHFEST (1976)/ und /FÜRNISS et al. (1980)/ eingegangen worden. Der Ansatz wird in /FIALA und STEHFEST (1979)/ anderen Möglichkeiten zur Lösung mehrdimensionaler Entscheidungsprobleme gegenübergestellt, während in Teil II die Schätzung der Nutzenfunktion im konkreten Fall beschrieben wird.

Die Ziele, anhand derer verschiedene Möglichkeiten für die Energieversorgung Baden-Württembergs beurteilt werden, sind zusammen mit den zugehörigen Indikatoren in Abb. 1.1 aufgelistet. Sie wurden in einem Gespräch mit einem an der Energieplanung des Landes maßgeblich beteiligten Ministerialbeamten identifiziert. Die Erfahrung zeigte allerdings, daß der Zielkatalog bei anderen sachkundigen Personen nicht wesentlich anders aussieht, wohingegen die Form der Nutzenfunktion überlicherweise stark personengebunden ist. In Teil II sind, soweit für die Schätzung der Nutzenfunktion erforderlich, die Ziele definiert und gegeneinander abgegrenzt, sowie die Indikatoren erläutert.

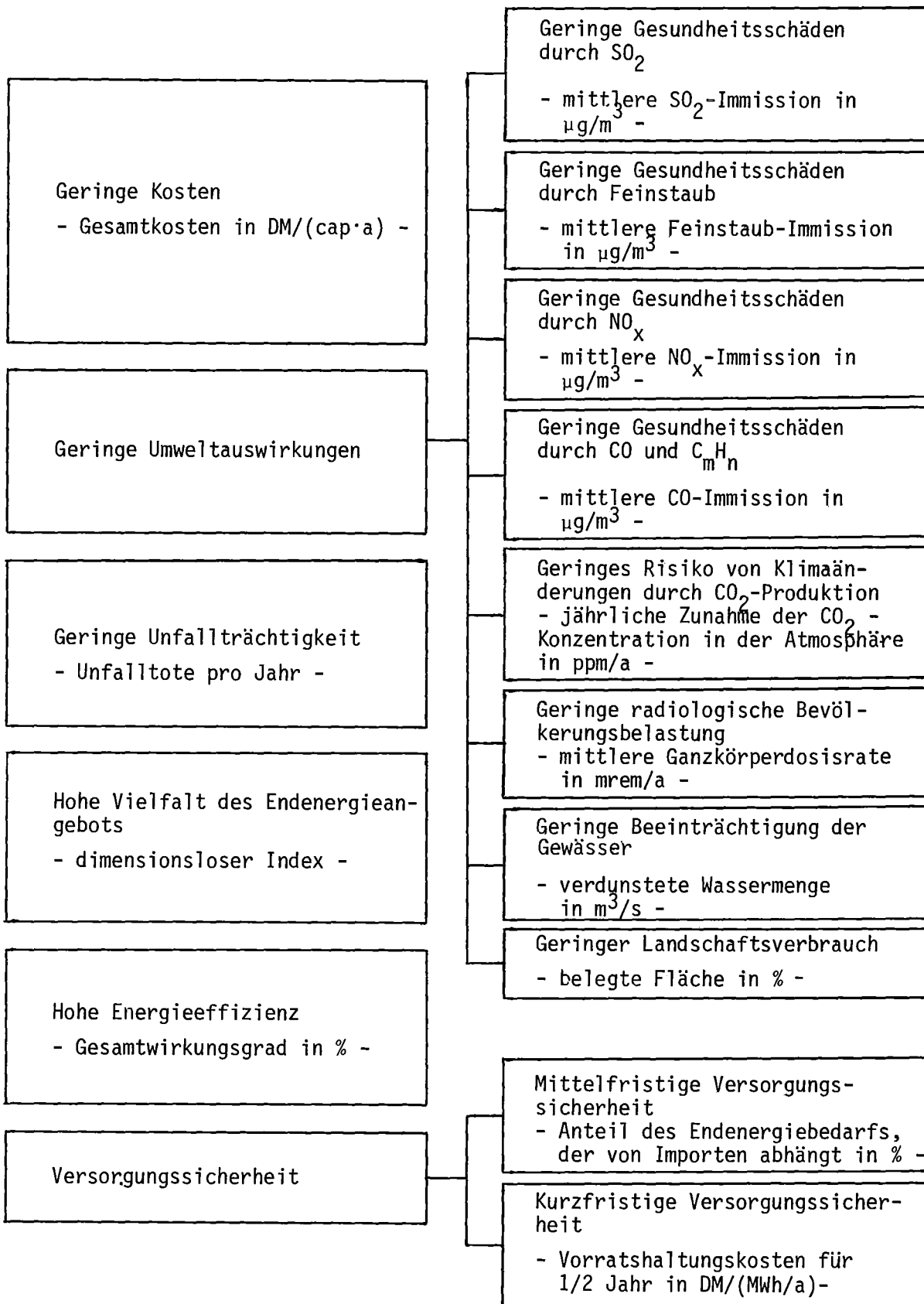


Abb. 1.1: Ziele und Indikatoren für das Energieversorgungsmodell Baden-Württemberg

Zweck dieses Teils ist es, detailliertere Informationen über die Indikatoren zu geben. Im Vordergrund stehen dabei die Verfahren, nach denen die Indikatorwerte aus den Werten der Entscheidungsvariablen berechnet werden. Die Entscheidungsvariablen des Modells sind die jährlichen Energieflüsse und die entsprechenden Installationen für die verschiedenen Energieumwandlungsoptionen. Die Umwandlungsoptionen sind durch das Restriktionssystem des Optimierungsproblems bestimmt, das in /FURNISS et al. (1980)/ ausführlich beschrieben ist. Die Berechnung der Indikatorwerte aus den Werten der Entscheidungsvariablen ist besonders problematisch bei den Indikatoren für Umweltbelastungen durch Luftschadstoffe, weil dabei der Zusammenhang Emission-Immission erfaßt werden muß. Daher nehmen die Erläuterungen zu diesen Indikatoren einen wesentlich breiteren Raum ein als die übrigen Abschnitte. Das Berechnungsverfahren für den Indikator "Kosten", der eine Sonderstellung einnimmt, ist in /FURNISS et al. (1980)/ hinreichend genau beschrieben, die Werte der dabei verwendeten Koeffizienten finden sich in Teil III.

2. Ermittlung der Schadstoffimmissionen für Schwefeldioxid, Feinstaub, Stickoxide und Kohlenmonoxid

2.1 Zur Beziehung zwischen Ziel und Indikator bei den Luftschadstoffen

Der Zusammenhang zwischen der Energiebedarfsdeckung und gesundheitlichen Schäden durch Schadstoffimmissionen besteht schematisch aus folgender Ursache-Wirkungs-Kette:

- Energieumwandlung;
- Schadstoffemission;
- Schadstoffimmission;
- Gesundheitsschäden.

Die Beziehung zwischen Energieumwandlung und Schadstoffemission hat praktisch deterministischen Charakter, die Beziehungen zwischen Emission und Immission sowie zwischen Immission und Gesundheitsschäden sind demgegenüber von probabilistischer Natur.

Zwischen den beiden letzten Beziehungen bestehen gravierende Unterschiede, weil die probabilistischen Beziehungen zwischen Emission und Immission weitgehend bekannt sind, während beim Übergang von Immissionen zu Gesundheitsschäden noch große Unsicherheiten bestehen. Insbesondere über die Langzeitwirkung von relativ geringen Immissionskonzentrationen ist der derzeitige Kenntnisstand nur unbefriedigend. Selbst bei statistisch abgesicherten Effekten ist oft unklar, ob zwischen einem bestimmten Schadstoff und den festgestellten Gesundheitsschäden eine echte Ursache-Wirkungs-Beziehung besteht, oder ob diese Wirkung anderen, gleichzeitig auftretenden Schadstoffen zuzuschreiben ist. Solange eine Ursache-Wirkungs-Beziehung nicht erwiesen ist, hat der entsprechende Schadstoff den Charakter eines Indikators für gewisse Arten von Gesundheitsschäden. Vom Standpunkt des Immissionsschutzes ist das Arbeiten mit Indikatoren (Festlegung von Emissions- und Immissionsgrenzwerten) von großer Bedeutung, da die meßtechnische Überwachung des Risikos von Gesundheitsschäden mittels Immissionsmessungen von geeigneten Indikator-Schadstoffen erheblich vereinfacht bzw. erst ermöglicht wird.

Seitens des Immissionsschutzes sind für viele Schadstoffe Immissionsstandards aufgestellt worden, die prinzipiell die Grenzen der Unbedenklichkeit von Schadstoffkonzentrationen darstellen sollen, z.B. die Grenzwerte der TA-Luft /BMI (1974)/, WHO-Standards /WHO (1972)/. Dennoch sind diese Werte nicht als "harte" Zahlen zu verstehen. Sie dokumentieren in erster Linie den derzeitigen Erkenntnisstand über den Ursache-Wirkungs-Zusammenhang. Sofern Standards für Genehmigungsverfahren von Bedeutung sind (TA-Luft), haben zudem technische und wirtschaftliche Möglichkeiten der Emissionsbegrenzung Einfluß auf die Festlegung der zulässigen Werte.

Je größer die objektiven Unsicherheiten bezüglich der Ursache-Wirkungs-Relation sind, desto größer ist auch der Spielraum für subjektive Einschätzungen des anstehenden Sachverhalts. Daher wird beim Optimierungsmodell für das Energieversorgungssystem Baden-Württembergs davon abgesehen, die Auswirkungen des Energiebedarfs auf die Gesundheit der Bevölkerung direkt darzustellen. Vielmehr wird es dem Entscheidungsträger überlassen, seine Einschätzung der Beziehung "Immission-Gesundheitsschäden" bei der Bewertung des Indikators "Immission" mit zu berücksichtigen. Es ist aber festzuhalten, daß diese Einschätzungen pseudo-subjektiver Natur sind, weil die gesamte Ursache-Wirkungs-Kette im Prinzip objektiviert werden kann. Die Bestimmung des Optimalitätskriteriums (Zielfunktion) für das Energiemodell beinhaltet jedoch auch rein subjektive Momente, z.B. die Abwägung zwischen unterschiedlichen Gesundheitsschäden (Krebserzeugung gegenüber Erkrankungen der Atmungsorgane). Es erscheint plausibel, zu unterstellen, daß die Nutzenfunktionen durch die rein subjektiven Komponenten in weitaus größerem Maße geprägt werden als durch die Unsicherheiten hinsichtlich der Immission-Wirkungs-Relationen. Daher sollte das Problem des Informationsdefizits bezüglich der Ursache-Wirkungs-Kette für die Aussagefähigkeit des Energiemodells nicht überbetont werden.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß vergleichbare Modelle oft nur die Schadstoffemissionen als Indikator für die Gesundheitsschäden enthalten. Abgesehen davon, daß die Relationen zwischen Emission und Gesundheitsschäden direkt schwer einzuschätzen sind, sind hier die Emissionen als Indikator prinzipiell ungeeignet, weil für einige Modellalternativen die Emission-Immissions-Beziehungen beim selben Schadstoff sehr unterschiedlich ausfallen.

2.2 Die Kenngröße zur Beschreibung der Immissionsituation

Schadstoffemissionen unterliegen tages- und jahreszeitlichen Schwankungen, entsprechend den Lebens- und Arbeitsgewohnheiten und den klimatischen Bedingungen. Die gesundheitsschädigende Wirkung der resultierenden Immissionen hängt von der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Immissionskonzentration ab. Dadurch stellt sich die Frage nach der geeigneten Kenngröße zur Charakterisierung der Verteilungsfunktion. Folgende zwei Anforderungen sind durch das Energiemodell gegeben:

- Anknüpfung an das Energiemodell möglichst ohne Einführung zusätzlicher Entscheidungsvariablen
- Enger Bezug zum Ziel "geringe Gesundheitsschäden".

Die räumliche Verteilung hat im wesentlichen Einfluß auf die Anzahl der Betroffenen. Die Zeitabhängigkeit ist maßgeblich für die Höhe der gesundheitsschädigenden Wirkung, sowohl entsprechend dem Verlauf der Immission-Schadens-Beziehung als auch hinsichtlich synergistischer Effekte. Zum Beispiel ist der Photosmog sowohl an bestimmte Schadstoffkonzentrationen als auch an die Sonneneinstrahlung gebunden.

Üblicherweise wird eine Einteilung in Langzeit- und Kurzzeitwirkung vorgenommen. Die entsprechende statistische Kenngröße für den Langzeitwert beinhaltet eine Aussage über mittlere Konzentrationen, i.a. ist dies der arithmetische Mittelwert (IW_1 -Wert der TA-Luft, /BMI (1974)/), üblich ist aber auch der 50 %- bzw. 60 %-Wert der Summenhäufigkeit (VDI-Richtlinie 2450, Entwurf der Neufassung 1977 /VDI (1977)/). Die Wirkungen von hohen Konzentrationen, die nur kurzfristig innerhalb eines Jahres auftreten, werden durch %-Werte der Summenhäufigkeit (Perzentile) charakterisiert, die über 90 liegen (IW_2 -Wert der TA-Luft: 95-Perzentil, Kenngrößen der Raffinerierichtlinie Nordrhein-Westfalen: 94-99-Perzentil /MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1975)/).

Zwischen den Kenngrößen für Langzeit- und Kurzzeitwirkung lassen sich emittentenspezifische Beziehungen herstellen, üblicherweise durch die Annahme einer log-Normalverteilung der Immissionskonzentration über der Zeit. Im Rahmen des Energiemodells erscheint jedoch die Beschränkung auf eine Kenngröße ausreichend. Hierbei sind die Kenngrößen für den Langzeitwert, insbesondere der arithmetische Mittelwert, unempfindlich gegenüber Annahmen über den Emissionsrhythmus und die zeitliche Abhängigkeit der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen, so daß im folgenden diese Kenngröße zur Charakterisierung der Verteilungsfunktion bei fixierten Ortskoordinaten herangezogen wird.

Zur Behandlung der räumlichen Verteilung der Immissionskonzentration im Energiemodell ist aufgrund der Zielvorstellung der mittlere Wert zu bilden, dem eine Person der Bezugsregion (hier das Land Baden-Württemberg) ausgesetzt ist. Dieser bevölkerungsbezogene Mittelwert ergibt sich prinzipiell durch die Überlagerung der räumlichen Verteilung der Bevölkerung mit derjenigen der (zeitlich gemittelten) Immissionskonzentration. Im Rahmen des Energiemodells wird aber nur eine grobe geographische Differenzierung von Energieumwandlung und -verbrauch vorgenommen (vgl. /FURNISS et al. (1980)/. Angesichts dieser einfachen räumlichen Struktur des Modells werden die Emissionen in die folgenden zwei Kategorien eingeteilt /STEHFEST (1976)/:

- Emissionen, die unmittelbaren räumlichen Bezug zur Bevölkerungsverteilung haben. Hierunter fallen die Emittentengruppen Hausbrand, Kfz-Verkehr innerhalb geschlossener Ortschaften sowie gewerblicher Endenergieverbrauch.
- Emissionen, die in keinem direkten räumlichen Bezug zur Bevölkerungsverteilung stehen, sei es, daß der Standort nicht siedlungsgebunden ist, sei es daß die Emissionshöhe so groß ist, daß die Hauptwirkung der Immissionen nicht einer bestimmten Gemeinde zugerechnet werden kann. Hierzu zählt die Emittentengruppe der großindustriellen Energieumwandlungsanlagen: Kraftwerke, Heizkraftwerke, Heizwerke und Raffinerien. Auch die industriellen Energieverbraucher fallen in diese Kategorie.

Für die erste Kategorie lassen sich relativ genaue Beziehungen zwischen Emission und mittlerer Immission (bezüglich der Bevölkerung) ableiten. Für die zweite Kategorie sind nur globale Aussagen möglich. Aufgrund des unterschiedlichen Ausbreitungsverhaltens von großindustriellen Emissionen im Vergleich zu bevölkerungsbezogenen Kleinemittenten ist die Nichtberücksichtigung konkreter Standorte bei den Großemittenten aber nicht sehr gravierend (vgl. Abschnitt 2.5).

Der bevölkerungsbezogene Immissionsmittelwert \bar{I}_{BW} lautet formelmäßig:

$$(2.1) \quad \bar{I}_{BW} = \frac{1}{N_{BW}} \int_{F_{BW}} p(x,y) \cdot \bar{I}_T(x,y) dF$$

N_{BW} : Einwohnerzahl Baden-Württembergs

$p(x,y)$: räumliche Verteilung der Bevölkerungsdichte

$\bar{I}_T(x,y)$: räumliche Verteilung des Jahresmittelwerts der Immissionskonzentration

F_{BW} : Fläche Baden-Württembergs

Aus Formel (2.1) ist ersichtlich, daß die totale Schadenswirkung W sich i.a. nur dann anhand von \bar{I}_{BW} aus der Dosis-Wirkungs-Beziehung $w(\bar{I}_T)$ direkt ablesen läßt, wenn $w(\bar{I}_T)$ eine lineare Funktion ist. Nur dann gilt nämlich

$$W \equiv \int_{F_{BW}} p(x,y)w(\bar{I}_T(x,y))dF = N_{BW} \cdot w(\bar{I}_{BW})$$

2.3 Immissionen durch Hausbrand und Gewerbe

2.3.1 Charakteristische Eigenschaften

Hausbrandemissionen haben den Charakter von Flächenquellen mit niedriger Quellhöhe (ca. 15 m). Die Emissionen gewerblicher Endergieverwender werden hier den Hausbrandemissionen zugerechnet, obwohl die Quellhöhen z.T. erheblich höher liegen. Die hieraus resultierenden Ungenauigkeiten werden als vernachlässigbar angesehen. Die Immissionskonzentration innerhalb einer Gemeinde setzt sich zusammen aus den

- Immissionen durch Hausbrand innerhalb dieser Gemeinde und den
- Immissionen durch Hausbrand in den übrigen Gemeinden der Bezugsregion.

Da eine entsprechende geographische Differenzierung im Modell nicht vorgesehen ist, muß der letztgenannte Beitrag so errechnet werden, wie die Immissionen von großindustriellen Emittenten. Seine Ermittlung erfolgt daher erst im Anschluß an die Darstellung des entsprechenden Berechnungsverfahrens.

Die Berechnung der Immissionen I durch den Hausbrand in der eigenen Gemeinde erfolgt in der Art, daß eine funktionale Abhängigkeit von der Emissionsdichte q , der Windgeschwindigkeit u sowie der Ausdehnung des Siedlungsgebietes ermittelt wird. Nach üblichen Ausbreitungsmodellen ist die Beziehung zwischen Immission, Emissionsdichte und Windgeschwindigkeit durch

$$I \sim \frac{q}{u}$$

gegeben. Die Bestimmung der Abhängigkeit von der Ausdehnung des Sied-

lungsgebietes ist jedoch vergleichsweise aufwendig, da hierbei die weiteren meteorologischen Ausbreitungsbedingungen (Ausbreitungsklassen) erheblichen Einfluß haben. So ist es aufgrund der gegenseitigen Abhängigkeiten von q , u und den Ausbreitungsklassen recht kompliziert, die repräsentative Ausbreitungsklasse zu bestimmen. Demjenigen, der an derartigen Details weniger interessiert ist, ist ein Überspringen des folgenden Abschnittes zu empfehlen.

2.3.2 Ausbreitungsmodell

Zur Ableitung des funktionalen Zusammenhangs wird vom Ausbreitungsmodell der Raffinerierichtlinie des Landes Nordrhein-Westfalen /MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1975)/ ausgegangen. Dieses Modell ist von den Ausbreitungsmodellen, die in der Bundesrepublik Deutschland für Genehmigungsverfahren von Bedeutung sind, dasjenige jüngsten Datums. Obwohl es dem Namen nach insbesondere für Großemittenten gilt, werden auch für hausbrandähnliche Emissionen spezielle Aussagen getroffen. Ein ähnliches Problem wird von Dennis /DENNIS (1978)/ mit einem unterschiedlichen Modellansatz behandelt. Es wird dabei eine einfache empirische Formel mithilfe eines aufwendigen Ausbreitungsmodells geeicht. Da diese Eichung jedoch nur an sehr großen Siedlungsgebieten vorgenommen wird, scheint für die vielen, relativ kleinen Gemeinden Baden-Württembergs das Modell aus der Raffinerierichtlinie adäquater, dies um so mehr, als es sich leicht analytisch ableiten läßt.

Die Ausbreitungsrechnung der Raffinerierichtlinie basiert auf dem Diffusionsmodell von Pasquill (zweidimensionale Gaußverteilung):

$$(2.2) \quad I(x,y,z) = \frac{Q}{u \cdot 2\pi\sigma_y(x)\sigma_z(x)} \cdot e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \cdot \left[e^{-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}} \right]$$

mit

I: Immissionskonzentration in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

$\left. \begin{array}{l} x \\ y \\ z \end{array} \right\}$: Aufpunktkoordinaten relativ zur Quelle in m,
 x-Koordinate in Windrichtung, z-Koordinate vertikal

Q: Emission (Quellstärke) in $\mu\text{g}/\text{s}$

u: mittlere Windgeschwindigkeit im Bereich $[z, H]$ in m/s

H: effektive Quellhöhe (Kaminhöhe zuzüglich Überhöhung) in m

$\left. \begin{array}{l} \sigma_y \\ \sigma_z \end{array} \right\}$: Diffusionskoeffizienten in m

Diese Formel beinhaltet keine Inversionsobergrenze, keine Sinkgeschwindigkeit von Schadstoffpartikeln und keine chemischen Reaktionen. Am Erdboden wird Totalreflexion angenommen.

Die Diffusionskoeffizienten sind Funktionen der x-Koordinate:

$$(2.3a) \sigma_y = (F \cdot x + F_0)^f$$

$$(2.3b) \sigma_z = (G \cdot x + G_0)^g$$

Die Parameter F , F_0 , f , G , G_0 , g hängen von der Ausbreitungsklasse, der Quellhöhe sowie der x-Koordinate ab.

Die Einteilung der meteorologischen Ausbreitungsbedingungen in Ausbreitungsklassen erfolgt nach Turner /s. MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1975)/.

Die Einordnung hängt von folgenden Einflußgrößen ab:

- Tageszeit
- Bedeckungsgrad
- Wolkenhöhe
- Sonnenhöhe
- Windgeschwindigkeit

Die Wetterstatistik unterteilt in 8 Ausbreitungsklassen (AK) nach Turner, in dem hier angewandten Ausbreitungsmodell werden jedoch nur die Klassen 2 (labil) bis 5 (stabil) verwendet. Die Parameterwerte, die bei diesen Ausbreitungsklassen für Quellhöhen ≤ 20 m zu nehmen sind, gibt Tabelle 2.1 wieder.

Tabelle 2.1: Parameter für Diffusionskoeffizienten für Quellhöhen ≤ 20 m.

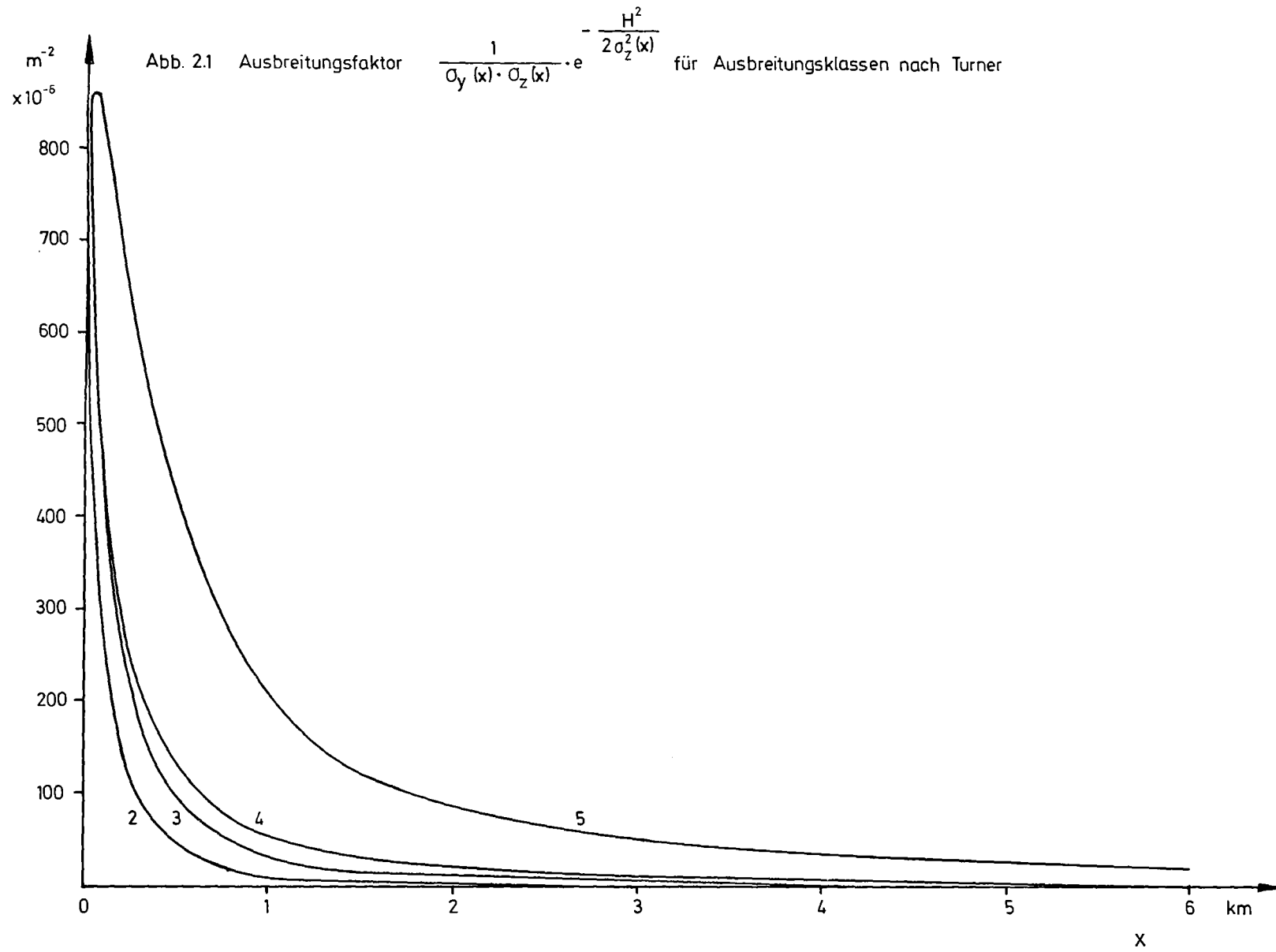
(Bei zwei Werten gilt der erste für Entfernungen $x \leq 600$ m, der zweite für $x > 600$ m).

	AK 2	AK 3	AK 4	AK 5
F	0.94/1.22	0.82/1.15	1.19/1.78	0.25/0.54
F_0	168/0	198/0	354/0	194/0
f	0.76	0.74	0.67	0.72
G	0.08/0.10	0.09/0.11	0.60/0.67	0.69/0.77
G_0	12/0	12/0	42/0	48/0
g	1.28	1.11	0.74	0.59

Als Quellhöhe für den Hausbrand wird $H = 15$ m angenommen. Auf eine differenzierte Berechnung der Quellhöhe und der mittleren Transportgeschwindigkeit, wie sie nach der Raffinerierichtlinie vorzunehmen wäre, wird verzichtet. Für die Immissionshöhe $z = 0$ lautet die Entfernungsabhängigkeit der Immission-Emissions-Beziehung (des sogenannten Ausbreitungsfaktors) in Windrichtung:

$$(2.4) I/Q \sim \frac{1}{\sigma_y(x)} \frac{1}{\sigma_z(x)} \cdot e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}}$$

Mit den Werten aus Tabelle 2.1 ergeben sich für die vier Ausbreitungsklassen die in Abbildung 2.1 dargestellten Kurven.



Zur Charakterisierung der Immissionskonzentration innerhalb einer Gemeinde wird die zu erwartende Immissionskonzentration im Mittelpunkt errechnet.

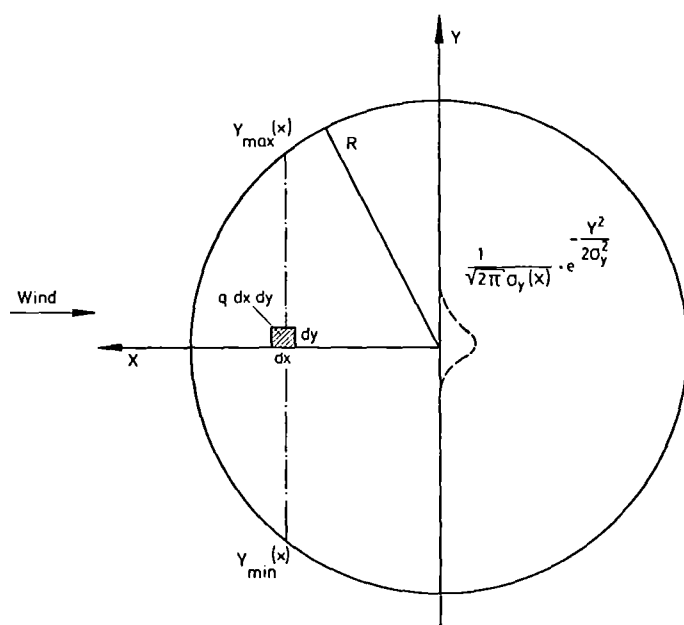
Die Annahmen, die bei dieser Berechnung gemacht werden, sind:

- kreisförmige Ausdehnung der Gemeindefläche
- isotrope Verteilung der meteorologischen Einflußgrößen
- Gleichverteilung der Quellstärke pro Flächeneinheit (diese Annahme ist nicht ganz identisch mit einer konstanten Einwohnerdichte, da bei geringer Einwohnerdichte mit Ein- bzw. Zweifamilienhausbebauung eine höhere Emission pro Einwohner zu erwarten ist)
- Beschränkung auf eine repräsentative Ausbreitungsklasse und Transportgeschwindigkeit.

Die Kennzeichnung durch die Konzentration im Mittelpunkt hat den Vorteil der Vergleichbarkeit mit Ergebnissen von Immissionsmessungen, die üblicherweise im Stadtzentrum durchgeführt werden.

Die Konzentration im Mittelpunkt ergibt sich durch folgende Überlegungen (s. Abbildung 2.2):

Abbildung 2.2: Berechnung der Immission im Mittelpunkt einer kreisförmigen Flächenquelle



Pro Flächenelement $dx \cdot dy$ ergibt sich die Emission zu $q \cdot dx \cdot dy$ mit

$$q = \frac{Q}{\pi R^2}$$

Die Konzentration im Mittelpunkt ($x = 0, y = 0$) für die Bezugshöhe $z = 0$ lautet:

$$(2.5) \quad I_M = \frac{q}{u} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^R \left[\int_{y_{\min}(x)}^{y_{\max}(x)} \frac{1}{\sigma_y(x)} \cdot e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} dy \right] \frac{2 \cdot e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}}}{\sigma_z(x)} dx$$

Weil $\sigma_y(x)$ klein gegenüber dem Bereich $[y_{\min}, y_{\max}]$ ist, stellt die Ausdehnung des Integrals über y auf das Intervall $(-\infty, +\infty)$ keine merkliche Ungenauigkeit dar. Somit geht die obige Formel über in

$$(2.6) \quad I_M = \frac{q}{u} \cdot \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^R \frac{1}{\sigma_z(x)} \cdot e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}} dx$$

$$\equiv \frac{q}{u} \cdot \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot AF(R, AK)$$

Der Verlauf des Integrals $AF(R, AK)$ ist für die verschiedenen Ausbreitungsklassen in Abbildung 2.3 dargestellt. Die durchbrochenen Linien stellen Näherungslösungen dar, die durch folgende Vereinfachungen erzielt worden sind:

- Nichtberücksichtigung des Faktors $\exp(-H^2/(2\sigma_z^2))$. Dieser Faktor bewirkt eine Unterdrückung der Immissionskonzentration in unmittelbarer Nähe der Quelle aufgrund des Unterschieds zwischen Quellhöhe und Bezugshöhe für die Immissionskonzentration. Da diese Differenz bei Hausbrandemissionen im Vergleich zu großindustriellen Emittenten gering ist, ist es plausibel, daß die Nichtberücksichtigung des Faktors nur geringfügigen Einfluß hat.

- Darstellung von $\sigma_z(x)$ (ohne Unterteilung des Gültigkeitsbereichs)
durch

$$(2.7) \quad \sigma_z(x) = (G_{x>600} \cdot x + G_{x \leq 600})^g$$

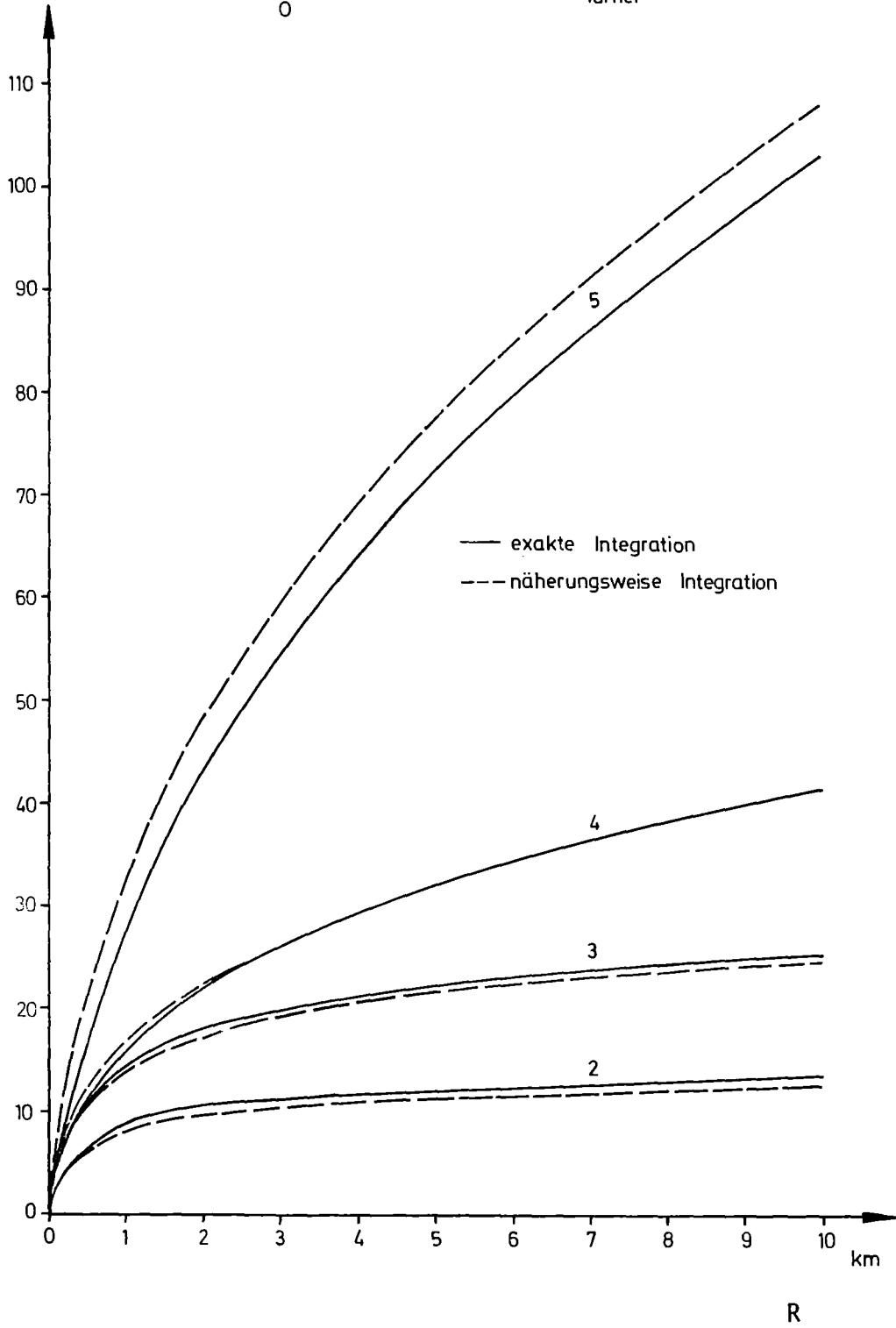
mit

$G_{x>600}$: Parameter G nach Tabelle 2.1 für $x > 600\text{m}$

$G_{x \leq 600}$: Parameter G_0 nach Tabelle 2.1 für $x \leq 600\text{m}$

Diese Darstellung stimmt für $x=0$ und $x \gg 600\text{m}$ mit der exakten Formel (2.3b) überein. Bei kleinem x ist $\sigma_z(x)$ nach der Näherungsformel zwar geringer, für den Wert des Integrals $AF(R, AK)$ wirkt sich hier aber die Nichtberücksichtigung des Faktors $\exp(-H^2/(2\sigma_z^2))$ kompensierend aus.

Abb. 2.3 Ausbreitungsfaktor $\int_0^R \frac{1}{\sigma_z^2(x)} e^{-\frac{H^2}{2\sigma_z^2(x)}} dx$ für Ausbreitungsklassen nach Turner



Die Abweichungen in Abbildung 2.3 bei den Ausbreitungsklassen 2 und 3 ergeben sich vor allem dadurch, daß G_0 auch für Werte $x > 600$ m im Verhältnis zu $G \cdot x$ einen nicht-vernachlässigbaren Beitrag liefert. Bei der Ausbreitungsklasse 5 wirkt sich die Nichtberücksichtigung des Dämpfungsfaktors $\exp(-H^2/2\sigma_z^2)$ aus. Bei der Ausbreitungsklasse 4 erfolgt praktisch eine Kompensation dieser Effekte.

Die zeitlich gemittelte Immissionskonzentration ergibt sich durch

$$(2.8) \quad \bar{I}_M = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \sum_n \frac{q}{u} \cdot AF(R, AK_n) \cdot h(AK_n, u, q) \, du \, dq$$

$h(AK_n, u, q)$: relative Häufigkeit für das Auftreten der Ausbreitungsklasse n , der Wingschwindigkeit u und der Emissionsdichte q .

Maßgeblich für die Immissionskonzentration von Hausbrandemissionen sind die Häufigkeiten im Winterhalbjahr, da während dieser Zeit der Großteil der gesamten Jahresmenge ausgestoßen wird. Die exakte Ermittlung der Häufigkeitsverteilung h ist sehr aufwendig, da die Einflußgrößen q , u , AK miteinander gekoppelt sind. Näherungsweise kann nach dem Emissionskataster Köln /MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1972)/ der Quotient q/u als konstant angenommen werden. (Die Emissionen sind tagsüber etwa doppelt so hoch wie nachts, jedoch gilt das gleiche im Mittel auch für die Windgeschwindigkeit.) Mit dieser Näherung gilt:

$$(2.9) \quad \bar{I}_M = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\bar{q}}{\bar{u}} \cdot \sum_n AF(R, AK_n) \cdot h(AK_n)$$

mit

\bar{q} : Jahresmittelwert der Quellstärke pro Flächeneinheit

\bar{u} : mittlere Windgeschwindigkeit im Winterhalbjahr.

$h(AK_n)$: Häufigkeit der Ausbreitungsklassen im Winterhalbjahr

Für Karlsruhe liegen im Winterhalbjahr labile Ausbreitungsbedingungen zu 15 %, neutrale zu 48 % und stabile zu 37 % vor /s. FAUDE et al. (1974)/. Die Zuordnung der AK nach Turner zu diesen Ausbreitungsverhältnissen ergibt (ungefähr) für AK 2 labiles, für AK 3 labil-neutrales, für AK 4 neutral-stabiles und für AK 5 sehr stabiles Verhalten. Angesichts dieser Häufigkeiten und der Größenverhältnisse der $AF(R, AK)$ nach Abbildung 2.4 lassen sich die Parameter für die Ausbreitungsklasse 4 als repräsentativ für die Immissionsbestimmung ansehen.

Somit läßt sich die mittlere Immissionskonzentration im Mittelpunkt in folgender Form darstellen:

$$(2.10) \quad \bar{I}_M = \frac{\bar{q}}{\bar{u}} \cdot 4.58 \left[(0.67 \cdot R + 42)^{0.26} - 2.64 \right]$$

(R in m)

Die mittlere Windgeschwindigkeit im Bereich 0-15 m Höhe wird zu 2m/s angenommen.

Der Vergleich mit Immissionskonzentrationen in Städten mit relativ gesicherter Emissionsstatistik (Karlsruhe, Köln) zeigt, daß diese Formel zu deutlich geringeren Werten führt. Eine Kalibrierung anhand der Karlsruher Verhältnisse ergibt einen Faktor von 2.8, so daß die endgültige Formel lautet:

$$(2.11) \quad \bar{I}_M = \frac{\bar{q}}{\bar{u}} \cdot 12.82 \left[(0.67 \cdot R + 42)^{0.26} - 2.64 \right]$$

(R in m)

Dieser Verlauf ist in Abbildung 2.4 dargestellt. Zusätzlich sind die Immissionskonzentrationen von drei weiteren Ortschaften eingetragen. Es ist allerdings anzumerken, daß die Werte \bar{I}_M bzw. \bar{q} für Köln /s. MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1972)/ und Völklingen /LAHMANN et al. (1972)/ nicht direkt ermittelt werden konnten, sondern zusätzliche plausible Annahmen enthalten. Die Werte für Eggenstein sind ebenso wie die für Karlsruhe dem Bericht /FAUDE et al. (1974)/ entnommen.

Für die Diskrepanz zwischen der theoretisch abgeleiteten Immissionskonzentration (Formel 2.10) und den tatsächlichen Werten gibt es mehrere mögliche Erklärungen. Hier soll auf die drei als wesentlich anzusehenden näher eingegangen werden. Die verwendeten Ausbreitungsparameter in Tabelle 2.1 (p. 12) gelten für die Ausbreitung über unbebauten Flächen. Durch den Einfluß der Bebauung ergibt sich jedoch tendenziell eine höhere Immissionskonzentration. Eine zu geringe Immissionskonzentration könnte sich auch dadurch ergeben haben, daß bei der Auswahl der repräsentativen Ausbreitungsstufe 4 die Ausbreitungsstufe 5 mit ihrem großen Ausbreitungsfaktor zu wenig Gewicht erhält. Eine Klärung dieses Problems wäre nur möglich aufgrund einer detaillierten Wetterstatistik auf der Basis der Turnerschen Klassifizierung, die jedoch für Baden-Württemberg bisher nicht zusammengestellt wurde. Eine weitere Fehlerquelle besteht schließlich in der Annahme einer Gleichverteilung der Emissionsdichte. Wäre ein bei Null beginnender linearer Anstieg der Emissionsdichte vom Rand zum Zentrum hin angenommen worden (bei gleicher Gesamtemission), so hätte sich nach dem hier dargestellten Berechnungsverfahren etwa eine Verdoppelung der Immissionskonzentration im Zentrum ergeben (in Übereinstimmung mit den Berechnungen von /DENNIS (1978)/).

Da die Annahme einer zur Innenstadt hin zunehmenden Emissionsdichte realistischer ist als eine Gleichverteilung und auch bei angenommener Gleichverteilung die Immissionskonzentration im Zentrum über dem Flächenmittel

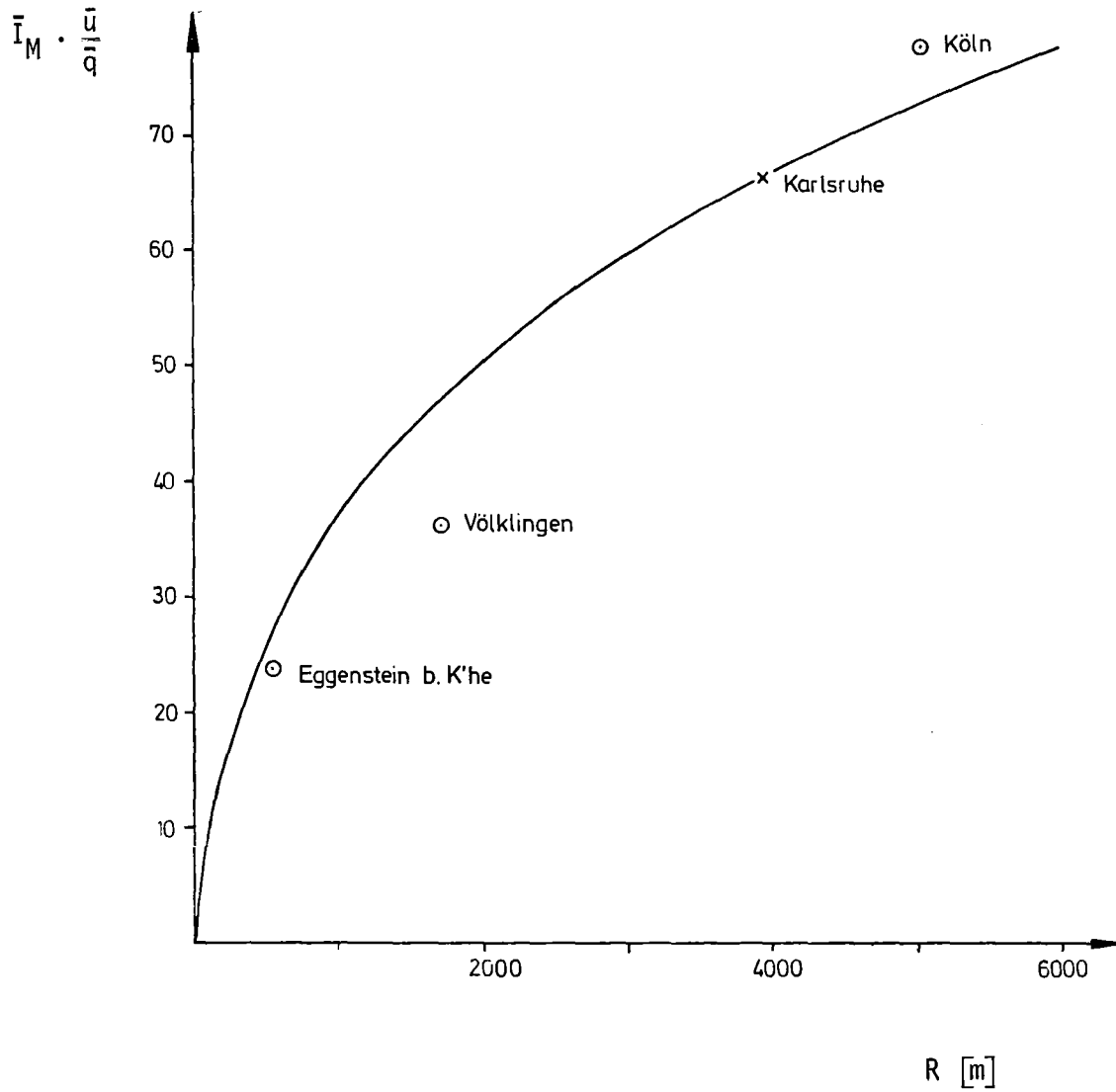


Abbildung 2.4: Vergleich des Ausbreitungsmodells (2.11) mit Immissionswerten verschiedener Städte

liegt /DENNIS (1978)/, erhebt sich hier die Frage, wie repräsentativ die Immissionskonzentration in der Stadtmitte für die Bevölkerungsbelastung in der gesamten Stadt ist. Für die Beibehaltung dieses Immissionswertes als Kenngröße lassen sich, neben den schon genannten, folgende Gründe anführen: Das Maximum der Immissionskonzentration in der Stadtmitte ist i.a. ziemlich flach (s. z.B. /FAUDE et al. (1974)/). Außerdem ist die Bevölkerungsdichte im Zentrum höher als am Rand, wobei auch zu berücksichtigen ist, daß Personen mit Wohnsitz am Stadtrand einen großen Teil ihrer Zeit im Zentrum verbringen. Auf jeden Fall ist aber bei der Schätzung der Nutzenfunktion (s. Abschn. 1) dem Befragten klarzumachen, daß die zu bewertenden Immissionskonzentrationen Obergrenzen für die tatsächlich auftretenden Konzentrationen darstellen.

2.3.3 Gemeindegrößenstruktur Baden-Württembergs

Gemäß Abschn. 2.3.3 ist für jede Gemeinde die Immissionskonzentration im Mittelpunkt zu bestimmen. Die mit der Einwohnerzahl zu gewichtende Mittelwertbildung ergibt die mittlere Belastung der Bevölkerung. Charakteristische Größen einer Gemeinde sind die Einwohnerzahl und die Fläche. Zur Umgehung der Einzelbestimmung dieser Größen wird folgendes Verfahren angewandt:

- Die Abhängigkeit der Ausdehnung einer Gemeinde von der Einwohnerzahl wird durch empirische Ansätze ermittelt.
- Die Gemeinden werden gemäß der Einwohnerzahl in Gemeindegrößenklassen unterteilt.

Zwischen der Einwohnerzahl N und der flächenhaften Ausdehnung wurde von Tobler /TOBLER (1975)/ folgende empirische Beziehung ermittelt:

$$(2.12) \quad R_T = \alpha \cdot N^{\beta} \quad (R_T: \text{Radius der Gemeinde nach Tobler})$$

mit den Werten

$$\alpha = 0.035$$

$$\beta = 0.44$$

Im Vergleich zur tatsächlichen Ausdehnung von verschiedenen Städten Baden-Württembergs ergibt sich mit diesen Koeffizienten keine befriedigende Übereinstimmung. Daher werden die Koeffizienten den hier vorliegenden Verhältnissen angepaßt. Die Zusammenstellung der Tabelle 2.2 zeigt für eine Auswahl von Gemeinden Baden-Württembergs

- die Radien R_V gemäß der Fläche des jeweiligen Verwaltungsgebiets (nur für kreisfreie Städte) /STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1972)/
- die Radien R_B gemäß der Fläche der Gebiete, die verkehrstechnisch als geschlossene Ortschaften ausgewiesen sind und sich dementsprechend durch verdichtete Bebauung auszeichnen (Werte aus Kartenmaterial)
- die Radien R_T nach der Formel von Tobler
- das Verhältnis R_B/R_T

Aus nachfolgender Tabelle ist zu entnehmen, daß keine signifikante Abhängigkeit zwischen dem Verhältnis R_B/R_T und der Einwohnerzahl besteht. Daher wird im folgenden mit der Formel (s. Gl. (2.12))

$$(2.13) \quad R = 0.016 \cdot N^{0.44}$$

gerechnet.

Tabelle 2.2: Gemeinderadien nach verschiedenen Verfahren

Gemeinde	Einwohnerzahl N in Tausend (1971)	R_V (km)	R_B (km)	R_T (km)	R_B/R_T
Stuttgart	633	8.1	5.5	12.5	0.44
Karlsruhe	262	6.5	4.0	8.5	0.47
Heidelberg	122	5.5	2.5	6.1	0.41
Heilbronn	102	4.5	2.7	5.6	0.48
Pforzheim	93	4.5	2.7	5.4	0.50
Bruchsal	34	-	1.5	3.5	0.43
Rastatt	32	-	1.8	3.3	0.55
Weingarten	19	-	1.0	2.6	0.38
Eppingen	13	-	1.0	2.3	0.43

Mittelwert für R_B/R_T : 0.45

Die Einteilung der Gemeinden in Gemeindegrößenklassen ist in Tabelle 2.3 enthalten. Die Einwohnerzahlen in der dritten Spalte beziehen sich auf den Stand vom 31.12.1971 mit einer Gesamteinwohnerzahl von $9.055 \cdot 10^6$ Einwohnern. Für das Jahr 2000 wird nach dem DIW-Gutachten /DOLINSKI und ZIESING (1974)/ mit einer Einwohnerzahl von 10^7 Einwohnern gerechnet. Da dieser Anstieg nur gering ist, werden die Radien der Gemeinden auf diese Gesamteinwohnerzahl bezogen, unter der Annahme proportionalen Wachstums für sämtliche Gemeindegrößenklassen. Die entsprechenden Einwohnerzahlen sind in der vierten Spalte angegeben.

Weiterhin zeigt die Tabelle 2.3 die spezifischen hausbrandbedingten Immissionskonzentrationen im Zentrum der jeweiligen Gemeinde sowie deren

Verhältnis zu der Immissionskonzentration, die sich durch Mittelung über alle Gemeinden ergibt. Dabei wird unterstellt, daß die pro-Kopf-Emission überall gleich ist.

Tabelle 2.3: Gemeindegrößen- und Immissionsstruktur für Baden-Württemberg

Gemeindeklasse	Anzahl f_j	Einwohnerzahl N in Tausend		Radius [km]	Bev.-Dichte [$10^3 \text{EW}/\text{km}^2$]	I/q [s/m]	I/\bar{I}_{BW}
		1971	2000				
Stuttgart	1	633	699	6.0	6.2	38.6	2.68
Mannheim	1	331	366	4.5	5.7	34.7	2.24
Karlsruhe	1	262	289	4.1	5.5	33.3	2.06
Freiburg	1	168	186	3.3	5.5	30.9	1.87
Heidelberg	1	122	135	2.9	5.2	29.2	1.67
Heilbronn	1	102	113	2.7	4.9	28.3	1.57
$(50-100) \cdot 10^3$	11	72.9	80.5	2.3	4.7	26.6	1.45
$(20-50) \cdot 10^3$	36	29.6	32.7	1.6	4.1	22.5	1.04
$(5-20) \cdot 10^3$	280	8.9	9.8	0.9	3.6	17.6	0.73
$(2-5) \cdot 10^3$	501	3.1	3.4	0.6	3.1	14.0	0.52
$<2 \cdot 10^3$	1873	0.8	0.9	0.3	2.9	10.1	0.30

Die Entscheidungsvariablen des Energiemodells erlauben keine so weitgehende Differenzierung der Emissions- und Immissionsstruktur wie in Tabelle 2.3. Im bisherigen Ausbaustand wird lediglich eine Unterteilung in drei Gemeindegrößenklassen /FÜRNISS et al. (1980)/ vorgenommen. Der jeweilige Faktor zur Charakterisierung der Immissionsstruktur für diese gröbere Gemeindegrößenstruktur ergibt sich durch mit der Bevölkerung gewichtete Mittelung über die spezifischen Immissionen I/q.

Die mittlere Immissionskonzentration für Baden-Württemberg wird also berechnet entsprechend

$$(2.14) \quad \bar{I}_{BW} = 31.71 \cdot \sum_{J=1}^3 \sum_{k=1}^m S_J \cdot e_k \cdot EB_{Jk} \quad \left[\mu\text{g}/\text{m}^3 \right]$$

mit e_k : Emissionsfaktor für die Energieart k
 $[\text{kg}/\text{Energieeinheit}]$

EB_{Jk} : Verbrauchte Energieeinheiten der Art k in der Gemeindeklasse J
 $[\text{Energieeinheiten}/\text{Jahr}]$ (Entscheidungsvariable des Energiemodells, siehe Abschnitt 1)

31.71: Umrechnungsfaktor von kg/a in $\mu\text{g}/\text{s}$

S_J : Strukturfaktor für Gemeindeklasse J
 $[\text{s}/\text{m}^3]$

Der Faktor S_J ergibt sich durch folgende Beziehung aus den Größen von Tabelle 2.3:

$$(2.15) \quad S_J = \frac{1}{N_{BW}} \cdot \sum_{j \in K_J} \left(\frac{I}{q} \right)_j \cdot \frac{1}{\pi R_j^2} \cdot f_j \cdot N_j$$

wobei die Summation über die zur Klasse J gehörenden j zu erstrecken ist.

Für die Einteilung der Gemeindegrößenstruktur gemäß dem Energiemodell Baden-Württemberg lauten die S_J :

Großstädte $S_1 = 20.4 \cdot 10^{-9} \frac{\text{s}}{\text{m}^3}$

Mittelstädte $S_2 = 10.2 \cdot 10^{-9} \frac{\text{s}}{\text{m}^3}$

Landgemeinden $S_3 = 4.9 \cdot 10^{-9} \frac{\text{s}}{\text{m}^3}$

Hieraus ist z.B. zu entnehmen, daß der Verbrauch einer bestimmten Energiemenge in Großstädten eine doppelt so hohe mittlere Bevölkerungsbelastung erzeugt, als wenn die gleiche Menge in Mittelstädten verbraucht worden wäre.

2.3.4 Emissionsfaktoren und Beispielrechnungen

Die Schadstoffe des Hausbrandes, die im Energiesystem berücksichtigt werden, sind

- Schwefeldioxid (SO_2)
- Feinstaub
- Stickoxide (NO_x)

Die Energieträger für den Hausbrand sind

- Heizöl leicht
- Erdgas.

Die Anteile von Kohleprodukten zur Bedarfsdeckung werden nicht berücksichtigt, da dieser Anteil bereits gering ist und zukünftig weiter abnehmen wird. Die Emissionsfaktoren werden dem Emissionskataster Köln /MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1972)/ entnommen und sind in Tab. 2.4 aufgeführt.

Tabelle 2.4: Emissionsfaktoren für Hausbrand in kg/t SKE

Energieträger	SO_2	Feinstaub	NO_x
Heizöl leicht	5.7	$92.4 \cdot 10^{-3}$	1.61
Erdgas	-	-	1.05

Bei verbrennungsmotorisch angetriebenen Erdgaswärmepumpen ist mit einem höheren NO_x -Ausstoß, bezogen auf die eingesetzte Gasmenge, zu rechnen. Mangels hinreichender Informationen würde dieser Effekt bei den Modellrechnungen nicht berücksichtigt. Vielmehr wurde bei den Modelllösungen geprüft, ob die zu gering angesetzten NO_x -Emissionen zu wesentlichen Veränderungen geführt hatten, dies war aber in allen Fällen zu verneinen.

In der Quelle ist lediglich der Gesamtstaubauswurf angegeben. Der hier dargestellte Emissionsfaktor für Feinstaub ergibt sich dadurch, daß 88-Gewichtsprozent des Gesamtstaubes als Feinstaub angenommen werden /vgl. LASKUS (1977)/.

Zu den Emissionsfaktoren insgesamt ist zu bemerken, daß entsprechende Angaben in anderen Literaturquellen /FAUDE et al. (1974), /GEIGER et al. (1974)/ z.T. erheblich abweichen.

Als Rechenbeispiel seien die mittleren Schadstoffkonzentrationen bei vollständiger Deckung des Raumheizungsbedarfs durch leichtes Heizöl angeführt. Mit dem Bedarf von 1975 ergeben sich

$$22.1 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$$

$$0.4 \mu\text{g Feinstaub} /\text{m}^3$$

$$6.2 \mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$$

Die entsprechenden Konzentrationen in den einzelnen Gemeindegrößenklassen lassen sich unter Zuhilfenahme von Tabelle 2.3, letzte Spalte, bestimmen.

2.4 Immissionen durch Kfz-Verkehr

2.4.1 Charakteristische Eigenschaften

Der Kfz-Verkehr zeigt das Emissionsverhalten von Linienquellen. Die Zusammenfassung sämtlicher Linienquellen einer Gemeinde zu einer Flächenquelle mit entsprechender Emission pro Flächeneinheit ist jedoch unproblematisch, solange die zu bestimmende Immissionskenngröße aus der mittleren pro-Kopf-Belastung besteht. Es ist aber anzumerken, daß im Vergleich zu den Immis-

sionen des Hausbrandes die kleinräumigen Schwankungen der Immissionskonzentration um Größenordnungen höher liegen, bedingt durch Unterschiede des Verkehrsaufkommens in den einzelnen Straßenzügen. Anders als bei der vorher behandelten Emittentengruppe ist es daher nicht möglich, die rechnerisch ermittelten Immissionswerte mit entsprechenden Meßwerten zu vergleichen. Meßwerte z.B. für CO-Immissionen des Kfz-Verkehrs liegen nur für Straßenzüge vor und zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Verkehrsdichte /vgl. SCHULZ und SCHUCH (1978)/.

Offentlichtlich gibt es zwei Wege, die Immissionskenngroße des Kfz-Verkehrs für eine Gemeinde zu bestimmen, und zwar

1. Die Linienquellen des Kfz-Verkehrs werden für eine Region als Flächenquellen zusammengefaßt. Die Immission-Emission-Beziehung entspricht dann prinzipielle derjenigen für den Hausbrand.
2. Für den Kfz-Verkehr als Linienquelle geht man von den hierfür vorliegenden Emission-Immissions-Beziehungen aus. Derartige Beziehungen gelten aber nur für einen bestimmten Aufpunkt bezüglich der Linienquelle (horizontaler und vertikaler Abstand). Die Ermittlung einer mittleren flächenbezogenen Immissionskonzentration analog zur Immissionskenngroße für den Hausbrand ist aus diesen Angaben nur unter Hinzuziehung weiterer Annahmen über das seitliche Ausbreitungsverhalten möglich.

Die Schwäche des 1. Verfahrens besteht darin, daß keine gemessenen Werte von Immissionen des Kfz-Verkehrs einbezogen werden können. Die Schwachstelle des 2. Verfahrens liegt in den zu treffenden Annahmen, wie aus den Immissionskenngroßen für einen definierten Aufpunkt eine mittlere, flächenbezogene Immissionskenngroße abzuleiten ist.

Solange die Informationsbasis für diese Umrechnung so dürftig ist wie zur Zeit, erscheint das erstgenannte Verfahren für den vorliegenden Zweck als

methodisch abgesicherter und wird daher für die Bestimmung der Immissionskenngröße benutzt.

Im Vergleich zu den Hausbrandemissionen ist die Bindung von Emittenten und Betroffenen bei den Verkehrsemissionen schwächer. Näherungsweise wird angenommen, daß zur Belastung der Bevölkerung nur diejenigen Emissionen beitragen, die im Innerortsverkehr entstehen. Diese Emissionen werden der Einfachheit halber den in der Gemeinde gemeldeten Kraftfahrzeugen zugerechnet.

Die Abhängigkeit der bevölkerungsbezogenen Immissionen von den Entscheidungsvariablen des Energiemodells wird anhand der Ergebnisse des Emissionskataster Köln /MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1972)/ ermittelt:

Aus Verkehrszählungen wurde die gesamte Jahresfahrleistung im Untersuchungsraum bestimmt. Zusätzlich erfolgte eine Zuordnung zu gewissen Fahrerrhythmen, charakterisiert durch die entsprechende mittlere Fahrgeschwindigkeit. Mittels des PKW-Bestandes im Untersuchungsgebiet können dann folgende Größen errechnet werden:

- Fahrleistung im Innerortsverkehr pro PKW und Jahr
- Treibstoffverbrauch im Innerortsverkehr pro PKW und Jahr
- Emissionen im Innerortsverkehr pro PKW und Jahr

Eine direkte Übertragung dieser Ergebnisse auf Gemeinden mit bedeutend geringerer Einwohnerzahl führt zu erheblichen Verfälschungen, da die Fahrleistungen pro PKW in Großstädten erheblich höher liegen dürften. Gründe hierfür sind sowohl die größere Flächenausdehnung als auch die Attraktivität der Großstädte für Bewohner umliegender Gemeinden (Berufspendler, Einkaufsfahrten). Da vergleichbare Untersuchungen für kleinere und mittlere Gemeinden nicht durchgeführt worden sind, muß eine plausible Annahme über die Fahrleistung im Innerortsverkehr in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl erfolgen. Mit diesen Informationen ist es dann möglich, den Energieverbrauch

sowie die Emissionen von PKW im Innerortsverkehr für Baden-Württemberg zu bestimmen.

Durch die Einbeziehung des LKW-Verkehrs ist es dann möglich, eine Beziehung zwischen den Entscheidungsvariablen und den Kfz-Immissionen aufzustellen. Diese Vorgehensweise wird im einzelnen erläutert, dabei wird zunächst allein auf den PKW-Verkehr Bezug genommen.

2.4.2 Emissionen des innerörtlichen PKW-Verkehrs

Nach dem Emissionskataster Köln /MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1972)/ ergeben sich folgende Daten:

PKW-Bestand der untersuchten Region (10^6 Einwohner): 250 000 (eigene Schätzung)

Jahresfahrleistung von PKW im Stadtgebiet ohne Verkehr auf Autobahnen:
 $2099 \cdot 10^6$ km/a

Mittlere Fahrgeschwindigkeit: 31.4 km/h

Treibstoffverbrauch pro 100 km bei $v = 31.4$ km/h

 Benzin: 10.25 l

 Diesel: 7.5 l (eigene Schätzung)

mittl. Fahrleistung pro PKW und Jahr im Innerortsverkehr: 8400 km

Die letzte Zahl bezieht sich auf ein zusammenhängendes Gebiet mit etwa 10^6 Einwohnern. Sicherlich liegt die innerörtliche Fahrleistung für solche PKW niedriger, deren Zulassungsgemeinde nicht in Ballungsgebieten liegt. Da über diese Abhängigkeit keine quantitativen Erkenntnisse vorliegen, wird der Verlauf der innerörtlichen Fahrleistung in Abhängigkeit von der Gemeindegröße geschätzt. Wegen des Durchgangsverkehrs (der den in der Gemeinde zugelassenen PKW zugerechnet wird) ist es sinnvoll, bei abnehmender Gemeindegröße die innerörtliche Fahrleistung pro PKW nicht gegen Null gehen zu lassen. Als unterster Wert wird vielmehr 2000 km/(PKW·a) unterstellt. Zwischen diesem Wert und der für Köln ermittelten Größe

wird in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl linear interpoliert, so daß die Fahrleistung F folgenden Verlauf aufweist:

$$(2.16) \quad F = 2000 + 6.4 \cdot 10^{-3} \cdot N \quad \text{km}/(\text{PKW} \cdot \text{a})$$

Unter Zugrundelegung der Gemeindegrößenstruktur Baden-Württembergs (Abschn. 2.3.3) ergibt sich eine mittlere innerörtliche Fahrleistung von 2600 km/(PKW·a). Die Gesamtfahrleistung beträgt zum Vergleich 15 000 km/(PKW·a) /s. DOLINSKI und ZIESING (1974)/.

Die Immissionskonzentration wird über die gleiche Immission-Emissions-Beziehung wie beim Hausbrand errechnet. Wegen der niedrigeren Quellhöhe der Kfz-Emissionen ist aber mit einer geringeren Transportgeschwindigkeit zu rechnen. Die Umrechnung von 2 m/s im Bereich 0-15 m Höhe auf den Bereich 0-3 m Höhe ergibt ungefähr den Wert von 1 m/s, so daß die Immissionen des Kfz-Verkehrs bei gleicher Flächenquellstärke doppelt so hoch sind wie beim Hausbrand. Die resultierende Immissionsstruktur für Baden-Württemberg zeigt Tab. 2.5.

Tabelle 2.5: Emissions- und Immissionsstruktur des PKW-Verkehrs für die Gemeindegrößenklassen Baden-Württembergs

Gemeindeklasse	Einwohnerzahl N in Tsd. (Jahr 2000)	Fahrleistung (km/(PKW·a))	I/q (s/m)	I/ \bar{I}_{BW}
Stuttgart	699	6453	77.1	5.2
Mannheim	366	4328	69.3	2.9
Karlsruhe	289	3843	66.6	2.4
Freiburg	186	3182	61.7	1.7
Heidelberg	135	2858	58.4	1.4
Heilbronn	113	2717	56.5	1.3
$(50-100) \cdot 10^3$	80.5	2557	53.2	1.1
$(20-50) \cdot 10^3$	32.7	2208	44.9	0.7
$(5-20) \cdot 10^3$	9.8	2063	35.3	0.5
$(2-5) \cdot 10^3$	3.4	2022	28.0	0.3
$<2 \cdot 10^3$	0.9	2006	20.2	0.2

2.4.3 Beziehungen zu den Entscheidungsvariablen des Optimierungsmodells

Die Einbeziehung des LKW-Verkehrs erfolgt aufgrund folgender Überlegungen: Laut Emissionskataster Köln /MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN (1972)/ beträgt die Jahresfahrleistung im Innerortsverkehr (ohne Benutzung der Autobahnen im Stadtgebiet) für LKW $161.5 \cdot 10^6$ km, dies sind 7.7 % der PKW-Fahrleistung. Der Treibstoffverbrauch pro 100 km beträgt 23.9 l Diesel. Unter der Annahme, daß der LKW-Verkehr in Abhängigkeit von der Gemeindegröße ein identisches Verhalten wie der PKW-Verkehr hat, kann also der LKW-Verkehr durch

$$(2.17) \quad I_{\text{LKW}} = 0.25 \cdot I_{\text{PKW}} \quad (\text{Diesel})$$

berücksichtigt werden. Dies heißt, daß die Immissionen des LKW-Verkehrs 1/4 der Immissionen des PKW-Verkehrs betragen, wenn letzterer ausschließlich Dieselkraftstoff benutzt. Zu beachten ist, daß der obige LKW-Treibstoffverbrauch repräsentativ für den innerörtlichen Verkehr, nicht jedoch für den Gesamt-LKW-Verkehr, ist.

Zur Anbindung an die Entscheidungsvariablen, die mit der Nachfragekategorie "Nutzenergie für Kfz-Verkehr" verbunden sind /FÜRNISS et al. (1980)/ ist weiterhin eine Aussage über den in letzterer enthaltenen PKW-Anteil notwendig. Nach /DOLINSKI und ZIESING (1974)/ kann mit einem Anteil von 63 % am Gesamtbedarf gerechnet werden.

Zusammengefaßt ergibt sich die mittlere Immissionskonzentration für die Bevölkerung Baden-Württembergs in Abhängigkeit von den Entscheidungsvariablen EB_{Benzin} und EB_{Diesel} , die den Verbrauch an Benzin bzw. Dieselöl pro Jahr darstellen, durch folgende Beziehung:

$$(2.18) \quad I_{\text{BW}} = S_{\text{BW}} \cdot \left[\begin{aligned} & e_{\text{Benzin}} \cdot EB_{\text{Benzin}} \cdot \eta_{\text{Benzin}} \\ & + e_{\text{Diesel}} \cdot (0.63 \cdot EB_{\text{Diesel}} \cdot \eta_{\text{Diesel}}^{-0.37} \cdot EB_{\text{Benzin}} \cdot \eta_{\text{Benzin}}) \\ & + 0.25 \cdot e_{\text{Diesel}} \cdot 0.63 \cdot (EB_{\text{Diesel}} \cdot \eta_{\text{Diesel}} + EB_{\text{Benzin}} \cdot \eta_{\text{Benzin}}) \end{aligned} \right]$$

mit

$e_{\text{Benzin}}, e_{\text{Diesel}}$: spezifische Emission in (g/km) für Benzin bzw. Dieselkraftstoff

$\eta_{\text{Benzin}}, \eta_{\text{Diesel}}$: Umwandlungswirkungsgrade für Benzin bzw. Dieselkraftstoff

Der erste Term steht für den Benzinverbrauch, der zweite für den Dieselverbrauch des PKW-Verkehrs, der letzte Term für den LKW-Verkehr (nur Dieselverbrauch). Der Faktor S_{BW} dient, ähnlich wie beim Hausbrand, zur Charakterisierung der Immissionsstruktur und hat die Einheit $\text{km/m}^2 \cdot \text{s/m}$. Er berechnet sich gemäß

$$(2.19) \quad S_{\text{BW}} = 31.71 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{E_{\text{T}}} \cdot \frac{1}{N_{\text{BW}}} \cdot \sum_{j=1}^n \left[f_j \cdot N_j \cdot \left(\frac{I}{q}\right)_j \cdot \frac{1}{\pi R_j^2} \cdot C \cdot N_j \cdot (2000 + 6.4 \cdot 10^{-3} \cdot N_j) \right]$$

mit

E_{T} : Nutzenergiebedarf für PKW-Verkehr in Baden-Württemberg im Jahre 1972

C : PKW pro Einwohner

Die übrigen Größen sind in Abschn. 2.3 erklärt.

Diese Formel setzt sich folgendermaßen zusammen:

Die in einer Gemeinde der Größenklasse j zurückgelegten Kilometer betragen $C \cdot N_j \cdot (2000 + 6.4 \cdot 10^{-3} \cdot N_j)$ (bezogen auf ein Jahr). Die Multiplikation mit der spezifischen Emission (g/km) ergibt die Gesamtemission. Durch den Faktor $1/\pi R_j^2$ bestimmt sich die Emissiondichte q_j , durch Multiplikation mit $(I/q)_j$ erhält man die Immissionskonzentration. Die Wichtung mit der Einwohnerzahl $f_j \cdot N_j$ und Division durch die Gesamteinwohnerzahl N_{BW} ergibt die mittlere bevölkerungsbezogene Immissionskonzentration. Der Faktor $31.71 \cdot 10^{-3}$ steht für die Umrechnung der Emission von (g/a) in ($\mu\text{g/s.}$). Der Faktor $1/E_{\text{T}}$ bewirkt in Verbindung mit den Größen $EB_{\text{Benzin}} \cdot \eta_{\text{Benzin}}$ sowie $EB_{\text{Diesel}} \cdot \eta_{\text{Diesel}}$ in Formel (2.18), daß die Immissionskonzentration lediglich von den relativen Anteilen dieser Energieträger bei der Bedarfsdeckung abhängt. Wenn im

Modell ein von E_T verschiedener Nutzenergiebedarf vorgegeben wird, ist die entsprechend Gleichungen (2.18) und (2.19) berechnete Immission so, als ob sich die innerörtliche Fahrleistung im selben Verhältnis geändert hätte wie der Nutzenergiebedarf.

2.4.4 Emissionsfaktoren und Beispielrechnungen

In Anlehnung an das Emissionskataster Köln ergeben sich die Emissionen/km Fahrweg in Tab. 2.6.

Tabelle 2.6: Emissionsfaktoren für Kfz-Verkehr in g/km Fahrweg

Energieträger	SO ₂	Staub	NO _x	CO
Benzin	0.04 ⁺⁾	0.04 ⁺⁾	0.97	21.60
Diesel	0.31	0.11	0.59	2.41

⁺⁾ Diese Werte können unter Berücksichtigung von Immissionen anderer Emittentengruppen vernachlässigt werden.

Beispielrechnungen:

Bei einem Bestand von 0.3 PKW pro Einwohner werden folgende mittlere Immissionskonzentrationen errechnet:

Fall a: Versorgung des PKW-Verkehrs mit Benzin, des LKW-Verkehrs mit Diesel

SO ₂	Staub	NO _x	CO	
0.4	0.2	6.4	126.7	(µg/m ³)

Fall b: Versorgung des gesamten Kfz-Verkehrs mit Diesel

SO ₂	Staub	NO _x	CO	
2.2	0.8	4.2	17.3	(µg/m ³)

2.5 Immissionen der großindustriellen Emittenten

2.5.1 Charakteristische Eigenschaften

Industrielle Großemittenten haben den Charakter von Punktquellen. Aufgrund der hohen Quellhöhe liegt das Maximum der Schadstoffkonzentration meist mehrere Kilometer von der Quelle entfernt, mit entsprechend hoher Verdünnung. Die weitere Abnahme der Schadstoffkonzentration mit der Entfernung ist erheblich geringer als bei Hausbrand-Immissionen. Wie schon in Abschn. 2.2 erwähnt, ist die detaillierte Ermittlung der räumlichen Verteilung der hier zu behandelnden Immissionen allein schon aufgrund der Unkenntnis über die Standorte der Schadstoff-Quellen (im Rahmen des Energiemodells) nicht möglich.

Sowohl diese Unkenntnis als auch die großräumige Verteilung legen es nahe, in erster Näherung eine gleichmäßige Verschmierung der Immissionen über die Fläche Baden-Württembergs anzunehmen. Auf die Berücksichtigung von Emissionen, die bekanntermaßen außerhalb Baden-Württembergs erfolgen, z.B. Braunkohlenverstromung, wird in Abschn. 2.5.4 eingegangen.

2.5.2 Ausbreitungsmodell

Die Berechnung der Immissionskonzentration aus den Emissionen orientiert sich an grundsätzlich anderen Parametern als die Rechnungen zum Hausbrand. Maßgeblich ist die mittlere Dicke H der Durchmischungsschicht über Baden-Württemberg sowie die mittlere Aufenthaltszeit $1/\lambda$ der Schadstoffe in der Atmosphäre, bedingt durch chemische Umwandlung oder Auswaschung. Mit diesen Einflußgrößen ergibt sich die Immission-Emissions-Beziehung durch das Box-Modell:

$$(2.20) \quad I = \frac{Q}{F \cdot H} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

mit

Q = Emission

F = Bezugsfläche für die Ausbreitung

H = Ausbreitungsobergrenze (Dicke der Durchmischungsschicht)

λ = Zeitkonstante für den Aufenthalt des Schadstoffs in der Troposphäre

Diese Formel unterstellt, daß die Schadstoffemissionen im Volumen $F \cdot H$ bis zum dynamischen Gleichgewichtszustand akkumulieren. Als Grundfläche F wird die Fläche Baden-Württembergs genommen. Hierdurch ergibt sich zwar eine Überschätzung der Immissionskonzentration, jedoch stellt diese Überschätzung genau die Belastung dar, die durch die Energieumwandlungsanlagen Baden-Württembergs in den angrenzenden Gebieten entsteht - unter der Annahme identischer mittlerer Bevölkerungsdichte. Denn auch wenn man eine Bezugsfläche $F' > F$ annimmt mit einer nicht notwendig konstanten Immissionskonzentration I' gilt jedenfalls

$$(2.21) \quad \int_{F'} I' dF = \frac{Q}{H} \cdot \frac{1}{\lambda} = I \cdot F$$

wenn vertikale Homogenität vorausgesetzt wird.

Als Ausbreitungsobergrenze H wird 1000 m angenommen; zum Vergleich ergibt sich nach /FAUDE et al. (1974)/ für Karlsruhe der repräsentative Wert von 760 m. Für $1/\lambda$ wird in Anlehnung an verschiedene Literaturangaben /RODHE (1972), STRAUSS (1972), FAUDE et al. (1974), HUSAR et al. (1978)/ für alle Schadstoffe der einheitliche Wert von 48 h gewählt; er ist mit großen Unsicherheiten behaftet. Für den Ausbreitungsfaktor ergibt sich demnach $4.8 \cdot 10^{-9} \text{ s/m}^3$.

2.5.3 Emissionsfaktoren und Rechenbeispiel

Die Emissionsfaktoren für industrielle Großemittenten zeigt Tab. 2.7. Sie wurden vor allem der Quelle /FAUDE et al. (1974)/ entnommen, und zwar für die Energieträger Steinkohle, schweres Heizöl (jeweils ohne Rauchgaswäsche) und Erdgas. (Diese Werte beziehen sich auf die Angaben für Kraftwerke, die geringen Abweichungen bei Verfeuerung in Industriekesseln wurden als vernachlässigbar angesehen.) Für Braunkohlenkraftwerke wurden die Emissionswerte in Anlehnung an /GEIGER et al. (1974)/ bestimmt. Bei der Rauchgasentschwefelung in fossil befeuerten Großkraftwerken stellte sich das Problem, daß bezüglich der SO_2 -Reduzierung auf zwischenzeitlich erlassenen Verordnungen zurückgegriffen werden konnte, während die damit verbundene Reduzierungen des Staub- und NO_x -Gehalts als vergleichsweise unsicher anzusehen sind. Unter Bezugnahme auf mehrere Beiträge in /VGB (1975)/ konnte hierfür eine als vorläufig anzusehende Abschätzung durchgeführt werden. Die CO -Emissionen werden, wie auch beim Hausbrand, als vernachlässigbar angesehen.

Tabelle 2.7: Emissionsfaktoren für industrielle Großemittenten in kg Schadstoff /t SKE

Einsatzenergie	SO_2	Feinstaub ^{+))}	NO_x
Steinkohle ohne Rauchgasentschwefelung	21	3.6	7
Steinkohle mit Rauchgasentschwefelung	8.5	0.2	4
Braunkohle	21	4.0	7
Heizöl schwer ohne Rauchgasentschwefelung	20	0.4	6
Heizöl schwer mit Rauchgasentschwefelung	8.5	0.1	3
Erdgas	-	-	4

^{+))} 88 Gewichtsprozente der in der Quelle angegebenen Gesamtstaubemission

Für ein 700 MW_e-Steinkohlekraftwerk im Grundlastbetrieb (8000 Benutzungsstunden pro Jahr, $\eta = 40\%$) ergibt sich mit der beschriebenen Berechnungsmethode beispielsweise eine mittlere SO₂-Immissionskonzentration von 2.3 μm^3 , unter Berücksichtigung der Rauchgasentschwefelung.

2.5.4 Zurechnung von Immissionen durch Energieumwandlungsanlagen außerhalb Baden-Württembergs

Einige Optionen des Energiemodells Baden-Württembergs beinhalten die Umwandlung von Energie für Baden-Württemberg außerhalb dieses Bundeslandes (z.B. Braunkohleverstromung). Die hierdurch entstehenden Schadstoffbelastungen sind dem Energiesystem Baden-Württembergs zuzurechnen. Die entsprechende Beziehung lautet:

$$(2.22) \quad I_{\text{BW}} = I_{\text{BW}}^{\text{X}} \cdot \frac{P_{\text{E}}}{P_{\text{BW}}}$$

I_{BW} : zuzurechnende Immissionskonzentration

I_{BW}^{X} : Immissionskonzentration, die sich mit einem Boxmodell ergibt, bei dem die Grundfläche so groß ist wie Baden-Württemberg, während die Dicke H der Ausbreitungsschicht dem Umwandlungsstandort entspricht.

P_{BW} : Einwohnerdichte von Baden-Württemberg

P_{E} : Einwohnerdichte der Region, in der die Energieumwandlung erfolgt.

Als Fläche, die zur Bestimmung von P_{E} heranzuziehen ist, wird ein Kreis von der Größe Baden-Württembergs genommen.

2.6 Untergrund-Anteil der Hausbrand- und Kfz-Immissionen

Die Formel für das Box-Modell (2.20) zur Immissionsbestimmung beinhaltet keine emittenten-spezifischen Größen wie Quellhöhe oder Ausdehnung der Emissionsfläche. Daher lassen sich hiermit auch diejenigen Immissionen des Hausbrandes bestimmen, die außerhalb der Entstehungsgemeinde auftreten. Das Problem besteht offenbar darin, die Informationen über die Immissionskonzentrationen innerhalb der Entstehungsgemeinden (s. Abschn. 2.3) in geeigneter Weise mit dem Box-Modell zu verknüpfen. Diese Immissionen lassen sich mittels des Box-Modells formal in ein Emissionsäquivalent Q^x umrechnen:

$$(2.23) \quad \frac{Q^x}{H \cdot \lambda} = \sum_{j=1}^n f_j \cdot I_j \cdot \pi \cdot R_j^2$$

Die Untergrund-Immissionen ergeben sich dann durch

$$(2.24) \quad I_A = \frac{Q - Q^x}{F_{BW} \cdot H \cdot \lambda} = \frac{Q}{F_{BW} \cdot H \cdot \lambda} - \frac{1}{F_{BW}} \cdot \sum_{j=1}^n f_j \cdot I_j \cdot \pi \cdot R_j^2$$

Wegen

$$(2.25) \quad q_j = \frac{Q}{N_{BW}} \cdot \frac{N_j}{\pi \cdot R_j^2}$$

läßt sich der negative Term umformen in

$$(2.26) \quad \frac{1}{F_{BW}} \sum_j f_j \cdot I_j \cdot \pi \cdot R_j^2 = \frac{Q}{N_{BW}} \cdot \frac{1}{F_{BW}} \sum_j f_j \cdot N_j \cdot \left(\frac{I}{q}\right)_j$$

Mit den Werten für $(I/q)_j$ aus Tab. 2.3, Abschn. 2.3.3 ergibt sich dann für den Ausbreitungsfaktor:

$$(2.27) \quad \frac{I_A}{Q} = \frac{1}{F_{BW}} \left(\frac{1}{H \cdot \lambda} - \frac{1}{N_{BW}} \sum_j f_j \cdot N_j \cdot \left(\frac{I}{q}\right)_j \right) \\ = 4.3 \cdot 10^9 \text{ s/m}^3$$

(Man beachte, daß für alle Schadstoffe aus dem Hausbrand eine einheitliche Lebensdauer von 48 h angenommen wird, s. Abschn. 2.5.2)

Zum Vergleich lautet der Ausbreitungsfaktor für den bevölkerungsbezogenen Mittelwert der Immissionskonzentrationen, die durch Emissionen innerhalb der jeweiligen Entstehungsgemeinde erzeugt werden:

$$(2.28) \quad \frac{\bar{I}_{BW}}{Q} = \frac{1}{N_{BW}^2} \sum_j f_j \cdot N_j^2 \cdot \left(\frac{I}{q}\right)_j$$

$$= 9.0 \cdot 10^{-9} \frac{s}{m^3}$$

Insgesamt ergibt sich durch den Hausbrand die mittlere Bevölkerungsbelastung unter Einbeziehung des Untergrunds zu (vgl. Formeln 2.14-15):

$$(2.29) \quad \bar{I}_{BW} = 31.71 \sum_{J=1}^3 \sum_{k=1}^m \left(S_J + \frac{I_A}{Q}\right) \cdot e_k \cdot EB_{Jk}$$

In genau derselben Weise ließe sich der Untergrundanteil der verkehrsbedingten Immissionen berücksichtigen. Wegen der für die Ausbreitung der Verkehrsemissionen maßgebenden geringen Windgeschwindigkeit ist das Verhältnis zwischen Untergrund und lokal erzeugter Immission aber wesentlich kleiner, so daß auf diese Korrektur hier verzichtet wird.

3. Ermittlung der radiologischen Belastung

Eine ins einzelne gehende Beschreibung der durch das Energiesystem Baden-Württembergs zu erwartenden radiologischen Belastungssituation wird im Rahmen des Optimierungsmodells für die Energieversorgung nicht angestrebt. Denn dazu wären für alle wichtigen Organe die Dosisraten zu ermitteln, wobei jeweils eine Vielzahl von Nukliden, Belastungspfaden und Emissionssituationen berücksichtigt werden müßten. Vielmehr wird als Indikator für die radiologische Belastung die über die Bevölkerung gemittelte Ganzkörperdosisrate bei Normalbetrieb genommen. Bei der Abwägung dieses Indikators gegen andere ist also zu beachten, daß er für die verschiedenen Organdosisraten steht und eventuelle Störfallemissionen mit zu bewerten sind. Nicht zuletzt soll dieser Indikator auch die nichtmonetären Aspekte des Abfallproblems mit erfassen. Mit ihm werden also, grob gesprochen, alle Umwelt Risiken, die typisch für die kerntechnische Energiegewinnung sind, bewertet. Aus diesem Grund wird die radiologische Belastung durch konventionelle Kraftwerke bei der Indikatorberechnung außer acht gelassen. Angesichts dieser Bedeutung des Indikators würde der Indikator "installierte Kernkraftwerksleistung" praktisch denselben Zweck erfüllen.

Die Berechnung der dem Energiesystem Baden-Württembergs zuzurechnende radiologische Ganzkörperbelastung wird näherungsweise als aus zwei Komponenten bestehend angesehen: der regionalen Belastung bei der unmittelbaren Verbreitung der Radionuklide über Baden-Württemberg (oder einer gleich großen Region bei einem Standort außerhalb Baden-Württembergs) und der globalen Belastung durch die langlebigen Nuklide. Dieses Vorgehen entspricht genau dem Vorgehen in Abschnitt 2.6 bei der Berechnung der Hausbrandimmissionen, nur in vergrößertem Maßstab: Auch in Abschnitt 2.6 wurde zu den Immissionen, die beim "ersten Durchgang" in der Emissionsgemeinde entstehen, eine Untergrundimmission addiert, die sich aus der Verteilung der Emissionen über die ganze Region ergibt. Die globale Wirkung brauchte darüberhinaus wegen der relativ kurzen Aufenthaltsdauer der Schadstoffe in der Atmosphäre nicht berücksichtigt zu werden. Andererseits ist bei der Berechnung der radiologischen Belastung eine Rechnung

auf Gemeindeebene nicht sinnvoll, da die Emissionen etwa die gleichen Charakteristika haben wie die industriellen Großemissionen in Abschnitt 2.5.

Bei der Berechnung der regionalen Belastung kam wegen der Vielzahl von Nukliden und Belastungspfaden die Entwicklung eines eigenen Rechenverfahrens nicht infrage. Vielmehr wurde auf die Ergebnisse in /HALBRITTER (1978)/ zurückgegriffen. Leider sind in dieser Studie (wie auch in der übrigen Literatur) weder über größere Flächen gemittelten Dosisraten noch Dosisraten für größere Abstände angegeben. Daher mußte die regionale Ganzkörperdosisrate aufgrund folgender Angaben abgeschätzt werden:

- Ganzkörperdosisrate im Aufpunkt mit dem größten Ausbreitungsfaktor, aufgeschlüsselt nach den drei Beiträgen: Belastungen, die mit dem Lufttransport von Nukliden zum Aufpunkt zusammenhängen, γ -Submersion (wobei die gesamte Abluftfahne Beiträge liefert), Belastung über den Wasserpfad. (Als Standort wurde Hannover angenommen.)
- meteorologischer Ausbreitungsfaktor für den eben erwähnten Aufpunkt sowie mittlere Ausbreitungsfaktoren für eine $10 \times 10 \text{ km}^2$ und eine $50 \times 50 \text{ km}^2$ große Fläche um das Kernkraftwerk. Die Ergebnisse liegen für verschiedene Standorte vor, einige davon liegen in Baden-Württemberg.

Bei der erwähnten Ganzkörperdosisrate handelt es sich um die sogenannte Ortsdosis, d.h. die Dosis, die zustande käme, wenn ein Mensch am Aufpunkte lebte, da seinen Wasserbedarf deckte und nur Nahrung zu sich nähme, die am Aufpunkt gewachsen ist. Es wird dabei davon ausgegangen, daß die kern-technische Anlage seit 50 Jahren in Betrieb ist. Der meteorologische Ausbreitungsfaktor berücksichtigt weder Sedimentation, noch Auswaschung, noch radioaktive Zerfallsprozesse.

Bezogen auf die elektrische Leistung von 1000 MW mit einem Lastfaktor von 0.7 wird für Leichtwasserreaktoren die Ganzkörperdosis zu $6.22 \cdot 10^{-2} \text{ mrem/a}$

bei einem meteorologischen Ausbreitungsfaktor von $2.2 \cdot 10^{-7} \text{ s/m}^3$ angegeben (bei 100 m Quellhöhe, unter Zugrundelegung der Wetterstatistik von Hannover). Davon entfallen $1.15 \cdot 10^{-2} \text{ mrem/a}$ auf die Belastung durch Nuklide, die durch die Luft zum Aufpunkt gelangen, $3.31 \cdot 10^{-2} \text{ mrem/a}$ erfolgen durch γ -Subermsion, $1.76 \cdot 10^{-2} \text{ mrem/a}$ gelangen über den Wasserpfad in den menschlichen Körper.

Für die Wiederaufarbeitung von LWR-Brennstoff ergibt sich analog, bezogen auf eine LWR-Kraftwerksleistung von 1000 MW, eine Ganzkörperbelastung von $5.16 \cdot 10^{-2} \text{ mrem/a}$, bei einem meteorologischen Ausbreitungsfaktor von $4.0 \cdot 10^{-8} \text{ s/m}^3$ und der Annahme einer fortgeschrittenen Rückhaltetechnik für Aerosole. Die unterschiedlichen Ausbreitungsfaktoren von LWR und WAA ergeben sich durch die unterschiedlichen Quellhöhen von 100 bzw. 200 m.

Ausbreitungsfaktoren sind bei 100 m Quellhöhe für die baden-württembergischen Städte Stuttgart und Karlsruhe angeführt:

Stuttgart: $3.85 \cdot 10^{-7} / 6.48 \cdot 10^{-8} / 12.7 \cdot 10^{-9} \text{ s/m}^3$

Karlsruhe: $4.45 \cdot 10^{-7} / 6.64 \cdot 10^{-8} / 12.8 \cdot 10^{-9} \text{ s/m}^3$

Hierbei gilt der erste Wert für den ungünstigsten Aufpunkt, der zweite für das $10 \times 10 \text{ km}^2$ -Gebiet, der letzte für das $50 \times 50 \text{ km}^2$ -Gebiet. Es wird nun vereinfachend angenommen, daß das Verhältnis der über Baden-Württemberg gemittelten Ganzkörperdosisrate zur obengenannten Ganzkörperdosisrate am ungünstigsten Aufpunkt (für Standort Hannover) durch das entsprechende Verhältnis der Ausbreitungsfaktoren gegeben ist. Die Extrapolation der Ausbreitungsfaktoren ergibt unter Berücksichtigung des zugrundegelegten Ausbreitungsmodells einen mittleren Ausbreitungsfaktor von etwa $4 \cdot 10^{-9} \text{ s/m}^3$ für die Fläche Baden-Württembergs ($35\,750 \text{ km}^2$). Da bei großen Entfernungen der Einfluß der Quellhöhe auf den Ausbreitungsfaktor nur gering ist, wird dieser Wert auch für die Emissionen der Wiederaufarbeitungsanlage genommen. Somit ergibt sich die regionale radiologische Belastung pro 1000 MWe zu:

LWR: $0.09 \cdot 10^{-2} \text{ mrem/a}$

WAA: $0.52 \cdot 10^{-2} \text{ mrem/a}$

Der Wert des repräsentativen Ausbreitungsfaktors ist in derselben Größenordnung wie der, mit den bei den Großemittenten in Abschnitt 2.5 gerechnet wurde. Eine Übereinstimmung ist dabei nicht zu erwarten, da in Abschnitt 2.5 einerseits die Abbauraten berücksichtigt wurden, weswegen der Ausbreitungsfaktor kleiner sein müßte, andererseits aber durch Verwendung des Boxmodells Belastungen außerhalb der Region mit erfaßt werden, weswegen der Ausbreitungsfaktor größer sein müßte.

Die zusätzliche rechnerische Belastung durch die globale Ausbreitung von Radionukliden ergibt sich durch konsequente Anwendung der Überlegungen von Abschnitt 2.5:

- Bezüglich der Umweltauswirkungen des Energieversorgungssystems wird die Region als abgeschlossenes System betrachtet, d.h. ein in der Realität vorhandener Transfer von Umweltbelastungen in andere Regionen drückt sich durch eine erhöhte rechnerische Belastung für Baden-Württemberg aus.
- Sofern eine bevölkerungsbezogene Gesamtwirkung zu ermitteln ist, ist bei der zuzurechnenden pro-Kopf-Belastung für die Bevölkerung Baden-Württembergs das Verhältnis der Bevölkerungsdichten entsprechend zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 2.5.4).
- Als Ausbreitungsmodell wird das Box-Modell (Formel 2.20) unterstellt. Als Bezugsvolumen $F \cdot H$ gilt dabei das Volumen des Ausbreitungs- bzw. Anreicherungsmediums, das der Fläche Baden-Württembergs zuzurechnen ist.

Formelmäßig lautet die Belastung B durch die globale Ausbreitung eines langlebigen Nuklids:

$$(3.1) \quad B = \frac{Q \cdot g}{AM_{BW}} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{P_W}{P_{BW}}$$

$$= \frac{Q \cdot g}{AM_W} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{N_W}{N_{BW}}$$

mit	Q:	Emission pro Zeiteinheit (Ci/a)
	g:	Dosisfaktor (rem/a)·(m ³ /Ci)
	AM _{BW} :	Volumen des Ausbreitungsmediums, das Baden-Württemberg entsprechend seiner Fläche zuzurechnen ist
	AM _W :	Volumen des Ausbreitungsmediums weltweit
	P _W :	Bevölkerungsdichte weltweit (bezogen auf die Landoberfläche)
	P _{BW} :	Bevölkerungsdichte Baden-Württembergs
	1/λ:	mittlere Lebensdauer des Radionuklids
	N _W :	Weltbevölkerung
	N _{BW} :	Einwohnerzahl Baden-Württembergs

Diese Formel läßt sich auch in der Art interpretieren, daß sie die weltweit zu erwartende Belastung unter der hypothetischen Annahme darstellt, daß die Emissionen pro Person weltweit im Mittel ebenso hoch wie in Baden-Württemberg sind. Streng genommen müßte man, in Analogie zum Vorgehen in Abschn. 2.6, von der Quellstärke Q in Gleichung (3.1) den auf die vorher untersuchte Region entfallenden Emissionsanteil abziehen, um die Massenbilanz zu erfüllen. Wegen der großen Halbwertszeit und weil das regionale Ausbreitungsvolumen klein gegen das globale ist, fällt diese Korrektur hier überhaupt nicht ins Gewicht.

Die Nuklide, für die wegen der Lebensdauer und ihres Ausbreitungsverhaltens eine globale Betrachtung sinnvoll ist, sind H-3, Kr-85 und C-14 (von den langlebigen Aktiniden und den ebenfalls langlebigen Spaltprodukten Sr-90, J-129 und Cs-137 wird angenommen, daß sie in der Region bleiben, da sie in der festen Phase vorliegen).

Tritium geht relativ schnell in den Wasserkreislauf ein /vgl. NIEHAUS (1975)/. Aufgrund der hohen weltweiten Wasservorräte ergibt sich ein vernachlässigbarer globaler Anteil für die radiologische Belastung gemäß obiger Formel.

Das Ausbreitungsmedium von Kr-85 ist vor allem die Atmosphäre. Das Volumen AM_{BW} der Atmosphäre, das der Fläche Baden-Württembergs zuzurechnen ist, ist aufgrund des Verhältnisses von gesamter Erdoberfläche zur Festlandsoberfläche dreimal so groß, wie unter alleiniger Zugrundelegung der Fläche dieses Bundeslandes. Bei einer emissionsseitig angestrebten Rückhaltung von 95 % ergibt sich durch die obige Formel eine Ganzkörperbelastung von $0.07 \cdot 10^{-2}$ mrem pro 1000 MW_e .

C-14 gelangt über den CO_2 -Kreislauf praktisch ausschließlich durch Nahrungsaufnahme (Ingestion) in den menschlichen Körper. Da angenommen werden kann, daß die Konzentration in den Pflanzen proportional zum meteorologischen Ausbreitungsfaktor ist (s. /HALBRITTER (1978)/), läßt sich die globale Belastung durch C-14 analog zu derjenigen von Kr-85 bestimmen, wobei folgende Besonderheiten zu berücksichtigen sind:

- Die Lebensdauer von C-14 ist sehr groß gegenüber dem Planungszeitraum für ein Energieversorgungssystem, bzw. der zu erwartenden Betriebsdauer von kerntechnischen Anlagen. Daher wird der Wert für $1/\lambda$ in Formel (3.1) beim C-14 durch den Planungszeitraum ersetzt. In Übereinstimmung mit den behördlichen Vorschriften zur Bestimmung der akkumulierten regionalen Belastung durch langlebige Aktiniden und Spaltprodukte (s. die obige Definition der Ortsdosis) wird hierfür 50 Jahre angenommen.
- CO_2 wird z.Zt. in erheblichem Ausmaß in den Weltmeeren absorbiert (vgl. auch den folgenden Abschn.). Überschlägig wird deshalb angenommen, daß nur 50 % der C-14-Emission zur Anreicherung in der Atmosphäre beitragen.

Mit diesen Modifikationen ergibt sich nach der gleichen Berechnungsweise wie beim Kr-85 (und unter Zugrundelegung der entsprechenden Ergebnisse in /HALBRITTER (1978)/) die globale Belastung durch C-14, die der Bevölkerung Baden-Württembergs zuzurechnen ist, zu $1.73 \cdot 10^{-2}$ mrem/a pro installierte elektrischer Leistung von 1000 MW_e .

Abschließend soll noch einmal auf die recht großen Unsicherheiten bei der Berechnung gerade dieses Indikators hingewiesen werden. Zwar gibt es inzwischen gute Modelle für die Berechnung der verschiedenen Dosisraten in

der Umgebung von Einzelanlagen. Aber wenn man, wie hier, ein Maß für die Gesamtbelastung durch eine kerntechnische Anlage haben möchte, kommt man wegen der langlebigen Nuklide in große Schwierigkeiten, denn diese Nuklide erfordern die Untersuchung weiträumiger Ausbreitungsvorgänge. Befriedigende Modelle dafür gibt es noch nicht.

4. Indikator für die Konsequenzen der CO₂-Produktion

Im Vergleich zu den bisher behandelten Umweltbelastungen weist das Problem der Anreicherung von CO₂ in der Atmosphäre folgende Besonderheiten auf:

- Die CO₂-Konzentration hat in dem Bereich, der im Rahmen des Energiesystems zu erwarten ist, keinen direkten Bezug zu Gesundheitsschäden.
- Die Wirkungen der CO₂-Emission lassen sich sinnvoll nur im Weltmaßstab diskutieren. Wegen der Komplexität des Kohlenstoffkreislaufs, der die gesamte Biosphäre umfaßt, ist die Berechnung der atmosphärischen CO₂-Konzentration global jedoch nur sehr unvollkommen möglich.
- Die Konsequenzen einer erhöhten atmosphärischen CO₂-Konzentration sind selbst qualitativ umstritten.

Mit einer Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre wird die atmosphärische Gegenstrahlung verstärkt, mit der Folge einer Temperaturerhöhung der unteren Luftschichten. Bei einer Verdoppelung der jetzigen CO₂-Konzentration wird i.a. mit einer Temperaturerhöhung von etwa 2°C gerechnet /vgl. NIEHAUS (1975)/. Globale Temperaturerhöhungen beinhalten das Risiko von Klimaänderungen im globalen Ausmaß, ohne daß dieser Einfluß bisher quantitativ faßbar wäre.

Für die Darstellung der Konsequenzen des Energiesystems bezüglich der CO₂-Produktion ergibt sich, daß eine grobe Abschätzung der CO₂-Konzentration

der vorliegenden Aufgabenstellung am ehesten entspricht. Hierbei wird die CO_2 -Konzentration durch Verteilung der Emission auf das der Fläche Baden-Württembergs zuzurechnende Volumen der Atmosphäre bestimmt (vgl. hierzu die Ausführungen für die globale Wirkung von Radionukliden in Abschn. 3). Eine Absorption in den Weltmeeren sowie in der Biomasse wird außer Betracht gelassen, da die quantitativen Auswirkungen dieser Mechanismen sehr umstritten sind /vgl. STUMM (1976)/. Da somit keine Abbau-mechanismen berücksichtigt werden, ist die Bestimmung einer Gleichgewichtskonzentration, wie für die Radionuklide, nicht möglich. Der Indikator stellt vielmehr die maximal zu erwartende jährliche Zunahme der CO_2 -Konzentration dar, unter der Annahme, daß weltweit die gleiche Emissionsdichte vorliegt wie in Baden-Württemberg.

Die Formel lautet:

$$(4.1) \quad \dot{c} = \frac{Q}{M_{\text{BW}}} \cdot \frac{\text{MG}_{\text{Luft}}}{\text{MG}_{\text{CO}_2}} \cdot \frac{1}{3} \cdot 10^6 \text{ (ppm/a)}$$

mit Q : CO_2 -Emission in t/a
 M_{BW} : Masse der Lufthülle über Baden-Württemberg in t
 MG_{Luft} : Molekulargewicht der Luft (27)
 MG_{CO_2} : Molekulargewicht von CO_2 (44)

Der Faktor $1/3$ ist das Verhältnis der Festlandoberfläche zur gesamten Erdoberfläche.

Die heizwertbezogenen Emissionsfaktoren sind nach /NIEHAUS (1975)/:

Rhein. Braunkohle	3.38 t CO_2 /t SKE
Steinkohle	2.75 t CO_2 /t SKE
Erdöl	2.19 t CO_2 /t SKE
Erdgas	1.88 t CO_2 /t SKE

Bei der Verbrennung von 10^7 t SKE Steinkohle errechnet sich z.B. eine Steigerungsrate von 15.7 ppm/a. Zum Vergleich betrug der Primärenergieverbrauch in Baden-Württemberg 1975 etwa $4 \cdot 10^7$ t SKE.

Die Indikatorwerte wären etwa um den Faktor 10 kleiner, wenn man den Baden-Württemberg "zustehenden" Anteil der Atmosphäre nicht entsprechend der Fläche sondern entsprechend der Bevölkerungszahl bestimmte.

Der tatsächliche Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre liegt gegenwärtig bei etwa 0.7 ppm/a. Bei Annahme einer Akkumulation in der Atmosphäre läge er bei 1.7 ppm/a /NIEHAUS (1975)/.

5. Gewässerbelastung durch Verdunstungsverluste

Im Rahmen des nutzwertanalytischen Verfahrens zur Bestimmung der Präferenzstruktur bezüglich verschiedener Konfigurationen eines Energieversorgungssystems wird vereinfachend angenommen, daß die Höhe der Schäden infolge Abwärmefreisetzung (s. Abschn. 7) unabhängig davon ist, welches Medium (Atmosphäre oder Gewässer) erwärmt wird. Damit reduzieren sich die gewässerspezifischen Auswirkungen des Energiesystems im wesentlichen auf die Verdunstungsverluste infolge Kraftwerkskühlung.

Verdunstungsverluste erniedrigen die Wasserführung der Flüsse, wobei folgende Auswirkungen denkbar sind:

- Konzentrationserhöhung von Schadstoffen
- Erniedrigung der Fließgeschwindigkeit mit der Folge der räumlichen Verlagerung von Reaktionsmechanismen in Fließgewässern
- Beeinträchtigung der Schifffahrt auf nicht-gestauten Wasserwegen.

Eine detaillierte Ermittlung derartiger Auswirkungen erfordert die Einbeziehung potentieller Standorte für Kraftwerke, daher ist im Rahmen des Optimierungsmodells die Angabe von Kenngrößen, die wirkungsbezogener sind als die Kenngröße "Verdunstungsverluste", nicht möglich.

Vom Modellansatz her ist der End- bzw. Nutzenergiebedarf vorgegeben /vgl. FÜRNISS et al. (1980)/. Somit ergibt sich eine Variation der Verdunstungsverluste durch

- unterschiedliche Wirkungsgrade der Kraftwerke (in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff)
- Vermeidung von Abwärme durch Kraft-Wärme-Kopplung
- unterschiedliche Kühlverfahren (Naß- oder Trockenkühlung)
- Umfang der Elektrizität für Raumwärme und Warmwasser.

Im Prinzip hängt die Größe der Verdunstungsverluste auch von der Art der Naßkühlung ab, jedoch sind die Unterschiede nicht sehr groß, wie die folgende Aufstellung aus dem Wärmelastplan Main /HESSISCHER MINISTER FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (1973)/ zeigt:

Art der Kühlung	Verdunstungsverlust pro 1000 MW _e	
	konv. Kraftwerk	Kernkraftwerk
Frischwasserkühlung	350 l/s	500 l/s
Ablaufkühlung	450 l/s	600 l/s
geschl. Kreislaufkühlung	550 l/s	700 l/s

Diese Werte sind selbstverständlich nur als überschlägige Angaben zu verstehen.

Zur Bestimmung der Verdunstungsverluste wird angenommen, daß die geschlossene Kreislaufkühlung durchgehend angewendet wird. Unter Einbeziehung der Wirkungsgrade der Kraftwerkstypen ergibt sich eine Proportionalität zwischen den Verdunstungsverlusten und der abzuführenden Wärmemenge. Diese Größe beträgt

$$3.945 \cdot 10^{-8} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \text{ Verdunstungsverlust pro jährlich abzuführenden Wärmemenge in MWh.}$$

Bei reiner Elektrizitätserzeugung ergibt sich die abzuführende Wärme durch Multiplikation der entsprechenden Flußvariablen mit dem Faktor $(1-\eta_i)$, da die Flußvariable als Inputgröße definiert ist.

Bei der Kraft-Wärme-Kopplung wird die abzuführende Wärme vermindert. Der quantitative Zusammenhang zwischen dieser Verminderung und der zugehörigen Fernwärmeerzeugungsvariablen ist durch den Ausdruck $(1-\eta_i) \cdot \frac{\beta_i}{\alpha_i}$ gegeben. Zur Definition der Größen α_i , β_i , η_i s. /FÜRNISS et al. (1980)/, Gln. (2.2) und (2.3).

Ein Beispiel möge das Ausmaß der Verdunstungsverluste verdeutlichen: Sofern die gesamte Elektrizität für Baden-Württemberg im Jahr 1975 durch Kernenergie erzeugt worden wäre, hätte sich (bei geschlossener Kreislaufkühlung) ein Verdunstungsverlust von $2.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ergeben. Der niedrigste Abfluß (NNQ) des Neckar beträgt zum Vergleich $13 \text{ m}^3/\text{s}$, der mittlere $148 \text{ m}^3/\text{s}$.

6. Landinanspruchnahme durch Anlagen der Energiewirtschaft

Energieumwandlungsanlagen stellen allein durch ihre Anwesenheit eine Umweltbeeinträchtigung dar. Sie läßt sich, wenn auch nur sehr grob, durch die in Anspruch genommene Fläche beschreiben. Der Flächenbedarf ergibt sich anhand der folgenden Einflußfaktoren:

- a) **Installierte Leistung von Kraftwerken:** Bei gegebener Elektrizitätsnachfrage ist eine Variation der installierten Leistung nur in beschränktem Umfang möglich, und zwar einerseits durch den Umwandlungswirkungsgrad, zum anderen durch das Auffangen von Lastspitzen durch Pumpspeicherwerke. Die Pumpspeicher stellen aber ebenfalls einen Eingriff in die Landschaft dar. Zwar ist es u.U. möglich, durch Landschaftsgestalterische Maßnahmen eine Verbesserung des Landschaftsbildes sowie der Landschaftsnutzung zu erreichen (z.B. Schluchsee-Werk), jedoch ist dies nicht zwangsläufig der Fall. Angesichts dieser Unwägbarkeiten wird von einem Flächenbedarf für die Kraftwerke ausgegangen, der sich aus der zu installierenden Leistung ohne Pumpspeicherwerke ergeben würde. Als Flächenbedarf für ein Kraftwerk wird die Fläche innerhalb des Kraftwerkszaunes genommen. Der Bedarf für Zufahrtswege sowie die Nutzungseinschränkung in der unmittelbaren Umgebung (Verbot von Wohnbebauung) wird somit nicht erfaßt. Ferner wird unterstellt, daß der Flächenbedarf für eine gewisse Kraftwerksleistung unabhängig von der Art des einzusetzenden Brennstoffs ist.

- b) **Installierte Leistung von Heizkraftwerken und reinen Heizwerken:** Für Heizkraftwerke gilt sinngemäß das gleiche wie für die Kraftwerke. Zusätzlich ist aber zu beachten, daß aufgrund des verminderten elektrischen Wirkungsgrades die installierte Leistung entsprechend zu erhöhen ist, so daß hierdurch eine zusätzliche Beeinflussung des Flächenbedarfs erfolgt. Bezogen auf die maximale elektrische Leistung wird gleicher Flächenbedarf für Heizkraftwerke und Kraftwerke unterstellt.

Reine Heizwerke stellen einen zusätzlichen Flächenbedarf dar. Dieser wird über die der Wärmeleistung entsprechenden elektrischen Leistung abgeschätzt.

- c) Raffinerien und Crackanlagen: Während ein gewisser Bedarf an Raffinerieanlagen durch den Energiebedarf für den Transportsektor fest vorgegeben ist, ergeben sich durch die Versorgungsalternativen für die anderen Bedarfssektoren Variationsmöglichkeiten für den Flächenbedarf. Der Flächenbedarf für Crackanlagen wird, bezogen auf den Energiedurchsatz, als genauso groß angenommen wie für die Rohöldestillation. Im übrigen gilt für die Bestimmung des Flächenbedarfs das gleiche wie bei den Kraftwerken.
- d) Für die Alternative der Braunkohlenverstromung wird auch der Flächenbedarf für den (oberirdischen) Abbau berücksichtigt. Da die Braunkohlenfelder außerhalb Baden-Württembergs im dichter besiedelten Bundesland Nordrhein-Westfalen liegen, ist die resultierende Beeinträchtigung entsprechend höher einzuschätzen. Das heißt, der Flächenbedarf des Braunkohlentagebaus geht mit dem Verhältnis der Bevölkerungsdichten gewichtet in die Indikatorberechnung ein (das gleiche gilt bei Standorten von Umwandlungsanlagen außerhalb Baden-Württembergs, vgl. Abschn. 2.5.4).

Bei der Bestimmung des Flächenbedarfs für die Braunkohlenförderung ist zu beachten, daß

- ein Braunkohlenfeld schrittweise abgebaut wird (damit ist z.B. beim Beginn der Kohleförderung nur ein geringer Teil des Feldes anderen Nutzungen entzogen),
- eine Rekultivierung des Gebiets erfolgt, die aber erst einige Zeit nach Beendigung der Förderung abgeschlossen wird (damit ist eine Nutzungseinschränkung auch über den Zeitraum des Kohleabbaus hinaus gegeben).

Nutzungseinschränkungen vor dem Aufschluß eines Braunkohlenfeldes (insbes. Einschränkung von baulichen Maßnahmen) sowie landschaftsgestalterische Maßnahmen im Rahmen der Rekultivierung gehen in die Berechnung des Indikatorwerts nicht ein.

Der Flächenbedarf für die Gewinnung der übrigen Primärenergieträger wird außer acht gelassen. Dies gilt insbesondere für die Sonnenenergienutzung zu Heizzwecken, da die Kollektoren i.a. auf Dächern installiert sind. Desgleichen wird die Landinanspruchnahme durch Transportanlagen, z.B. Stromleitungen, nicht einbezogen. Bei der Einführung der Stromerzeugung mittels Solarenergie in das Modell müßte der Landbedarf dieser Option berücksichtigt werden.

Der Berechnung des Flächenbedarfs werden folgende Werte zugrunde gelegt:

- Kraftwerke, Heizkraftwerke, Heizwerke: 100 m^2 pro MWe
(Dieser Wert wurde aus Meßtischblättern abgelesen.)
- Raffinerien und Crackanlagen: 11400 m^2 pro 10^6 t Jahresdurchsatz
(/HALBRITTER (1978)/, Tab. 7.1).
- Braunkohlentagebau: 0.37 km^2 pro 10^6 t SKE/a
(Berechnet als zeitlich gemittelte Flächeninanspruchnahme aus den Angaben für den Tagebau Bergheim in /ANONYMUS (1978)/:
Kohleinhalt: $229 \cdot 10^6$ t, Beginn des Aufschlusses: Ende 1984, Ende der Förderung: 1995, Ende der Rekultivierung: 2001.)

7. Erläuterungen zum Indikator "Gesamtwirkungsgrad"

Das Optimierungsmodell für das Energieversorgungssystem Baden-Württembergs geht von vorgegebener Nutz- bzw. Endenergienachfrage aus /FÖRNISS et al. (1980)/. Daher ist der Gesamtwirkungsgrad des Energiesystems sowohl ein Indikator für das Ziel "Geringe Abwärmelastung" als auch für das Ziel "Geringer Primärenergieverbrauch". Anzumerken ist, daß der Wirkungsgrad selbst nicht durch eine Linearkombination der Entscheidungsvariablen darstellbar ist (wie es für die Optimierung wünschenswert wäre /FÖRNISS et al. (1980)/), wohl aber der reziproke Wert:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sum_i XP_i}{\sum_j D_j}$$

- XP_i : jährlich umgesetzte Energiemenge des Primärenergieträgers i (z.B. Steinkohle für Elektrizitätserzeugung)
- D_j : Vorgegebene Nachfrage pro Jahr für die End- bzw. Nutzenergiekategorie j (z.B. Energiebedarf für Raumheizung)

Das Ziel "Geringer Primärenergieverbrauch" beschreibt pauschal das Bestreben, sparsam mit den natürlichen Energieressourcen umzugehen. Daß die Aussagekraft des Indikators im Hinblick auf dieses Ziel jedoch nicht überschätzt werden darf, zeigt das Beispiel des Schnellen Brutreaktors (der zur Zeit noch nicht im Modell enthalten ist): Der Indikator könnte bei Realisierung dieser Option denselben Wert annehmen, wie bei der Verwendung von Leichtwasserreaktoren an ihrer Stelle. Offensichtlich ist aber die Reichweite der Ressourcen im ersten Fall wesentlich größer als im zweiten. Andererseits bleibt natürlich auch im Falle des Leichtwasserreaktors das Uran 238 (das im Brutreaktor verwertet wird) als potentielle Energieressource erhalten.

Der Verbrauch regenerierbarer Ressourcen wird bei der Indikatorberechnung nicht als Primärenergieverbrauch gewertet. Dies ist sinnvoll sowohl im Hinblick auf die Ressourcenschonung als auch im Hinblick auf die Abwärmelastung (die unabhängig von der Nutzung der regenerierbaren Ressourcen ist). Zusätzliche Isoliermaßnahmen wirken sich nicht bedarfsmindernd im Sinne dieses Indikators aus, d.h. sie erhöhen den Gesamtwirkungsgrad.

Zur Beurteilung der globalen Folgen von Abwärmelastung gilt sinngemäß das gleiche wie beim Ziel "Geringes Risiko von Klimaänderungen durch CO_2 -Anreicherung in der Atmosphäre". Lokale Auswirkungen der Abwärmelastung sind zwar beobachtbar, sie hängen aber überwiegend von den lokalen Gegebenheiten ab.

8. Index zur Beschreibung der Angebotsvielfalt

Ein eigenständiges Ziel der Energiepolitik ist eine möglichst große Angebotsvielfalt für den Endenergieverbraucher. Dadurch wird nicht nur dem Verbraucher die Annehmlichkeit der Auswahl geboten, sondern es wird dadurch wegen des Konkurrenzprinzips für effizientes Wirtschaften bei der Energieerzeugung gesorgt. Ein zusätzlicher Grund, eine möglichst große Vielfalt an Energieträgern zur Deckung der Endenergienachfrage anzustreben, ist dadurch gegeben, daß kurzfristige Versorgungsstörungen bei einigen wenigen Energieträgern in ihren Auswirkungen leichter abgefangen werden können.

Das Optimum der Versorgungsstruktur ist bei alleiniger Betrachtung der Vielfältigkeit des Endenergieangebots offensichtlich dann gegeben, wenn zur Deckung der jeweiligen Bedarfskategorie alle hierfür vorgesehenen Energiearten mit gleichem Anteil beitragen. Eine Abweichung von dieser optimalen Angebotsstruktur läßt sich durch den folgenden Vielfältigkeitsindex I_V beschreiben, der sowohl die Zahl der wahrgenommenen Versorgungsoptionen als auch deren Anteile berücksichtigt:

$$(8.1) \quad I_V = \frac{1}{\sum_{i=1}^n D_i} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{2(m_i-1)} \cdot \left(\sum_{j=1}^{m_i} \left| \eta_{ji} \cdot X_{ji} - \frac{D_i}{m_i} \right| \right)$$

mit

- D_i : End- bzw. Nutzenergienachfrage der Kategorie i
- n : Anzahl der End- bzw. Nutzenergiekategorien, bei denen mehr als eine Möglichkeit zur Deckung vorgesehen ist
- m_i : Anzahl der möglichen (d.h. vom Energieversorgungssystem her vorgesehenen) Energieträger zur Deckung der Bedarfskategorie i ($m_i > 1$).
- X_{ji} : jährlicher Energiefluß des Energieträgers j für die Bedarfskategorie i .
- η_{ji} : Wirkungsgrad des Energieträgers j bezüglich der Bedarfskategorie i .

Der Index hat den Wert $I_V=0$ bei optimaler Angebotsstruktur. Bei Monopolstruktur, bei der jede Bedarfskategorie durch jeweils nur eine Energieart versorgt wird, beträgt $I_V = 1$.

Der Verlauf des Index I_V in Abhängigkeit von der Angebotsstruktur lässt sich am übersichtlichsten an Beispielen zeigen, wo nur eine Nachfragekategorie vorliegt:

$$I_V^{(1)} = \frac{1}{D} \cdot \frac{m}{2(m-1)} \sum_{j=1}^m \left| \eta_j \cdot x_j - \frac{D}{m} \right|$$

Mit

$$x_j' = \frac{x_j \cdot \eta_j}{D}$$

und Ordnung der x_j' in absteigender Reihenfolge lässt sich der obige Ausdruck umformen zu:

$$I_V^{(1)} = \frac{m}{m-1} \left[\left(\sum_{j=1}^{m'} x_j \right) - \frac{m'}{m} \right]$$

mit

$$m': \text{Anzahl der } x_j' \geq \frac{1}{m}$$

In dieser Formulierung tauchen nur die Anzahlen m und m' sowie die Summe der $x_j' \geq \frac{1}{m}$ auf. Folgende Fälle lassen sich durch einfache Ausdrücke darstellen:

a) Sämtliche $x_j' < \frac{1}{m}$ sind Null.

Dann gilt

$$I_V^{(1)} = \frac{m-m'}{m-1}$$

- b) Es gibt nur ein $x_j^i \geq \frac{1}{m}$ (wegen der Ordnung der x_j^i in absteigender Reihenfolge ist dies x_1^i):

$$I_V^{(1)} = \frac{m}{m-1} \left(x_1^i - \frac{1}{m} \right)$$

Bei vorgegebenen m und m' stellt dieser Ausdruck die untere Grenze des Vielfältigkeitsindex dar.

Für die Fälle $m = 5$ und $m = 10$ zeigt Abb. 8.1 den Verlauf des Vielfältigkeitsindex als Funktion der Anzahl m'' von Energieformen, die einen von Null verschiedenen Beitrag zur Bedarfsdeckung leisten. Folgende Konstellationen wurden untersucht:

1. Alle m'' Anteile mit $x_j^i \neq 0$ tragen in gleichem Umfang zur Bedarfsdeckung bei, d.h.

$$x_j^i = \frac{1}{m''} \text{ für } j=1, \dots, m''$$

$$x_j^i = 0 \text{ für } j = m''+1, \dots, m$$

2. Ein x_j^i decke den Bedarf zu 50 %, die restlichen $x_j^i \neq 0$ decken den verbleibenden Bedarf zu gleichen Anteilen:

$$x_1^i = 0.5$$

$$x_j^i = \frac{0.5}{(m''-1)} \text{ für } j=2, \dots, m''$$

$$x_j^i = 0 \text{ für } j = m''+1, \dots, m$$

3. Entsprechend Fall 2, jedoch mit 80 %-Bedarfsdeckung durch x_1^i , d.h.

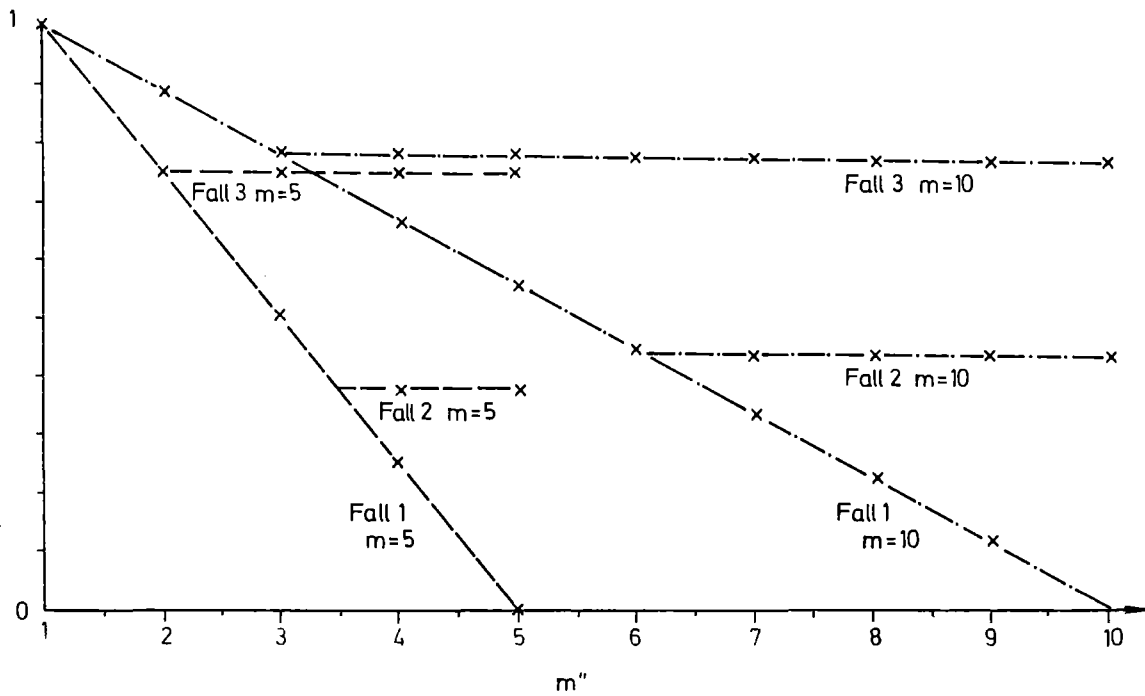
$$x_1^i = 0.8$$

$$x_j^i = \frac{0.2}{(m''-1)} \text{ für } j=2, \dots, m''$$

$$x_j^i = 0 \text{ für } j = m''+1, \dots, m$$

Die Fälle 2 und 3 sind natürlich nur sinnvoll für $m'' \geq 2$.

Abbildung 8.1: Verlauf des Vielfältigkeitsindex für ausgewählte Fälle



Die Verwendung des nichtlinearen Indikators (8.1) in der Zielfunktion eines linearen Optimierungsprogramms bereitet keine Schwierigkeiten, da sich die Betragsfunktion $|x-a|$ durch den Ausdruck $(-x_1 + x_2 + a)$

mit $x_1 + x_2 = x$

$$x_1, x_2 \geq 0, x_1 \leq a$$

ersetzen läßt, wenn ein möglichst kleiner Wert der Betragsfunktion angestrebt wird. Das heißt, das nichtlineare Problem kann man in ein lineares mit einigen zusätzlichen Nebenbedingungen transformieren.

9. Indikator für die Unfallträchtigkeit des Energiesystems

Auswirkungen des Energiesystems auf die menschliche Gesundheit sind bereits durch die Schadstoff- und radiologischen Belastungen erfaßt worden (Abschn. 2 und 3). Diese Arten der Gefährdung zeichnen sich insbesondere dadurch aus, daß

- die Belastungen als unfreiwillig anzusehen sind,
- die Folgen relativ gleichmäßig über die Bevölkerung verteilt sind,
- die Folgen i.a. nicht in einem unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang zur Immissionskonzentration stehen (Langzeitwirkung).

Durch die vorgesehenen Alternativen des Energiesystems ergibt sich zusätzlich eine mehr oder minder große Gefährdung durch Unfälle und Berufskrankheiten der in der Energiewirtschaft Beschäftigten. Jedoch ist hierbei die Schwankungsbreite relativ gering im Vergleich zur Unfallträchtigkeit, die bereits dadurch fest vorgegeben ist, daß eine Alternative zum Individualverkehr im Modell nicht vorgesehen ist /FÜRNISS et al. (1980)/.

Als Indikator für die Unfallträchtigkeit wird die zu erwartende Zahl der Unfalltoten sowie der Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang herangezogen. Hierdurch ergibt sich ein deutlicher Kontrast zu den gesundheitlichen Folgen von Umweltbelastungen, die ganz bewußt nur durch eine verursachende

Größe (die Immissionskonzentration) charakterisiert werden (s. Abschn. 2.1). Die Zahl der Unfalltoten eignet sich hier deshalb gut als Indikator, weil sie für verschiedene Unfallursachen aus den entsprechenden Statistiken entnommen werden kann und so eine Vergleichbarkeit bezüglich der verschiedenen Modellvarianten begünstigt wird.

Bei der Bewertung des Ziels "Geringe Unfallträchtigkeit des Energiesystems" gegenüber anderen Zielen mittels des nutzwertanalytischen Verfahrens (s. Teil II) geht es trotz des Indikators "Unfalltote und Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang" nicht darum, Todesfälle gegen andere Auswirkungen des Energiesystems abzuwägen (z.B. Umrechnung eines Todesfalles in Geldeinheiten). Vielmehr sollen unterschiedliche Ausprägungen der Unfallträchtigkeit (inklusive nichttödliche Unfälle) und der Arbeitsplatzbelastung gegenüber denen von anderen Zielen bewertet werden.

Eine Beeinflussung des Indikators erfolgt hauptsächlich durch

- Unfalltote und Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang im Steinkohlenbergbau
- Unfalltote im Straßenverkehr durch Heizöltransporte

Demgegenüber bewirken Substitutionen in anderen Bereichen des Energiesystems nur geringfügige Änderungen des Indikatorwertes.

Diese Aussage ist in Übereinstimmung mit einer ausführlichen Untersuchung des Battelle-Instituts /BATTELLE (1976)/ über die Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz bei verschiedenen Technologien der Stromerzeugung. Sie nennt folgende Werte für die zu erwartenden Unfalltoten und Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang:

Tabelle 9.1: Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten mit Todesfolge für eine Stromerzeugung von 1 TWh in einem 1200 MW_e - Kraftwerk (nach /BATTELLE (1976)/).

Arbeitsprozeß	Primärenergieträger			
	Steinkohle	Braunkohle	Erdöl/Erdgas	Kernbrennstoff
Gewinnung	0.654	0.04	0,004	0.028
Aufarbeitung	-	-	0.001	0.0002
Transport	0.112	-	0.052	0.0001
Kraftwerksbau	0.014	0.014	0,010	0.017
Kraftwerksbetrieb	0.005	0.005	0.004	0.0014
Wiederaufarbeitung	-	-	-	0.0002
Abfallbeseitigung	0.020	0.024	-	0.0003
Summe	0.805	0.083	0.071	0.047
%	100 %	10 %	9 %	6 %

Will man diese Zahlen für die Indikatorberechnung benutzen, müssen sie zunächst in Beziehung gesetzt werden zu

- der Arbeitsintensität für die Stromerzeugung bei den verschiedenen Primärenergieträgern,
- dem Unfallrisiko, das im Mittel in der gewerblichen Wirtschaft herrscht.

Die in der Tabelle aufgeführten Werte sind die Produkte aus der Arbeitsintensität (geleistete Arbeitsstunden) und der Unfallquote (Unfalltote pro geleisteter Arbeitsstunde) für die jeweiligen Arbeitsprozesse und Energieträger. Betrachtet man zwei unterschiedliche Konfigurationen eines Energieversorgungssystems, mit gleicher Unfallquote aber unterschiedlicher Arbeitsintensität, so wäre bei einfachem Vergleich der Unfallzahlen offenbar das mit der niedrigeren Arbeitsintensität das günstigere. Nun ist aber

zu bedenken, daß ein Teil der Beschäftigten, die im arbeitsintensiveren Fall in der Energiewirtschaft einen Tätigkeit ausüben, im anderen Fall in den übrigen Wirtschaftssektoren beschäftigt, und somit auch einem Unfallrisiko ausgesetzt wäre. Läge dieses Risiko nun höher als das in der Energiewirtschaft, wäre unter gesamtwirtschaftlichen (wie auch unter individuellen Gesichtspunkten) das arbeitsintensivere Energiesystem zu bevorzugen (wobei arbeitsmarktpolitische Aspekte in Zeiten von Arbeitsplatzmangel noch nicht einmal berücksichtigt sind).

Aus diesem Grunde ist es sinnvoller, den spezifischen Beitrag eines Umwandlungsprozesses i zum Indikatorwert durch folgenden Ausdruck festzulegen:

$$(9.1) \quad (q_i - q_0) \cdot I_i$$

mit

q_i : gemittelte Unfallquote für die Umwandlung eines Energieträgers in Elektrizität (Tote/Arbeitsstunde)

q_0 : mittlere Unfallquote aller gewerblichen Berufsgenossenschaften

I_i : Arbeitsintensität (Arbeitsstunden/MWh_e)

Anhand der in /BATELLE (1976)/ auch angegebenen Arbeitsintensitäten läßt sich errechnen, daß die Unfallquoten für die Stromerzeugung durch Braunkohle, Erdöl/Erdgas und Kernbrennstoff praktisch gleich der mittleren Unfallquote q_0 im Vergleichsjahr 1973 sind /BMAS (1977)/. Daher ist bei der Stromerzeugung nur im Fall des Primärenergieträgers Steinkohle ein erhöhtes Unfallrisiko zu beachten.

Eine Aufschlüsselung der Unfallzahlen für die Steinkohle nach Tabelle 9.1 zeigt, daß die Arbeitsprozesse ohne Förderung einen Beitrag von 19 % liefern. Dieser Wert entspricht der zu erwartenden Zahl von Unfalltoten in der gewerblichen Wirtschaft, wenn er auf sämtliche Arbeitsstunden für die Strom-

erzeugung aus Steinkohle bezogen wird, also inklusive derjenigen für die Förderung. Insofern ist das zusätzliche Risiko durch die Unfalltoten und Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang für die Steinkohlenförderung bestimmbar. Aus den Daten für das Jahr 1976 ergibt sich eine Unfallquote von 1.83 Toten pro 10^6 t geförderter Steinkohle.

Für eine Einschätzung der bisher aufgeführten Zahlen und Sachverhalte sind folgende Angaben von Interesse:

- Knapp 30 % der Unfalltoten, für die die Berufsgenossenschaften Entschädigung zahlen, entfallen auf Wegeunfälle, d.h. Unfälle, die auf dem Weg zur bzw. von der Arbeitsstätte erfolgen und somit keinen unmittelbaren Bezug zur ausgeübten Tätigkeit haben. Dieser Anteil ist sinnvollerweise in den obigen Zahlen nicht enthalten.
- Aus dem Unfallverhütungsbericht 1976 /BMAS(1977)/ geht u.a. hervor, daß die Bergbau-Berufsgenossenschaft eine Zahl von 813 Arbeits-Unfalltoten und Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang pro Mio. Vollarbeiter und Jahr aufweist. Diese Quote wird nur von der Binnenschiffahrts- und der See-Berufsgenossenschaft übertroffen (1237 bzw. 823 Tote pro Mio. Vollarbeiter und Jahr). Mit deutlichem Abstand folgt die Tiefbau-Berufsgenossenschaft an der vierten Stelle mit 411 Toten, die Quote für die gewerblichen Berufsgenossenschaften insgesamt beläuft sich auf 117 Tote pro Mio. Vollarbeiter und Jahr. Dieses zeigt, daß der Untertagebergbau trotz erheblicher Anstrengungen für Sicherheitsvorkehrungen auch heute noch als vergleichsweise gefahrenträchtiger Arbeitsbereich anzusehen ist (wobei die Quote von 813 Toten den weniger gefahrenträchtigen Bereich des Braunkohlenbergsbaus mit enthält und somit eine Unterschätzung darstellt).

Angesichte dieser Tatbestände für das Unfallrisiko am Arbeitsplatz erscheint es gerechtfertigt, die zusätzlichen Unfallrisiken für sämtliche Arbeitsprozesse bis auf die der Steinkohlenförderung zu vernachlässigen.

Weitere Unfallrisiken sind im Zusammenhang mit dem Energiesystem durch die Risiken bei der Endenergienutzung sowie bei der Verteilung von Mineralölprodukten gegeben. Im letztgenannten Fall besteht das Risiko praktisch ausschließlich aus Verkehrsunfällen, so daß zwar als Ursache ein "Energieumwandlungsprozeß" anzusehen ist, die Folgen jedoch nur zum geringen Teil unter Arbeitsunfällen aufgeführt sind.

Der Beitrag der Mineralölverteilung zum Indikatorwert läßt sich aus folgenden Daten überschlägig ermitteln (Bezugsjahr 1976, soweit nichts anderes vermerkt, sind sie der Quelle /STATISTISCHES BUNDESAMT (1977)/ entnommen):

Verkehrsunfalltote in der Bundesrepublik Deutschland:	14 804
Unfallbeteiligung an Unfällen mit Personenschäden:	
Motorfahrzeuge gesamt:	576 056 Unfälle
davon Güterkraftfahrzeuge:	46 977 Unfälle
Geleistete Tonnenkilometer des LKW-Verkehrs (Nah- und Fernverkehr, 1970)	$79\,491 \cdot 10^6$
davon für Mineralöltransport /STATISTISCHES BUNDESAMT (1972, 1973)/:	$5\,684 \cdot 10^6$
Verbrauch an Mineralölprodukten (1970):	$105.4 \cdot 10^6$ t
Hieraus ergibt sich die Quote von	$0.81 \text{ Tote}/10^6 \text{ t Mineralölverbrauch.}$

Da leichtes Heizöl im Vergleich zum schweren Heizöl und zum Benzin- bzw. Dieselkraftstoff häufig in kleineren Fahrzeugen transportiert wird, dürfte die Unfallquote hierfür deutlich höher liegen. Mangels entsprechender aufgeschlüsselter Daten für den Transport von Erdölprodukten wird angenommen, daß bei allen Mineralölprodukten der gleiche Prozentsatz per Straße transportiert wird. Ferner werden die Verkehrsunfalltoten für Mineralöltransporte allein den Transporten von leichtem Heizöl zugerechnet, d.h. die

Unfallquote für Kraftstoff- und Heizöl-S-Transporte wird als vernachlässigbar angesehen. (Durch diese Annahmen ergibt sich eine eher pessimistische Abschätzung für die Toten pro Heizöl-EL-Verbrauch). Entsprechend dem Anteil von Heizöl-EL an der Produktausbeute von Rohöl in Höhe von 33 % errechnet sich eine Quote von 2.4 Tote pro 10^6 t entsprechend 0.21 Tote pro 10^6 MWh Heizöl-EL-Verbrauch. (Dieser Wert gilt nur für die Verteilung von leichtem Heizöl zur Deckung des Niedertemperaturbedarfs. Bei teilweiser oder vollständiger Deckung des Hochtemperaturbedarfs (industrielle Verbraucher) ist die Unfallquote ebenfalls als vernachlässigbar anzusehen.)

Das weitaus überwiegende Unfallrisiko bei der Endenergienutzung besteht aus Verkehrsunfällen, die jedoch durch Entscheidungsvariable des Modells (beim gegenwärtigen Ausbaustand) nicht beeinflussbar sind. Die Zahl der Verkehrsunfalltoten im Jahre 1976 lautete für Baden-Württemberg 2 148 Tote /STATISTISCHES BUNDESAMT (1977)/.

Hiervon ist, entsprechend dem Verbrauch an leichtem Heizöl /MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, MITTELSTAND UND VERKEHR DES LANDES BADEN-WÜRTTEMBERG (1977)/ die Anzahl von 14.4 zu subtrahieren (siehe oben). Bei Variation des Nutzenergiebedarfs für den Sektor "Verkehr" wird im Modell ein proportionales Verhalten für die Zahl der Verkehrsunfalltoten unterstellt. Die obige Zahl bezieht sich auf einen Nutzenergiebedarf von $15 \cdot 10^6$ MWh (nach /FURNISS et al. (1980)/).

Die Unfälle mit Todesfolgen im häuslichen Bereich sind für Baden-Württemberg zwar aufgeschlüsselt worden /STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1972, 1973)/ jedoch gestattet die Klassifizierung keine eindeutige Zuordnung zu Energieträgern. Am ehesten ist dies noch für Elektrizität möglich, wobei aber Brände infolge defekter Geräte bzw. Installationen nicht enthalten sind.

Vereinfachend wird daher angenommen, daß der Beitrag zum Unfallrisiko, der durch das Energiesystem manipulierbar ist, sich durch Todesfälle beim Umgang mit Elektrizität sowie durch Erdgas ergibt. Beim Erdgas dürfte dabei

aufgrund von Undichtigkeiten im Leitungsnetz gegenüber anderen Energieträgern für die Raumheizung (wie Heizöl oder Fernwärme) ein erhöhtes Risiko zu erwarten sein. Es wird, mangels verfügbarer Unterlagen zur Bestimmung dieses Risikos, unterstellt, daß Erdgas das gleiche Risiko aufweist wie die Elektrizität, bezogen auf einen gleich großen Nutzenergiebedarf. Die Unfallquote errechnet sich aufgrund der Angaben in /STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (1972, 1973)/ sowie der Energiebilanz Baden-Württemberg /MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, MITTELSTAND UND VERKEHR DES LANDES BADEN-WÜRTTEMBERG (1977)/ zu 0.53 Unfalltoten pro 10^6 MWh.

10. Indikatoren für das Ziel "Versorgungssicherheit"

Das Ziel "Versorgungssicherheit", das sich auf die Versorgung mit Primärenergieträgern bezieht, wird unterteilt in

- kurzfristige Versorgungssicherheit
(Sicherstellung der Primärenergieversorgung für ca. 1/2 Jahr)
- mittelfristige Versorgungssicherheit (Sicherstellung für einen Zeitraum der ungefähr den Lebensdauern der Energieumwandlungsanlagen entspricht, dies sind etwa 20-30 Jahre).

Die langfristige Versorgungssicherheit ist bereits durch den Indikator "Gesamtwirkungsgrad" (s. Abschnitt 7) abgedeckt. Hierunter fallen die Aspekte einer globalen Verknappung an Energieträgern.

Das Ziel der mittelfristigen Versorgungssicherheit läßt sich dadurch abgrenzen, daß die zu erwartenden Auswirkungen einer Importabhängigkeit bzw. einer Aufzehrung von einheimischen Energieträgern in dieses Ziel eingehen müssen. Als Indikator dient der prozentuale Anteil des End- bzw. Nutzenergiebedarfs, der von Importen abhängt. Die Berechnung dieses Indikators aus den Entscheidungsvariablen des Energieversorgungsmodells /s. FÜRNISS et al.

(1980)/ erfolgt unter der Annahme, daß 100 % des Kohlebedarfs (Stein- und Braunkohle) und 50 % des Gasbedarfs durch einheimische Energien gedeckt werden. Kernbrennstoff und Erdöl werden als vollständig zu importierende Primärenergieträger behandelt. Die Solarenergie, die von Wärmepumpen genutzte Umweltenergie und die durch zusätzliche Isolierung eingesparte Energie werden als einheimische Energien gewertet. Dies erschwert etwas die Einschätzung der Konsequenzen, die mit einem bestimmten Indikatorwert verbunden sind, denn eine Erniedrigung des Indikatorwerts durch zusätzliche Isolierung wird i.a. anders bewertet als eine Erniedrigung, die z.B. durch Substitution von Öl durch Kohle erreicht wird. Ähnliche Probleme ergeben sich aber auch bei anderer Definition des Indikators (z.B. als Importanteil am Primärenergieverbrauch).

Eine gewisse Schwierigkeit bei der Indikatorberechnung bringen die Verluste bei Pumpspeicherwerken mit sich, weil die Variablen, die den Strom für die Pumpspeicherwerke beschreiben, nicht erkennen lassen, ob die entsprechende Primärenergie importiert wurde (s. FÜRNISS et al. (1980), p. 54). Diese Schwierigkeit ließe sich zwar durch Einführung neuer Variabler beheben, angesichts der geringen Bedeutung dieser Umwandlungsoption (s. FÜRNISS et al. (1980)) wurde jedoch einfach angenommen, daß bei der gespeicherten Energie die Hälfte aus Importen stammt.

Die kurzfristige Versorgungssicherheit für Primärenergieträger läßt sich durch die wirtschaftlichen Risiken einer kurzfristigen Verknappung, z.B. durch Embargos oder Streiks, quantifizieren. Als Indikator dienen die Vermeidungskosten für dieses Risiko, das sind die Kosten für die Bevorratung von Energieträgern, um einen gewissen Zeitraum überbrücken zu können. Als Basis des Bevorratungszeitraums wird 1/2 Jahr zugrundegelegt (die gesetzlichen Bestimmungen für Erdöl-Bevorratung gehen von 1/4 Jahr aus).

Als Bevorratungskosten (für 1/2 Jahr) gehen die folgenden Werte in das Optimierungsmodell ein: /SCHMIDT (1975), BRACHETTI (1977)/

Erdöl: 12.5 DM / t SKE Rohölbedarf.

Gas: 0.96 DM / t SKE Gasbedarf.

(Beim Wert für die Gasbevorratung ist berücksichtigt worden, daß der nicht zu bevorratende Anteil an einheimischer Energie 50 % beträgt.) Bevorratungskosten für die weiteren potentiellen Energieträger, Kohle und Uran, werden nicht in Betracht gezogen. Für Kohle deshalb nicht, weil sie als einheimischer Energieträger unempfindlich gegen Embargos ist (die Kohlehalden existieren in erster Linie wegen Absatzschwierigkeiten). Für Uran sind die Bevorratungskosten pro Energieeinheit als vernachlässigbar gegenüber den oben aufgeführten Energieträgern anzusehen.

11. Literatur

ANONYMUS

Von den Unternehmen: Rheinische Braunkohlenwerke A.G.,
Köln
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 28, (1978), S. 525-529

BATTELLE

Untersuchungen über die technischen, organisatorischen
und gesellschaftlichen Voraussetzungen für Risikostrategien
im Bereich technologischer Entwicklung. Vergleich der Gesund-
heitsgefährdung bei verschiedenen Technologien der Stromer-
zeugung
BF-R-62.530, Zwischenbericht 200/1, Batelle-Institut
Frankfurt/Main 1976

BMAS (BUNDESMINISTER FÜR ARBEIT UND SOZIALORDNUNG)

Bericht der Bundesregierung über den Stand der Unfallverhütung
und das Unfallgeschehen in der Bundesrepublik Deutschland
(Unfallverhütungsbericht)
Bundestagsdrucksache 8/1128
Bonn 1977

BMI (BUNDESMINISTER DES INNERN)

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutz-
gesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft-TA-Luft-)
Gemeinsames Ministerialblatt, Ausgabe A, 24, S. 425-452
Bonn 1974

BRACHETTI, H.

Untertagespeicher Frankenthal
GWf-Gas/Erdgas 118 (1977), S. 472-476

DENNIS, R.L.

The Smeared Concentration Approximation Method:
A Simplified Air Pollution Dispersion Methodology
für Regional Analysis
Research Report 78-9,
International Institute for Applied Systems Analysis
Laxenburg, Österreich 1978

DOLINSKI, U. und ZIESING, H.J.

Die Entwicklung des Energieverbrauchs in Baden-Württemberg und seinen
12 Regionalverbänden bis zum Jahre 1990
Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und
Verkehr des Landes Baden-Württemberg
DIW, Berlin 1974

FAUDE, D., BAYER, A., HALBRITTER, G., SPANNAGEL, G., STEHFEST, H. und
WINTZER, D.

Energie und Umwelt in Baden-Württemberg
Bericht KfK 1966 UF
Kernforschungszentrum Karlsruhe 1974

FIALA, P. und STEHFEST, H.

Überblick über Methoden der linearen Vektoroptimierung
Bericht KfK 2795
Kernforschungszentrum Karlsruhe 1979

GEIGER, B., LAYER, G., PETER, U., RUDOLPH, M., SCHÄFER, H.

Energiewirtschaft und Umweltbeeinflussung in der BRD
Forschungsstelle für Energiewirtschaft und Institut für Energiewirtschaft
und Kraftwerkstechnik der TU
München 1974

FURNISS, B., SCHULZ, V. und STEHFEST, H.

Optimierung des Energieversorgungssystems von Baden-Württemberg bei mehr-
facher Zielsetzung
Bericht KfK 2978/I
Kernforschungszentrum Karlsruhe 1980

HALBRITTER, G. (Hrsg.)

Konsequenzen des großtechnischen Einsatzes der Kernenergie in der Bundes-
republik Deutschland, Teil IV:
Umweltauswirkungen von Kernkraftwerken und Anlagen des kerntechnischen
Brennstoffkreislaufs
Bericht KfK 2704
Kernforschungszentrum Karlsruhe 1978

HESSISCHER MINISTER FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT (Hrsg.)

Wärmelastplan Main
Hessischer Minister für Landwirtschaft und Umwelt
Wiesbaden 1973

HUSAR, R.B. et al. (Hrsg.)

Proceedings of the Conference
"Sulphur in the Environment"
Dubrovnik (Yugoslavia), 7.-14. Sept. 1977
Atmospheric Environment 12 (1978), S. 1-796

LAHMANN, E., SANKOWSKY, G. und FETT, W.

Gutachten über die lufthygienischen Auswirkungen der geplanten Erweiterung
der Raffinerie der Oberrheinischen Mineralölwerke in Karlsruhe (im Auftrag
des Regierungspräsidiums Nordbaden)
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
Berlin-Dahlem 1972

LASKUS, L.

Untersuchung der Korngrößenverteilung des atmosphärischen Staubes in Boden-
nähe
Staub-Reinhaltung der Luft 37 (1977), S. 299-306

MAGS (MINISTER FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES) NORDRHEIN-WESTFALEN
(Hrsg.)

Emissionskataster Köln
MAGS Nordrhein-Westfalen
Düsseldorf 1972

MAGS NORDRHEIN-WESTFALEN

Verwaltungsvorschriften zum Genehmigungsverfahren nach §§ 6, 15
Bundesimmissionsschutzgesetz für Mineralölraffinerien und petro-
chemische Anlagen zur Kohlenwasserstoffherstellung
- Raffinerie-Richtlinie -
MAGS Nordrhein-Westfalen
Düsseldorf 1975

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, MITTELSTAND UND VERKEHR DES LANDES
BADEN-WÜRTTEMBERG

Energiebilanz 1975
Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr
Stuttgart 1977

NIEHAUS, F.

Langzeitaspekte der Umweltbelastung durch Energieerzeugung:
CO₂ und H₂³
Bericht Jül-1165
Kernforschungsanlage Jülich 1975

RODHE, H.

A study of the sulphur budget for the atmosphere over
Northern Europe
Tellus XXIV (1972), S. 128-138

SCHMIDT, F.

Die Grenze der Belastbarkeit ist erreicht
OeI 13 (1975), S. 223-225

SCHULZ, V. und SCHUCH, P.G.

Untersuchung der Einflußgrößen auf die Kfz-bedingten Kohlen-
monoxid-Immissionen in Dortmund
Staub-Reinhaltung der Luft 38 (1978), S. 146-150

STATISTISCHES BUNDESAMT

Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 1973
Kohlhammer, Stuttgart und Mainz 1973

STATISTISCHES BUNDESAMT

Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 1977
Kohlhammer, Stuttgart und Mainz 1977

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG

Statistisches Taschenbuch 1972 Baden-Württemberg
Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
Stuttgart 1972

STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG
Statistisches Taschenbuch 1973 Baden-Württemberg
Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
Stuttgart 1973

STEHFEST, H.

A Methodology for Regional Energy
Supply Optimization
Research Memorandum 76-57
International Institute for Applied Systems Analysis
Laxenburg, Österreich 1976

STRAUSS, W. (Hrsg.)

Air Pollution Control
Wiley-Interscience, New York 1972

STUMM, W. (Hrsg.)

Global Chemical Cycles and Their
Alterations by Man. Report of the Dahlem Workshop
Berlin 1976, Nov. 15.-19.
Dahlem-Konferenzen, Berlin 1976

TOBLER, W.R.

City Sizes, Morphology, and Interactions
Working-Paper 75-18
International Institute for Applied Systems Analysis
Laxenburg, Österreich 1975

VDI

VDI-Richtlinie 2450:
Messen von Emission, Transmission und Immission luftver-
unreinigender Stoffe (Entwurf der Neufassung)
VDI, Düsseldorf 1977

VGB TECHNISCHE VEREINIGUNG DER GROSSKRAFTWERKS BETREIBER E.V.

VGB-Konferenz Kraftwerk und Umwelt 1975
Essen 1975

WHO (WORLD HEALTH ORGANISATION)

Health Hazards of the Human Environment
WHO, Genf 1972

TEIL II:

BESTIMMUNG VON NUTZENFUNKTIONEN FÜR EIN
REGIONALES ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEM

D. HOCH
V. SCHULZ
H. STEHFEST

Zusammenfassung

Im Rahmen des Vorhabens "Optimierungsmodell für das Energieversorgungssystem von Baden-Württemberg" werden aus der Vielzahl möglicher Versorgungsstrategien anhand unterschiedlicher Zielfunktionen optimale Strategien ausgewählt. Ein dabei betrachteter Zielfunktionstyp ist die sog. Nutzenfunktion, die die Präferenzen über den Konsequenzen energiepolitischer Entscheidungen quantifiziert. Da die Präferenzordnungen subjektiv bedingt sind, sind die zugehörigen Nutzenfunktionen nur durch Befragung zu gewinnen. Dieser Schätzungsprozeß durch Befragen ist Gegenstand des vorliegenden Berichts.

Nach einer Übersicht über die axiomatischen Grundlagen der Nutzentheorie werden die Attribute, mit denen die Konsequenzen der verschiedenen Versorgungsstrategien charakterisiert werden, beschrieben. Ihre Auswahl ist in wesentlich geringerem Maß subjektiv bedingt als die Nutzenfunktion selbst. Danach wird die Befragung und die Bestimmung der analytischen Form der Nutzenfunktion ausführlich diskutiert. Dabei wird weitgehend auf die konkrete Befragung einer Person Bezug genommen, die am energiepolitischen Entscheidungsprozeß des Landes Baden-Württemberg direkt beteiligt ist. In Anhängen werden beispielhaft zwei weitere Nutzenfunktionen mitgeteilt. Abschließend werden einige Einwände gegen den nutzentheoretischen Ansatz bei der Entscheidungsfindung erörtert.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Nutzentheoretische Grundlagen und Voraussetzungen	2
3. Multikriteriale Nutzentheorie	12
4. Auswahl und Detailbeschreibung der Attribute	19
5. Konkrete Ermittlung der Nutzenfunktion	46
5.1 Übersicht und Klärung der Voraussetzungen	46
5.2 Bestimmung der Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers und Überprüfung der Präferenzunabhängigkeit	50
5.3 Bestimmung der Einzelnutzenfunktionen und Überprüfung der Nutzenunabhängigkeit	55
5.4 Die Form und Eigenschaften der Gesamtnutzenfunktion	58
5.5 Bestimmung der Skalierungskonstanten	73
5.6 Zur Überprüfung der Konsistenz	88
5.7 Kurvenanpassung der Einzelnutzenfunktionen und impliziertes Risikoverhalten bei bestimmtem Nutzenfunktionsverlauf	92
6. Kritische Erörterung	98
7. Literaturverzeichnis	102
Anhang A: Berechnung der Attribute aus den Entscheidungsvariablen	105
Anhang B: Indifferenzpaare und Mengen präferenzabhängiger Attribute	108
Anhang C: Einzelnutzenfunktionen sowie Lotterien zu ihrer Bestimmung	113
Anhang D: Beziehung zwischen Attribute-"Synergismus" und dem Vorzeichen der Skalierungskonstanten c in der multiplikativen Nutzenfunktion	118

Anhang E:	Gleichungssystem und Lösungsalgorithmus zur Bestimmung der Skalierungskonstanten c_i in der multiplikativen Nutzenfunktion für maximal 14 Einzelattribute	119
Anhang F:	Bestimmung der Skalierungskonstanten	121
Anhang G:	Rangfolge der Attribute und Konsistenzprüfungen	124
Anhang H:	Nutzenfunktion von V. Schulz	126
Anhang I:	Nutzenfunktion von H. Stehfest	128

1. Einleitung

Im Mittelpunkt des Vorhabens "Optimierung des Energieversorgungssystems von Baden-Württemberg bei mehrfacher Zielsetzung" steht ein lineares Vektoroptimierungsproblem (Fürniß et al. (1980)).

$$\min \{ \underline{z} \mid \underline{z} \in \mathbb{R}^k, \underline{z} = C \cdot \underline{x}, \underline{x} \in \mathbb{R}^n, A \cdot \underline{x} \leq \underline{b}, \underline{x} \geq 0 \} \quad (1.1)$$

In ihm beschreiben die Komponenten von \underline{z} die verschiedenen Aspekte, nach denen das Energiesystem beurteilt wird; sie werden Attribute oder Kriterien genannt. Die Komponenten von \underline{x} sind die Entscheidungsvariablen des Modells. Sie stellen die für die verschiedenen Energieumwandlungsoptionen installierten Leistungen und die durch diese Installationen fließenden jährlichen Energiemengen dar.

Für die Lösung eines solchen Vektoroptimierungsproblems gibt es verschiedene Möglichkeiten, s. Fiala, Stehfest (1979). Eine davon, die für das o.a. Vorhaben ausgewählt wurde, besteht darin, eine sogenannte Nutzenfunktion $u(\underline{z})$ über dem Attributraum zu bestimmen und dann das "Ersatzproblem"

$$\max \{ u(\underline{z}) \mid \underline{z} \in \mathbb{R}^k, \underline{z} = C \cdot \underline{x}, \underline{x} \in \mathbb{R}^n, A \cdot \underline{x} \leq \underline{b}, \underline{x} \geq 0 \} \quad (1.2)$$

zu lösen. Die skalarwertige Funktion $u(\underline{z})$ wird im folgenden immer als streng monoton fallend angenommen. Das bedeutet, daß die Lösung des Ersatzproblems (1.2) immer eine effiziente Lösung des Problems (1.1) ist, s. Fiala, Stehfest (1979).

Die Nutzenfunktion, deren Erwartungswert ein Maß für die konsistente Entscheidungsfindung liefert (s.u.), spiegelt die Präferenzordnung zwischen den Attributen wider, sie ist also subjektiv bedingt. Das bedeutet, daß zu ihrer Bestimmung individuelle Befragungen erforderlich sind. Im vorliegenden Bericht soll dieser Schätzprozeß für die Nutzenfunktionen des eingangs erwähnten energiepolitischen Entscheidungsproblems

beschrieben werden. Dabei wird im Hauptteil ausschließlich auf die Befragung eines am energiepolitischen Entscheidungsprozesses des Landes Baden-Württemberg direkt Beteiligten Bezug genommen. In den Anhängen H und I werden beispielhaft zwei weitere Nutzenfunktionen mitgeteilt. Der vorliegende Bericht ist zum großen Teil identisch mit Kapitel 3 der Diplomarbeit "Mehrfache Zielsetzung bei der Optimierung eines regionalen Energieversorgungssystems" von D. Hoch. Dies erklärt die Ausführlichkeit der Darstellung.

2. Nutzentheoretische Grundlagen und Voraussetzungen

Für die axiomatische Grundlegung der Nutzentheorie gibt es zahlreiche Ansätze, die alle mehr oder weniger auf dem ursprünglichen Konzept von Neumann und Morgenstern aufbauen. Eine Auswahl dieser Ansätze bieten folgende Arbeiten: Luce, Raiffa (1957); Fishburn (1964, 1970); Schneeweiß (1967); Pfanzagl (1968); Krelle (1968); Menges (1969); Gäfgen (1974); Gottinger (1974); Bühlmann et al. (1975); Ferschl (1975); Bamberg, Coenenberg (1977); Kirsch (1977).

Um im folgenden eine möglichst anschauliche und einfache Beschreibung der Nutzenaxiomatik geben zu können, betrachten wir zunächst nur eine auf $Z_1 \subseteq \mathbb{R}$, $l \in \{1, \dots, k\}$ definierte Nutzenfunktion. Die Nutzenfunktion u ordnet also jedem Zielkriterium bzw. Ergebnis z (skalarwertig!) einen Nutzen $u(z)$ zu. Die Aussagen lassen sich allerdings auf Ergebnisvektoren \underline{z} übertragen (vgl. spätere Ausführungen).

Definition 2.1:

Ein einfaches Wahrscheinlichkeitsmaß P auf der Menge Z_1 ist eine reellwertige Funktion, die auf allen Untermengen von Z_1 definiert ist und folgende Eigenschaften besitzt:

- (W1) : $P(A) \geq 0$, für jedes $A \subseteq Z_1$.
- (W2) : $P(Z_1) = 1$.
- (W3) : $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$, wenn $A, B \subseteq Z_1$ und $A \cap B = \emptyset$.
- (W4) : Es gibt eine endliche Menge $H \subseteq Z_1$, so daß $P(H) = 1$ ist.

Unter dem Wahrscheinlichkeitsmaß versteht man also ein Maß für die Neigung eines möglichen Ergebnisses, wirklich einzutreten. (W1) und (W2) sind reine Normierungsvereinbarungen. (W3) ist die sogenannte Additivität von P: Die Wahrscheinlichkeit der Vereinigung zweier disjunkter Teilmengen aus Z_1 ist gleich der Summe der Einzelwahrscheinlichkeiten. (W4) qualifiziert P gerade als einfaches Wahrscheinlichkeitsmaß. Wir haben ja keine Voraussetzungen über die Endlichkeit der Anzahl der Elemente von Z_1 gemacht. Es wird allerdings gefordert, daß es im Falle der Nichtendlichkeit der Elementanzahl von Z_1 wenigstens eine Teilmenge H von Z_1 gibt, die alle 'relevanten' Ergebnisse enthält, also solche mit $p > 0$.

Definition 2.2:

Sei $H = \{z_1, z_2, \dots, z_h\}$ die zum Wahrscheinlichkeitsmaß P gemäß Definition 2.1 gehörige endliche Menge. Dann können wir für das Element P aus der Menge W der einfachen Wahrscheinlichkeitsmaße schreiben:

$$P = \left| \begin{array}{c} z_1, z_2, \dots, z_h \\ p_1, p_2, \dots, p_h \end{array} \right| \text{ mit } \sum_{i=1}^h p_i = 1 \quad (2.1)$$

P heißt Lotterie, die mit Wahrscheinlichkeit p_1 Ergebnis z_1
mit Wahrscheinlichkeit p_2 Ergebnis z_2
 \vdots
mit Wahrscheinlichkeit p_h Ergebnis z_h

liefert.

Einfache Wahrscheinlichkeitsmaße können durch konvexe Linearkombination verknüpft werden:

Definition 2.3:

Seien $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ reelle Zahlen mit $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1; \alpha_i \geq 0$ und P_1, P_2, \dots, P_k einfache Wahrscheinlichkeitsmaße, dann sei

$$P = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \dots + \alpha_k P_k \quad (2.2)$$

das Wahrscheinlichkeitsmaß, das einer Teilmenge $A \subset Z_1$ die Wahrscheinlichkeit

$$P(A) = \alpha_1 P_1(A) + \alpha_2 P_2(A) + \dots + \alpha_k P_k(A) \quad (2.3)$$

zuordnet.

Das durch (2.3) definierte Wahrscheinlichkeitsmaß heißt zusammengesetzte Lotterie. Jedes nach Definition 2.3 gebildete Wahrscheinlichkeitsmaß stellt ein einfaches Wahrscheinlichkeitsmaß auf Z_1 dar; d.h. durch (2.2) und (2.3) wird tatsächlich eine Verknüpfung in der Menge W der einfachen Wahrscheinlichkeitsmaße definiert.

Mit diesem Begriffsinstrumentarium sind wir nun in der Lage, eine kardinale Messung des Nutzens zu definieren. Das folgende Axiomen- oder Annahmensystem stellt die Bedingungen dar, unter denen eine den Nutzen messende Abbildung $u: P \rightarrow u(P)$ existiert, die bis auf positive lineare Transformationen bestimmt, also kardinal ist.

(N1): Auf der Menge der Lotterien W existiert eine schwache Präferenzrelation " \preceq ". Es sei die zur Relation " \preceq " gehörige strikte Präferenz mit " \prec " bezeichnet.

(N2): Es seien P, Q, R Lotterien und $0 < \alpha \leq 1$, dann gilt:

$$P \prec Q \rightarrow \alpha P + (1 - \alpha)R \prec \alpha Q + (1 - \alpha)R . \quad (2.5)$$

(N3): P, Q, R seien Lotterien und $P \prec Q \prec R$, dann gibt es Zahlen α, β mit $0 < \alpha, \beta < 1$, so daß gilt.

$$\alpha P + (1 - \alpha)R \prec Q \prec \beta P + (1 - \beta)R . \quad (2.6)$$

Häufig findet man (N1) aufgespalten in

(N1a): Für jedes Lotteriepaar P, Q gilt entweder

$$P \succ Q, Q \prec P \text{ oder } P \sim Q . \quad (2.4a)$$

(N1b): Für je 3 Lotterien P, Q, R gilt stets:

$$\text{Aus } P \succ Q \text{ und } Q \succ R \text{ folgt } P \succ R. \quad (2.4b)$$

Dies sind gerade die Eigenschaften - Vollständigkeit und Transitivität - einer Präferenzrelation, die notwendig sind, um zu einer sinnvollen Rangfolge der Lotterie zu kommen. Axiom (N1) heißt auch ordinales Prinzip.

Das sog. Substitutions- oder Unabhängigkeitsaxiom (N2) garantiert die Eindeutigkeit der Transformation von Lotterien in z.B. reelle Zahlen. Es besagt, daß in der Relation $\alpha P + (1 - \alpha)R \sim \alpha Q + (1 - \alpha)R$ jede Lotterie R' , die zu R indifferent (\sim) ist, den Platz von R einnehmen kann (daher die Bezeichnung: Substitutionsaxiom), ohne daß sich α irgendwie verändern würde (daher die Bezeichnung: Unabhängigkeitsaxiom), also unter vollem Erhalt der Präferenzstruktur.

Die Annahme N3 wird häufig als Stetigkeitsaxiom bezeichnet. Sie stellt, grob gesagt, sicher, daß man durch geeignete Wahl der Gewichte bei der konvexen Kombination zweier Lotterien präferenzmäßig beliebig nahe an jede der beiden Lotterien herankommt.

Nach Einführung des Axiomensystems (N1) - (N3) können wir nun folgende Definition angeben:

Definition 2.4:

Eine Funktion $u: W \rightarrow \mathbb{R}$
 $P \mapsto u(P)$

heißt Erwartungsnutzen oder kardinale Nutzenfunktion, wenn sie folgende Eigenschaften erfüllt:

(E1): Ordnungstreue (Monotonie): $P \succsim Q \Leftrightarrow u(P) \geq u(Q)$

(E2): Linearität (vgl. zusammengesetzte Lotterie:

$$u(\alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 + \dots + \alpha_k P_k) = \alpha_1 u(P_1) + \alpha_2 u(P_2) + \dots + \alpha_k u(P_k) .$$

(Wegen Eigenschaft (E2) heißt die Funktion auch Erwartungsnutzen.)

(E3): Eindeutigkeit bis auf positiv-lineare Transformationen:

Seien u, v zwei Funktionen, welche (E1) und (E2) erfüllen.

Dann gilt: $u(P) = av(P) + b \quad a, b \in \mathbb{R}; \quad a > 0 .$

(E3) ist die Eigenschaft einer Intervallskala (s. Pfanzagl (1968, S. 27f)). Nutzentheorie auf Intervallskalen nennen wir kardinale Nutzentheorie.

An dieser Stelle soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß es eine zweite Art kardinaler Maße auf sog. Verhältnisskalen gibt, die bis auf proportionale Transformationen ($x' = ax$) eindeutig sind. Praktische Beispiele für Verhältnisskalen sind Angaben für Länge oder Gewicht. Der sehr wichtige Unterschied zwischen beiden Skalen läßt sich leicht veranschaulichen. Der Nutzen zweier Alternativen sei $u_A=0.1$ und $u_B=0.5$. Daraus kann man nun nicht schließen, ein Entscheidungsträger habe B 'fünf mal lieber' wie A, denn die Wahl der Maßeinheit ist willkürlich: Dieselben Präferenzen werden auch durch $u_A=0.2$ und $u_B=0.6$ beschrieben.

Dadurch unterscheiden sich Nutzenwerte beispielsweise von Gewichtsangaben, denn man kann sehr wohl feststellen, daß ein Gegenstand fünfmal soviel wiegt wie ein anderer. Die Differenzen zwischen den Nutzenwerten sind jedoch von Bedeutung. Das kann man daran sehen, daß die relative Größe der Differenzen zwischen Nutzenwerten in bezug auf positiv lineare Transformationen invariant ist.

Zusammenfassend können wir nun formulieren:

Satz 2.1 (Hauptsatz der kardinalen Nutzentheorie):

Auf einer Menge von Lotterien W ,

1. die die Axiome (N1) - (N3) erfüllt,
2. in der es mindestens ein Elementepaar P, Q mit $P \prec Q$ gibt, existiert eine kardinale Nutzenfunktion (Erwartungsnutzen) (Beweis vgl. Ferschl (1975, Anhang A3)).

Mit diesem Satz haben wir auch die Grundlagen für das sog. Bernoulli-Prinzip gelegt, das lautet:

Für den Entscheidungsträger existiert eine kardinale Nutzenfunktion u mit der Eigenschaft, daß die verschiedenen Alternativen aufgrund des zugehörigen Nutzenerwartungswertes beurteilt werden. Man spricht häufig statt vom kardinalen Nutzen auch vom Bernoulli-Nutzen. Betrachten wir hierzu als einfaches Beispiel zur Veranschaulichung die Zweipunktverteilung P auf Z_1 :

$$P = \begin{vmatrix} z_1 & z_2 \\ p & 1-p \end{vmatrix} .$$

Hierbei können wir nun zwei Zufallsgrößen betrachten ($i=1,2$; $p_1 = p$; $p_2 = 1-p$).

1. Z ist eine Zufallsgröße, die mit Wahrscheinlichkeit p_i den Ergebniswert z_i annimmt.
2. $u(z)$ ist eine Zufallsgröße, die mit Wahrscheinlichkeit p_i den Nutzen $u(z_i)$ annimmt.
und entsprechend die beiden Erwartungswerte

$$E(z) = z_1 p + z_2 (1 - p) , \quad (2.7)$$

$$E(u(z)) = u(z_1) \cdot p + u(z_2) (1 - p) . \quad (2.8)$$

Satz 2.1 besagt im Grunde nichts anderes, als daß

$$u(P) = E(u(z))$$

ist, unter der Voraussetzung:

$$\begin{aligned} u: \mathbb{R} &\rightarrow \mathbb{R} \\ z &\mapsto u(z) . \end{aligned}$$

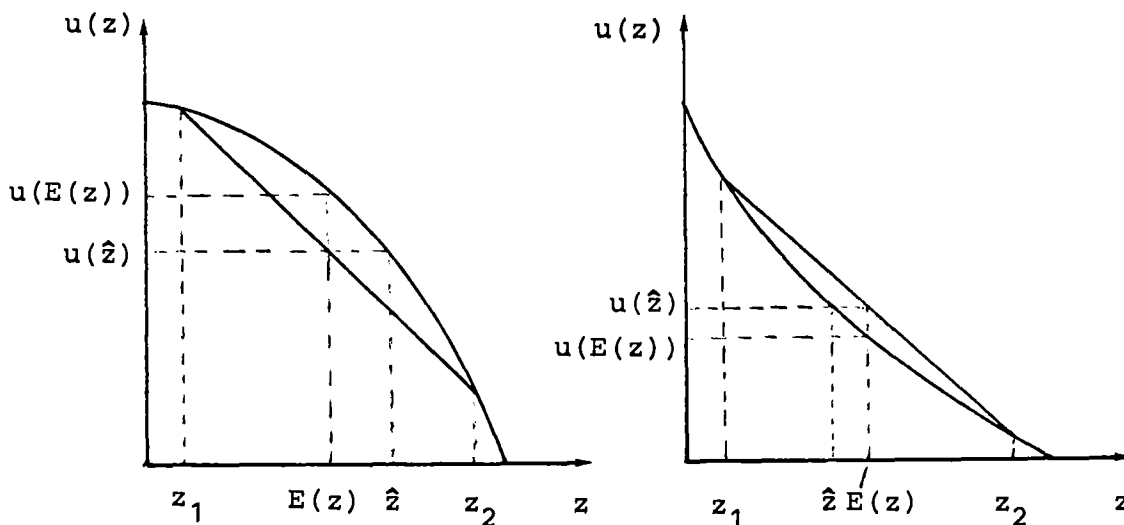
Das Gleichheitszeichen gilt i.a. nur, wenn die Funktion $u(z)$ als reelle Funktion selbst linear ist, was jedoch meist nicht der Fall ist. Man kann im Falle der Nichtlinearität von $u(z)$ jedoch versuchen, einen Wert \hat{z} zu finden, so daß

$$u(\hat{z}) = u(P) = E(u(z)) = u(z_1)p + u(z_2)(1 - p) ;$$

\hat{z} nennt man das Sicherheitsäquivalent der Verteilung P , das zur Beschreibung zwei spezieller Phänomene herangezogen wird: Sofern $u(z)$ eine in z monotone Nutzenfunktion ist, gilt:

$$\begin{aligned} u(z) \text{ konkav} &\rightarrow u(\hat{z}) < u(E(z)) & : \text{ Risikoaversion,} \\ u(z) \text{ konvex} &\rightarrow u(\hat{z}) > u(E(z)) & : \text{ Risikoneigung.} \end{aligned}$$

Graphisch veranschaulicht für eine in z streng monoton fallende Nutzenfunktion:



Die theoretischen Entwicklungen um das Bernoulli-Prinzip be-
fassen sich freilich nicht nur mit hier angeführten diskre-
ten Wahrscheinlichkeitsverteilungen (z.B.: P), sondern mit
allgemeinen Verteilungen ϕ . Die Frage nach dem Sicherheits-
äquivalent lautet dann: "Welchen sicheren Wert \hat{z} sieht man
einer Verteilung ϕ mit der Verteilungsfunktion $F_\phi(z)$ als
gleichwertig an?" Nach Satz 2.1 kann die Verteilung ϕ wie
folgt bewertet werden:

$$\left. \begin{aligned} u(\phi) = E(u(z)) &= \int_{-\infty}^{+\infty} u(z) dF_\phi(z) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} u(z) f_\phi(z) dz ; f_\phi(z) = \frac{dF_\phi(z)}{dz} \end{aligned} \right\} (2.9)$$

Die hier skizzierte Theorie reicht allerdings nicht aus
um (2.7) für beliebige stetige Verteilungen zu erhalten.
Eine Einführung in die allgemeine Theorie des Erwartungs-
nutzens gibt Fishburn (1970), vgl. auch Schneeweiß (1967).

Ohne in die sehr breite Diskussion über die Annahmen, die
der kardinalen Nutzentheorie zugrundeliegen, allzuweit ein-
zusteigen, sei hier grundsätzlich folgendes bemerkt.
Es handelt sich bei den Axiomen (N1) - (N3) nicht um unum-
stößliche Wahrheiten, sondern um den Versuch, Erfahrungs-
sätze und Gesetzmäßigkeiten, die bei der Untersuchung von
rationalen Entscheidungsvorgängen festgestellt wurden, zu
einer Theorie des rationalen Verhaltens zu entwickeln, die
allerdings im Einzelfall auch durchbrochen werden kann.
In unübersichtlichen Entscheidungssituationen ist es
durchaus möglich, daß tatsächliches Verhalten mit ge-
wissen Postulaten des rationalen Handelns im Widerspruch
steht. Nach Ferschl (1975) wird man dies aber nicht zum An-
laß nehmen, die Verhaltenspostulate aufzugeben, sondern den
Begriff "Irrtum" einführen. So kann man im täglichen Leben
bereits in mäßig komplizierten Situationen immer wieder Ab-
weichungen von den Gesetzen der Logik finden, und dennoch
würden solche empirischen Befunde von niemandem zum Anlaß
genommen, die betreffenden Gesetze der Logik aufzugeben;
vielmehr erfolgt die Aufforderung, man möge seine Gedanken
noch einmal überprüfen, um den logischen Irrtum ausfindig zu
machen.

Ganz analog hierzu erfolgen sog. Inkonsistenz-Bereinigungen im Rahmen von interviewartigen Ermittlungen von Nutzenfunktionen, die a.a.S. noch ausführlicher besprochen werden. Die einschlägige Literatur (vgl. Schneeweiß (1967, S. 79f) und Fishburn (1970, S. 109)) führt hierzu das hochinteressante und berühmte Beispiel von Allais an, das fast zwangsläufig in einem Irrtumseingeständnis endet.

Eine wichtige Erörterung der Leistungsfähigkeit dieses Konzepts des sog. Bernoulli-Nutzens sei hier noch angeführt.

Schneeweiß (1967, S. 69ff) unterscheidet zwischen psychologischem Nutzen und dem hier eingeführten Bernoulli-Nutzen. Der Erwartungswert des Bernoulli-Nutzens ist eine Zahl, die jenen Wert zum Ausdruck bringt, den das Entscheidungssubjekt der gesamten Wahrscheinlichkeitsverteilung eines Ergebnisses bestimmter Art beimißt. Nach Schneeweiß (1967) bietet der Bernoulli-Nutzen keinen Ersatz für die Messung des psychologischen Nutzens, die dann erforderlich wird, wenn das Individuum mehrere Ziele verfolgt, die Entscheidungsergebnisse also jeweils durch einen Vektor repräsentiert werden.

Im Sinne von Kirsch (1977) kann einer derartigen Deutung nicht zugestimmt werden."Zwar ist es in der modernen Nutzentheorie üblich, der Einfachheit halber davon auszugehen, daß die Ergebnisse lediglich in einer Dimension gemessen werden. Dies entspricht der Annahme nur eines Zieles. Man kann dies jedoch auch dahingehend interpretieren, daß die Ergebnisvektoren bei Annahme mehrerer Ziele bereits auf einen Skalar, d.h. auf eine "Nutzenzahl" und damit auf eine Dimension reduziert wurden. In diesem Fall wird in der Tat eine (ordinale) Nutzenfunktion unterstellt, die die Ergebnisvektoren ordnet. Sie würde den psychologischen Nutzen im Sinne von Schneeweiß repräsentieren. Daraus ist jedoch nicht der Schluß zu ziehen, daß die kardinale Nutzentheorie voraussetzt, daß die Ergebnisse lediglich in einer Dimension gemessen werden. Die Überlegungen gelten auch für den Fall mehrerer Ziele.

Es werden dann den einzelnen Ergebnisvektoren kardinale Nutzenzahlen zugeordnet, die sowohl die Ordnung dieser Ergebnis-

vektoren beschreiben als auch die Basis für die Bestimmung von Erwartungswerten des Nutzens bei Wahrscheinlichkeitsverteilungen solcher Ergebnisvektoren dienen, so daß die Ordnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung gleich der Ordnung dieser mathematischen Erwartungswerte ist. Die kardinale Nutzenmessung im Sinne eines Bernoulli-Nutzens ist folglich eine umfassende Konzeption, die nicht die Ermittlung 'psychologischer Nutzen' voraussetzt. Der Bernoulli-Nutzen ersetzt in der Tat die alte Nutzenkonzeption vollständig" (Kirsch (1977, S. 39, 40)).

In vereinfachter Form läßt sich dies wie folgt formal darstellen:

Die Nutzenfunktion u hat die folgende hervorstechende, charakteristische Eigenschaft, daß für zwei gegebene Wahrscheinlichkeitswerte A und B über den als unsicher erachteten Ergebnisvektoren $\underline{z} \in Z$ gilt:

Wahrscheinlichkeitsverteilung A ist mindestens gleich wünschenswert wie Wahrscheinlichkeitsverteilung B , dann und nur dann, wenn:

$$E_A [u(\underline{z})] \geq E_B [u(\underline{z})] \quad (2.10)$$

mit E = Erwartungswert-Operator bzw.:

$$\int_{\mathbb{R}^k} u(\underline{z}) f_A(\underline{z}) d\underline{z} \geq \int_{\mathbb{R}^k} u(\underline{z}) f_B(\underline{z}) d\underline{z} ,$$

sofern die Verteilungen durch ihre zugehörigen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen $f_A(\underline{z})$, $f_B(\underline{z})$ im $\mathbb{R}^k \cong Z$ gegeben sind.

Ein besonders interessanter Entartungsfall von (2.10) lautet: Ein Ergebnisvektor \underline{z}^A ist mindestens gleich wünschenswert wie ein anderer \underline{z}^B , dann und nur dann, wenn:

$$u(\underline{z}^A) \geq u(\underline{z}^B) . \quad (2.11)$$

3. Multikriteriale Nutzentheorie

Wir kommen nun zu unserem Ausgangsproblem zurück. Wir bestimmen eine effiziente Energieversorgungsstrategie \underline{x} , indem wir einen funktional-effizienten Zielkriterien-, Attribute-, Ergebnis- oder Konsequenzenvektor \underline{z} ermitteln. Dies geschieht, indem man die Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers unter o.a. Voraussetzungen als Nutzenfunktion über dem Zielkriterienraum Z darstellt und diese als Zielfunktion eines klassischen (skalarwertigen) Maximierungsproblems verwendet, was bedeutet, diejenige Energieversorgungsstrategie \underline{x}^1 zu wählen, deren zugehöriger Zielkriterienvektor \underline{z}^1 zum maximalen erwarteten Nutzen $u^1(\underline{z}^1)$ führt.

Häufig, insbesondere bei den Attributen (Zielkriterien), die ein Energieversorgungssystem beschreiben, sind die Attributwerte einerseits zwar unsicher, andererseits ist aber über deren Wahrscheinlichkeitsverteilung nichts Genaueres bekannt. In einem solchen Fall würde für die Auswahl zwischen verschiedenen Attributwertvektoren auch eine Präferenzfunktion (= ordinale Nutzenfunktion; d.h. eine Nutzenfunktion, die bis auf monoton wachsende Transformationen eindeutig ist, vgl. Keeney, Raiffa (1976)) genügen; obgleich natürlich ohnehin jede (kardinal) Nutzenfunktion auch als eine spezielle Präferenzfunktion verstanden werden kann und - wie wir noch sehen werden - der Ermittlungsaufwand der gleiche ist.

Dennoch erscheint es auch in diesem Fall sinnvoll, mit einer kardinalen Nutzenfunktion zu arbeiten.

Zwar wird bei der Optimierung kein Nutzenerwartungswert mit Hilfe einer Häufigkeitsverteilung über dem Attributraum errechnet, aber man kann immer den Nutzenfunktionswert in einem Punkt als Erwartungswert der um den Punkt linearisierten Nutzenfunktion bzgl. einer Gleichverteilung um den Punkt auffassen. Dementsprechend kann man bei Verwendung einer

kardinalen Nutzenfunktion durch Sensitivitätsanalyse ermitteln, ob sich Anstrengungen lohnen, Unsicherheiten hinsichtlich der Attributwerte zu beseitigen oder Häufigkeitsverteilungen zu bestimmen.

Demgegenüber legt eine beliebige ordinale Nutzenfunktion nur Präferenzen zwischen Alternativen fest, ein Maß für die Stärke der Präferenz, wie es für Sensitivitätsanalysen notwendig wäre, hat man nicht.

Sowohl die Bestimmung einer kardinalen Nutzenfunktion mittels bestimmter Befragungstechniken (Kap. 5) als auch ihre Verwendung als Zielfunktion eines Optimierungsproblems kann bei einer größeren Attributzahl - die freilich bei der Befragung ebenfalls noch zur Disposition steht - sehr aufwendig werden. Aus diesem Grunde ist man gehalten, auf die Auswahl der Attribute (Kap. 4) große Sorgfalt zu verwenden, um möglichst einfache Nutzenfunktionsgestalten zu erhalten bzw. überhaupt zu ermöglichen.

Ein Hauptanliegen der multikriterialen Nutzentheorie ist denn auch die Formulierung von Voraussetzungen, unter denen eine mehrdimensionale Nutzenfunktion durch möglichst einfache algebraische Ausdrücke spezifiziert werden kann. Dieses Anliegen ist mit verschiedenen Unabhängigkeitskonzepten verbunden, die hier in starker Anlehnung an Keeney (1974) und Keeney und Raiffa (1976) wiedergegeben werden.

Sei $Z := Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_k$ der Ergebnis-, Attribute- oder Zielraum, $Z \subseteq \mathbb{R}^k$. Ein spezifisches Ergebnis (vektoriell!) sei als $\underline{z} = (z_1, z_2, \dots, z_k)$ bezeichnet, wobei z_i die spezielle Höhe des Wertes des Attributes Z_i darstellt. Unser Interesse gilt der Bestimmung einer Nutzenfunktion $u(z_1, z_2, \dots, z_k)$ über Z , wobei jedes Attribut Z_i einen wohlbekanntem Einfluß auf die Präferenzen ausübe. Es wird angenommen, daß die Präferenzen über Z beschränkt sind und man bezeichnet mit \underline{z}^1 die wünschenswerteste sowie mit \underline{z}^0 die am wenigsten wünschenswerte Attributausprägung; kurz \underline{z}^1 ist das beste, \underline{z}^0 das schlechteste Ergebnis.

Schließlich bezeichne $\bar{z}_{ij} := z_1 \times \dots \times z_{i-1} \times z_{i+1} \times \dots \times z_{j-1} \times z_{j+1} \times \dots \times z_k$ und \bar{z}_{ij} ein Element aus \bar{z}_{ij} . Analog sei $\bar{z}_i := z_1 \times \dots \times z_{i-1} \times z_{i+1} \times \dots \times z_k$ und \bar{z}_i ein Element aus \bar{z}_i . (Zur besseren Lesbarkeit werden \bar{z}_{ij} und \bar{z}_i nicht (durch Unterstreichung) besonders als Vektoren gekennzeichnet.)

Grundsätzlich gilt, daß z_i sowohl ein skalares Attribut als auch ein Vektor von skalaren Attributen sein kann; also z_i könnte wieder aus Einzelattributen unterdefiniert sein und als sog. Schlüsselattribut auf einer höheren Ebene der Attribute-Hierarchie für größere Komplexe von Entscheidungskonsequenzen stehen.

Definition 3.1:

Wir sprechen von Präferenzunabhängigkeit zwischen $z_i \times z_j$ und \bar{z}_{ij} , wenn die Präferenzordnung der Konsequenzen bzw. Ergebnisse (z_i, z_j, \bar{z}_{ij}) bei konstantem \bar{z}_{ij} nicht von der Höhe des Wertes des konstantgehaltenen \bar{z}_{ij} abhängt. Dies impliziert, daß die Indifferenzkurven über $z_i \times z_j$ unabhängig vom Wert \bar{z}_{ij} sind.

Definition 3.2:

Wir sprechen von Nutzenunabhängigkeit zwischen z_i und \bar{z}_i , wenn die Präferenzordnung für Lotterien bzgl. z_i , bezeichnet als (\tilde{z}_i, \bar{z}_i) , bei konstantem \bar{z}_i nicht von dem konstant gehaltenen Betrag \bar{z}_i abhängt. Das impliziert, daß die bedingte Nutzenfunktion über z_i bei gegebenen konstantem \bar{z}_i stets eine positive lineare Transformation der bedingten Nutzenfunktion über z_i bei gegebenem, jetzt auf einen anderen Wert fixierten \bar{z}_i ist.

Mit diesen zwei Unabhängigkeitskonzepten läßt sich der folgende wichtige Satz formulieren (Theorem 1 in Keeney (1974, S. 23) Beweis s. ebenfalls dort).

Satz 3.1:

Sei $Z := z_1 \times z_2 \times \dots \times z_k$ der eingangs definierte Attributraum, $k \geq 3$. Gilt für ein z_i , daß $z_i \times z_j$ präferenzunabhängig von \bar{z}_{ij} ist für alle $j \neq i$ und gilt weiterhin, daß z_i

nutzenunabhängig von \bar{z}_i ist, dann ist entweder

$$u(z_1, \dots, z_k) = \sum_{i=1}^k c_i u_i(z_i) \text{ mit } \sum_{i=1}^k c_i = 1 \quad (3.1)$$

oder

$$\left. \begin{aligned} 1 + c \cdot u(z_1, \dots, z_k) &= \prod_{i=1}^k (1 + c c_i u_i(z_i)) \\ \text{mit } \sum_{i=1}^k c_i &\neq 1, \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

wobei $c > -1$ nichttriviale Lösung von

$$1 + c = \prod_{i=1}^k (1 + c c_i) \quad (3.3)$$

ist.

Dabei gilt

1. Die u_i sind die bedingten Nutzenfunktionen für Einzelattribute Z_i normiert durch $u_i(z_i^0) = 0$ und $u_i(z_i^1) = 1$, $i = 1(1)k$, also $0 \leq u_i \leq 1$. (3.4)

2. Die Funktion u ist normiert durch

$$u(z_1^0, z_2^0, \dots, z_k^0) = 0 \text{ und } u(z_1^1, z_2^1, \dots, z_k^1) = 1 \quad (3.5)$$

3. Die Skalierungskonstanten c_i haben eine ganz bestimmte Bedeutung, nämlich

$$c_i = u(z_i^1, \bar{z}_i^0) \quad (3.6)$$

$$= u(z_1^0, z_2^0, \dots, z_{i-1}^0, z_i^1, z_{i-1}^0, \dots, z_k^0), \quad i \in \{1, \dots, k\},$$

$$\bar{z}_i \in \bar{Z}_i = Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_{i-1} \times Z_{i-1} \times \dots \times Z_i,$$

d.h. sie entsprechen gerade dem Gesamtnutzenanstieg für Attribut Z_i von seinem schlechtesten auf den besten Zustand, während alle anderen Attribute \bar{z}_i auf ihrem jeweils schlechtesten Wert sind. Zwei häufig vorkommenden Mißinterpretationen der c_i soll gleich hier begegnet werden:

a) in o.a. Bedeutung ist eindeutig zu erkennen, daß $\sum_{i=1}^k c_i = 1$ keine stets zu erhaltende Normierung darstellt, sondern der Wert der Summe von den Präferenzen des Entscheidungsträgers abhängt (Näheres hierzu a.a.S.).

b) Die Skalierungskonstanten sind kein Indikator für die relative Bedeutung eines Attributes (vgl. hierzu Keeney, Raiffa (1976, S. 272 f) und diese Arbeit a.a.S.).

4. Die Skalierungsgröße c , die sich als Lösung von Gleichung (3.3) ergibt, stellt nach eigenen Mutmaßungen und Erfahrungen (vgl. Kap. 5) ein wichtiges Merkmal für die Einstellung des Entscheidungsträgers zu bestimmten Situationen dar, und es gilt, wie von Keeney, Raiffa (1976, S. 347 f) bewiesen wird:

$$\left. \begin{array}{ll} c \in (-1,0) & \text{falls } \sum_{i=1}^k c_i > 1 \\ c > 0 & \text{falls } \sum_{i=1}^k c_i < 1 \end{array} \right\} \quad (3.7)$$

Für $c \rightarrow 0$ geht die sog. multiplikative Form (3.2) in die additive Nutzenfunktion (3.1) über.

Sind die Voraussetzungen für Satz 3.1 erfüllt - wie dies überprüft wird, ist in Kap. 5 ausgeführt - ist es natürlich von Bedeutung, ein Kriterium zu kennen, das Auskunft gibt, ob die Nutzenfunktion nun additiv oder multiplikativ ist. Ein solches Kriterium stellt der folgende Satz 3.2 zur Verfügung (vgl. Keeney (1974, S. 24)).

Satz 3.2:

Für ein beliebig ausgewähltes \bar{z}_{ij} seien zwei Attributwerte des Attributs Z_i , zwischen denen der Entscheidungsträger Präferenzen hat, z_i und z_i' . Analog seien z_j und z_j' bestimmt. Betrachten wir nun die Einschätzung des Entscheidungsträgers bezüglich einer Lotterie, die sowohl (z_i, z_j, \bar{z}_{ij}) als auch $(z_i', z_j', \bar{z}_{ij})$ zu gleichen Wahrscheinlichkeiten (also jeweils $p = 0.5$) ergibt und einer anderen Lotte-

rie, die $(z_i, z_j', \bar{z}_{ij})$ ebenso wie $(z_i', z_j, \bar{z}_{ij})$ zu gleichen Wahrscheinlichkeiten ergibt. Es gilt nun folgendes:

Wenn die Voraussetzungen von Satz 3.1 erfüllt sind und zusätzlich der Entscheidungsträger zwischen den beiden oben beschriebenen Lotterien indifferent ist, so ist die Nutzenfunktion additiv; hat er hingegen Präferenzen zwischen beiden Lotterien, ist die Nutzenfunktion multiplikativ.

Man kann zeigen, daß die Indifferenz- oder Präferenzbeziehung zwischen den Lotterien für alle \bar{z}_{ij} gilt, sofern sie nur für ein \bar{z}_{ij} gilt. Dies trifft zu, weil bereits aus den Voraussetzungen für Satz 3.1 folgt, daß $Z_i \times Z_j$ nutzenunabhängig von \bar{z}_{ij} ist.

Satz 3.1 würde natürlich auch unter der Voraussetzung gelten, daß alle Attribute Z_1, \dots, Z_k gegenseitig nutzenunabhängig sind, was gleichbedeutend damit ist, daß jede Attributuntermenge von $Z = Z_1 \times \dots \times Z_k$ nutzenunabhängig von ihrem jeweiligen Komplement ist. Diese Eigenschaft ist nach Keeney, Raiffa (1976, S. 292) allerdings äquivalent zu den Prämissen von Satz 3.1.

Dieser wichtige und zentrale Satz der multikriterialen Nutzentheorie wurde aber gerade unter solchen Voraussetzungen formuliert, die am einfachsten empirisch nachzuweisen sind (vgl. Kap. 5).

Neben dieser Art der Operationalität liefert uns Satz 3.1 Bedingungen, unter deren Gültigkeit der Umfang an Information, die durch Befragung des Entscheidungsträgers ermittelt werden muß, auf ein Mindestmaß beschränkt bleibt. Der Aufwand, um eine o.a. Voraussetzungen genügende Nutzenfunktion eindeutig zu spezifizieren, wächst lediglich linear mit der Anzahl der Attribute.

Auch wenn die Voraussetzungen von Satz 3.1 nur näherungsweise erfüllt sind, lassen sich mit etwas schwächeren Annahmen über Präferenz- und Nutzenunabhängigkeit noch wesentliche Problemvereinfachungen erreichen. Für derartige Fragestellungen sei auf Keeney, Raiffa (1976) verwiesen. Meistens

hängt die Anwendbarkeit von Satz 3.1 stark von einer geeigneten Wahl der Attribute ab.

Diese in der Literatur viel diskutierte Frage nach der Auswahl der zu betrachtenden Attribute oder Ziele und deren detaillierte Beschreibung für unser konkretes Entscheidungsproblem soll Kernstück des nächsten Kapitels sein.

4. Auswahl und Detailbeschreibung der Attribute

Bei der praktischen Anwendung der Entscheidungstheorie kann man gerade im Zuge des mehr oder weniger kreativen Prozesses der Entwicklung von Zielsystemen und der Auswahl von Attributen zur Messung der einzelnen Ziele beträchtliche Interdependenzen beobachten. Dennoch steht bei der analytischen Untersuchung von komplexen Entscheidungsproblemen zunächst immer die Frage nach den Zielen und danach erst die nach den zu ihrer Messung geeigneten Indikatoren, sprich Attributen.

In der einschlägigen Literatur sind Regeln oder Anleitungen für das Aufstellen von Zielen fast ausschließlich auf den Gültigkeitsbereich von Einzeluntersuchungen beschränkt. Grundsätzlich kann aber festgestellt werden, daß es häufig nützlich ist, eine Gruppe sachverständiger Experten zur Aufstellung von Zielen aus dem jeweiligen Problembereich zu befragen. Ein solches Vorgehen erscheint um so mehr erwünscht, je mehr Wert auf intersubjektive Übereinstimmung über den Zielkatalog gelegt wird; d.h. mit unserem Ziel- und auch Attributesystem sollten auch sehr unterschiedliche Präferenzstrukturen von verschiedenen Individuen beschreibbar sein, ohne daß ein neuer Zielkatalog vereinbart werden müßte.

Weil die Systemanalyse oft die ursprünglichen Ziele des Politikers verändert hat, folgert Quade (1964, S. 156 - 157), würde es einer Selbstvernichtung gleichkommen, dessen Ansicht zu dem Problem ohne Untersuchung zu übernehmen, letztlich also vom Auftraggeber allein die Ziele bestimmen zu lassen. Dennoch scheint auch Quade der Meinung zu sein, daß ein konstruktiver und kritischer Dialog zwischen Entscheidungsträger und beratendem Analytiker sehr sinnvoll und fruchtbar für die Aufstellung eines Zielkatalogs ist.

Unter diesem Aspekt betrachten wir auch die fruchtbaren Diskussionen zwischen Mitarbeitern der Abteilung für Angewandte Systemanalyse und Vertretern des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Baden-Württemberg.

In Anlehnung an Keeney, Raiffa (1976, S. 50 f) und Bamberg, Coenenberg (1977, S. 28ff) beschreiben wir die Anforderungen, die an ein Zielsystem und die zugehörige Attributmenge gestellt werden. Die kritische Überprüfung des im folgenden detailliert beschriebenen Zielsystems für das Energiesystem von Baden-Württemberg anhand dieses Anforderungskatalogs sei dem Leser überlassen.

Die Menge der Ziele (und Attribute) sollte sein:

- vollständig, so daß alle bedeutenden Aspekte des spez. Problems abgedeckt werden;
- operational, um unmißverständlich, präzise und einfach verwendet werden zu können;
- zerlegbar, so daß bestimmte Teilaspekte im Bewertungsprozeß vereinfacht werden können (bzw. auf Bedarf vereinfacht werden könnten);
- redundanzarm, möglichst gar nicht redundant, um Mehrfachdiskussionen ein und desselben Aspekts zu vermeiden;
- minimal, damit die Dimension des Problems in 'möglichst kleinen' Grenzen gehalten wird.

Die dritte dieser Anforderungen besagt in unserem Fall im wesentlichen:

Die Ziele sollten so definiert sein, daß für ihre zugehörigen Attribute die Voraussetzungen des Satzes 3.1 erfüllt sind.

Bei unserem speziellen Entscheidungsproblem der Bestimmung einer 'optimalen' Energieversorgungsstrategie kommt als wei-

tere Forderung hinzu, daß die Attribute als Linearkombination der Entscheidungsvariablen (Energiefluß- und Kapazitätsvariablen) darstellbar sein sollen. Wie bei der folgenden Beschreibung des Zielsystems und in Anhang A deutlich werden wird, läßt sich diese Forderung zwanglos erfüllen.

Die schon allein aus Gründen der Übersichtlichkeit geforderte Minimalität der Attributeanzahl bedingt, daß die Attribute durchaus größere Komplexe von Entscheidungskonsequenzen repräsentieren; man denke etwa an die vielfältigen Formen der Gewässerbeeinträchtigung, die allesamt durch ein Attribut vertreten werden.

Im folgenden befassen wir uns mit der praktischen Bestimmung unseres Zielsystems. In einem Basisschritt werden wir uns relativ unbeeinflusst von der o.a. Liste wünschenswerter Eigenschaften eines Zielsystems mit der zunächst wahllosen Zusammenstellung eines Katalogs von Ansprüchen an ein regionales Energieversorgungssystem befassen. Dieser Katalog wird systematisch überarbeitet und kategorisiert. Am Ende erhält man das Zielsystem in Form einer verbalen Fixierung aller Ziele und Attribute, anhand derer mögliche Energieversorgungssysteme beurteilt werden sollten.

Es ergaben sich zunächst die folgenden Zielvorstellungen:

- Z1 - Geringe Kosten
- Z2 - Geringe Umweltauswirkungen
- Z3 - Hohe Vielfalt des Endenergieangebots
- Z4 - Hohe Energieeffizienz
- Z5 - Hohe Energieversorgungssicherheit
- (Z6 - Entwicklungsneutralität)

Dabei stellen einige dieser 5(6) Ziele nur eine Komprimierung verschiedener Einzelaspekte (Unterziele) dar, nämlich Z2:

- Z.2.1 Geringe Gesundheitsschäden durch SO₂
- Z.2.2 Geringe Gesundheitsschäden durch Feinstaub
- Z.2.3 Geringe Gesundheitsschäden durch NO_x
- Z.2.4 Geringe Gesundheitsschäden durch CO und C_m H_n
- Z.2.5 Geringe radiologische Bevölkerungsbelastung
- Z.2.6 Geringe Unfallträchtigkeit
- Z.2.7 Geringes Risiko von Klimaänderungen durch CO₂-Produktion
- Z.2.8 Geringe Beeinträchtigung der Gewässer
- Z.2.9 Geringer Landschaftsverbrauch

und Z.5:

- Z.5.1 Mittelfristige Versorgungssicherheit
- Z.5.2 Kurzfristige Versorgungssicherheit.

Das Ziel 6 wurde nach ausführlicher Diskussion gestrichen, da man übereinkam, daß dieses Ziel bereits durch bloße Umverteilung via Subventionen, unabhängig von den Kosten des Energieversorgungssystems, erreicht werden kann und somit keiner modellinternen Berücksichtigung bedarf. Ebenso wurde ein weiteres Unterziel zu Z.2, nämlich 'Geringe optische Beeinträchtigung' nicht in den Zielkatalog aufgenommen, da man übereinstimmend der Meinung war, daß eine bestimmte Anzahl Kühltürme, verbunden mit einem sonst rundum befriedigendem Energieversorgungssystem, die "optimale Politik" nicht beeinflussen würde; zumal eine Energieerzeugungsart, die tatsächlich zu stärkerer optischer Beeinträchtigung führen könnte, nämlich die Windenergienutzung, im Modell nicht berücksichtigt wird.

Analog wird unterstellt, daß weitere, mehr psychologische Aspekte betreffende Ziele, etwa 'hohe Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem Energieversorgungssystem' nicht explizit berücksichtigt werden müssen, da eine nach rationalen Gesichtspunkten entstandene 'optimale' Energieversorgungspolitik auch solchen Zielen genügen dürfte.

Dieses Zielsystem erschien allen Beteiligten anschaulich, vollständig, wenig redundant und vor allem nicht zu umfangreich, weshalb man dann an die Ermittlung eines Indikators oder Attributs für jedes Einzelziel ging. Da durch die Indikatoren die Zielerfüllungsgrade der Einzelziele sowohl gemessen als auch (in der Optimierungsrechnung) gesteuert werden, muß jeder Indikator eine eindeutige - bzw. lineare - Zuordnung der Indikatorwerte zu den Modellvariablen (d.h. den jährlich umgesetzten Energiemengen und den zugehörigen Umwandlungskapazitäten) gewährleisten. Dies dient letzten Endes der Sicherstellung einer eindeutigen Beziehung zwischen Indikator und Zielerfüllungsgrad für alle betrachteten Entscheidungsalternativen des Modells.

Eine Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen Indikator und Ziel ist dabei nicht unbedingt notwendig und des öfteren kommt man um die Einführung sog. Hilfsindikatoren (engl. proxy attribute) gar nicht herum, da eine direkte Messung der Erreichung bestimmter Ziele nicht möglich ist.

Das bei der Indikatorenauswahl auftretende Problem, wie eng ein Indikator entweder an die Modellvariablen oder an den Zielerfüllungsgrad gekoppelt sein soll, ist nicht allgemein zu lösen. Hat man beispielsweise das Ziel "geringe Gesundheitsschäden durch SO_2 ", könnte man als Indikator die SO_2 -Emission nehmen. Sie ließe sich leicht aus den Modellvariablen, die dem Verbrauch fossiler Brennstoffe entsprechen, berechnen, aber es wäre schwer zu sagen, inwieweit das Ziel bei einem bestimmten Emissionswert erreicht ist. Andererseits könnte man als Indikator die Zahl der Krankheitstage wegen SO_2 -bedingter Krankheiten nehmen, die sicher ein gutes Maß für den Zielerreichungsgrad ist, aber ihre Berechnung aus den Modellvariablen wäre sehr unsicher. Bei der Lösung dieses Konfliktes folgt man am besten der Maxime, den Indikator so nahe am Ziel zu wählen, daß er gerade noch einigermaßen sicher aus den Modellvariablen berechnet werden kann. Beim Beispiel der SO_2 -Belastung entspricht dies dem Indikator SO_2 -Immission. Die verbleibenden Unsicherheiten über den Zusammenhang zwischen Ziel und Indikator müssen direkt vom befragten Entscheidungsträger eingeschätzt werden.

Im folgenden erläutern wir im Detail die Ziele, Indikatoren und deren Wertebereiche, so wie sie vom Modell des Energieversorgungssystems von Baden-Württemberg vorgegeben sind. Wie bei der realen Durchführung des Projektes orientiert sich der Umfang der Darstellung an der Maxime, daß für eine konsistente Bestimmung der Nutzenfunktion (vgl. Kap. 5) die Konsequenzen, für die die Indikatoren stehen, klar bezeichnet und die Ziele deutlich gegeneinander abgegrenzt sein sollen. Eine ausführliche Beschreibung der Berechnungsgrundlagen zu den Indikatoren wird in Teil I gegeben.

- 1. Ziel:** Geringe Kosten
- Indikator:** Gesamtkosten des Energiesystems in DM/(cap·a)
(Preisbasis 1975)
- Schwankung:** 1800 - 2500 DM/(cap·a)
- Erläuterung:** Hohe Kosten beinhalten den Verzicht der Energieverbraucher auf andere Güter und Dienstleistungen.

Die Schwankungsbreite dieses Indikators läßt sich folgendermaßen nachvollziehen: Ein bestimmter künftiger Gesamtenergiebedarf, der etwa um das Jahr 2000 vorliegen könnte führt bei kostenminimaler Deckung zu jährlichen Gesamtkosten i.H.V. ca. 1800 DM/(cap·a). Die Berechnung der Gesamtkosten zur Deckung des o.a. Endenergiebedarfs unter Heranziehung der modellmäßig denkbar kostengünstigsten Energieversorgungsstrategie ergibt eine Indikatorobergrenze. Dabei wird freilich unterstellt, daß nur soviel Umwandlungskapazitäten installiert werden, wie Energiemengen zur Nachfragebefriedigung umgesetzt werden müssen und natürlich nur soviel Energie erzeugt wie nachgefragt wird. Ohne diese Voraussetzungen wären die Gesamtkosten unbeschränkt.

- 2. Ziel:** Geringe Umweltauswirkungen des Energiesystems

Erläuterung:

Die Umweltauswirkungen des Energiesystems werden durch die folgenden Unterziele und deren Indikatoren beschrieben. Die

Umweltindikatoren werden, soweit dies im Rahmen des Energie-modells möglich ist, als wirkungsspezifische Kenngrößen dargestellt. Dies bedeutet, daß die mit den Modellvariablen direkt verbundenen Emissionen gemäß den jeweiligen Ausbreitungsbedingungen in Immissionskonzentrationswerte transformiert und anschließend über die Betroffenen gemittelt werden. Eine zusätzliche Belastung durch Beiträge Baden-Württembergs zur Energiebedarfsdeckung anderer Regionen wird nicht berücksichtigt. Sofern Umweltauswirkungen des Energiesystems von Baden-Württemberg außerhalb dieser Bezugsregion auftreten (z.B. Braunkohleverstromung in Nordrhein-Westfalen, Wiederaufarbeitungsanlage in Niedersachsen) werden diese Belastungen unter Berücksichtigung der Zahl der Betroffenen auf Baden-Württemberg umgerechnet.

Analog zu den Erläuterungen für Ziel 1 lassen sich für jedes einzelne Umweltattribut modellbezogen Ober- und Untergrenzen ermitteln. Die bzgl. des jeweils betrachteten Attributs günstigste bzw. ungünstigste Energieversorgungsstrategie dient hierbei als Richtschnur.

Von Null verschiedene Indikatoruntergrenzen deuten auf modellunabhängige, aber vom Energieversorgungssystem unmittelbar oder mittelbar herrührende Mindestwerte hin.

2.1 Ziel: Geringe Gesundheitsschäden durch Schwefeldioxid

Indikator:

Mittlere Immissionsbelastung der Bevölkerung durch SO_2 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Schwankung:

0 - 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Erläuterung:

SO_2 entsteht bei der Verfeuerung schwefelhaltiger Brennstoffe. Ein vielzitiertes Beispiel für die Wirkung von SO_2 (in Verbindung mit Feinstaub) ist die Londoner Smogkatastrophe im Winter 1962 mit einer deutlichen Erhöhung der Todesfälle durch Erkrankungen der Atmungsorgane. Wenngleich erhebliche

Zweifel an der ursächlichen Wirkung der SO_2 -Konzentration für Gesundheitsschäden bei Smogwetterlagen berechtigt erscheinen, so gilt dennoch eine Beeinträchtigung der Atmungsorgane bei hohen SO_2 -Konzentrationen als erwiesen.

Die Langzeitwirkung von SO_2 - und der damit verbundenen atmosphärischen Schadstoffe - auf die menschliche Gesundheit bei geringen Konzentrationen ist bisher kaum erforscht.

Die geltenden SO_2 -Standards sind so zu interpretieren, daß nach derzeitigen Erkenntnissen die Risiken von Gesundheitsschäden als vernachlässigbar angesehen werden können, wenn die Konzentrationswerte unterhalb des Standards liegen. Diese Formulierung beinhaltet weder, daß bei höheren Werten Gesundheitsschäden zwangsläufig auftreten, noch, daß bei niedrigeren Werten gesundheitliche Schäden völlig auszuschließen sind. Standards (für Langzeitwert)

nach TA-Luft: $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$

nach WHO: $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Hierbei ist anzumerken, daß in diesen Standards das gleichzeitige Auftreten von Feinstaub (siehe Ziel 2.2) berücksichtigt ist. Zur erheblichen Diskrepanz dieser Werte ist ferner zu bemerken, daß der WHO-Standard als langfristig anzustrebendes Ziel formuliert ist, während der derzeitige Standard nach TA-Luft als maximal zulässiger flächenbezogener Mittelwert in Genehmigungsverfahren eingeht. Diese Bedeutung des TA-Luft-Standards zeigt auch, daß ein unmittelbarer Vergleich des Indikators (als bevölkerungsbezogener Mittelwert) mit den SO_2 -Standards nicht durchführbar ist. Diese sollen nur als Anhaltspunkte dienen. Bei einem Mittelwert von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ergibt sich gemäß der angewandten Ausbreitungsbeziehungen für Stuttgart der Maximalwert der lokalen Immissionskonzentration mit $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- 2.2 Ziel: Geringe Gesundheitsschäden durch Feinstaub
Indikator: Mittlere Immissionsbelastung der Bevölkerung
durch Feinstaub in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Schwankung: 0 - 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Erläuterung:

Feststoffe werden bei der Verbrennung von festen und flüssigen Brennstoffen emittiert, ihre Menge hängt ab von der Art des Verbrennungsprozesses und der Rückhaltemaßnahmen (Filter). Als Feinstaub werden Feststoffe mit Korngrößen $\leq 10 \mu\text{m}$ bezeichnet, lungengängiger Feinstaub umfaßt den Anteil mit Korngrößen $\leq 5 \mu\text{m}$. Emissionsbegrenzende Maßnahmen sind für industrielle Emittenten zwingend vorgeschrieben. Diese Maßnahmen bewirken vor allem eine Verminderung des Grobstaubes. So ergaben neuere Immissionsmessungen in verschiedenen Städten der Bundesrepublik einen Gewichtsanteil von 88 % Feinstaub, während man bei der Abfassung der TA-Luft von 1974 noch von einem Anteil von maximal 50 % ausgehen konnte.

Die Wirkungen von Stäuben in hohen Konzentrationen sind aus dem Bereich der Arbeitsmedizin recht gut bekannt. Staublunge (Silikose) ist die typische Berufskrankheit für den Untertagebau. Eine direkte Extrapolation auf niedrige Konzentrationen, wie sie in der Atmosphäre vorliegen, ist - ebenso wie beim SO_2 - mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Ein Synergismus zwischen Feinstaub und SO_2 wird für möglich gehalten, wie schon bei der Erläuterung des Zieles 2.1 angedeutet wurde.

Standard nach TA-Luft für Langzeitwert: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Korngröße $\leq 10 \mu\text{m}$).

Der lokale Maximalwert (für Stuttgart) beträgt $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Da hierin ein Anteil von etwa 40 % verkehrsbedingter Immissionen enthalten ist, sind kleinräumige Überhöhungen in Hauptverkehrsstraßen in der Größenordnung des 10-fachen des lokalen Maximalwertes als realistisch anzusehen.

- 2.3 Ziel: Geringe Gesundheitsschäden durch Stickoxide
 Indikator: Mittlere Immissionsbelastung der Bevölkerung durch NO_x in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 Schwankung: 5 - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Erläuterung:

Stickoxide entstehen bei sämtlichen Verbrennungsprozessen unter Luftzufuhr. Sie sind wesentlich beteiligt bei der Bildung des photochemischen Smogs (Los Angeles), der durch die Einwirkung von Sonnenstrahlung auf ein Gemisch von reaktiven Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden entsteht. Auswirkungen dieses Smog-Typs sind Augen-, Nasen- und Halsreizungen, asthmatische Anfälle sowie Vergrößerung der Atmungsbeschwerden bei Atmungserkrankten. Bei Einwirkung von Stickoxiden in hohen Konzentrationen konnten an Versuchstieren Lungenschäden festgestellt werden. Bezüglich der Langzeitwirkung von geringen Konzentrationen und der Festlegung der Standards gilt das gleiche wie für den Indikator "SO₂-Immissionsbelastung".

Standards (für Langzeitwert) nach TA-Luft:

NO₂: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

NO : 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Bei einem mittleren Mischungsverhältnis $\text{NO}_2/\text{NO} = 0,5$ ergibt sich für NO_x der Standard von 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Der lokale Maximalwert (für Stuttgart) ist beim Maximum des bevölkerungsbezogenen Mittelwerts etwa doppelt so hoch. Da etwa 1/3 dieses lokalen Maximums vom Straßenverkehr herrührt, muß, ebenso wie beim Feinstaub, mit erheblichen kleinräumigen Überhöhungen gerechnet werden.

- 2.4 Ziel: Geringe Gesundheitsschäden durch Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe
 Indikator: Mittlere Immissionsbelastung der Bevölkerung durch CO in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 Schwankung: 10 - 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Erläuterung:

CO entsteht bei unvollständiger Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Dieser Sachverhalt trifft vor allem für Verbrennungsmotoren und Einzelofenheizungen zu. Aufgrund des Rückgangs der Einzelofenbeheizung kann deren Anteil jedoch vernachlässigt werden. Mit der CO-Emission sind weitere Kfz-Abgase verbunden, insbesondere Kohlenwasserstoffe. Da zwischen beiden Emissionen eine recht gute Korrelation besteht, ist der Indikator "CO-Immission" geeignet, die Schäden sowohl durch CO als auch durch Kohlenwasserstoffe zu charakterisieren.

Die Wirkung von CO beruht auf der Erniedrigung des Sauerstoffgehalts im Blut und bedingt hierdurch Konzentrationschwäche, Ermüdungs- und Ermattungserscheinungen. Nach bisherigen Erkenntnissen wirkt CO nicht akkumulativ, d.h. nach Beendigung der Exposition stellt sich innerhalb kurzer Zeit der Normalzustand wieder ein. Die Wirkung der Kohlenwasserstoffe ist sehr vielfältig entsprechend dem breiten Spektrum an Verbindungen, das dieser Begriff umfaßt. Erwähnt seien die kanzerogene Wirkung von Stoffen wie Benzpyren und die Rolle der Kohlenwasserstoffe bei der Bildung des Los Angeles-Smogs.

Standards:

TA-Luft: 10 mg/m³ als Langzeitwert

WHO: 10 mg/m³ als 8-h-Mittelwert

Bezüglich der Vergleichbarkeit der Standards gilt das gleiche wie für die SO₂-Immissionskonzentration. Der lokale Maximalwert für Stuttgart beträgt das fünffache des maximalen Mittelwertes. Kleinräumige Überhöhungen in Hauptverkehrsstraßen bis zum 20-fachen des Stuttgarter Mittelwertes erscheinen realistisch.

2.5 Ziel: Geringe radiologische Bevölkerungsbelastung
 Indikator: Mittlere Ganzkörperdosisrate in 10^{-2} mrem/a
 Schwankung: 0 - 50 · 10^{-2} mrem/a

Erläuterung:

Die radiologische Belastung ist charakteristisch für Elektrizitätserzeugung in thermo-nuklearen Kraftwerken. Allerdings sind die radioaktiven Emissionen von Kohlekraftwerken auch nicht unbeträchtlich, bleiben aber in diesem Indikator unberücksichtigt. Das Gebiet der radiologischen Umweltbelastungen ist derart komplex, daß die Kennzeichnung durch die Ganzkörperdosisrate allein eine grobe Vereinfachung darstellt, die sich lediglich durch den Indikatorcharakter der Größe rechtfertigen läßt.

Dabei ist die Ganzkörperdosisrate ebenso als organspezifische Dosisrate anzusehen wie z.B. Schilddrüsen- oder Leberbelastung, d.h. sie ist nicht als Mittelwert über die einzelnen Organbelastungen zu interpretieren.

Mögliche Gesundheitsschädigungen bestehen in einem erhöhten Auftreten von Leukämie und anderen Krebserkrankungen. Daneben sind genetische Folgen (Mißbildungen) zu befürchten. Analog zu den Auswirkungen der chemischen Schadstoffe ist auch bei radiologischen Belastungen das Ausmaß der Langzeitwirkung von geringen Dosen umstritten.

Die zu bewertende Ganzkörperdosisrate setzt sich in diesem Modell aus regional wirksamen kurzlebigen Radionukliden und global wirksamen langlebigen Radionukliden zusammen. Im ersten Fall werden die radioaktiven Immissionen analog zum Verfahren der SO₂-Immission bestimmt. Bei langlebigen Nukliden, wo sich ein nicht-vernachlässigbarer Anteil erst durch die Berücksichtigung der Akkumulation ergibt, wird zunächst analog zum CO₂ (Ziel 2.7) verfahren. Aufgrund der Kenntnis der Zerfallsprozesse der radioaktiven Substanzen wird dann die Steigerungsrate in die resultierende Gleichgewichtskonzentration umgerechnet, s. Teil I . Die Addi-

tion der Ganzkörperdosisraten für kurzlebige und langlebige radioaktive Substanzen ergibt den Wert des Indikators.

In die Berechnungen der Ganzkörperdosisrate gehen die gesamten Emissionen des Brennstoffkreislaufs ein (Kernkraftwerke und Wiederaufarbeitungsanlagen). Dabei wird für Leichtwasserreaktoren vom heutigen Stand der Technik, für andere Kernkraftwerktypen und die Wiederaufarbeitungsanlagen von den angestrebten Rückhaltefaktoren ausgegangen.

Bei der Abwägung dieses Indikators gegen andere ist auch zu beachten, daß er eventuelle Störfallemissionen ebenso wie nichtmonetäre Aspekte des Abfallproblems mit repräsentiert. Der Indikator steht also stellvertretend für, grob gesprochen, alle bei kerntechnischer Energiegewinnung typischerweise auftretenden Umweltrisiken. Deshalb werden bei der Indikatorberechnung radiologische Belastungen durch konventionelle Kraftwerke außer acht gelassen, obwohl sie nach Halbritter (1978) durchaus in derselben Größenordnung wie die von Kernkraftwerken bei Normalbetrieb liegen können.

Standard nach der Strahlenschutzverordnung: 30 mrem/a

- 2.6 Ziel:** Geringes unmittelbares Gesundheitsrisiko durch Energieerzeugung und -verbrauch
- Indikator:** Tödliche Unfälle und Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang in Tote/a
- Schwankung:** 2600 - 2800 Tote/a

Erläuterung:

Auswirkungen des Energiesystems auf die menschliche Gesundheit sind bereits durch die Schadstoff- und radiologischen Belastungen erfaßt worden. Durch die vorgesehenen Alternativen des Energiesystems ergibt sich zusätzlich eine mehr oder minder große Gefährdung durch Unfälle und Berufskrankheiten der in der Energiewirtschaft Beschäftigten. Jedoch ist hierbei die Schwankungsbreite relativ gering im Vergleich zur Unfallträchtigkeit, die bereits dadurch fest

vorgegeben ist, daß eine Alternative zum Individualverkehr im Modell nicht vorgesehen ist.

Als Indikator für die Unfallträchtigkeit wird die zu erwartende Zahl der Unfalltoten sowie der Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang herangezogen. Hierdurch ergibt sich ein deutlicher Kontrast zu den gesundheitlichen Folgen von Umweltbelastungen, die ganz bewußt nur durch eine verursachende Größe (die Immissionskonzentration) charakterisiert werden (s. Ziele 2.1 - 2.5). Die Zahl der Unfalltoten eignet sich hier deshalb gut als Indikator, weil sie für verschiedene Unfallursachen aus den entsprechenden Statistiken entnommen werden kann und so eine Vergleichbarkeit bezüglich der verschiedenen Modellvarianten begünstigt wird.

Eine Beeinflussung des Indikators erfolgt hauptsächlich durch

- Unfalltote und Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang im Steinkohlenbergbau
- Unfalltote im Straßenverkehr durch Heizöltransporte

Demgegenüber bewirken Substitutionen in anderen Bereichen des Energiesystems nur geringfügige Änderungen des Indikatorwertes.

Rechnet man die Schwankungsbreite des Indikators in eine Verminderung der mittleren Lebenserwartung der Bevölkerung Baden-Württembergs um, so beträgt dieser Wert ca. 5 h pro Einwohner.

Zur Bewertung dieses Indikators ist anzumerken, daß die materiellen Folgen von Unfällen (ärztliche Behandlung, Hinterbliebenenversorgung) im Bereich der Energiegewinnung und -versorgung prinzipiell bereits in den Gesamtkosten enthalten sein müßten, und zwar über Beiträge zu Berufsgenossenschaften. Da die überwiegende Zahl der Unfallopfer diesen Bereichen zuzuordnen ist, ist mit diesem Indikator also vor

allem eine zusätzliche ethische Bewertung der Gesundheitsschäden verbunden; es geht also trotz des Indikators "Unfalltote und Berufskrankheiten mit tödlichem Ausgang" nicht darum, Todesfälle gegen andere Auswirkungen des Energiesystems abzuwägen (z.B. Umrechnung eines Todesfalles in Geldeinheiten). Vielmehr sollen unterschiedliche Ausprägungen der Unfallträchtigkeit (inklusive nicht-tödliche Unfälle) und der Arbeitsplatzbelastung gegenüber denen von anderen Zielen bewertet werden.

- 2.7 Ziel: Geringes Risiko von Klimaänderungen durch Kohlendioxid-Produktion
- Indikator: Erhöhung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre in ppm/a
- Schwankung: 10 - 150 ppm/a

Erläuterung:

CO₂ entsteht bei der Verfeuerung fossiler Brennstoffe. Es ist zwar nicht als Schadgas anzusehen, jedoch werden Auswirkungen auf das globale Klima bei einem erhöhten CO₂-Gehalt aufgrund der verminderten Durchlässigkeit der Atmosphäre für Wärmestrahlung befürchtet. Als Indikator wird eine fiktive jährliche Erhöhung der CO₂-Konzentration unter folgenden Annahmen ermittelt:

- Die gesamte CO₂-Emission pro Jahr durch das Energiesystem Baden-Württemberg verteilt sich gleichmäßig auf die Luft-hülle über dem Bundesland.
- Aufgrund des Verhältnisses der Landoberfläche zur gesamten Erdoberfläche wird ein Faktor 1/3 berücksichtigt.
- Eine Verminderung der Konzentration durch Absorption von CO₂ in den Weltmeeren wird außer Betracht gelassen, da dieser Prozeß wesentlich durch die Dynamik des Energiesystems bestimmt wird. Die Beschreibung der Absorptionsdynamik ist überdies nicht zufriedenstellend geklärt.

Die gegenwärtige CO₂-Konzentration beträgt etwa 350 ppm, davon sind ca. 65 ppm anthropogen. Zur Zeit ist die jährliche Steigerung ca. 30 % geringer, als bei vollständiger Akkumulation zu erwarten wäre, jedoch ist zukünftig mit einer Abnahme der Absorptionsfähigkeit der Weltmeere zu rechnen. Bei der Bewertung dieses Zieles ist zu beachten, daß durch das Energiesystem Baden-Württembergs eine direkte Beeinflussung der Steigerung des CO₂-Gehalts nur in dem Ausmaß möglich ist, das dem Anteil am globalen Energieverbrauch entspricht. Daher ist die Bewertung des Zieles vor allem am möglichen Beispielcharakter des Energiesystems von Baden-Württemberg zu orientieren.

M.a.W.: Der Entscheidungsträger in Baden-Württemberg verhält sich quasi stellvertretend für andere Länder.

2.8 Ziel:	Geringe Gewässerbelastung
Indikator:	Verdunstete Wassermenge in m ³ /sec
Schwankung:	0 - 10 m ³ /sec

Erläuterung:

Vereinfachend wird bei der Bewertung verschiedener Konfigurationen des Energieversorgungssystems angenommen, daß die Höhe der Schäden infolge Abwärmefreisetzung unabhängig davon ist, welches Medium (Atmosphäre oder Gewässer) erwärmt wird. Damit reduzieren sich die gewässerspezifischen Auswirkungen des Energiesystems auf die Verdunstungsverluste infolge Kraftwerkskühlung.

Verdunstungsverluste erniedrigen die Wasserführung der Flüsse, wobei folgende Auswirkungen denkbar sind:

- Konzentrationserhöhungen von Schadstoffen
- Erniedrigung der Fließgeschwindigkeit mit der Folge der räumlichen Verlagerung von Reaktionsmechanismen in Fließgewässern.
- Beeinträchtigung der Schifffahrt auf nichtgestauten Wasserwegen.

Die detaillierte Ermittlung derartiger Auswirkungen kann nur bei Einbeziehung potentieller Standorte für Kraftwerke erfolgen; weshalb im Rahmen unserer standortunabhängigen Untersuchung eine wirkungsbezogenere Kenngröße als "Verdunstungsverluste" nicht angewendet werden kann.

Eine Verminderung oder Ausschaltung von Verdunstungsverlusten ist durch den Einsatz von kostenaufwendigeren Trockenkühltürmen oder durch Nutzung der entstehenden Abwärme möglich.

Der Maximalwert der verdunsteten Wassermenge entspricht dem niedrigsten Abfluß des Neckar an der Mündung, der mittlere Abfluß beträgt zum Vergleich $148 \text{ m}^3/\text{s}$. Die mittlere Gesamtniederschlagsmenge über Baden-Württemberg beträgt rund $1100 \text{ m}^3/\text{s}$, von der etwa 50 % als Oberflächenwasser abfließen.

- 2.9 Ziel: Geringe Landinanspruchnahme durch Anlagen der Energiewirtschaft
- Indikator: Flächenbedarfsanteil der Energieumwandlungsanlagen an der Gesamtfläche Baden-Württembergs in %
- Schwankung: 0 - 0.05 %

Erläuterung:

Die Umweltbeeinträchtigung, die Energieumwandlungsanlagen allein durch ihre bloße Anwesenheit darstellen, läßt sich, wenn auch sehr grob, durch die in Anspruch genommene Fläche beschreiben.

Faktoren, die den Flächenbedarf beeinflussen, sind insbesondere die installierte Leistung von Kraftwerken, Heizkraftwerken oder reinen Heizwerken und die von ihnen näherungsweise proportional zur Leistung beanspruchte Fläche. Auch der Flächenbedarf für den Braunkohleabbau in Nordrhein-Westfalen wird bei der Energieversorgungsalternative 'Braunkohleverstromung' - gewichtet mit dem Verhältnis der Bevölkerungsdichten - in der Indikatorberechnung berücksichtigt.

Ohne Berücksichtigung dieser Alternativen ist die Landinanspruchnahme nur in sehr geringem Umfang durch die Modellvariablen beeinflusst. Da durch den Bau von Pumpspeicherwerken evtl. landschaftsgestalterische Maßnahmen zur Verbesserung des Landschaftsbildes sowie der Landschaftsnutzung erreicht werden können - dies jedoch nicht zwangsläufig der Fall sein muß - wird von einem Flächenbedarf für Kraftwerke ausgegangen, der sich aus der zu installierenden Leistung ohne Pumpspeicherwerke ergeben würde.

Landinanspruchnahme durch Transportanlagen, z.B. Stromleitungen, wird nicht berücksichtigt, ebensowenig der Flächenbedarf für lokale Sonnenenergienutzung zu Heizzwecken, da Kollektoren i.d.R. auf Dächern installiert werden. Der Landbedarf einer Alternative 'Stromerzeugung mittels Sonnenenergie' in sog. Sonnenfarmen größeren Umfangs müßte freilich bei (bislang noch nicht erfolgter) Einführung in das Modell explizit mit einbezogen werden.

3. Ziel: Hohe Vielfältigkeit des Endenergieangebots
 Indikator: Vielfältigkeitsindex des Endenergieangebots
 als dimensionslose Zahl zwischen 0 und 1

Erläuterung:

Dieser Indikator beinhaltet die Eigenschaft des Energiesystems, dem Endverbraucher eine mehr oder weniger große Auswahl an Endenergiearten zur Deckung seines Bedarfs anzubieten. Gleichzeitig ist hiermit die Eigenschaft des Energiesystems verbunden, gegenüber Störungen im Energiesystem mehr oder weniger stabil zu sein.

Eine Meßgröße für das vorliegende Ziel läßt sich durch folgende Überlegungen ableiten:

Für eine bestimmte Bedarfsart mit Index i (z.B. Niedertemperaturwärme) existieren vom Modellaufbau her m_i mögliche Endenergieformen. Es werden D_i Energieeinheiten nachgefragt. (Dabei ist, wie auch bei den Erläuterungen zu Ziel 4., zu beachten, daß die Endnachfrage hier nicht immer Nachfrage nach Endenergie bedeutet, sondern sich, je nach den betrachteten Umwandlungsoptionen, auf Endenergie, Nutzenenergie oder

auch eine Zwischenform bezieht.) Eine optimale Angebotsstruktur ist dann vorhanden, wenn sämtliche der m_i möglichen Endenergieformen, bei denen mehr als eine Möglichkeit zur Deckung vorgesehen ist, mit dem gleichen Anteil D_i/m_i auftreten (ggf. unter Einbeziehung unterschiedlicher Wirkungsgrade). Die Anzahl der tatsächlich angebotenen Energieformen allein ist offenbar kein sonderlich geeigneter Indikator zur Beschreibung der Angebotsvielfalt, da er lediglich die qualitativen Aspekte der Vielfalt berücksichtigen würde.

Die Abweichung der Angebotsstruktur von der skizzierten optimalen Struktur läßt sich durch den folgenden Index formelmäßig beschreiben:

$$I = \frac{1}{\sum_{i=1}^n D_i} \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{2(m_i-1)} \left(\sum_{j=1}^{m_i} \left| \eta_{ji} x_{ji} - \frac{D_i}{m_i} \right| \right), \quad m_i > 1 \quad (4.1)$$

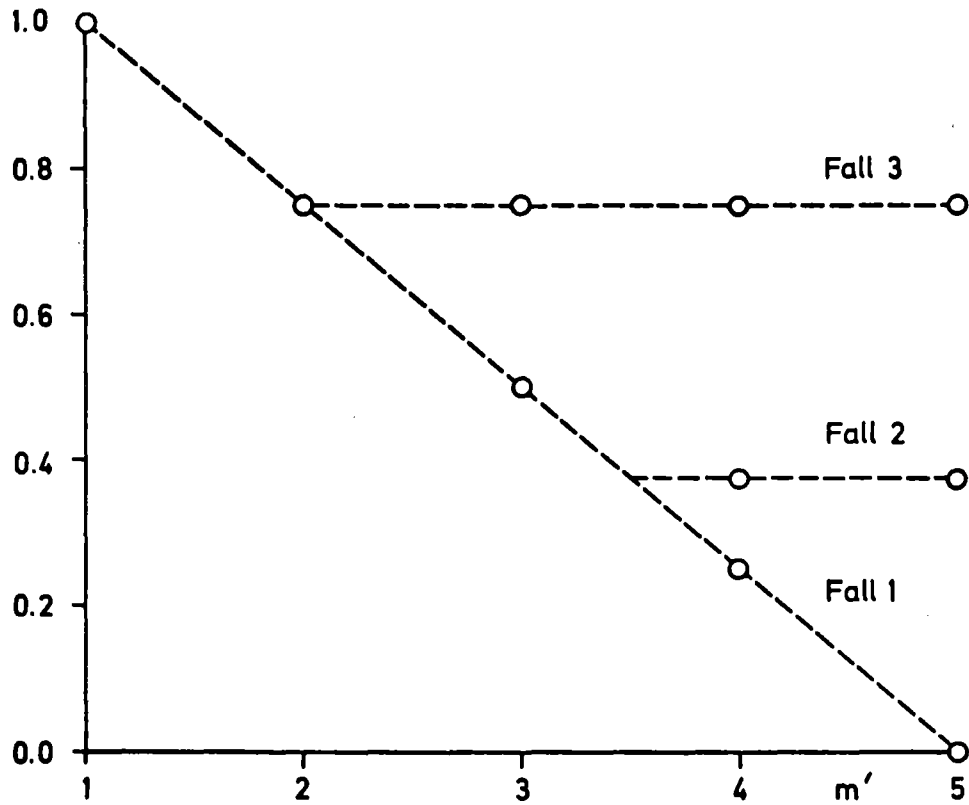
n = Anzahl der Nachfragekategorien

x_{ji} = jährliche Endenergiemenge der Art j zur Deckung der Nachfrage D_i unter Einbeziehung des Wirkungsgrades

η_{ji} = Wirkungsgrad des Energieträgers j bzgl. der Bedarfskategorie i .

Der Faktor $m_i/2(m_i-1)$ ist eingefügt worden, damit im Falle der Bedarfsdeckung durch jeweils nur eine Endenergieart der Index den Wert 1 annimmt; im optimalen Fall hat der Index den Wert 0.

Zur Veranschaulichung dieses Indikators sind in der folgenden Abbildung die Indikatorwerte für eine einzige Bedarfsart, die mit fünf Endenergieformen befriedigt werden kann, beispielhaft dargestellt.



Aufgetragen ist der Wert von

$$\frac{m}{D \cdot 2(m-1)} \sum_{j=1}^m \left| X_j - \frac{D}{m} \right| \quad (4.2)$$

X_j = Endenergiemenge der Art j zur Deckung der Nachfrage D pro Jahr unter Einbeziehung des Wirkungsgrades

in Abhängigkeit von der Anzahl m' der Endenergiearten, die einen von Null verschiedenen Beitrag zur Bedarfsdeckung liefern.

Um die Auswirkung der Verteilung über die Energieträger zu verdeutlichen, sind folgende Fälle skizziert:

Fall 1: Die m' Energieformen mit einem Anteil $X_j \neq 0$ haben den Wert

$$X_j = \frac{D}{m'} .$$

Fall 2: Eine der Endenergieformen hat den Wert $0.5 \cdot D$, der verbleibende Bedarf wird, falls $m' > 1$ ist, gleichmäßig auf die restlichen X_j mit $X_j \neq 0$ aufgeteilt.

Fall 3: Eine der Endenergieformen hat den Wert $0.8 \cdot D$, der verbleibende Bedarf wird entsprechend Fall 2 aufgeteilt.

Aus der Grafik ist zu entnehmen, daß bei einer Gleichverteilung der Index linear mit der Anzahl m' abnimmt, bei einer Ungleichverteilung eine Abnahme aber nur bis zu einem bestimmten Wert erfolgen kann. Letzterer Wert liegt um so höher, je mehr eine einzelne Form der Bedarfsdeckung überwiegt.

Bei Bürk, Gehrig (1978, S. 7) findet sich ein als "relative mean deviation" bezeichneter Index, der mit dem Ausdruck (4.1) eng verwandt ist und zur Messung der Einkommens-Ungleichverteilung herangezogen wird.

Da (4.1) keine rein lineare Funktion der Modellvariablen ist, verwendet man später in der Optimierung statt einer Betragsfunktion

$$|x - a| \quad \text{den Ausdruck } (-x_1 + x_2 + a)$$

$$\text{mit } x_1 \leq x \quad 0 \leq x_1 \leq a$$

$$\text{und } x_2 \geq x - x_1 \quad 0 \leq x_2$$

Man ersetzt also einen nichtlinearen Ausdruck durch einen linearen mit zusätzlichen linearen Nebenbedingungen.

4. Ziel: Hohe Energieeffizienz

Indikator: Gesamtwirkungsgrad η des Energiesystems in %; da η nicht als Linearkombination der Entscheidungsvariablen darstellbar, wählt man den Reziprokwert des Gesamtwirkungsgrades $\cdot 10^4$ in %

Schwankungsbreiten:

$$40 \% \leq \eta \leq 80 \% \text{ bzw. } 250 \% \geq \frac{10^4}{\eta} \geq 125 \%$$

Erläuterung:

Der als Indikator gewählte Reziprokwert des Gesamtwirkungsgrades

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sum_i XP_i}{\sum_j D_j}$$

XP_i : Energiemenge pro Jahr des Primärenergieträgers i (z.B. Steinkohle für Elektrizitätserzeugung)

D_j : Vorgegebene Nachfrage pro Jahr für die End- bzw. Nutzenergiekategorie j (z.B. Energiebedarf für Raumheizung)

gibt - wenn man ihn in $10^4/\eta$ in % ausdrückt - an, wieviel % Primärenergie man einsetzen muß, um 100 % Endenergie verbrauchen zu können.

Die Schonung der Energiereserven ist angesichts der fühlbar werdenden Verknappung der Rohstoffe ein bedeutsames energiepolitisches Ziel. Ferner beinhaltet eine hohe Energieeffizienz eine geringe Abwärmelast. Da dem Optimierungsmodell die Endnachfrage extern vorgegeben wird, ist eine Steuerung des Primärenergiebedarfs offenbar nur über den Gesamtwirkungsgrad möglich. Bei der Bewertung dieses Ziels ist zu beachten, daß bezüglich der Schonung der Energiereserven wie auch der möglichen großklimatischen Veränderungen infolge Abwärmelast die Schlußbemerkung von Ziel 2.7 gilt.

Das Ziel "Geringer Primärenergieverbrauch" beschreibt pauschal das Bestreben, sparsam mit den natürlichen Energieressourcen umzugehen. Daß die Aussagekraft des Indikators im Hinblick auf dieses Ziel jedoch nicht überschätzt werden darf, zeigt das Beispiel des Schnellen Brutreaktors (der zur Zeit noch nicht im Modell enthalten ist):

Der Indikator könnte bei Realisierung dieser Option denselben Wert annehmen wie bei der Verwendung von Leichtwasserreaktoren anstelle von Schnellen Brutreaktoren. Offensichtlich sind aber die Ressourcen im zweiten Fall wesentlich früher erschöpft als im ersten. Andererseits bleibt natürlich auch im Falle des Leichtwasserreaktors das Uran 238 (das im Brutreaktor verwertet wird) als potentielle Energieressource erhalten.

Der Verbrauch regenerierbarer Ressourcen (Sonne, Wasserkraft) wird bei der Indikatorberechnung nicht als Primärenergieverbrauch gewertet. Dies ist sinnvoll sowohl im Hinblick auf die Ressourcenschonung als auch im Hinblick auf die Abwärmelast (die unabhängig von der Nutzung der regenerierbaren Ressource ist).

5. Ziel: Versorgungssicherheit

Erläuterung:

Unter diesem Ziel sind im Rahmen des Zielsystems solche Auswirkungen zu verstehen, die sich durch die Abhängigkeit des Energiesystems von Primärenergielieferungen ergeben. Unter dem Gesichtspunkt der Praktikabilität bietet sich folgende Aufspaltung in Unterziele an:

- mittelfristige Versorgungssicherheit
- kurzfristige Versorgungssicherheit.

Das an dieser Stelle zu erwartende Ziel der langfristigen Versorgungssicherheit ist Bestandteil des 4. Zieles "Hohe Energieeffizienz".

5.1 Ziel:	Mittelfristige Versorgungssicherheit
Indikator:	Anteil der Endnachfrage, der von Importen abhängt, in %
Schwankung:	10 - 100 %

Erläuterung:

Unter mittelfristiger Versorgungssicherheit verstehen wir die Sicherstellung der Primärenergieträger über die Lebensdauer der zugehörigen Energieumwandlungsanlagen, im allgemeinen 20 - 30 Jahre. Wie schon aus dem Indikator deutlich wird, ist das zu bewertende Ziel allerdings weiter zu fassen als allein unter dem Gesichtspunkt der direkten Versorgungssicherheit. Die Abhängigkeit von Energieimporten ist einerseits mit dem Risiko einer mittelfristigen Versorgungs-

lücke verbunden, aber auch andere Aspekte, z.B. Zahlungsbi-
lanzprobleme, sind zu berücksichtigen. Schließlich ist zu
beachten, daß ein niedriger Importanteil mit einem erhöhten
Verzehr an einheimischen Energieträgern verbunden ist. Daher
wäre es denkbar, daß ein sehr niedriger Importanteil negativ
beurteilt wird.

Die Berechnung dieses Indikators aus den Entscheidungsvariab-
len des Modells erfolgt unter der Annahme, daß 100 % des
Kohlebedarfs und 50 % des Gasbedarfs durch einheimische Ener-
gien gedeckt werden. Die übrigen Primärenergieträger werden
als 100 %ige Importe angesehen.

5.2 Ziel: Kurzfristige Versorgungssicherheit
Indikator: Vorratshaltungskosten für 1/2 Jahr pro Ein-
wohner Baden-Württembergs
Schwankung: 10 - 100 DM/(cap.a)

Erläuterung:

Dieser Indikator beinhaltet eine Bewertung der Wahrschein-
lichkeit sowie der wirtschaftlichen Folgen einer kurzfristi-
gen Verknappung von Primärenergieträgern, z.B. durch Streik
oder Embargo. Ein Maß hierfür sind die Kosten für die Ver-
meidung dieses Risikos durch entsprechende Vorratshaltung,
wobei nicht unterstellt wird, daß die Bevorratung auch tat-
sächlich durchgeführt wird. Die Höhe der Kosten hängt sowohl
von der Zusammensetzung des Primärenergieeinsatzes, der Länge
der Bevorratungsdauer sowie den spezifischen Lagerkosten pro
Energie- und Zeiteinheit ab. Für die Berechnung des Indikators
wird eine Bevorratungsdauer von 1/2 Jahr zugrunde gelegt.

Als Vereinfachung für die Indizierung in der formalen Be-
schreibung wollen wir im folgenden die Einzelziele einfach
durchnummeriert bezeichnen.

1. Geringe Kosten
2. geringe Gesundheitsschäden durch Schwefeldioxid
3. geringe Gesundheitsschäden durch Feinstaub
4. geringe Gesundheitsschäden durch Stickoxide

5. geringe Gesundheitsschäden durch Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe
6. geringe radiologische Bevölkerungsbelastung
7. geringes unmittelbares Gesundheitsrisiko durch Energieerzeugung und -verbrauch
8. geringes Risiko von Klimaänderungen durch Kohlendioxid-Produktion
9. geringe Beeinträchtigung der Gewässer
10. geringe Landinanspruchnahme durch Anlagen der Energiewirtschaft
11. hohe Vielfalt des Endenergieangebots
12. hohe Energieeffizienz
13. mittelfristige Energieversorgungssicherheit
14. kurzfristige Energieversorgungssicherheit

In Anhang A sind in dieser Reihenfolge und Numerierung die das jeweilige Einzelziel messenden Attribute als lineare Funktionen der Modellvariablen (also der jährlich umgesetzten Energiemenge und der zugehörigen Umwandlungskapazitäten) dargestellt. Wegen einer detaillierten Beschreibung der Berechnungsgrundlagen zu den Formeln in Anhang A wird erneut auf Teil I verwiesen. Eine knappe Übersicht über alle Ziele und Attribute mit zugehörigen Schwankungsbreiten gibt Abb. 4.1.

Z 1: Geringe Kosten	Z 2.1: Geringe Gesundheitsschäden durch SO ₂
I 1: Gesamtkosten in DM/cap·a	I 2.1: mittl. SO ₂ -Imission in µg/m ³
S 1: 1800 - 2500 DM/cap·a	S 2.1: 0 - 100 µg/m ³
	Z 2.2: Geringe Gesundheitsschäden durch Feinstaub
	I 2.2: mittl. Feinstaub-Imission in µg/m ³
	S 2.2: 0 - 12 µg/m ³
	Z 2.3: Geringe Gesundheitsschäden durch NO _x
	I 2.3: mittl. NO _x -Imission in µg/m ³
	S 2.3: 5 - 40 µg/m ³
Z 2: Geringe Umweltauswirkungen	Z 2.4: Geringe Gesundheitsschäden durch CO und C _m H _n
	I 2.4: mittl. CO-Imission in µg/m ³
	S 2.4: 10 - 190 µg/m ³
	Z 2.5: Geringe radiolog. Bevölkerungsbelastung
	I 2.5: mittl. Ganzkörperdosisrate in mrem/a
	S 2.5: 0 - 50·10 ⁻² mrem/a
Z 3: Hohe Vielfalt des Endenergieangebotes	Z 2.6: Geringe Unfallträchtigkeit
I 3: Dimensionsloser Vielfältigkeitsindex	I 2.6: Unfalltote/a des EVS i.e.S.
S 3: 0 - 1	S 2.6: 2600 - 2800 Tote/a
	Z 2.7: Geringes Risiko von Klimaänderungen durch CO ₂ -Produktion
	I 2.7: jährl. Zunahme der CO ₂ -Konzentration in ppm/a
	S 2.7: 10 - 150 ppm/a
Z 4: Hohe Energieeffizienz	Z 2.8: Geringe Beeinträchtigung der Gewässer
I 4: Reziprokwert des Gesamtwirkungsgrades η in %	I 2.8: Verdunstete Wassermenge in m ³ /s
S 4: 125 - 250 % (entspricht η zwischen 80 % und 40 %)	S 2.8: 0 - 10 m ³ /s
	Z 2.9: Geringer Landschaftsverbrauch
	I 2.9: Anteil der Fläche, die vom EVS benötigt wird, in %
	S 2.9: 0 - 0,05 %
Z 5: Versorgungssicherheit	Z 5.1: Mittelfristige Versorgungssicherheit
	I 5.1: Anteil des Endenergiebedarfs, der von Importen abhängt, in %
	S 5.1: 10 - 100 %
	Z 5.2: Kurzfristige Versorgungssicherh.
	I 5.2: Vorratshaltungskosten für 1/2 a in DM/cap·a
	S 5.2: 10 - 100 DM/cap·a

Abb. 4.1: Ziele, Indikatoren und Schwankungsbreiten für das EVS Baden-Württemberg

5. Konkrete Ermittlung der Nutzenfunktion

5.1 Übersicht und Klärung der Voraussetzungen

Der aktuelle Prozeß zur Ermittlung einer multikriterialen Nutzenfunktion bedarf der persönlichen Interaktion zwischen Berater und Entscheidungsträger, da es darum geht, die subjektiven Präferenzen des Entscheidungsträgers so zu ermitteln, daß sie formal durch eine Nutzenfunktion der Art (3.1) oder (3.2.) beschrieben werden können. Dieser Prozeß findet gewöhnlich im Rahmen einer interviewartig organisierten Sitzung statt, in deren Verlauf der Entscheidungsträger eine Reihe von Fragen über seine Präferenzen zu beantworten hat. Damit ein solches Interview auch zu verlässlichen Daten führt, muß der Interviewer (= Berater, Systemanalytiker) gründlich vorbereitet sein - etwa in Form einer vorherigen Durchführung von Testinterviews an Testpersonen - um sämtlichen methodologischen Schwierigkeiten, die bei derartigen empirischen Forschungsinterviews auftreten können, gewachsen zu sein. Da hier keine Abhandlung über grundlegende Methoden und Techniken der empirischen Sozialforschung erstellt werden soll, wird im folgenden in Anlehnung an Scheuch (1973) und Koolwijk (1974) ohne Anspruch auf Vollständigkeit lediglich katalogförmig und stichwortartig aufgelistet, an was bei der Durchführung von Interviews alles gedacht werden sollte. Die folgende Tafel 5.1 stellt ein grobes Stichwort- bzw. Inhaltsverzeichnis zu o.a. Literaturstellen dar. Die Unterteilung entspricht keiner irgendwie beabsichtigten Hierarchie der Kriterien, sondern stellt diese lediglich unter bestimmten, als wichtig erachteten Aspekten zusammen.

Grundsätzlich muß bei der Bestimmung der Nutzenfunktion die dynamische Natur des Ermittlungsprozesses berücksichtigt werden. Der Ablauf eines Interviews hängt natürlich stark von den laufenden Antworten des Entscheidungsträgers auf die Fragen zur Ermittlung seiner Präferenzstruktur ab. Dennoch wird der geübte Interviewer noch weitere Faktoren in Betracht ziehen, etwa beobachtete Schwierigkeiten beim Beantworten

oder Verstehen einer Frage, oder auch den Wunsch mehr ins Detail zu gehen.

Trotz dieser dynamischen Aspekte kann man ein bestimmtes Schema zur Bestimmung der Nutzenfunktion angeben. Nach erfolgter Spezifizierung der Attribute (Kap.4) kann man sich den Ermittlungsprozeß in 5 Stufen unterteilt denken:

1. Familiarisierung des Entscheidungsträgers mit der Terminologie des nutzentheoretischen Konzeptes, Wecken der Bereitschaft zur Zusammenarbeit beim Ermittlungsprozeß;
2. Verifizierung der Unabhängigkeitsannahmen bezgl. der Präferenzen, Bildung sog. Schlüsselattribute oder Attributpakete und -unterpakete;
3. Bestimmung der eindimensionalen Nutzenfunktionen der Einzelattribute
4. Bestimmung der Skalierungskonstanten
5. Überprüfung der Konsistenz und, falls nötig, Modifizierung.

Die folgenden Unterkapitel befassen sich schwerpunktmäßig mit den Stufen 2 - 5, während dieses Unterkapitel Stufe 1 des Ermittlungsprozesses erläutern soll. Dabei verstehen wir unter Familiarisierung im wesentlichen den Prozeß der Sozialisation zwischen Entscheidungsträger (= Befragter) und Berater (= Interviewer).

Ziel ist hierbei, eine Übereinkunft im Sprachgebrauch zu finden und ein schärferes Problemverständnis zu wecken. Dies geschieht insbesondere durch die bereits beschriebene Eini-gung auf einen Zielkatalog und der Darstellung der Konsequenzen für die die den Zielerreichungsgrad messenden Attribute oder Indikatoren stehen. Wichtig ist an dieser Stelle, darauf hinzuweisen, daß nicht der Indikator selbst, sondern das Ziel, für das er steht, zu bewerten ist. Dies gilt besonders für die nichtmonetären Ziele (z.B.: kurzfristige Versorgungssicherheit), deren Indikatoren spezifische Kosten darstellen.

In unserem konkreten Fall ist Stufe 1 des Ermittlungsprozesses teilweise identisch mit einer Sitzung, die bereits 1977 im Wirtschaftsministerium Baden-Württembergs stattgefunden hat. Der zweiten Sitzung (die noch teilweise zu Stufe 1 zählt) ist ein informativer Schriftwechsel über das Zielsystem vorausgegangen, der die Grundlage einer Einstiegsdiskussion dieser 2. Sitzung im Spätherbst 1978 lieferte. Der Entscheidungsträger, ein für die regionale Energiepolitik maßgeblich verantwortlicher Ministerialbeamter, wurde zunächst noch einmal kurz über das Modell des Energieversorgungssystems für Baden-Württemberg und das in diesem Zusammenhang herangezogene Lösungskonzept zur Entscheidung bei mehrfacher Zielsetzung informiert. Der besondere Charakter des gewählten Verfahrens (vgl. Fiala, Stehfest (1979)) wurde eingehend erläutert, um sicherzustellen, daß der Entscheidungsträger seine eigenen Präferenzen artikuliert und nicht solche, von denen er meint, daß sie eine bestimmte Regierung habe oder haben sollte. Auf die nutzentheoretischen Grundlagen, speziell die Axiome (N1) - (N3) und deren Implikationen wurde ebenfalls eingegangen.

Der Entscheidungsträger akzeptierte in vollem Umfang, daß sein Entscheidungsverhalten durch die Axiome der kardinalen Nutzentheorie beschrieben werden könne und zeigte sich zuversichtlich ob der Möglichkeit, seine Präferenzen durch Beantwortung einfacher Lotteriefragen aufzudecken. Was häufig nicht mit genügendem Nachdruck geschieht und deshalb bereits jetzt erwähnt werden soll, ist der ausdrückliche Hinweis, daß das Auftreten von Inkonsistenzen (vgl. Beschreibung von Stufe 5) eine Selbstverständlichkeit darstellt und der Entscheidungsträger jederzeit ohne unangebrachte Scheu seine zunächst artikulierten Präferenzen revidieren kann und dies beim Vorliegen von Inkonsistenzen sogar muß.

Die Erfahrung zeigt, daß der Entscheidungsträger in einem hochkomplexen multikriterialen Kontext kaum in der Lage ist, auf Anhieb seine Präferenzen in konsistenter Weise ohne Modifikationen anzugeben. Dies sollte ihn auch nicht weiter stören, da es ein Hauptziel der Ermittlung ist, dem Entschei-

dungsträger konsequent das Verständnis für die Implikationen seiner Präferenzen auf derart komplexer Entscheidungsebene nahezubringen. Die Angst, sich einzugestehen, daß sich bestimmte eingangs geäußerte Präferenzen widersprechen, da ihre sämtlichen Implikationen zunächst nicht vollständig übersehen wurden, muß dem Entscheidungsträger von vorneherein genommen werden. Nichts kann die Gültigkeit der ermittelten Nutzenfunktion nachdrücklicher beeinträchtigen als ein nicht eingestandener Irrtum, der zu weiteren Fehleinschätzungen führt. Aus diesem Grunde ist dem Aufdecken von Inkonsistenzen anhand von Kontrollfragen und der evtl. folgenden Modifikation eine eigene Stufe gewidmet.

5.2 Bestimmung der Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers und Überprüfung der Präferenzunabhängigkeit

Um die Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers voll zu erfassen, muß dieser in der Lage sein, zweierlei Arten von Zieleinschätzungen zu artikulieren:

1. Die relative Wünschbarkeit von verschiedenen Graden der Zielerreichung (= Attributwert) eines bestimmten Zieles;
2. Die relative Wünschbarkeit eines bestimmten Zielerreichungsgrades von einem Ziel (= Attributwert i) gegenüber einem anderen wohlspezifizierten Zielerreichungsgrad eines zweiten Zieles (= Attributwert j).

Die Information über die relative Einschätzung verschiedener Zielerreichungsgrade eines Zieles reicht aus, um die u_i 's in Gleichung (3.1) bzw. Gleichung (3.2) zu bestimmen, während die zweite Art der Zieleinschätzung hinreichende Bewertungsinformation zur Ermittlung der c_i 's liefert. Zwei grundlegende Fragentypen und deren Beantwortung durch den Entscheidungsträger bezüglich aller Ziele und Unterziele reichen also aus, die komplette Nutzenfunktion zu determinieren, vorausgesetzt, die Unabhängigkeitsannahmen des Satzes 3.1 sind (wenigstens näherungsweise) erfüllt. In der Praxis der Ermitt-

lung von Nutzenfunktionen hat es sich als zweckmäßig erwiesen, speziell die Überprüfung der Präferenzunabhängigkeit zwischen $Z_i \times Z_j$ und \bar{z}_{ij} ($j \neq i$) mit Fragen nach der o.a. zweiten Art der Zieleinschätzung seitens des Entscheidungsträgers zu koppeln. Zur besseren Illustration wollen wir einen solchen Interviewausschnitt einmal exemplarisch dokumentieren. Der Leser sollte sich vergegenwärtigen, daß bei k Attributen gerade $k-1$ solcher Fragen (vom Typ 2) zu stellen sind. Um die Lesbarkeit nicht über Gebühr zu strapazieren, bezeichnen wir mit Z_i wie zuvor sowohl Ziel i als auch das Ziel i messende Attribut, während z_i die spezielle Höhe des Attributwertes angibt.

Man stelle sich zwei konkurrierende Energieversorgungsstrategien X_A und X_B vor, die bei allen Zielen zu identischen Zielerreichungsgraden (= Attributwerten) führen, außer bei den beiden Zielen (z.B.) Z_1 (Geringe Kosten) und Z_2 (Geringe Gesundheitsschäden durch SO_2). Strategie X_A führe beispielsweise zu jährlichen Gesamtkosten pro Kopf i.H.v. $z_{1A} = 1800$ DM/(cap·a) und zu einer mittleren Immissionsbelastung der Bevölkerung durch SO_2 von $z_{2A} = 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Strategie X_B hingegen ergebe Gesamtkosten von $z_{1B} = 2500$ DM/(cap·a) bei einer SO_2 -Immission von $z_{2B} = 0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, also keinerlei Beeinträchtigung. Weiterhin gelte, daß alle anderen Attributwerte $\bar{z}_{12}^0 = \bar{z}_{12A}^0 = \bar{z}_{12B}^0$ (für beide Strategien gleich) und auf ihrem jeweils schlechtesten Niveau liegen. Der Entscheidungsträger muß nun im Bewußtsein, persönlich volle Verantwortung für die Entscheidung zu tragen, eine Präferenz (oder Indifferenz) zwischen beiden Strategien X_A und X_B bekunden, einfacher ausgedrückt:

Welcher der beiden Alternativen wird vorgezogen:

Gesamtkosten z_{1A} = 1800 DM/(cap·a) und mittl. SO_2 -Immission von $z_{2A} = 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	oder	Gesamtkosten z_{1B} = 2500 DM/(cap·a) und mittl. SO_2 -Immission von $z_{2B} = 0 \mu\text{g}/\text{m}^3$
--	------	--

Betrachten wir den Fall, daß $\underline{X}_A \succ \underline{X}_B$ gilt. Dann wird man einen zweiten Alternativenvergleich zwischen einer Strategie \underline{X}_A , und \underline{X}_B erfragen:

Welche der beiden Alternativen wird vorgezogen:

Gesamtkosten $z_{1A'}$ = 2200 DM/(cap·a) und mittl. SO ₂ -Immission von $z_{2A'} = 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	oder	Gesamtkosten z_{1B} = 2500 DM/(cap·a) und mittl. SO ₂ -Immission von $z_{2B} = 0 \mu\text{g}/\text{m}^3$
---	------	---

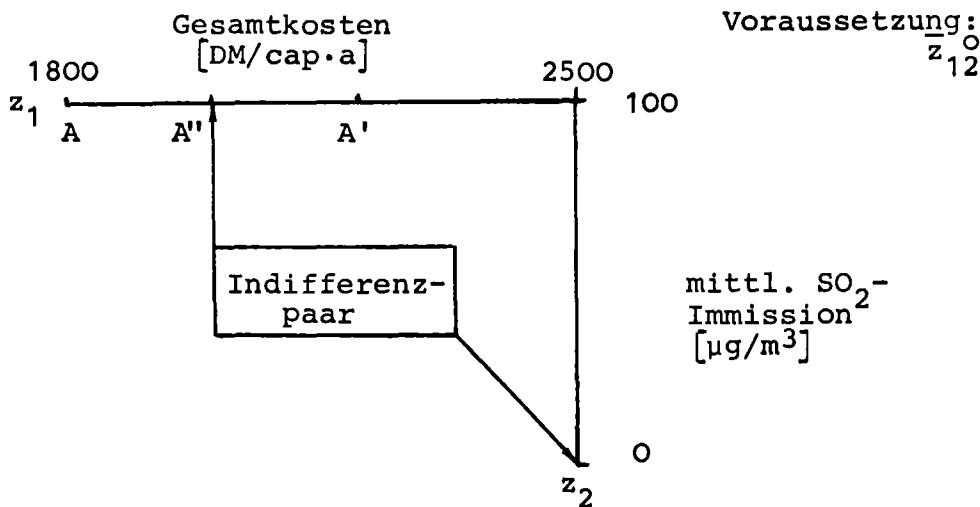
Gelte nun $\underline{X}_B \succ \underline{X}_A$, wird man erneut etwa folgende Frage stellen:

Welche der beiden Alternativen wird vorgezogen:

Gesamtkosten $z_{1A''}$ = 2000 DM/cap·a und mittl. SO ₂ -Immission von $z_{2A''} = 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	oder	Gesamtkosten z_{1B} = 2500 DM/(cap·a) und mittl. SO ₂ -Immission von $z_{2B} = 0 \mu\text{g}/\text{m}^3$
---	------	---

Dieser sukzessive Alternativenvergleich soll letztlich zu zwei Energieversorgungsstrategien führen, zwischen denen der Entscheidungsträger indifferent ist.

Graphisch veranschaulicht man dieses Vorgehen am besten im zweidimensionalen Attributeunterraum $Z_1 \times Z_2$:



Gilt in unserem Beispiel etwa, daß der Entscheidungsträger zwischen den beiden Strategien \underline{X}_A und \underline{X}_B indifferent ist, so wissen wir damit, daß die Punkte A" und B auf der gleichen Isopräferenzkurve im Attributeunterraum $Z_1 \times Z_2$ liegen. M.a.W.: Unserem Entscheidungsträger ist eine Verbesserung der Gesamtkosten von 2500 DM/(cap·a) auf 2000 DM/(cap·a) genau soviel wert wie eine Verbesserung der mittleren SO_2 -Immision von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Von großer Bedeutung bei der Bestimmung dieses Strategien-Indifferenzpaares ist die als erfüllt unterstellte Voraussetzung, daß alle anderen Attribute ihren jeweils schlechtesten Wert annehmen. An dieser Stelle kann nun die Überprüfung der Präferenzunabhängigkeitsannahme erfolgen, indem man den gleichen Strategienvergleich, wie oben exemplarisch angeführt, nochmals durchspielt, allerdings jetzt unter der Annahme, daß alle anderen Attribute nun z.B. auf ihrem jeweils besten Niveau liegen.

Führt dieser neue Strategievergleichszyklus zu demselben Indifferenzpaar, so ist die Präferenzunabhängigkeit zwischen $Z_1 \times Z_2$ und \bar{Z}_{12} als gesichert anzusehen. Andernfalls ist genau zu klären, die Änderung welcher Attribute aus \bar{Z}_{12} die Entscheidung zwischen den beiden Strategien zu einem anderen Indifferenzpaar beeinflussen.

Haben sich die Interviewpartner erst einmal 'eingespielt', wird selbstverständlich bei der i-ten von k-1 solcher Überprüfungen nicht jedesmal der gesamte Strategienvergleichs-zyklus zweimal durchlaufen, sondern nach einmaliger Ermittlung des Indifferenzpaares lautet die Frage nur noch, ob die geäußerte Indifferenz abhängig ist von der Anhebung der zunächst auf ihrem jeweils schlechtesten Niveau fixierten Attributwerte auf ihr jeweils bestes (oder anders konstantes) Niveau und wenn ja, von welchen.

Die vollständigen Ergebnisse dieses Interviewteils sind im Anhang B graphisch wiedergegeben. Die Attribute, deren Werteänderungen Einfluß auf die jeweilige Indifferenzpaar-Bestimmung ausüben, sind neben den Einzelgraphiken aufgelistet. Da, wie man aus den im Anhang B wiedergegebenen Antworten erkennen kann, häufig Präferenzabhängigkeiten ge-

äußert wurden, müssen diese noch eingehender untersucht werden.

Insbesondere muß man sich vergegenwärtigen, daß die Abhängigkeit der Festlegung des Indifferenzpunktes zwischen zwei Attributen Z_1 und Z_2 von dem Wert eines dritten Z_3 (oder weiteren) lediglich einer sog. bedingten Präferenzunabhängigkeit (BPU) für die Attributmenge $\{Z_1, Z_2, Z_3\}$ von ihrem Komplement bezüglich Z entspricht. Es ist also jeweils durch weitere Fragen zu prüfen, ob eine Festlegung der Indifferenzpunkte zwischen Z_1 , Z_2 und Z_3 (also zwischen den 3 Paaren: Z_1, Z_2 ; Z_1, Z_3 ; Z_2, Z_3) noch von der Wertbelegung weiterer Attribute Z_4, \dots, Z_k abhängt. Ist dies nicht der Fall, können wir $Z_1 \times Z_2 \times Z_3$ als präferenzunabhängig von \bar{Z}_{123} betrachten. Andernfalls ist die Fragestellung auf den größeren Attributkomplex $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 (\dots, Z_k)$ in analoger Form auszudehnen. Dies führt zu den im Anhang B bei jedem Einzelattribut mit angegebenen Mengen präferenzunabhängiger Attribute.

Aus diesen sog. Attributpaketen lassen sich unter Heranziehung eines Satzes über präferenzunabhängige Mengen (vgl. Kap. 5) andere Attributpakete (also ein- oder mehrelementige Mengen präferenzunabhängiger Attribute) bilden, die hernach als neue skalar- oder vektorwertige Attribute definiert werden, für die nach Konstruktion die Präferenzunabhängigkeit sichergestellt ist und somit eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendbarkeit von Satz 3.1 (der auch für vektorwertige Attribute gilt) erfüllt ist.

Die Auswertung der Information über die relative Einschätzung zwischen den Zielerreichungsgraden zweier Ziele, die ja gerade in den Indifferenzpaaren steckt und in gewisser Weise parallel zur Verifizierung der Präferenzunabhängigkeitannahme ermittelt wurde, wird in Kap. 5.5 beschrieben.

Wie bereits eingangs dieses Kapitels 5.2 ausgeführt, wird von dem Entscheidungsträger auch erwartet, daß er in der Lage ist, Präferenzen zwischen verschiedenen Zielerreichungsgraden (= Attributwerten) eines Zieltes zu artikulieren. Die Überprüfung der Nutzenunabhängigkeitsannahme kann mit verschiedenen Einzelfragen (vom Typ 1) gekoppelt werden, und zwar analog

zur Überprüfung der Präferenzunabhängigkeitsvoraussetzung, die, wie oben ausgeführt, mit Einzelfragen (vom Typ 2) verbunden worden ist.

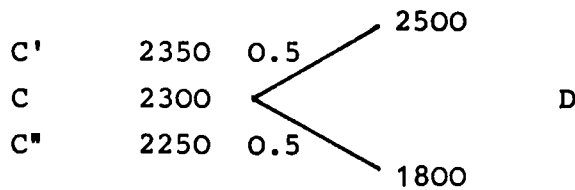
5.3 Bestimmung der Einzelnutzenfunktionen und Überprüfung der Nutzenunabhängigkeit

Betrachten wir wieder ein illustratives Beispiel, das diesmal stellvertretend für k solcher Interviewabschnitte (bei k Einzelattributen) steht.

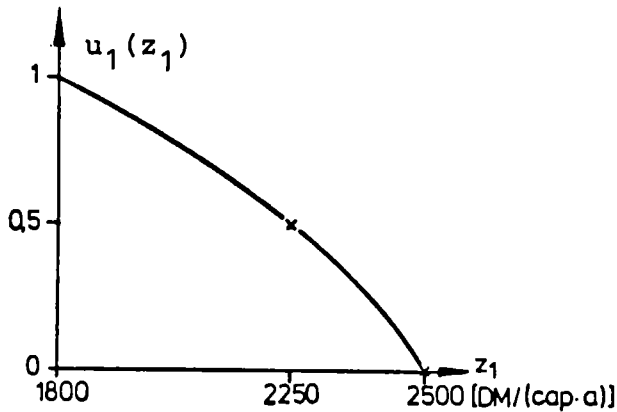
Angenommen, man hätte unter der Voraussetzung, daß alle Attribute außer Z_1 auf ihrem jeweils schlechtesten Niveau lägen, zwischen den beiden folgenden Energieversorgungsstrategien \underline{X}_C und \underline{X}_D zu wählen. Alternative C liefere Gesamtkosten i.H.v. 2300 DM/(cap·a) mit Sicherheit, stelle also eine entartete Lotterie mit Wahrscheinlichkeit $p = 1$ dar. Alternative D hingegen sei mit großer Unsicherheit behaftet und es ließe sich angeben, daß mit der gleichen Wahrscheinlichkeit $p = 0.5$ entweder 1800 DM/(cap·a) oder 2500 DM/(cap·a) Gesamtkosten mit ihr verbunden seien. Im Bewußtsein der vollen persönlichen Verantwortung für die Entscheidung soll nun der Entscheidungsträger eine Wahl treffen.

Natürlich ist es einfach zu sehen, daß Strategie \underline{X}_D zu durchschnittlichen Gesamtkosten von 2150 DM/(cap·a) führt, wegen der zu berücksichtigenden Risiken können aber auch durchaus die sicheren 2300 DM/(cap·a) aus Strategie \underline{X}_C vorgezogen werden. Ist das der Fall, so wird man zur weiteren Bestimmung des Indifferenzwertes (in der Terminologie der Nutzentheorie hier auch Sicherheitsäquivalent genannt) den sicheren Wert in einer Strategie \underline{X}_C , noch höher als in \underline{X}_C ansetzen, um so die Lotterie D noch attraktiver zu machen; umgekehrt wird man den sicheren Wert herabsetzen, sofern die Lotterie gewählt wird. Letztlich will man wieder zwei Strategien erhalten, zwischen denen der Entscheidungsträger indifferent ist; dies sei der Fall zwischen \underline{X}_C , mit sicheren Gesamtkosten von 2250 DM/(cap·a) und \underline{X}_D .

Graphisch wird dieser Entscheidungsprozeß meist folgendermaßen veranschaulicht:

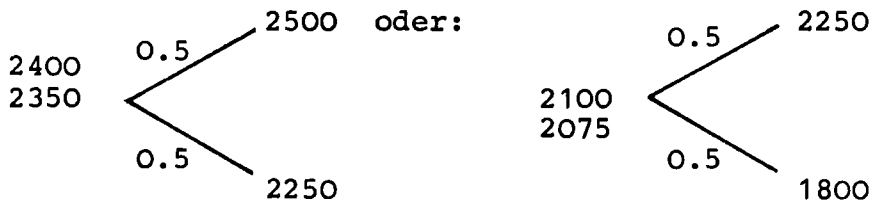


Unter Berücksichtigung der Normierungskonventionen aus Kap. 3 läßt sich die Bestimmung von Sicherheitsäquivalenten auch als Mittel zur Konstruktion von Punkten auf der eindimensionalen Nutzenfunktion $u_1(z_1)$ deuten.



Durch Ermittlung weiterer Sicherheitsäquivalente zu anders formulierten Lotterien lassen sich beliebig viele Zwischenwerte der Einzelnutzenfunktion bestimmen.

Z.B.:

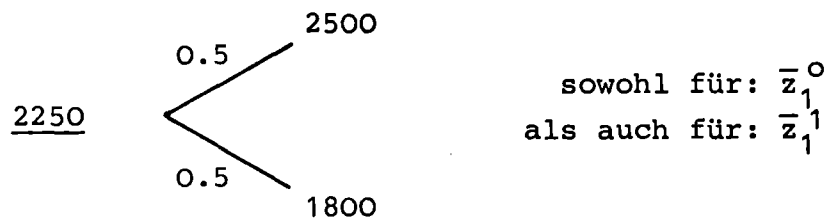


Den Implikationen über das Risikoverhalten des Entscheidungsträgers bei verschiedenartigem Nutzenfunktionsverlauf und Methoden der Kurvenanpassung an die ermittelten Werte ist ein eigenes Kapitel gewidmet. Eine vollständige Wiedergabe aller Resultate dieses Interviewteils findet sich in Anhang C.

Zur Überprüfung der Nutzenunabhängigkeitsannahme kann bereits nach Beendigung des ersten Fragenzyklusses zur Ermittlung eines Strategien-Indifferenzpaares geklärt werden, ob die Voraussetzung (\bar{z}_1^0), daß alle Attributwerte auf ihren jeweils schlechtesten Niveau liegen, einen Einfluß auf das Resultat hat.

Man wird also erneut eine Sicherheitsäquivalent-Bestimmung für die eingangs formulierte Lotterie D, hinter der sich nichts anderes als eine konkrete Energieversorgungsstrategie X_D verbirgt, durchspielen. Diesmal allerdings unter der Voraussetzung, daß alle anderen Attribute \bar{z}_1 auf ihrem jeweils besten Niveau (\bar{z}_1^1) liegen.

Führt dieser neue Fragenzyklus zum gleichen Indifferenzpaar bzw. Sicherheitsäquivalent wie unter der Voraussetzung \bar{z}_1^0 , gilt die Nutzenunabhängigkeit zwischen z_1 und \bar{z}_1 als erfüllt; graphisch veranschaulicht:



In analoger Weise kann man bei der Ermittlung aller k Einzelnutzenfunktionen $u_i(z_i)$ $i = 1(1)k$ stets überprüfen, ob das Sicherheitsäquivalent zu einer konkreten Lotterie

$$\left| \begin{array}{l} z_i^0 \quad \text{mit } p = 0.5 \\ z_i^1 \quad \text{mit } p = 0.5 \end{array} \right|$$

unterschiedlich ausfällt, wenn entweder \bar{z}_i^0 oder \bar{z}_i^1 bzw. irgendein anderes dazwischen liegendes, fest angenommenes Niveau \bar{z}_i' vorausgesetzt wird. Daß diese Überprüfung nicht für alle z_i ($i = 1(1)k$) (es sei denn zur Konsistenzprüfung) durchgeführt werden muß, kann anhand der Rekapitulierung der Prämissen von Satz 3.1 leicht nachvollzogen werden.

Vergegenwärtigen wir uns nun den Stand der bislang erhaltenen Ergebnisse aus der Beantwortung von Fragen des Typs 2 und den damit gekoppelten Informationen über Präferenzunab-

hängigkeiten (vgl. Anhang B), um festzustellen, welche Sachverhalte noch eruiert werden müssen, um die Gesamtnutzenfunktion vollständig spezifizieren zu können.

5.4 Die Form und Eigenschaften der Gesamtnutzenfunktion

Auf die im Anhang wiedergegebenen Mengen präferenzunabhängiger Attribute, kurz Attributpakete, wird der folgende Satz (vgl. Theorem 3.7 Keeney, Raiffa (1976, p. 112)) angewandt.

Satz 5.4.1:

Seien A und B jeweils Untermengen der Attributmenge $Z_i = \{Z_1, \dots, Z_k\}$, wobei sich A und B überlappen sollen, ohne daß eine Menge in der anderen enthalten sei und ohne daß die Vereinigung von A und B identisch mit Z wäre; formal also: $A \cap B \neq \emptyset$; $A \cup B \neq Z$; $A \not\subseteq B$ und $B \not\subseteq A$, aber $A, B \subset Z$. Wenn A und B beide präferenzunabhängig von ihrem jeweiligen Komplement bezüglich Z sind, dann gilt für folgende Attributmengen

- (i) $A \cup B$
- (ii) $A \cap B$
- (iii) $A - B$ und $B - A$
- (iv) $(A - B) \cup (B - A)$

ebenfalls, daß sie präferenzunabhängig von ihrem jeweiligen Komplement bezüglich Z sind.

Durch systematische Anwendung dieses Satzes versucht man, eine Aufstellung präferenzunabhängiger Attributmengen zu erzielen, die einerseits Z exakt überdeckt und andererseits nur disjunkte Attributpakete (dies können auch Einzelattribute sein) enthält. Ein mögliches Resultat, das in Abb. 5.4.1 graphisch veranschaulicht ist und vom Entscheidungsträger als Wiedergabe seiner Präferenzabhängigkeitsstruktur akzeptiert wurde, ist die folgende Partition von Z:

$$Z := \{\{Z_1\}, \{\{Z_2, Z_3\}, \{Z_4, Z_5\}, \{Z_6\}, \{Z_7\}, \{Z_8\}\}, \{Z_9\}, \{Z_{10}\}, \{Z_{11}\}, \{Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}\}\}.$$

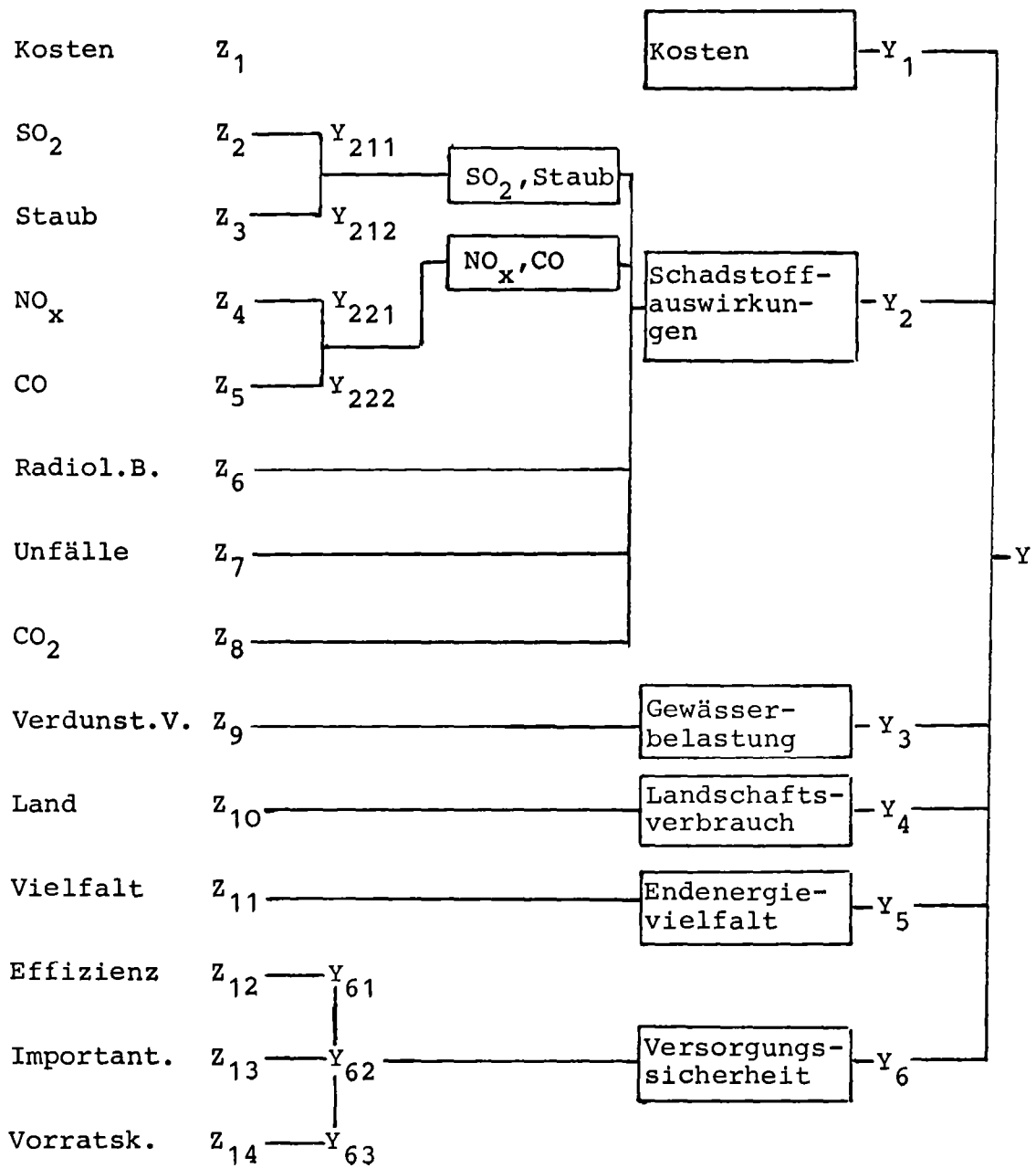


Abb. 5.4.1 Graphische Darstellung der präferenzunabhängigen Attributpakete bzw. -unterpakete des Entscheidungsträgers

Für die 6 Attributpakete, die im folgenden einfach als neue Attribute Y_i aufgefaßt werden, sind nach Konstruktion (vgl. 5.2) die Präferenzunabhängigkeit für jedes $Y_i \times Y_j$ von \bar{Y}_{ij} ($j \neq i$) nicht nur für ein bestimmtes Y_i , sondern für alle Y_i ($i = 1(1) 6$) erfüllt.

Die Nutzenunabhängigkeit von $Y_1 = Z_1$ bezüglich $\bar{Y}_1 = \bar{Z}_1$ ist nach Kap. 5.3 (s. auch Anhang C) erfüllt und reicht allein schon aus, die Anwendbarkeit von Satz 3.1 auf $Y := Y_1 \times \dots \times Y_6$ zu gewährleisten.

Unsere Gesamtnutzenfunktion wird also wie folgt aussehen:

$$v(\underline{y}) = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^6 d_i \cdot v_i(y_i) \quad \text{falls } \sum_i d_i = 1 \\ \text{oder} \\ \frac{1}{d} \left[\prod_{i=1}^6 (1 + dd_i v_i(y_i)) - 1 \right] \quad \text{falls } \sum_i d_i \neq 1 \end{array} \right\}$$

(5.4.1)

mit $v_1(y_1) = u_1(z_1),$
 $v_3(y_3) = u_9(z_9),$
 $v_4(y_4) = u_{10}(z_{10}),$
 $v_5(y_5) = u_{11}(z_{11})$

und $d (> -1)$ als Lösung von

$$1 + d = \prod_{i=1}^6 (1 + dd_i),$$

wobei die Terminologie analog zu den Erläuterungen zu Satz 3.1 zu verstehen ist.

Zur weiteren Spezifizierung der Gestalt der Gesamtnutzenfunktion können wir jetzt Satz 3.1 erneut, diesmal auf der Ebene der neudefinierten vektorwertigen Attribute (mehrelementige Attributpakete Y_2 und Y_6), anzuwenden versuchen.

Wir untersuchen quasi auf der Ebene jedes einzelnen mehr-elementigen Attributpakets wiederum Präferenzunabhängigkeit und Nutzenunabhängigkeit im Sinne der Voraussetzungen von Satz 3.1. Hierzu bedarf es keiner wesentlichen Neuermittlung von Unabhängigkeits-Information, es sei denn zu durchaus angebrachten Konsistenzkontrollen.

Eine derart rekursive Anwendung von Satz 3.1 auf der jeweiligen Ebene vektorwertiger Attribute (oder wiederum Unterattribute) führt bei konsequenter Durchführung bis auf die Stufe von ausschließlich skalarwertigen Einzelattributen. Es ergeben sich dabei sog. geschachtelte multikriteriale Nutzenfunktionen (engl.: nested multiattribute utility functions), auf deren Eigenheiten im folgenden noch etwas näher eingegangen werden soll.

Betrachten wir hierzu konkret das neugefaßte Attribut Y_2 , das insgesamt 7 skalare Einzelattribute $Z_2 - Z_8$ umfaßt. Die bereits gewonnene Information über Präferenzabhängigkeiten unter den (ursprünglichen) Attributen Z_1, \dots, Z_{14} führt (unter Heranziehung von Satz 5.4.1 zu folgender Zerlegung von Y_2 in präferenzunabhängige Attribut(unter)pakete:

$$Y_2 := \{\{Z_2, Z_3\}, \{Z_4, Z_5\}, \{Z_6\}, \{Z_7\}, \{Z_8\}\}$$

bzw.

$$Y_2 := \{Y_{21}, Y_{22}, Y_{23}, Y_{24}, Y_{25}\}.$$

Nach Konstruktion dieser Zerlegung ist jedes $Y_{2i} \times Y_{2j}$ präferenzunabhängig von \bar{Y}_{2ij} ($j \neq i$). Die Nutzenunabhängigkeit von einem bestimmten Y_{2i} bezüglich \bar{Y}_{2i} ist durch einen zusätzlichen Fragenzyklus - analog zum ausführlich beschriebenen Beispiel aus Kap. 5.3 - noch überprüft worden. Dabei hat sich ergeben, daß gilt: Y_{24} ist nutzenunabhängig von \bar{Y}_{24} . Tatsächlich konnte sogar eine Nutzenunabhängigkeit festgestellt werden, die auch Attribute außerhalb von Y_2 umfaßt, und zwar: $Z_7 (= Y_{24})$ ist nutzenunabhängig von \bar{Z}_7 ; d.h.: Die Bestimmung des Sicherheitsäquivalents für eine Lotterie, die mit gleichen Wahrscheinlichkeiten Z_7^1 und Z_7^0 ergibt, ist unbeeinflusst von den Werten aller anderen Attribute \bar{Z}_7 .

Wir können also auf $Y_2 := Y_{21} \times \dots \times Y_{25}$ ebenfalls Satz 3.1 anwenden.

$$v_2(Y_2) = \left. \begin{array}{l} \sum_{j=1}^5 d_{2j} v_{2j}(Y_{2j}) \quad \text{falls } \sum_j d_{2j} = 1 \\ \text{oder} \\ \frac{1}{d^2} \prod_{j=1}^5 [(1 + d^2 d_{2j} v_{2j}(Y_{2j})) - 1] \quad \text{falls } \sum_j d_{2j} \neq 1 \end{array} \right\} \quad (5.4.2)$$

mit: $d^2 (> -1)$ nichttriviale Lösung von $1 + d^2 = \prod_{j=1}^5 (1 + d^2 d_{2j})$
und:

$$v_{23}(Y_{23}) = u_6(z_6)$$

$$v_{24}(Y_{24}) = u_7(z_7)$$

$$v_{25}(Y_{25}) = u_8(z_8).$$

Auf ganz analoge Weise gelangt man auch zu:

$$v_6(Y_6) = \left. \begin{array}{l} \sum_{k=1}^3 d_{6k} v_{6k}(Y_{6k}) \quad \text{falls } \sum_k d_{6k} = 1 \\ \text{oder} \\ \frac{1}{d^6} \left[\prod_{k=1}^3 (1 + d^6 d_{6k} v_{6k}(Y_{6k})) - 1 \right] \quad \text{falls } \sum_k d_{6k} \neq 1, \end{array} \right\} \quad (5.4.3)$$

wobei d^6 Lösung von $1 + d^6 = \prod_{k=1}^3 (1 + d^6 d_{6k})$,

$$v_{61}(y_{61}) = u_{12}(z_{12})$$

$$v_{62}(y_{62}) = u_{13}(z_{13})$$

$$v_{63}(y_{63}) = u_{14}(z_{14}).$$

Die Attributunterpakete $Y_{21} = \{z_2, z_3\}$ und $Y_{22} = \{z_4, z_5\}$ bilden die einzigen noch nicht untersuchten vektorwertigen Attribute aus der neudefinierten Attributmenge Y_1, Y_{2j} ($j = 1(1)5$), Y_3, Y_4, Y_5, Y_{6k} ($k = 1(1)3$).

Nach erfolgreicher Überprüfung der Voraussetzungen für die Anwendbarkeit von Satz 3.1 werden zur endgültigen Spezifizierung der Gesamtnutzenfunktion $v(y)$ noch folgende Funktionsdefinitionen gegeben:

$$v_{21}(y_{21}) = d_{211}v_{211}(y_{211}) + d_{212}v_{212}(y_{212}) + d^{21}d_{211}d_{212}v_{211}(y_{211})v_{212}(y_{212}), \quad (5.4.4)$$

und

$$v_{22}(y_{22}) = d_{221}v_{221}(y_{221}) + d_{222}v_{222}(y_{222}) + d^{22}d_{221}d_{222}v_{221}(y_{221})v_{222}(y_{222}), \quad (5.4.5),$$

wobei:

$$v_{211}(y_{211}) = u_2(z_2)$$

$$v_{212}(y_{212}) = u_3(z_3)$$

$$v_{221}(y_{221}) = u_4(z_4)$$

$$v_{222}(y_{222}) = u_5(z_5)$$

und

$$d^{21} \text{ Lösung von } 1 + d^{21} = (1 + d^{21}d_{211})(1 + d^{21}d_{212})$$

sowie

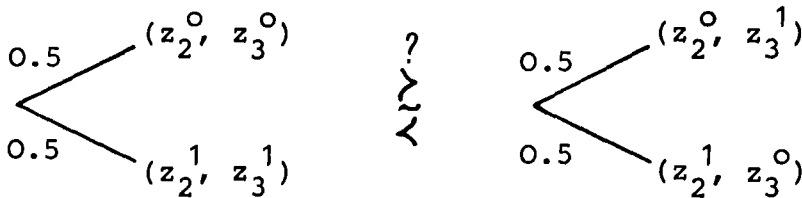
$$d^{22} \text{ Lösung von } 1 + d^{22} = (1 + d^{22}d_{221})(1 + d^{22}d_{222})$$

ist.

Es wurden also für v_{21} und v_{22} gleich multiplikative Formen gewählt, da synergistische Zusammenhänge, wie sie etwa zwischen Z_2 und Z_3 (bzw. Z_4 und Z_5) vermutet werden, durch eine additive Form nicht ausgedrückt werden können.

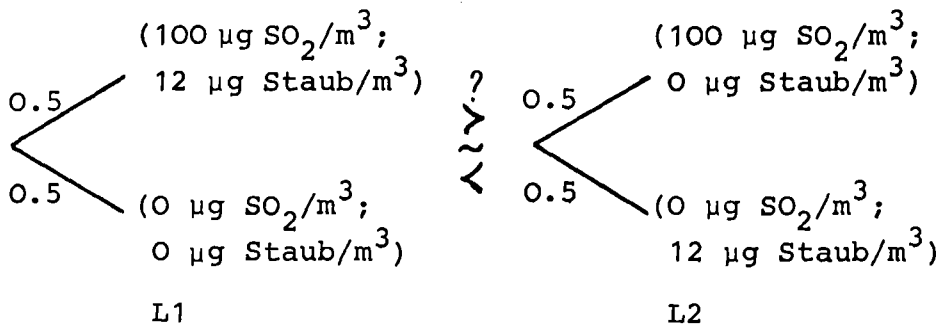
Grundsätzlich kann aber durch Zusatzfragen (vgl. Satz 3.2) eindeutig entschieden werden, ob die additive oder multiplikative Form zu wählen ist. Dies soll exemplarisch am SO_2 -Staub-Paket ($Y_{21} = \{Z_2, Z_3\}$) demonstriert werden. Der Entscheidungsträger wurde nach seiner Präferenz bezüglich folgender Lotterien befragt:

Voraussetzung: \bar{z}_{23}^0



(Erl.: $z_i^0 \hat{=}$ Attribut i auf seinem schlechtesten Wert
 $z_i^1 \hat{=}$ Attribut i auf seinem besten Wert)

oder mit den entsprechenden Werten:



Gilt $L1 \neq L2$, so ist nach Satz 3.2 auf alle Fälle die multiplikative Form zu wählen. Dies war hier für unseren Entscheidungsträger zutreffend, denn er zog Lotterie L2 der Lotterie L1 vor.

Analog kann für jedes mehrelementige Attributpaket (auch Y kann als solches aufgefaßt werden) überprüft werden, ob die additive oder multiplikative Form zutrifft. Dabei ergab sich

in unserem Fall stets die multiplikative Form.

Ein vermuteter Zusammenhang zwischen der Richtung der Präferenz in o.a. Lotteriefragen und dem Vorzeichen der abhängigen Skalierungskonstanten (d , d^2 , d^6 , d^{21} im Beispiel oben, d^{22}) soll im folgenden kurz aufgezeigt werden.

Greifen wir hierzu nochmals auf unser letztes Beispiel zurück. Der Entscheidungsträger äußerte die Präferenz $L1 \prec L2$ und wir behaupten, daß hieraus folgt: $d^{21} < 0$ (d^{21} aus (5.4.4)).

Beispielhafter Beweis:

Wegen der Ordnungstreue der Nutzenfunktion $v_{21}(y_{21})$ (vgl. Definition 2.4 Eigenschaft (E 1)) gilt:

$$L1 \prec L2 \Rightarrow v_{21}(L1) < v_{21}(L2). \quad (A1)$$

Unter Berücksichtigung von $v_{21}(y_{21}) = v_{21}(z_2, z_3)$ ist dies gleichbedeutend mit:

$$\begin{aligned} v_{21}(L1) &= 0.5 v_{21}(z_2^0, z_3^0) + 0.5 v_{21}(z_2^1, z_3^1) \\ &< 0.5 v_{21}(z_2^0, z_3^1) + 0.5 v_{21}(z_2^1, z_3^0) = v_{21}(L2). \end{aligned} \quad (A2)$$

Wegen der Normierungskonvention gilt: $v_{21}(z_2^0, z_3^0) = 0$ und $v_{21}(z_2^1, z_3^1) = 1$, woraus folgt:

$$\begin{aligned} v_{21}(L1) &= 0.5 < 0.5 v_{21}(z_2^0, z_3^1) + 0.5 v_{21}(z_2^1, z_3^0) \\ &= v_{21}(L2) \end{aligned} \quad (A3)$$

bzw.

$$v_{21}(z_2^0, z_3^1) + v_{21}(z_2^1, z_3^0) > 1. \quad (A4)$$

Setzen wir nun (5.4.4) in (A4) ein, so ergibt sich:

$$\begin{aligned} d_{211} u_2(z_2^0) + d_{212} u_3(z_3^1) + d^{21} d_{211} d_{212} u_2(z_2^0) u_3(z_3^1) + \\ + d_{211} u_2(z_2^1) + d_{212} u_3(z_3^0) + d^{21} d_{211} d_{212} u_2(z_2^1) u_3(z_3^0) > 1. \end{aligned} \quad (A5)$$

Nach (bereits erwähnter) Normierungskonvention gilt allgemein

$$u_i(z_i^0) = 0,$$

$$u_i(z_i^1) = 1,$$

und damit vereinfacht sich die Ungleichung (A5) zu:

$$d_{212} + d_{211} > 1. \quad (A6)$$

d^{21} ist definiert als Lösung von:

$$1 + d^{21} = (1 + d^{21}d_{211})(1 + d^{21}d_{212})$$

$$\Leftrightarrow d^{21} = d^{21}d_{211} + d^{21}d_{212} + (d^{21})^2d_{211}d_{212}$$

bzw. für $d^{21} \neq 0$ folgt

$$1 = d_{211} + d_{212} + d^{21}d_{211} \cdot d_{212} \Rightarrow d^{21} = \frac{1 - d_{211} - d_{212}}{d_{211} \cdot d_{212}}.$$

(A7)

Nach Definitionsgleichung (3.6) gilt

$$d_{211} = v(z_2^1, \bar{z}_2^0) \in (0,1) \text{ und } d_{212} = v(z_3^1, \bar{z}_3^0) \in (0,1).$$

Mit (A6) folgt hieraus:

$$d^{21} < 0 \quad \text{q.e.d.}$$

Umgekehrt hätte man auch zeigen können: Für den Fall, daß im o.a. Beispiel der Entscheidungsträger die Präferenz $L1 \succ L2$ hätte, wäre die abhängige Skalierungskonstante $d^{21} > 0$.

In analoger Weise wurde für alle anderen mehrelementigen Attributpakete vorgegangen, da auch dort jeweils durch die Beantwortung der zusätzlichen Lotteriefraage (im Sinne von Satz 3.2) eine vom Entscheidungsträger geäußerte Präferenz gegeben war.

Der Entscheidungsträger zog in allen Fällen die sog. 'gemischte Lotterie', die zu gleichen Wahrscheinlichkeiten $(z_i^0, z_j^1, \bar{z}_{ij}^0)$ bzw. $(z_i^1, z_j^0, \bar{z}_{ij}^0)$ liefert, vor. Die sog. 'reine Extrem-Lotterie', die zu gleichen Wahrscheinlichkeiten $(z_i^0, z_j^0, \bar{z}_{ij}^0)$ bzw. $(z_i^1, z_j^1, \bar{z}_{ij}^0)$ liefert, erschien ihm stets weniger wünschenswert.

Es folgt daraus für alle anderen abhängigen Skalierungskonstanten, daß sie ebenfalls kleiner Null sind, bzw. wie in Keeney, Raiffa (1976, S. 347f) gezeigt wird (vgl. Beziehung 3.7 in Kap. 3), daß sie im offenen Intervall $(-1,0)$ liegen. Von grundlegender Bedeutung ist aber hierbei, daß zur Darstellung der geschachtelten Teilnutzenfunktionen (und der Gesamtnutzenfunktion) aller mehrelementiger Attributpakete (sowie Y selbst, was auch als solches Paket verstanden werden kann) zwingend die multiplikative Form als der Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers adäquaten Beschreibungsweise verwendet wird.

Das oben beschriebene, charakteristische Entscheidungsverhalten unseres Entscheidungsträgers, der ein für die regionale Energiepolitik maßgeblich verantwortlicher Ministerialbeamter ist, erscheint ein geradezu typisches Merkmal der Präferenzstruktur von Entscheidungsträgern in vergleichbaren Positionen zu sein.

Der verantwortungsbewußte Energiepolitiker wird vermutlich immer eine Alternative im Sinne unserer o.a. 'gemischten Lotterie' einer sog. 'reinen Extrem-Lotterie' vorziehen, denn grundsätzlich dürfte folgende Überlegung von einem durch gesellschaftliche Zwänge (ein Politiker, der risikofreudig auftritt, hat geringere Wiederwahlchancen als derjenige, der vorsichtige, behutsame, kurz risikoscheue Entscheidungen fällt und vertritt) zu konservativen Entscheidungen angehaltenen Entscheidungsträger in Anbetracht gezogen werden: Wenn ohnehin nach Voraussetzung alle in der jeweiligen Lotterie momentan nicht betrachteten Attribute schon auf ihrem jeweils schlechtesten Wert sind (\bar{z}_{ij}^0), ist eine Lotterie, die mit Wahrscheinlichkeit $p = 0.5$ für beide gerade berücksichtigten Attribute die jeweils schlechtesten Werte (z_i^0, z_j^0) ergeben kann, auch

wenn sie mit gleicher Wahrscheinlichkeit $p = 0.5$ die jeweils besten Werte (z_i^1, z_j^1) liefert als relativ unattraktiver anzusehen als eine Lotterie, die mit gleichen Wahrscheinlichkeiten eine der beiden Kombinationen aus jeweils schlechtestem bzw. bestem Wert für je eine der beiden Attribute zur Konsequenz hat. Allein die Möglichkeit des sog. 'Crash-Effekts', daß nämlich alle Attribute auf ihrem schlechtesten Niveau sein könnten, macht die erste der beiden o.a. Lotterien unattraktiver im Sinne unseres Entscheidungsträgers.

Ein hiermit stark verwandtes Entscheidungsverhalten wurde vom Entscheidungsträger während des Interviews mehrfach mit Nachdruck artikuliert. In etwas verallgemeinerter Form handelt es sich um die folgende Äußerung:

Liegen bereits vielfältige Risiken für das Energieversorgungssystem vor, dergestalt, daß schon viele Attribute ihren jeweils schlechtesten Wert angenommen haben, so sollte die Verhinderung eines weiteren Risikos (i.o.a. Sinne) höher eingeschätzt werden als für den Fall, daß bislang nur geringe oder keine Risiken bestanden. Anders ausgedrückt:

Der Nutzenzuwachs speziell bei Änderung von z_i^0 zu z_i^1 (d.h. Verhinderung des i-ten Risikos, in der Form, daß z_i seinen schlechtesten Wert annimmt) muß größer sein, wenn \bar{z}_i^0 vorliegt, als wenn \bar{z}_i^1 vorliegt; es besteht also gewissermaßen ein Synergismus zwischen den Attributen. Formal ausgedrückt:

$$\begin{aligned} \Delta w(\bar{z}_i^0) &= w(z_i^1, \bar{z}_i^0) - w(z_i^0, \bar{z}_i^0) > w(z_i^1, \bar{z}_i^1) - w(z_i^0, \bar{z}_i^1) \\ &= \Delta w(\bar{z}_i^1) \end{aligned} \quad (5.4.6)$$

wobei hier als Bezeichnung für die Nutzenfunktion $w(z)$ gewählt wurde, um formal von unserer konkret ermittelten Funktion $v(y)$ zu unterscheiden. In Anhang D wird gezeigt, daß aus (5.4.6) für eine allgemeine, über n Attributen definierte multiplikative Nutzenfunktion folgt, daß die abhängige Skalierungskonstante kleiner als Null sein muß, um der Aussage, die hinter der Beziehung (5.4.6) steht, zu genügen.

Hier soll anhand eines einfachen Beispiels erläutert werden, daß

1. die multiplikative Form der Nutzenfunktion eine grundlegende Voraussetzung ist, um überhaupt derartige Äußerungen formal beschreiben zu können; denn in der additiven Form von $w(\underline{z})$ würde stets $\Delta w(\bar{z}_1^0) = \Delta w(\bar{z}_1^1)$ gelten, und daß
2. durch formale Auswertung dieser Äußerungen bereits vorab wertvolle Information über die Skalierungskoeffizienten gewonnen werden kann, die vor allem auch für Konsistenzprüfungen herangezogen werden kann.

Beispiel:

Sei Z_1 die Anzahl der Unfalltoten des Energieversorgungssystems. Z_2 sei ein Umweltbelastungsindex, der verschiedene Umweltkriterien umfaßt.

Die konkret im Interview artikuliert Äußerung lautete:
 "Sind bereits vielfältige Risiken vorhanden ($\hat{=} \bar{z}_1^0 = z_2^0$), muß man sich die Verminderung eines weiteren Risikos (bildhaft gesprochen) etwas kosten lassen" (hier konkret: Unfallschutzmaßnahmen intensivieren).

Nutzentheoretisch formuliert, fordert man analog zu (5.4.6)

$$\Delta w(\bar{z}_1^0) > \Delta w(\bar{z}_1^1),$$

dies ist nur mit einer multiplikativen Form für $w(\underline{z})$ beschreibbar, also:

$$w(\underline{z}) = q_1 w_1(z_1) + q_2 w_2(z_2) + q q_1 q_2 w_1(z_1) w_2(z_2).$$

(Normierungskonventionen wie in Anhang D)

$$\begin{aligned} \Delta w(\bar{z}_1^0) &= w(z_1^1, \bar{z}_1^0) - w(z_1^0, \bar{z}_1^0) = q_1 \\ \Delta w(\bar{z}_1^1) &= w(z_1^1, \bar{z}_1^1) - w(z_1^0, \bar{z}_1^1) = q_1 + q_2 + q q_1 q_2 - q_2 \\ &= q_1 (1 + q q_2) \end{aligned}$$

Forderung:

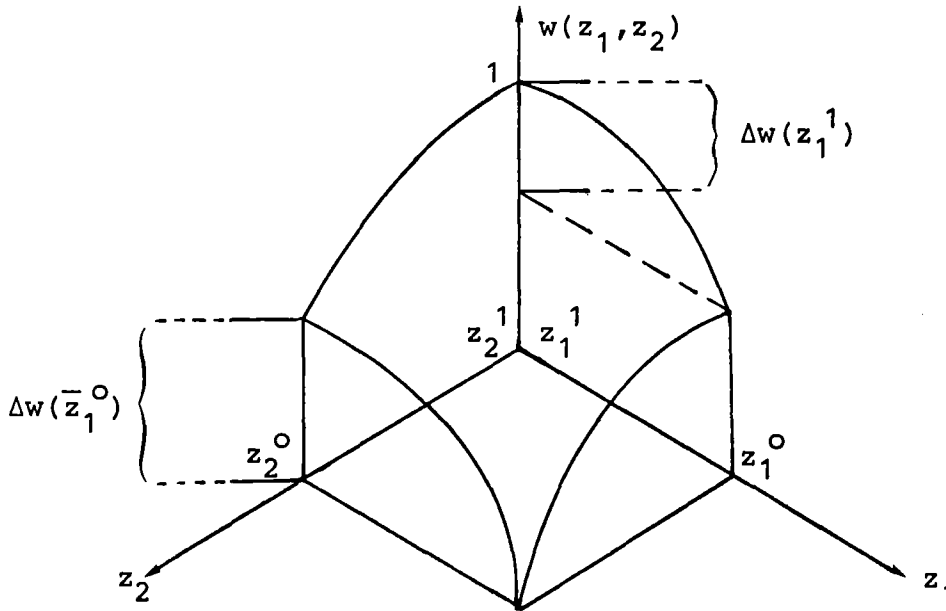
$$\Delta w(\bar{z}_1^0) > \Delta w(\bar{z}_1^1)$$

$$q_1 > q_1(1 + qq_2)$$

$$1 > 1 + qq_2$$

$0 > qq_2$ \Rightarrow $q < 0$ ist notwendig (und hier auch hinreichend) für das Erfülltsein der Forderung (vgl. Anhang D).
 q_i positiv

Graphische Veranschaulichung:



Kommen wir nun zurück zu der konkret zu ermittelnden Nutzenfunktion. Die Gesamtnutzenfunktion $v(\underline{y})$ ist durch die Gleichungen (5.4.1) - (5.4.5) vollständig spezifiziert.

Neben den $k = 14$ Einzelnutzenfunktionen $u_i(z_i)$ ($i = 1(1)14$) gehen lediglich noch maximal $k + 4 = 18$ unabhängige Skalierungskonstanten in die Gleichungen für $v(\underline{y})$ ein. Die Größen $d, d^2, d^6, d^{21}, d^{22}$ sind nicht unabhängig, da sie jeweils durch eine Gleichung (z.B. für d : $1 + d = \prod_{i=1}^6 (1 + dd_i)$ mit den d_i) zusammenhängen und dadurch eindeutig bestimmt sind.

Ohne die verschiedenartigen Schachtelungen in sog. Unter- oder Teilnutzenfunktionen lägen genau $k = 14$ unabhängige

Skalierungskonstanten vor. Wir hätten dann allerdings auch $k = 14$ skalare Einzelattribute, die allesamt voneinander präferenzunabhängig wären (also auch die Zusammenfassung irgendwelcher $Z_i \in Z$ wäre dann präferenzunabhängig von ihrem jeweiligen Komplement bezüglich Z). Durch die unterschiedlichen Schachtelungsformen ist es möglich, Nutzenfunktionen zu definieren, die die Modellierung von Präferenzabhängigkeiten gestatten. In der Sprechweise von Keeney u. Raiffa (1976, S. 298): "Nesting multiplicative forms provides an extra degree of freedom in the problem by having an extra independent scaling constant."

D.h.: Jede Schachtelung unter Zugrundelegung der jeweiligen multiplikativen Form der Gleichungen (5.4.1) - (5.4.5) bringt einen zusätzlichen Freiheitsgrad in unsere Gesamtnutzenfunktion, denn mit ihr (s. Gleichung (5.4.2) - (5.4.5)) ist jeweils eine zusätzliche unabhängige Skalierungskonstante verbunden.

(Diese zusätzlichen Skalierungskonstanten können zur Modellierung von Strukturen herangezogen werden, in denen zwischen vielen Attributen und/oder schon neugefaßten Attributpaketen Präferenzabhängigkeiten bestehen.)

"By various nesting schemes, enough extra constants could be provided to model situations where trade offs between many pairs of attributes depend on the level of other attributes" (Keeney, Raiffa (1976, S. 298, 299)).

Anhand eines einfachen Beispiels soll diese bedeutende Eigenschaft geschachtelter multiplikativer Nutzenfunktionen erläutert werden. Betrachten wir den Fall einer einfach geschachtelten multiplikativen Nutzenfunktion auf dem dreidimensionalen Attributeraum $Z := Z_1 \times Z_2 \times Z_3$, die wie folgt definiert ist:

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= Z_1 ; & Y_2 &= (Z_2, Z_3) \\ 1 + dv(y_1, y_2) &= (1 + dd_1 v_1(y_1))(1 + dd_2 v_2(y_2)) ; \\ d_1 + d_2 &\neq 1 \end{aligned} \right\} \text{(B1)}$$

$$1 + d'v_2(y_2) = (1 + d'd_{21}v_{21}(y_{21}))(1 + d'd_{22}v_{22}(y_{22})) ;$$

$$d_{21} + d_{22} \neq 1 \quad (B2)$$

mit

$$v_1(y_1) = u_1(z_1) \quad \text{und } d, d' \text{ Lösungen von:}$$

$$v_{21}(y_{21}) = u_2(z_2) \quad 1 + d = (1 + dd_1)(1 + dd_2)$$

$$v_{21}(y_{22}) = u_3(z_3) \quad 1 + d' = (1 + d'd_{21})(1 + d'd_{22}).$$

(B2) in (B1) ergibt:

$$1 + d \cdot v(y_1, y_2) = (1 + dd_1 v_1(y_1)) (1 + dd_2/d' \cdot$$

$$\cdot [(1 + d'd_{21}v_{21}(y_{21}))(1 + d'd_{22}v_{22}(y_{22})) - 1]) \quad (B3)$$

Betrachten wir nun Gleichung (B3) für den Fall, daß $d' = d \cdot d_2$ ist:

$$1 + dv(y_1, y_2) = (1 + dd_1 v_1(y_1)) (1 + [(1 + dd_2 d_{21} v_{21}(y_{21}))(1 + dd_2 d_{22} v_{22}(y_{22})) - 1])$$

$$1 + dv(y_1, y_2) = (1 + dd'_1 v_1(y_1)) (1 + dd'_2 v_{21}(y_{21})) (1 + dd'_3 v_{22}(y_{22}))$$

$$1 + dv(z_1, z_2, z_3) = (1 + dd'_1 n_1(z_1)) (1 + dd'_2 n_2(z_2)) (1 + dd'_3 n_3(z_3)) , \quad (B4)$$

wobei: $d'_1 = d_1$; $d'_2 = d_2 \cdot d_{21}$; $d'_3 = d_2 \cdot d_{22}$.

Gleichung (B4) ist nichts anderes als eine reine multiplikative Form der Gesamtnutzenfunktion für 3 Attribute.

Gilt also $d' = d \cdot d_2$, so erfüllt jedes Paar von Attributen aus $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$ die Präferenzunabhängigkeitsvoraussetzung. In der Regel ist aber $d' \neq d \cdot d_2$, und wir können in Gleichung (B3) den Ausdruck $1 + d \cdot v(y_1, y_2) = 1 + dv(z_1, z_2, z_3)$ nicht in 3 einzelne Faktoren, die jeweils nur von den einzelnen skalaren Attributen z_1, z_2, z_3 abhängen, auflösen.

M.a.W.: aus

$$v(z'_1, z'_2, z_3) = v(z''_1, z''_2, z_3)$$

folgt nicht notwendig

$$v(z'_1, z'_2, z'_3) = v(z''_1, z''_2, z'_3)$$

wenn $z_3 \neq z'_3$ ist. Dies würde aber stets gelten, wenn $d' = d \cdot d_2$ erfüllt wäre, was ja gleichbedeutend mit der Präferenzunabhängigkeit für alle Attributpaare aus $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$ ist.

Die interviewmäßige Ermittlung der Beispielfunktion $v(z_1, z_2, z_3)$ würde also folgende Charakteristika aufweisen:

1. Die Festlegung des Indifferenzwertepaares für z_1 und z_2 hängt von den Werten für z_3 ab ($z_1 \times z_2$ ist präferenzabhängig von z_3).
2. Ebenso hängt die Festlegung des Indifferenzwertepaares für z_1 und z_3 von den Werten ab, die z_2 annimmt ($z_1 \times z_3$ ist präferenzabhängig von z_2).
3. Eine Indifferenzpunktbestimmung zwischen z_2 und z_3 ist hingegen unbeeinflusst von den Werten $\bar{z}_{23} = z_1$; d.h.: $Y_2 = \{z_2, z_3\}$ ist präferenzunabhängig von $Y_1 = z_1$.

Die Funktion $v(z_1, z_2, z_3)$ spiegelt also eine Präferenzstruktur wider, die sowohl Präferenzabhängigkeiten als auch Präferenzunabhängigkeiten enthält. Hiermit dürfte beispielhaft demonstriert worden sein, daß eine geschachtelte multiplikative Nutzenfunktionsform durchaus geeignet ist, kompliziertere Präferenzstrukturen adäquat zu quantifizieren; wohingegen konventionelle Kosten-Nutzen-Analysen (vgl. z.B. Recktenwald (1970), Meyke (1973) u. Zangemeister (1973)) stets von ausnahmsloser Präferenzunabhängigkeit ausgehen.

5.5 Bestimmung der Skalierungskonstanten

Durch die Gleichungen (5.4.1) - (5.4.5) ist zwar die Form der Gesamtnutzenfunktion eindeutig spezifiziert, der Wert der einzelnen Koeffizienten in den Gleichungen ist allerdings noch unbestimmt. Im folgenden werden wir uns dieser Frage zuwenden.

Die Darstellung wird sich hierbei auf einer von unserer konkreten multiplikativen Gesamtnutzenfunktion (GNF) losgelösten

(fiktiven) Ebene ausschließlich skalarwertiger Einzelattribute Z_i ($i = 1, \dots, k$) bewegen. Diese Vorgehensweise bietet sich aus folgenden Überlegungen heraus an:

Wir können direkt die in Kap. 3 eingeführte Notation verwenden. Die Z_i ($i = 1, \dots, k$) sind dabei irgendwelche nicht näher konkretisierten skalarwertigen Attribute. Da wir von einer nicht geschachtelten Form der GNF ausgehen, liegen die Werte der $u_i(z_i)$ bereits als Ergebnisse der Einzelnutzenfunktionsbestimmung (hier Kap. 5.3) vor, ohne daß hierzu vorab irgendwelche Koeffizienten bestimmt werden mußten. (Z.B. könnte $v_6(y_6)$ nicht direkt als Zahlenwert angegeben werden.)

Das so dargestellte Bestimmungsschema ($\hat{=}$ i.w. das Lösen eines Gleichungssystems) für die Skalierungskoeffizienten ist problemlos auf jede beliebige Ebene mehrelementiger Attributpakete (insbesondere ist Y selbst als solche aufzufassen) anwendbar, sofern man berücksichtigt, daß in evtl. auftretenden eingebetteten Attributunterpaketen bereits vorab mit demselben Schema (wie jetzt auf der höheren Ebene der Attribute-Hierarchie) die Skalierungskoeffizienten bestimmt worden sein müssen.

D.h.: Bei geschachtelten Nutzenfunktionen wendet man das folgende Bestimmungsschema stets erst auf der untersten Ebene der Attribute-Hierarchie an und kann dort, da nur skalarwertige Einzelattribute vorliegen, die Skalierungskonstanten einfach durch Lösen eines noch näher zu beschreibenden Gleichungssystems bestimmen.

Erst danach lassen sich auf der nächst höheren Ebene der Attribut-Hierarchie die Skalierungskoeffizienten auf gleiche Weise bestimmen. Das gleiche Prinzip läßt sich auf beliebig geschachtelte Nutzenfunktionen anwenden, weshalb es im folgenden auch nur einmal beschrieben werden soll.

Hat man allgemein k Attribute Z_1, \dots, Z_k , die den Voraussetzungen von Satz 3.1 genügen, versucht man k unabhängige Gleichungen zu erhalten, die die k Unbekannten c_1, \dots, c_k eindeutig determinieren. Eine solche Gleichung kann wie folgt bestimmt werden:

Man ermittelt vom Entscheidungsträger zwei Strategien \underline{x}^A und \underline{x}^B , zwischen denen er indifferent ist, was i.d.R. dadurch geschieht, daß man das Indifferenzpaar $\underline{z}^A \sim \underline{z}^B$ der zu \underline{x}^A und \underline{x}^B gehörigen Attributausprägungen bestimmt.

Die so ermittelten (Attributwert-) Vektoren \underline{z}^A und \underline{z}^B benutzt man als Argumente der Nutzenfunktion in der Form von Gleichung (3.1) bzw. (3.2) und setzt die hieraus resultierenden erwarteten Nutzen gleich:

$$u(\underline{z}^A) = u(\underline{z}^B) \quad (5.5.1)$$

Beziehung (5.5.1) ist eine von k angestrebten Gleichungen mit höchstens k Unbekannten c_i ($i = 1, \dots, k$), was leicht einzusehen ist, wenn man sie wie folgt schreibt:

$$f[u_1(z_1^A), \dots, u_k(z_k^A), c_1, \dots, c_k] = f[u_1(z_1^B), \dots, u_k(z_k^B), c_1, \dots, c_k] \quad (5.5.2)$$

Sind die Einzelnutzenfunktionen $u_i(z_i)$ ($i = 1, \dots, k$) bereits bestimmt worden, dann sind die $u_i(z_i^A)$ und $u_i(z_i^B)$ ($i = 1, \dots, k$) lediglich reelle Zahlen aus dem Intervall $[0, 1]$, so daß Gleichung (5.5.2) eben gerade eine Gleichung mit höchstens k Unbekannten darstellt.

Hat man nun k solcher Gleichungen ermittelt, die selbstverständlich nicht notwendig linear sind (vor allem bei Zugrundelegen der multiplikativen Form s. Gleichung (3.2)), so treten insbesondere bei der zeitlich begrenzten praktischen Interviewdurchführung rechentechnische Probleme auf:

1. Wie kann sichergestellt werden, daß ein weder unter- noch überbestimmtes Gleichungssystem aus $k + 1$ Gleichungen (die $(k + 1)$ -te Gleichung ist die Definitionsgleichung für c , vgl. (3.3)) vorliegt?
2. Wie kann ein möglichst einfach zu lösendes wie auch relativ schnell zu ermittelndes Gleichungssystem bestimmt werden?

3. Wie soll mit inkonsistenten, sich widersprechenden Gleichungen verfahren werden?

Auf die ersten beiden Fragen gehen wir in den folgenden Ausführungen ein, während der Beantwortung der dritten Frage ein eigenes Kapitel gewidmet ist (Kap. 5.6). Nachdem in der Praxis bis zum Zeitpunkt der Bestimmung der Skalierungskonstanten die Form der Nutzenfunktion ohnehin bekannt ist, wird man versuchen, derartige Fragen an den Entscheidungsträger zu richten, deren Beantwortung erstens möglichst geringe Anforderungen an dessen Einschätzungsvermögen stellt und zweitens möglichst einfache Gleichungen ergibt. Diese Zielsetzungen beschränken nach Keeney, Raiffa (1976, S. 303) bzw. Sicherman (1975, S. 20) die Vielfalt möglicher Fragen auf zwei Grundtypen, die grundsätzlich nach den zweierlei Arten von Zieleinschätzung fragen, die bereits in Kapitel 5.2 erwähnt worden sind.

Beide Fragetypen sollen nun in der Darstellung nach Keeney, Raiffa (1976, S. 303) vorgestellt werden, wobei zur Notationsvereinfachung die Bezeichnungsweisen und Normierungskonventionen aus Kapitel 3 verwendet werden. Wichtig sind vor allem die Bezeichnungen:

$$u(z, \dots, z_k) = \sum_i c_i u_i(z_i) \quad \text{mit} \quad \sum_i c_i = 1 \quad (3.1)$$

$$1 + cu(z, \dots, z_k) = \prod_i [1 + cc_i u_i(z_i)] \quad \text{mit} \quad \sum_i c_i \neq 1 \quad (3.2)$$

$$1 + c = \prod_i (1 + cc_i) \quad (3.3)$$

$$u_i(z_i^0) = 0 \quad \text{und} \quad u_i(z_i^1) = 1, \quad i \in \{1, \dots, k\} \quad (3.4)$$

$$u(\underline{z}^0) = u(z_1^0, z_2^0, \dots, z_k^0) = 0 \quad \text{und} \quad u(\underline{z}^1) = u(z_1^1, z_2^1, \dots, z_k^1) = 1 \quad (3.5)$$

$$c_i = u(z_1^0, \dots, z_{i-1}^0, z_i^1, z_{i+1}^0, \dots, z_k^0) = u(z_i^1, \bar{z}_i^0) \quad (3.6)$$

Fragentyp 1: Für welche Wahrscheinlichkeit p sind Sie indifferent $\forall i \in \{1, \dots, k\}$ zwischen

- A: einer Lotterie, die mit Wahrscheinlichkeit p \underline{z}^1 und mit Wahrscheinlichkeit $1 - p$ \underline{z}^0 liefert und
 B: der sicheren Konsequenz $(z_1^0, \dots, z_{i-1}^0, z_i^1, z_{i+1}^0, \dots, z_k^0) = (z_i^1, \bar{z}_i^0)$?

Bezeichnen wir die Antwort des Entscheidungsträgers mit p_i , so gilt mit (3.5), daß der erwartete Nutzen der Lotterie gerade p_i ist und unter Heranziehung der additiven (3.1) oder multiplikativen (3.2) Form der Nutzenfunktion ergibt sich als erwarteter Nutzen der sicheren Konsequenz gerade c_i . Da beide Alternativen für $p = p_i$ indifferent sind, erhält man durch Gleichsetzen der beiden den erwarteten Nutzen

$$c_i = p_i \quad (5.5.3)$$

Zur näheren Erläuterung sei an dieser Stelle auf die Anmerkung in Kap. 3 zu Gleichung (3.6) verwiesen. Es wird hier nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, daß unter Anerkennung der Normierungskonventionen (3.4) - (3.6) der absolute Wert der Skalierungskonstanten c_i ausschließlich von den Präferenzen des Entscheidungsträgers abhängt. Die Antwort auf eine Frage vom Typ 1 ist nach eigener Erfahrung und auch nach Angaben von Keeney, Raiffa (1976, S. 304) mit äußerster Vorsicht zu genießen und sollte auf alle Fälle durch Kontrollfragen überprüft werden.

Fragentyp 2: Wählen Sie einen Wert von z_i , z.B. z_i^1 , und einen von z_j , etwa z_j^1 , und zwar so, daß unter der Annahme irgendeines fixen Niveaus für alle anderen Attribute (also \bar{z}_{ij} fest, z.B.: \bar{z}_{ij}^0) Indifferenz besteht zwischen

- A: einer Konsequenz, die z_i^1 und z_j^0 ergibt, und
 B: einer Konsequenz, die z_j^1 und z_i^0 ergibt.

Benutzt man die Beziehungen (3.4) und (3.5) und verwendet entweder die additive oder die multiplikative Form ((3.1) bzw. (3.2)), so kann man die Nutzen dieser beiden einander indifferenten Konsequenzen gleichsetzen und erhält

$$c_i \cdot u_i(z'_i) = c_j \cdot u_j(z'_j) . \quad (5.5.4)$$

Sind die Einzelnutzenfunktionen u_i und u_j bereits bestimmt, können die Zahlenwerte $u_i(z'_i)$ bzw. $u_j(z'_j)$ einfach durch Einsetzen ermittelt werden und (5.5.4) stellt eine simple lineare Gleichung dar. Setzt man noch $z'_i = z_i^1$, vereinfacht sich die Beziehung wegen (3.4) noch mehr und wir erhalten die denkbar einfachste lineare Gleichung

$$c_i = c_j \cdot u_j(z'_j) , \quad (5.5.5)$$

bzw., falls $z'_j = z_j^1$,

$$c_i u_i(z'_i) = c_j \quad (5.5.6)$$

für die Beziehung zwischen 2 Skalierungskonstanten c_i und c_j .
Erinnern wir uns an die 2. Art von Zieleinschätzungen in Kap. 5.2, so stellen wir fest, daß die Gleichungen (5.5.5.) und (5.5.6) nichts anderes sind als die Auswertung der Information über die relative Einschätzung zwischen den Zielerreichungsgraden (Attributwerten) zweier Ziele.

M.a.W.: Durch Einsetzen der bereits zur Verifizierung der Präferenzunabhängigkeit ermittelten Indifferenzwertepaare (vgl. Anhang B) in die Gleichungen (3.1) bzw. (3.2) und anschließendes Gleichsetzen ergeben sich bereits $k - 1$ lineare Gleichungen, die nach Konstruktion voneinander unabhängig sind.

Die nach Keeney, Raiffa (1976, S. 304) häufigste Vorgehensweise zur Bestimmung der c_i besteht darin, zunächst die c_i ($i \in \{1, \dots, k\}$) der Größe nach zu ordnen, danach für das größte c_i eine Frage vom Typ 1 auszuwerten und schließlich $k - 1$ Fragen vom Typ 2 zu stellen, um die Größe der c_j ($j \in \{1, \dots, k\} \setminus \{i\}$) relativ zu dem größten c_i zu bestimmen. Hat man einmal alle c_i ($i = 1, \dots, k$) ermittelt, ist die additive Form anzuwenden, sofern

$$\sum_{i=1}^k c_i = 1$$

gilt. Andernfalls sind die c_i in Gleichung (3.3), also $1 + c = \prod_{i=1}^k (1 + cc_i)$ einzusetzen, um die zusätzliche abhängige Skalierungskonstante c zu bestimmen.

Die Aufstellung der Rangordnung der c_i ($i = 1, \dots, k$) kann zum einen direkt aus den relativen Verhältnissen der c_i zu c_j nach (5.5.5) bzw. (5.5.6) erfolgen, sollte jedoch als Konsistenzprüfung auch auf dem Weg der direkten Erfragung geschehen. Beispielsweise fragt man den Entscheidungsträger, ob er (z_i^1, \bar{z}_i^0) der Konsequenz (z_j^1, \bar{z}_j^0) vorzieht. Ist dies der Fall, gilt $c_i > c_j$, andernfalls $c_i < c_j$ oder, im Fall der Indifferenz, $c_i = c_j$. Durch wiederholte Anwendung derartiger Fragen in geschickt gewählter Reihenfolge erhält man sehr schnell eine komplette Rangfolge der c_i .

Die praktische Ermittlung dieser Rangfolge der c_i vor der eigentlichen Bestimmung der c_i hat sich als sinnvolles Konsistenzprüfungsinstrument bewährt und häufig werden bereits zu diesem Zeitpunkt einige Indifferenzwertepaare revidiert.

Es muß in diesem Zusammenhang auch darauf hingewiesen werden, daß, wie in Kap. 3 schon angedeutet, die c_i nicht als Indikatoren für die relative Bedeutung eines einzelnen Attributs interpretiert werden können (vgl. Keeney, Raiffa (1976, S. 271 ff)). Da dies eine weitverbreitete Mißinterpretation der c_i darstellt, soll dieser Punkt kurz näher veranschaulicht werden.

Man denke sich etwa das Attribut 'Importanteil' (Z_{13}) aus unserer konkreten Untersuchung mit einer Schwankungsbreite von nur 5 % (im Intervall [95 %, 100 %]) versehen. D.h. alle möglichen Energieversorgungssysteme haben fast den gleichen Importanteilssatz, da z_{13}^1 und z_{13}^0 sehr nahe beieinander liegen. Das zugehörige c_{13} möge sehr klein sein und generell gilt, daß c_i umso kleiner ist, je näher c_i^1 und c_i^0 zusammenrücken (i beliebig). Der Importanteil hätte in diesem hypothetischen Fall einen ausgesprochen kleinen Einfluß auf die Wahl zwischen verschiedenen Energieversorgungsstrategien, dennoch kann aber niemand daraus schließen, daß der Importanteil grundsätzlich unbedeutend für die künftige Energieversorgungsstrategie ist.

Bevor wir uns den Möglichkeiten zur Umgehung von Fragen des Typs 1 zuwenden, soll ein einfaches Beispiel, das nach Keeney, Raiffa (1976) empfohlene und von ihnen wiederholt auf praktische strategische Entscheidungsprobleme angewandte Bestimmungsschema für die Skalierungskoeffizienten illustrieren.

Denken wir uns ein Entscheidungsproblem über verschiedene Energieversorgungsstrategien ausschließlich unter dem Blickwinkel der Versorgungssicherheit (= Z), repräsentiert durch die 3 Einzelattribute Z_1 = "Reziproker Gesamtwirkungsgrad"; Z_2 = "Importanteil"; und Z_3 = "Vorratshaltungskosten" (vgl. Detailbeschreibung in Kapitel 4).

Es gelte $c_1 > c_2 > c_3$.

Weiterhin gelte:

$$u(z_1', z_2^0, z_3^0) = u(z_1^0, z_2^1, z_3^0) \Leftrightarrow c_1 \cdot u_1(z_1') = c_2 \quad (C1)$$

mit unseren Beispielwerten, also konkret

$$u(143, 100, 100) = u(125, 10, 100) \Leftrightarrow c_1 \cdot u_1(143) = c_2$$

oder $c_1 \cdot 0.875 = c_2$

und

$$u(z_1'', z_2'', z_3'') = u(z_1^0, z_2^0, z_3^1) \Leftrightarrow c_1 \cdot u_1(z_1'') = c_3 \quad (C2)$$

konkret

$$u(244, 100, 100) = u(125, 100, 10) \Leftrightarrow c_1 \cdot u_1(244) = c_3$$

oder $c_1 \cdot 0.053 = c_3$

Wäre die Nutzenfunktion $u(\underline{z})$ additiv, müßte

$$\sum_{i=1}^3 c_i = 1 \tag{C3}$$

gelten, woraus hier konkret folgt:

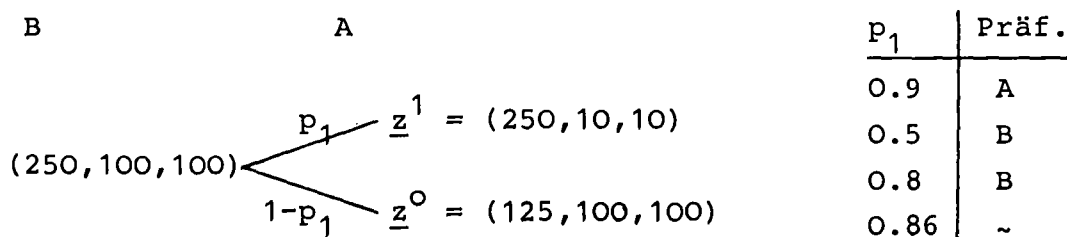
$$c_1 = 0.52; c_2 = 0.45; c_3 = 0.03$$

Wie wir in Kap. 5.4 gesehen haben, kann durch Zusatzfragen im Sinne von Satz 3.2 geklärt werden, ob Additivität vorliegt. Außerdem können auch bestimmte, verbal formulierte Äußerungen seitens des Entscheidungsträgers bereits darauf hindeuten, daß die multiplikative Form anzuwenden ist (vgl. Kap. 5.4). Ist dies der Fall, so muß aus Gründen der Konsistenz

$$c + 1 = (cc_1 + 1)(cc_2 + 1)(cc_3 + 1) \tag{C4}$$

erfüllt sein.

Die drei Beispielgleichungen (C1), (C2) und (C4) haben 4 Unbekannte, weshalb wir noch eine andere Gleichung benötigen. Diese wird durch eine Frage vom Typ 1 ermittelt. Graphisch veranschaulicht:



$$\left. \begin{array}{l} \Rightarrow c_1 = p_1 = 0.86 \\ (C1) \Rightarrow c_2 = 0.752 \\ (C2) \Rightarrow c_3 = 0.046 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{in (C4)} \Rightarrow c = -0.95 .$$

Nach diesem Beispiel wollen wir nun im Detail die Problematik von Fragen vom Typ 1 (die, wie das Beispiel zeigt, nur bei multiplikativen Formen von Nöten ist) wie auch vom Typ 2 diskutieren. Beide Fragetypen haben den Nachteil, daß sie im wesentlichen auf das Abwägen von extremen Attributwerten

(nämlich z_i^1 und z_i^0) abzielen. Da der Schwankungsbereich zwischen z_i^0 und z_i^1 alle möglichen z_i überdeckt, sind wegen der damit verbundenen Implikationen die Präferenzen für extreme Attributwerte gewöhnlich schwer artikulierbar.

Bei Fragen vom Typ 1 kommt ein noch schwerwiegenderer Umstand hinzu, da die Beantwortung solcher Typ 1-Fragen durch den Entscheidungsträger die simultane Berücksichtigung der Auswirkungen von allgemein k (i.o. Beispiel 3) Attributwertänderungen erfordert. Aus Gründen der rechnerischen Vereinfachung zwingt man den Entscheidungsträger also, Fragen zu beantworten, deren Schwierigkeitsgrad den theoretisch benötigten bei weitem überschreitet.

Die praktische Erfahrung im Umgang mit Fragen vom Typ 1 lehrt auch, daß implizit mit der Fragestellung dem Entscheidungsträger suggeriert wird, er sei additiv; denn kein Befragter konnte sich bei der Abwägung des $p_i = c_i$ von der wahrscheinlichkeits-theoretischen Mißdeutung, daß $\sum_i p_i = 1$ ist, freimachen. Orientiert man sich beim Alternativenvergleich in einer Typ 1-Frage hieran, ergibt sich konsequenterweise meistens in guter Näherung auch $\sum_i c_i = 1$ und damit die additive Form. Während die Beantwortung von Lotteriefragen im Sinne von Satz 3.2 und auch Äußerungen über synergistische Zusammenhänge (vgl. Kap. 5.4) eindeutig die multiplikative Form mit $\sum_i c_i \neq 1$ zur Folge haben. Die Frage, was denn nun richtig sei, ist stets gleichbedeutend mit der Frage, welche Funktion die Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers korrekt wiedergibt.

Man wird also bei Verwendung solcher Typ 1-Fragen mehrere zusätzliche Konsistenzfragen stellen müssen und deren Antworten und Implikationen mit dem Entscheidungsträger beraten.

Für die praktische Interviewdurchführung haben wir einen Alternativfragentyp 1' entwickelt, der nur das Abwägen von zwei Attributwertänderungen erfordert.

Wir gehen dabei davon aus, daß bereits $k - 1$ lineare Gleichungen über Typ 2-Fragen gewonnen wurden, die die Größe der c_j , mit $j \in \{1, \dots, k\} \setminus \{i\}$ relativ zu einem (nicht notwendig dem größten)

c_i widerspiegeln. Fragentyp 1' unterscheidet sich nur geringfügig von den Fragen, die zur Ermittlung der Indifferenzpaare gestellt wurden (Kap. 5.2) die ja wiederum einen Spezialfall des Fragentyps 2 darstellen.

Fragentyp 1': Wählen Sie einen Wert von Z_i , z.B.: z_i' , und einen von Z_j , etwa z_j' , und zwar so, daß unter der Annahme irgendeines fixen Niveaus für alle anderen Attribute (also \bar{z}_{ij} fest) Indifferenz besteht zwischen:

- A: einer Konsequenz, die z_i' und z_j^1 ergibt,
 B: einer Konsequenz, die z_j' und z_i^1 ergibt.

Mit (3.4) und (3.5) und der multiplikativen Form (3.2), denn nur für diese werden Fragen vom Typ 1' (oder Typ 1) benötigt, ergibt sich, wenn man die Nutzen beider Konsequenzen A und B gleichsetzt:

$$c_i \cdot u_i(z_i') + c_j + c c_i c_j u_i(z_i') = c_i + c_j \cdot u_j(z_j') + c c_i c_j u_j(z_j') . \quad (5.5.7)$$

Setzt man in (5.5.7) noch $z_i' = z_i^0$, so folgt:

$$c_j = c_i + c_j u_j(z_j') + c c_i c_j u_j(z_j') \quad (5.5.8)$$

bzw. für $z_j' = z_j^0$:

$$c_i \cdot u_i(z_i') + c_j + c c_i c_j \cdot u_i(z_i) = c_i . \quad (5.5.9)$$

Da die $u_i(z_i')$ bzw. $u_j(z_j')$ nur reelle Zahlenwerte darstellen, sofern die Einzelnutzenfunktionen erst einmal bestimmt sind, ist eine Beziehung der Art (5.5.8) bzw. (5.5.9) die einfachste nichtlineare Beziehung für den Zusammenhang zweier c_i , c_j und c .

Wir sind somit in der Lage, ein Gleichungssystem aus $k - 1$ linearen Gleichungen, z.B. der Art (5.5.6) und einer nichtlinearen Gleichung der Art (5.5.9) und der Definitionsgleichung für c (3.3) aufzustellen. Für den in unserem konkre-

ten Projekt theoretisch denkbaren Fall einer rein multiplikativen Gesamtnutzenfunktion über 14 Einzelattributen (also ohne Schachtelung) ist das Gleichungssystem in Anhang E mit $c_i = c_1$ angegeben. Der Skalierungskoeffizient des Attributs: 'Gesamtkosten' wurde gewählt, da bereits in Kap. 3 sämtliche Indifferenzwertepaare bezüglich dieses einen Attributs ermittelt worden sind.

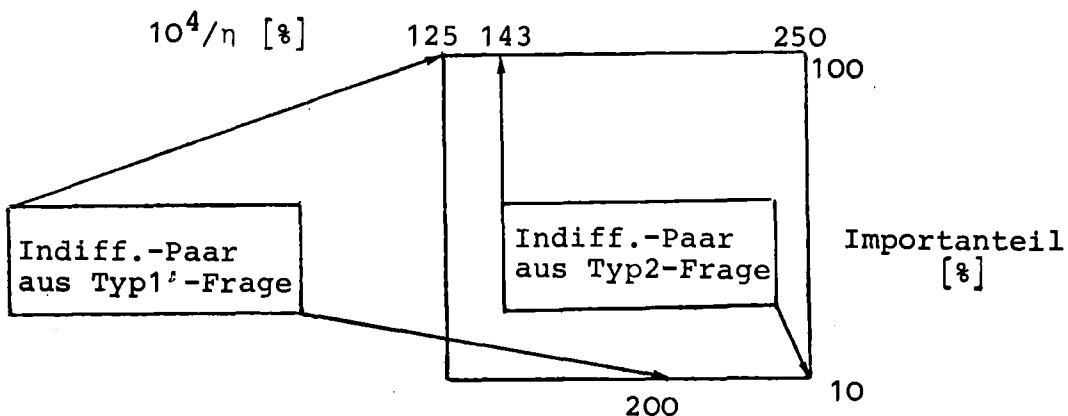
Für die Lösung dieses Gleichungssystems wurde ein Programm auf einem mit Magnetkartenprogramm Speicher ausgestatteten Taschenrechner entworfen, das dieses System nach den in Anhang E wiedergegebenen Gleichungen löst.

Das Programm wurde beim Interview zur Nutzenfunktionsbestimmung (von einem zweiten Berater, neben dem eigentlichen Interviewer des Entscheidungsträgers) erfolgreich eingesetzt. Es ist so angelegt, daß es für sämtliche mehrelementige Attributpakete (inkl. Y) auf jeder beliebigen Ebene der Attribute-Hierarchie unserer Gesamtnutzenfunktion $v(y)$ verwendet werden kann, wobei als Eingabe lediglich die Koeffizienten k_i der c_i und die Anzahl der Unbekannten benötigt werden.

Die Skalierungskoeffizienten d , d_i ($i = 1, \dots, 6$), d^2 , d_{2j} ($j = 1, \dots, 5$), d^6 , d_{6k} ($k = 1, \dots, 3$), d^{21} , d_{211} , d_{212} , d^{22} , d_{221} und d_{222} sind in Anhang F mit den zugehörigen Gleichungssystemen, deren Lösung sie sind, angegeben.

Hier soll zur besseren Veranschaulichung lediglich unser o.a. Beispiel erneut angeführt werden.

Anstatt die Antwort auf die Frage von Typ 1 zu verwenden, wird jetzt eine nichtlineare Beziehung aus der Beantwortung einer Frage von Typ 1' bestimmt. Graphisch läßt sich das wie folgt darstellen:



$$\begin{aligned}
 u(z_1^1, z_2^1, z_3^0) &= u(z_1^1, z_2^0, z_3^0) \\
 &\Leftrightarrow c_1 \cdot u_1(z_1^1) + c_2 + cc_1 \cdot c_2 \cdot u_1(z_1^1) = c_1 \\
 &\hspace{15em} (C5)
 \end{aligned}$$

Konkret mit Beispielwerten

$$\begin{aligned}
 u(200, 10, 100) &= u(125, 100, 100) \\
 &\Leftrightarrow c_1 \cdot u_1(200) + c_2 + cc_1 \cdot c_2 \cdot u_1(200) = c_1 \\
 \Rightarrow c_1 \cdot 0.437 + c_2 + cc_1 c_2 \cdot 0.437 &= c_1 .
 \end{aligned}$$

Aufbereitet für unser Taschenrechnerprogramm ergibt sich folgendes GS (vgl. Anhang F (GS4):

$$(12) \quad k_{12} \cdot c_1 = c_3$$

$$(13) \quad k_{13} \cdot c_1 = c_2$$

$$(14) \quad c_1 = k_{15} c_2 + k_{14} c_1 + k_{14} cc_1 c_2$$

$$(15) \quad c + 1 = (1 + cc_1)(1 + cc_2)(1 + cc_2)$$

$$\text{mit } k_{12} = u_1(244) = 0.053 \quad \text{aus (C2)}$$

$$k_{13} = u_1(143) = 0.875 \quad \text{aus (C1)}$$

$$k_{14} = u_1(200) = 0.437 \quad \text{aus (C5)}$$

$$k_{15} = 1 \quad \text{aus (C5) .}$$

$$(13) \text{ in } (14) \Rightarrow c_1 = k_{13} \cdot k_{15} \cdot c_1 + k_{14} c_1 + k_{13} k_{14} cc_1^2$$

$$\Leftrightarrow c_1 = \frac{1}{k_{13} k_{14} \cdot c} (1 - k_{13} k_{15} - k_{14})$$

$$(13) \Rightarrow c_2 = k_{13} c_1$$

$$(12) \Rightarrow c_3 = k_{12} c_1$$

$$c_1 - c_3 \text{ in } (15)$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow c &= \left[\left(\frac{1}{k_{13} k_{14}} (1 - k_{13} k_{15} - k_{14}) + 1 \right) \left(\frac{1}{k_{14}} (1 - k_{14} k_{15} - k_{14}) \right) \right. \\
 &\quad \left. + 1 \right] \left(\frac{k_{12}}{k_{13} k_{14}} (1 - k_{13} k_{15} - k_{14}) + 1 \right) - 1
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow c = -0.95;$$

$$c_1 = 0.86; \quad c_2 = 0.752; \quad c_3 = 0.046 .$$

An dieser Stelle sei noch auf eine Eigenschaft der Gleichungen (0'') und (15'') aus dem Anhang E hingewiesen, die ebenso wie die Lotteriefragen auf der Basis von Satz 3.2 (vgl. Kap. 5.4) Aufschluß über die zu verwendende Form der Nutzenfunktion sowie notwendige Voraussetzungen für die Negativität der abhängigen Skalierungskonstanten (hier c) gibt.

Gilt in (0'') $1 - k_{13} k_{15} - k_{14} = 0 \Leftrightarrow 1 - k_{14} = k_{13} \cdot k_{15}$, so folgt in (15''), daß $c = 0$ ist, womit die additive Form angezeigt ist und Gleichung (15) in (GS) entfällt und Gleichung (14) durch die Beziehung

$$\sum_{i=1}^{14} c_i = 1$$

ersetzt wird. Soll nun $c < 0$ gelten (was die Beantwortung o.a. Lotteriefragen bereits nahegelegt), muß notwendigerweise folgende Ungleichung erfüllt sein:

$$1 - k_{14} < k_{13} \cdot k_{15} \quad (5.5.10).$$

Für k_{15} gilt, daß es, sofern die nichtlineare Beziehung (14) auf der Ebene ausschließlich skalarwertiger Attribute ermittelt wird, stets den Wert 1 annimmt, womit man aus (5.5.10)

$$1 - k_{14} < k_{13} \quad (5.5.11)$$

erhält. k_{13} und k_{14} sind u.o.a. Voraussetzung Werte von Einzelnutzenfunktionen, was sich am einfachsten an unserem letzten Beispiel verdeutlichen läßt:

$$k_{13} = u_1(z_1') = u_1(143) = 0.875$$

$$k_{14} = u_1(z_1''') = u_1(200) = 0.437 ,$$

und es gilt für unser Beispiel auch (5.5.11) und, wie bereits berechnet, $c < 0$. Diese Beziehung, verbal interpretiert, ist in gewisser Weise verwandt mit dem in Kap. 5.4 hinter Gleichung (5.4.6) stehenden Zusammenhang. Der Nutzenzuwachs (z.B.: $\Delta u_1(\bar{z}_1^0) = u_1(z_1') = u_1(143) = 0.875 = k_{13}$), sofern man von den jeweils schlechtesten Attributwerten ausgeht, ist größer, als der Nutzenzuwachs (i.B. $\Delta u_1(\bar{z}_1^1) = u_1(z_1^1) - u_1(z_1''') = 1 - u_1(200) = 1 - 0.437 = 0.563 = 1 - k_{14}$), wenn man vom jeweils besten Niveau der Attribute die Bestimmung der Indifferenzwertepaare startet.

Unser Taschenrechnerprogramm (TRP), zur Lösung von (GS) (vgl. Anhang E), stellt lediglich einen Spezialfall eines großen interaktiven Programmsystems von Sicherman (1975) dar, das auch beliebig viele Nichtlinearitäten (auch von etwas allgemeinerer Form als (5.5.7) verarbeiten kann. Allerdings hat dieses sehr komfortable Programmsystem den Nachteil, daß es nur auf Großrechenanlagen arbeiten kann und somit nicht beim Interview vor Ort mitgeführt werden kann. Unser Taschenrechnerprogramm ist hierfür durchaus geeignet und bietet ein relativ einfaches Instrument zur Bestimmung sämtlicher Skalierungskoeffizienten einer multiplikativen Nutzenfunktion über (max.) $k = 14$ Einzelattributen.

Auf alle Fälle können wir festhalten, daß Fragen vom Typ 1' weniger Anforderungen an den Entscheidungsträger stellen als die äußerst komplexe Abwägungsprozesse voraussetzenden Fragen vom Typ 1. Die dringende Empfehlung bei Verwendung von Fragen des Typs 1, zusätzliche Kontrollfragen zur Konsistenzprüfung zu stellen, muß allerdings auch bei Verwendung von Fragen des Typs 1' aufrecht erhalten werden. Die Gleichungssysteme sind i.d.R. äußerst empfindlich gegen Änderungen der Koeffizienten k_i in den linearen Gleichungen wie in der nichtlinearen Beziehung. Deshalb ist es angebracht, mehrere Gleichungssysteme für ein und dasselbe Attributpaket durchzurechnen und im Falle von Unstimmigkeiten in den Resultaten den Entscheidungsträger um Revision einzelner widersprüchlicher Angaben zu bitten. Eine grobe Sensitivitätsanalyse über einzelne Koeffizienten des Gleichungssystems kann den

Revisions-Prozeß erheblich beschleunigen, da dem Entscheidungsträger in diesem Falle die Auswirkungen bestimmter Änderungen bereits vorab mitgeteilt werden können.

5.6 Zur Überprüfung der Konsistenz

Mit den letzten Ausführungen sind wir bereits auf dem Gebiet der Konsistenzprüfung angelangt. Generell gilt, daß Kontrollfragen zur Konsistenzprüfung (engl. 'consistency checks') an jeder beliebiger Stelle während des Bestimmungsprozesses der Nutzenfunktion einfließen können. Bereits an mehreren Stellen dieses Kapitels wurde auf Konsistenzprüfungen hingewiesen, die ohne viel Mehraufwand durchgeführt werden können. Deshalb soll darauf hier nicht mehr näher eingegangen werden.

Grundsätzlich dienen die Kontrollfragen zur Konsistenzprüfung nicht nur dem Aufdecken von Widersprüchen, die (vgl. Kap. 5.1) fast zwangsläufig bei komplexeren Abwägeprozessen auftreten, weil es kaum möglich ist, alle Implikationen einer zwischen zwei Attributen geäußerten Präferenz auf Anhieb vollends zu überschauen. Vielmehr sollen die Kontrollfragen geradezu solche Widersprüche provozieren, damit man nach mehrfacher, oft mühseliger Revision zu einer Nutzenfunktion gelangt, die die tatsächliche Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers widerspiegelt. Bei der praktischen Durchführung dieses Interviewteils ist man aus Zeitgründen freilich gezwungen, eine sinnvolle Auswahl unter der Vielzahl möglicher Kontrollfragen zu treffen. Insbesondere wird man versuchen, soviel wie möglich bereits erhaltene Antworten auf Fragen vom Typ 1' (oder Typ 1) bzw. Typ 2 (vgl. Kap. 5.5) durch Zusatzfragen zu überprüfen. Dabei kann man sich notfalls auf die bei der Rangfolgebestimmung als am wichtigsten erkannten Attribute beschränken.

Allgemein läßt sich für eine der linearen Beziehungen, die aus einer Frage vom Typ 2 resultiert, folgender Zusammenhang formulieren:

$$d_i \cdot a_i^j = d_j \quad i, j \in \{1, 211, 212, 221, 222, 23, 24, 25, 3, 4, 5, 61, 62, 63\} \quad (5.6.1)$$

mit

$$a_i^j = \left\{ \begin{array}{ll} v_i(y_i') & \text{wenn } y_i > y_j \\ \frac{1}{v_j(y_j')} & \text{wenn } y_j > y_i \end{array} \right\} \quad (5.6.2)$$

y_i' : Indifferenzwert von y_i zu y_j^1

y_j' : Indifferenzwert von y_j zu y_i^1

Die Indifferenzwertepaare, die bereits bei der Verifizierung der Präferenzunabhängigkeit (vgl. 5.2) bestimmt worden sind, liefern uns schon 13 solcher Gleichungen, wobei stets $i = 1$ gilt, d.h. es ist jeweils ein bestimmtes Ziel, vertreten durch das Attribut j mit dem Ziel 1 'Geringe Gesamtkosten', gemessen durch Attribut 1, abgewogen worden. Eine Konsistenzprüfung wird nun mit Hilfe eines weiteren noch zu ermittelnden Indifferenzpaares durchgeführt. Zur Veranschaulichung soll ein kleines Beispiel dienen.

Aus Anhang B, besser noch aus Anhang G (1), können wir zwischen den Koeffizienten d_{61} und d_1 bzw. d_{62} und d_1 (also zwischen den Zielen 'langfristige Energieversorgungssicherheit', gemessen durch $1/\eta$ bzw. 'mittelfristige Energieversorgungssicherheit', repräsentiert durch den Importanteil und dem Ziel 'geringe Gesamtkosten des EVS') folgende Beziehungen aufstellen:

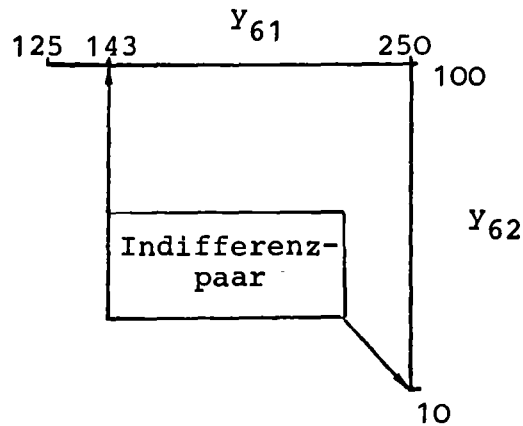
$$d_1 \cdot a_1^{61} = d_{61} \quad \text{mit } a_1^{61} = \frac{1}{v_{61}(200)} = 2.286, \quad (D1)$$

$$d_1 \cdot a_1^{62} = d_{62} \quad \text{mit } a_1^{62} = \frac{1}{v_{62}(70)} = 2.0. \quad (D2)$$

Eine Kontrollfrage (analog zur Indifferenzpaarbestimmung in Kap. 5.2) ergibt:

$$d_{61} \cdot a_{61}^{62} = d_{62} \quad \text{mit } a_{61}^{62} = v_{61}(143) = 0.875, \quad (D3)$$

graphisch veranschaulicht (vgl. hierzu auch die graphische Darstellung der Indifferenzpaare zu $\{Y_1, Y_{61}\}$ und $\{Y_1, Y_{62}\}$ in Anhang B:



Aus Konsistenzgründen muß jetzt gelten:

$$a_1^{61} \cdot a_{61}^{62} = a_1^{62} \quad \text{oder} \quad a_{61}^{62} = \frac{a_1^{62}}{a_1^{61}} = \frac{\frac{1}{v_{62}(70)}}{\frac{1}{v_{61}(200)}} =$$

$$\frac{v_{61}(200)}{v_{62}(70)} \cong v_{61}(143) \quad (D4) ,$$

was durch Einsetzen der Werte auch bestätigt wird (vgl. Anhang F.

Allgemein muß gelten:

$$a_i^j \cdot a_j^k = a_i^k \quad (i, j, k \in \text{Einzelattributindexmengen}) \quad (5.6.3) .$$

Im Anhang G (2) ist für die 13 Indifferenzwertepaare aus Kap. 5.2 graphisch veranschaulicht, wie die zur Konsistenzprüfung benutzten Werte über die Gleichungen (5.6.1) - (5.6.3) zusammenhängen.

Natürlich ließen sich noch viele andere Arten von Kontrollfragen zur Konsistenzprüfung angeben und auch praktisch durchführen, doch wollen wir es bei diesen Ausführungen belassen.

Ein bislang noch nicht erörterter Aspekt derartiger Kontrollfragen soll allerdings noch kurz beschrieben werden.

Bereits in Kap. 5.5 ist ausgeführt, daß die Beantwortung einer (Lotterie-)Frage vom Typ 1 dem Entscheidungsträger geradezu eine Meisterleistung bei der Abwägung persönlicher Präferenzen abverlangt. Deshalb sind wir auf Fragen vom Typ 1' übergegangen. Doch auch diese Fragen vom Typ 1' und ebenso die eng mit ihnen verwandten Fragen vom Typ 2 (die auch den einfachsten und daher meistverwendeten Kontrollfragentyp darstellen) verlangen vom Entscheidungsträger ein extrem differenziertes Abwägungsvermögen. Die Indifferenzwertepaare müßten nämlich ganz exakt angegeben werden, um zu völliger Konsistenz (rein numerisch, z.B. auf 3 Stellen genaue Faktoren a_i^j bzw. Koeffizienten d_i) führen zu können. M.a.W. (das zuletzt angeführte Beispiel sei wiederum zur Veranschaulichung herangezogen):

Die Werte y_j' (für $j \in \{61, 62\}$) in (D1) und (D2) sowie der Wert für y_i'' , ($i = 61$) in (D3) müßten so exakt angegeben werden, daß (D4) in der gewünschten Rechengenauigkeit erfüllt ist, was freilich auf Anhieb unmöglich vom Entscheidungsträger verlangt werden kann, zumal hier noch unterschiedliche Risikoeinstellungen bezüglich verschiedener Ziele über die Nutzenfunktionen v_j ($j \in \{61, 62\}$) eingehen, die mit eingeschätzt werden müßten.

Der Entscheidungsträger ist grundsätzlich aber nur in der Lage, einen Indifferenzwert so exakt anzugeben, wie er überhaupt noch Unterschiede zwischen zwei Werten empfindet; d.h. in unserem Beispiel liegt zwar nur für $y_{61}'' = 143$ völlige Konsistenz vor, aber der Entscheidungsträger ist wohl auch bei $y_{61}''' = 142$ oder $y_{61}^{IV} = 144$ indifferent zu $y_{62}^I = 10$. Durch mannigfaltige systematische Überprüfungen über andere Fragen und deren Antworten gelangt man allerdings letztlich zu einem die Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers "richtig" wiedergebenden Indifferenzwert.

5.7 Kurvenanpassung der Einzelnutzenfunktionen und impliziertes Risikoverhalten bei bestimmtem Nutzenfunktionsverlauf

Bereits in Kap. 5.3 ist ausgeführt worden, wie man über einfache Lotteriefragen Punkte der Einzelnutzenfunktionen $u_i(z_i)$ $i = 1, \dots, k$ bestimmt. Als Grundlage für die folgenden Ausführungen sollen hier kurz einige Grundbegriffe über (engl. 'unidimensional utility functions') eindimensionale Nutzenfunktionen erläutert werden.

Das bereits in Kap. 2 erwähnte Sicherheitsäquivalent einer Lotterie L wird hier definiert als der Betrag \hat{z} , bei dem ein Entscheidungsträger gerade indifferent zwischen der Lotterie L und dem sicheren Wert \hat{z} ist:

$$u(\hat{z}) = E[u(z)] \text{ bzw. } \hat{z} = u^{-1}(E[u(z)]). \quad (5.7.1)$$

Ist L eine Lotterie gemäß der Notation aus Definition 2.2 (d.h. mit den Wahrscheinlichkeiten p_1, \dots, p_h ergeben sich die Ergebniswerte z_1, \dots, z_h , und z bezeichnet eine Zufallsgröße, die mit Wahrscheinlichkeit p_i den Ergebniswert z_i annimmt ($i = 1, \dots, h$)), so kann der erwartete Nutzen der Lotterie definiert werden als (vgl. 2.8):

$$E[u(z)] = \sum_{i=1}^h p_i u(z_i) \quad (5.7.2)$$

mit $u: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$

$$z \mapsto u(z).$$

Der Erwartungswert der Lotterie ist (vgl. 2.7)

$$E(z) = \sum_{i=1}^h p_i z_i. \quad (5.7.3)$$

Die bereits in Kap. 2 erwähnte Risikoscheu (Risikoneigung) liegt vor, sofern für eine in z monotone Nutzenfunktion gilt:

$$u[E(z)] \gtrless E[u(z)] = u(\hat{z}). \quad (5.7.4)$$

Ist $u(z)$ (wie das bei allen unseren Einzelattributen der Fall ist) eine in z monoton fallende Nutzenfunktion, so gilt im Falle der Risikoscheu (Risikoneigung)

$$E(z) < \hat{z}. \quad (5.7.5)$$

Die Bestimmung von einzelnen Punkten der Einzelnutzenfunktionen hat in unserem konkreten Fall ergeben, daß der Entscheidungsträger fast immer eine risikoscheue Einstellung hat.

In wenigen Fällen ist er allerdings weder risikoscheu noch risikofreudig, sondern risikoneutral. Risikoneutralität liegt vor, wenn in den Gleichungen (5.7.4) und (5.7.5) statt des Ungleichheitszeichens ein Gleichheitszeichen steht. Die risikoneutrale Einstellung ist bemerkenswerterweise entweder bei nicht als besonders wichtig erachteten Zielen oder bei nur schwer einschätzbaren Zielen feststellbar. Im ersten Fall (Z_9, Z_{11} , Anhang C) kann man eine gewisse Gleichgültigkeit als zugrundeliegende Verhaltensannahme zur Erklärung heranziehen, daß stets der Erwartungswert der Lotterie als Indifferenzwert gewählt wurde. Im zweiten Fall (Z_7 , gemessen durch Attribut 'Unfalltote/a', vgl. Anhang C) wird vom Entscheidungsträger keine vom Erwartungswert abweichende Wahl als vertretbar oder verantwortbar angesehen. Bei allen anderen Zielen finden wir die im Sinne von Schlaifer (1969, S. 146) sogar als 'general attitude' bezeichnete positive und (für in z monoton fallende Nutzenfunktionen $u(z)$) mit wachsendem z zunehmende Risikoaversion. Zur näheren Erläuterung dieses Phänomens führen wir den Begriff der Risikoprämie einer Lotterie ein, die als Differenz zwischen Erwartungswert und Sicherheitsäquivalent definiert ist.

$$RP(z) = E(z) - \hat{z} = E(z) - u^{-1} E u(z). \quad (5.7.6)$$

Ein Individuum wird 'zunehmend risikoavers' genannt, wenn es erstens risikoavers ist und zweitens die Risikoprämie $RP(z)$ für jede Lotterie zunimmt, sofern der zugehörige Betrag z ebenfalls zunimmt, vorausgesetzt, $u(z)$ ist in z monoton fallend.

Graphisch läßt sich das folgendermaßen veranschaulichen:

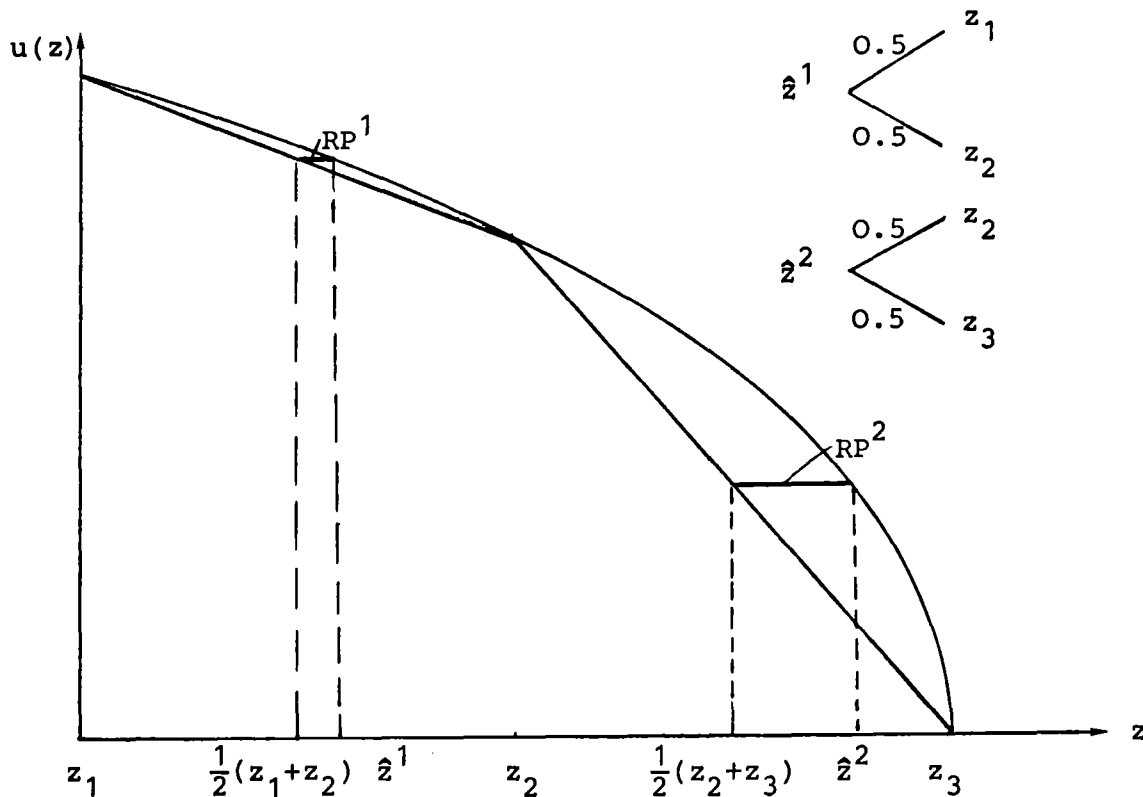


Abb. 5.7.1: In z monoton fallende Nutzenfunktion $u(z)$, die positive in z zunehmende Risikoaversion impliziert.

Ein derartiges Verhalten erscheint gerade für einen verantwortungsbewußten Entscheidungsträger in Sachen Energiepolitik besonders angemessen, da er, je näher er an den am wenigsten wünschenswerten Wert von z gelangt, um so risikoscheuer wird. Diese Einstellung ist durchaus mit dem bereits in Kap. 5.4 angesprochenen konservativen Entscheidungsverhalten verwandt und ist anhand mehrerer Äußerungen seitens des Entscheidungsträgers während des Interviews erhärtet worden.

Der Zusammenhang zwischen Kurvenanpassung der Nutzenfunktion an einige wenige ermittelte Punkte und der Risikohaltung läßt sich wie folgt erläutern. In der einschlägigen Literatur (z.B. Schlaifer (1969) u. (1971); Pratt (1964); Meyer, Pratt (1968); Keeney, Raiffa (1976); Buehring et al. (1978))

finden sich viele Vorschläge möglicher Gleichungen für Nutzenfunktionen bei allen nur denkbaren Risikoeinstellungen.

Praktisch durchgeführt wurden offensichtlich aber nur Projekte, in denen, wenn nicht von Risikoneutralität, dann doch meist von konstanter Risikoaversion ausgegangen wird. Selbst das sehr komfortable Programmsystem von Sicherman (1975) sieht nur diese beiden Fälle vor, deckt freilich alle anderen Formen der Risikoeinstellung durch eine stückweise linearisierte Nutzenfunktion ab, mit deren Hilfe sich auch die wachsende Risikoscheu und sogar S-förmige Nutzenfunktionsverläufe approximieren lassen.

Konstantes Risikoverhalten bedeutet für die Nutzenfunktion, daß sie der Gleichung $u(z) = a + b \cdot e^{-cx}$ genügt, wobei $a, b \in \mathbb{R}$ hier nicht näher erläuterte Skalierungskoeffizienten sind und $c \in \mathbb{R}_{++}$ die sog. Risikoscheu- (bzw. Risikoneigungs-) Konstante darstellt (vgl. hierzu Kenney, Raiffa (1976, S. 167f)).

Da wir mittels mehrerer Lotteriefragen empirisch nachgewiesen haben (vgl. Abb. 5.7.1), daß unser Entscheidungsträger positiv und mit wachsendem z zunehmend risikoscheu ist, kommt für uns der Exponentialansatz in der o.a. Form nicht zur Kurvenanpassung der Nutzenfunktionswertepaare in Frage. Wir wählen den rechentechnisch relativ einfachen gebrochenrationalen Ansatz:

$$u(z) = \frac{1 - A \cdot z}{B - C \cdot z} \quad (5.7.7)$$

Aus dem Gleichungssystem

$$(1) \quad u(z^1) = \frac{1 - A \cdot z^1}{B - C \cdot z^1} = 1 \quad (5.7.8)$$

$$(2) \quad u(z^0) = \frac{1 - A \cdot z^0}{B - C \cdot z^0} = 0 \quad (5.7.9)$$

$$(3) \quad u(\hat{z}) = \frac{1 - A \cdot \hat{z}}{B - C \cdot \hat{z}} = \frac{1}{2} \quad (5.7.10)$$

ergeben sich die Koeffizienten A, B, C zu:

$$A = \frac{1}{z^0} \quad (5.7.11)$$

$$B = \frac{(z^0 - z^1)(z^1 - \hat{z}) + z^1(z^1 + z^0 - 2 \cdot \hat{z})}{z^0(z^1 - \hat{z})} \quad (5.7.12)$$

$$C = \frac{z^1 + z^0 - 2 \cdot \hat{z}}{z^0(z^1 - \hat{z})} \quad (5.7.13)$$

Die für alle Einzelattribute mit diesem Ansatz (5.7.7) angepaßten Kurven sind bereits in Anhang C neben den Graphen der Einzelnutzenfunktionen wiedergegeben.

Von Interesse ist freilich noch die Frage, ob der gewählte Ansatz eine zunehmende Risikoaversion beschreibt. Hierzu führen wir in Anlehnung an Keeney, Raiffa (1976, S. 183 ff) folgendes Maß für die Risikoscheu bei monoton in z fallender Nutzenfunktion $u(z)$ ein:

$$r(z) := \frac{u''(z)}{u'(z)} \quad (5.7.14)$$

wobei $u'(z)$, ($u''(z)$) die erste (zweite) Ableitung von u nach z darstellt. Gleichung (5.7.7), unter Anwendung der Quotientenregel abgeleitet und in (5.7.14) eingesetzt, ergibt für unseren gewählten Ansatz:

$$r(z) = \frac{\frac{2C(C-AB)}{(B-C \cdot z)^3}}{\frac{C-AB}{(B-C \cdot z)^2}} = \frac{2C}{B-C \cdot z} = \frac{2}{\frac{B}{C} - z} \quad (5.7.15)$$

Es gilt nun der folgende Satz 5.7.1:

Die in z monoton fallende Nutzenfunktion $u(z)$ ist dann und nur dann positiv und zunehmend risikoscheu, wenn die zugehörige Risikoaversionsfunktion $r(z)$ nach (5.7.14) positiv und in z zunehmend ist.

Der Beweis findet sich in Keeney, Raiffa (1976, S. 183 ff) auf mehrere Theoreme verteilt und ist einfach nachzuvollziehen. $r(z)$ muß positiv sein, da $u'(z)$ negativ ist, weil $u(z)$ monoton fallend ist und $u''(z)$ ohnehin negativ sein muß, um

die die Risikoaversion implizierende Konkavität von $u(z)$ zu gewährleisten (vgl. Kap.2).

Setzen wir in (3.4.7.15) die Gleichungen (5.7.12) und (5.7.13) für B und C ein, erhalten wir:

$$r(z) = \frac{2}{\frac{(z^0 - z^1)(z^1 - \hat{z}) + z^1(z^1 + z^0 - 2 \cdot \hat{z})}{z^1 + z^0 - 2 \cdot \hat{z}} - z} \quad (5.7.16)$$

Zunächst gilt: $z^1 > \hat{z} > z^0$ und $z \in [z^0, z^1]$.

Wegen der allgemein geforderten Risikoscheu gilt außerdem:

$$z^1 + z^0 - 2 \cdot \hat{z} < 0, \quad (5.7.17)$$

womit in (5.7.16) $r(z)$ eine auf dem Intervall $[z^0, z^1]$ positive und in z monoton wachsende Funktion darstellt; d.h. unser gewählter Ansatz gibt genau das festgestellte Risikoverhalten wieder.

Hiermit wäre die Beschreibung der Bestimmung der Gesamtnutzenfunktion sowie deren wichtigster Eigenschaften abgeschlossen.

Im letzten Kapitel wollen wir zusammenfassend nochmals kritisch erläutern, welches wesentliche entscheidungstheoretische Konzept den Ausführungen zugrundeliegt und welche Ansatzpunkte zur Kritik bei der praktischen Anwendung dieses Konzepts aufgetaucht sind.

6 Kritische Erörterung

Das in Kap. 2 eingeführte Bernoulli-Prinzip besagt, daß in Risikosituationen alternative EV-Strategien nach ihrem Nutzererwartungswert beurteilt werden sollen, was freilich zur konkreten Anwendung voraussetzt, daß die Nutzenfunktion bekannt ist. Deshalb wurde in Kap. 5 geschildert, wie man den Nutzen eines Entscheidungsträgers mittels hypothetischer Risikosituationen messen kann, insbesondere für den Fall, daß mehrere Kriterien Eingang in die Untersuchung finden sollen. Hierzu wurden Möglichkeiten der praktikablen Bestimmung einer multikriterialen Nutzenfunktion aufgezeigt und an einem Beispiel exemplarisch durchgeführt. Natürlich zwingt die nur beschränkt zur Verfügung stehende Zeit dazu, die Nutzenmessung auf einige Werte zu beschränken und daraus durch Kurvenanpassungen eine Approximation des Bernoulli-Nutzens zu gewinnen, wobei man allerdings durch geschickte Zusatzfragen wertvolle Informationen über die Form der Funktion wie auch über dahinterstehende Risikoverhaltensstrukturen erhalten kann.

Sind die Strategien widerspruchsfrei geordnet (d.h. konsistent) und gelten neben diesem ordinalen Prinzip noch das Substitutions- und das Stetigkeitsprinzip, so kann aufgrund mathematischer Überlegungen die Gültigkeit des Bernoulli-Prinzips gefolgert werden.

Daher wird das Bernoulli-Prinzip in der Literatur als das rationale Entscheidungsprinzip angesehen, zumal es der intuitiven Vorgehensweise besser als andere Entscheidungsprinzipien (vgl. z.B. Schneeweiß (1967), Bühlmann et al. (1975) u.v.a.) entspricht. Das intuitive Vorgehen beim Abwägen geeigneter bewerteter Handlungskonsequenzen, unter Berücksichtigung der mit ihnen zusammenhängenden Wahrscheinlichkeiten, ist im Bernoulli-Prinzip nachgebildet.

Doch gerade unter dem Aspekt der praktischen Anwendung läßt sich eine Reihe von Kritikpunkten gegen das Bernoulli-Prinzip formulieren:

1. Eine Nutzenmessung ist für den Entscheidungsträger, dessen Präferenzstruktur wiedergegeben werden soll, ein relativ lästiger Prozeß.
2. Für rasche Entscheidungen ist das Instrumentarium, allein wegen des erforderlichen Zeitaufwands, ungeeignet.
3. Eine einmal bestimmte Nutzenfunktion kann wegen eventueller Zeit- und Situationsabhängigkeiten relativ wertlos sein.
4. Wichtige Entscheidungen sind im allgemeinen Gruppenentscheidungen, während die Schätzung von Nutzenfunktionen Individuen zum Gegenstand hat.

Hierzu sei folgendes bemerkt:

Punkt 1 dürfte relativ belanglos sein, wenn schwerwiegende Probleme zu lösen sind und der Entscheidungsträger selbst die Bereitschaft zum Durchdenken der Strategiemultifalt zeigt.

Punkt 2 ist zutreffend; so kann man auch bei Krelle (1968) im Vorwort sinngemäß lesen, daß bei einfachen, leicht überschaubaren Verhältnissen keine Entscheidungstheorie vonnöten ist, und wenn man unvermutet in komplizierten Situationen schnelle Entscheidungen treffen muß, wird man ohne sie auskommen müssen, da ihre Anwendung zu viel Zeit kostet. Unser bislang beschriebenes Instrumentarium ist aber von praktischer Bedeutung, wenn eine Entscheidungssituation einen gewissen Grad von Kompliziertheit überschreitet und für die Entscheidungsvorbereitung genügend Zeit bleibt, was im Fall der Energieplanung auf 20 - 25 Jahre sicher zutrifft.

Der Einwand 3 richtet sich eigentlich nicht gegen die formale Entscheidungsanalyse, sondern spricht ein generelles Problem bei Entscheidungen mit großer Reichweite an: Welchen Sinn hat eine Entscheidung, wenn man damit rechnen muß, daß man sie im nachhinein wegen einer geänderten Präferenzordnung bereut? Unabhängig von der Antwort auf diese Frage scheint es vernünftig, wenn Entscheidungen gefällt werden, dafür zu sorgen, daß sie im Einklang mit der Präferenzordnung zum Zeitpunkt der Entscheidung stehen. Dabei kann eine formale Entscheidungsanalyse, wie sie im vorliegenden Bericht beschrieben wurde, hilfreich sein. Sie gewährleistet immerhin Konsistenz der Entscheidungen für den Fall, daß die Präferenzordnung sich nicht ändert. Trotzdem sollte die Entscheidungsanalyse natürlich mit Änderungen der Präferenzstruktur rechnen und gegebenenfalls eine geschätzte Nutzenfunktion aktualisieren, z.B. dann, wenn neue Erkenntnisse über die Konsequenzen von Entscheidungsoptionen erzielt werden. Darüberhinaus kann sie die Offenheit gegenüber zukünftigen Änderungen der Präferenzstruktur als Ziel mit berücksichtigen.

Beim Einwand 4 ist zunächst auf die zahlreichen Ansätze zur Ermittlung von Gruppennutzenfunktionen hinzuweisen. Sie sind allerdings problematisch, weil sie tendenziell die Diskussion um Werte und Normen eliminieren, s. Fiala, Stehfest (1979). Betreibt man rein individuelle Entscheidungsanalyse, ist in der Tat nicht zu erwarten, daß das Ergebnis "die" Entscheidung ist, weil i.a. ein Konsens innerhalb einer Gruppe mit unterschiedlichen Wertvorstellungen erzielt werden muß. Die Entscheidungsanalyse kann jedoch dem Individuum helfen, zu identifizieren, was es im Gruppenentscheidungsprozeß anstreben soll. Und nicht zuletzt lassen sich die Punkte, an denen die Teilnehmer eines Entscheidungsprozesses unterschiedlicher Meinung sind, leichter auffinden und diskutieren, wenn die Präferenzordnungen der Teilnehmer in Form von Nutzenfunktion explizit gemacht worden sind.

Sicherlich sind dies nicht alle Kritikpunkte, manche anderen wurden bereits a.a.S. angesprochen, doch wollen wir es damit bewenden lassen und darauf hinweisen, daß die Anwendung des nutzentheoretischen Verfahrens allein durch das erforderliche Nachdenken über Präferenzen und Ziele den Entscheidungsprozeß erheblich fundierter und transparenter macht. Da bei diesem Durchdenken viel Sachverstand zusammenfließen muß, verwundert es nicht, wenn in der Praxis häufig eine einzige Strategie (die man favorisiert) genauer analysiert wird, während andere Strategien, wenn überhaupt, dann nur nach negativen Konsequenzen untersucht werden. Diese weitverbreitete Art der Entscheidungsfindung ist sicherlich schlechter als der zwar mühsame, aber auch erfolgversprechende Weg über entscheidungstheoretische Verfahren, vorausgesetzt, ein bestimmter Planungszeitraum und ein bestimmtes Budget stehen zur Verfügung.

LITERATURVERZEICHNIS

- Bamberg, G., A.G. Coenenberg (1977), Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. Verlag Franz Vahlen München
- Bühlmann, H. (1975), Entscheidungs- und Spieltheorie. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- Buehring, W.A., W.K. Foell, R.L. Keeney (1978), Examining Energy/Environment Policy Using Decision Analysis in Energy Systems and Policy. Vol. 2, No. 3
- Bürk, R., W. Gehring (1978), Indices of Income Inequality and Societal Income: An Axiomatic Approach. In: Eichhorn et al. (1978) (Hrsg.): Theory and Applications of Economic Indices. Physica-Verlag Würzburg
- Ferschl, F. (1975), Nutzen- und Entscheidungstheorie. Einführung in die Logik der Entscheidungen. Westdt. Verlag Opladen
- Fiala, P., H. Stehfest (1979), Überblick über Methoden der linearen Vektoroptimierung. KfK-Bericht Nr. 2795, Kernforschungszentrum Karlsruhe
- Fishburn, P.C. (1964), Decision and Value Theory. John Wiley & Sons, Inc. New York London Sydney
- Fishburn, P.C. (1970), Utility Theory for Decision Making. John Wiley & Sons, Inc. New York London Toronto
- Gäfgen, G. (1974), Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung. 3. erweiterte und ergänzte Auflage, J.C.B. Mohr Tübingen
- Gottinger, H.W. (1974), Grundlagen der Entscheidungstheorie. Uni-Taschenbuch 370, Gustav-Fischer-Verlag Stuttgart
- Keeney, R.L. (1974), Multiplicative utility functions. In: Operations Research 22, S. 22 - 34
- Keeney, R.L., H. Raiffa (1976), Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs. John Wiley & Sons New York

- Kirsch, W. (1977), Einführung in die Theorie der Entscheidungsprozesse. 2. Auflage der Bände I bis III als Gesamtausgabe, Dr. Th. Gabler-Verlag Wiesbaden
- v. Koolwijk, J., M. Wieken-Mayser (Hrsg.), Techniken der empirischen Sozialforschung. Band 4: Erhebungsmethoden: Die Befragung; Band 5: Testen und Messen
- Krelle, W. (1968), Präferenz und Entscheidungstheorie. Verlag J.C.B. Mohr Tübingen
- Luce, R.D., H. Raiffa (1957), Games and Decisions. Wiley New York
- Menges, G. (1969), Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen. Westdeutscher Verlag Köln u. Opladen
- Meyer, R.F., J.W. Pratt (1968), The consistent assessment and fairing of preference functions. In: IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. Vol. SSC-4, No. 3, S. 270 - 278
- Meyke, U. (1973), Cost-Effectiveness-Analysis als Planungsinstrument unter besonderer Berücksichtigung von Infrastrukturinvestitionen im Verkehr. Vandenhoeck & Ruprecht Göttingen
- Pfanzagl, J. (1968), Theory of Measurement. Physica-Verlag Würzburg Wien
- Pratt, J.W. (1964), Risk Aversion in the Small and in the Large. *Econometrica*, Vol. 32, No. 1-2, S. 122 - 136
- Quade, E.S. (1964) (Hrsg.), Analysis for Military Decisions. Chicago, Dund Mc Nally. Zitiert in: Aaron Wildavsky: Politische Ökonomie der Effizienz. In:
- Recktenwald, H.C. (1970), Nutzen-Kosten-Analyse und Programmbudget. J.C.B. Mohr-Verlag Tübingen
- Raiffa, H. (1973), Einführung in die Entscheidungstheorie. Oldenbourg-Verlag München
- Scheuch, E.K. (1973), in R. König (Hrsg.): Handbuch der empirischen Sozialforschung. Bd. 2: Grundlegende Methoden und Techniken der empirischen Sozialforschung. 1. Teil 3. umgearbeitete und erweiterte Auflage, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- Schlaifer, R. (1969), Analysis of Decisions under Uncertainty. McGraw-Hill New York
- Schneeweiß, H. (1967), Entscheidungskriterien bei Risiko. Ökonometrie und Unternehmensforschung VI, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Sicherman, Alan (1975), An Interactive Computer Program for
Assessing And Using Multiattribute Utility Functions.
Technical Report 111, Operations Research Center,
Massachusetts Institute of Technology

Zangemeister, Chr. (1973), Nutzwertanalyse in der System-
technik. Wittemannsche Buchhandlung München, 3. Aufl.

Anhang A: Berechnung der Attribute aus den Entscheidungsvariablen

In den Gleichungen für $z_1 \dots z_{14}$ gilt

$\underline{y} = \{y_{ab}\}$ = Energieflußvektor (in MWh/a)

$\underline{c} = \{c_{ab}\}$ = Kapazitätenvektor (in MW)

(a,b) \in Menge der Indexpaare zu Primär-, Sekundär- und Endenergiearten, die ineinander umgewandelt werden können.

PI, SI und EI bedeuten die Indexmengen zu den Primär-, Sekundär- bzw. Endenergiekategorien.

1. Gesamtkostenfunktion $z_1 = f_1(\underline{x}) = K(\underline{x}) = K(\underline{y}, \underline{c}) = \underline{\alpha}_1^T \underline{y} + \underline{\beta}_1^T \underline{c}$
 α_{1ab} = variable Kosten pro Kopf und pro Energieeinheit des Umwandlungsprozesses zwischen a und b (in DM/(MWh·cap))
 β_{1ab} = jährliche Fixkosten pro Kopf und pro Leistungseinheit der Umwandlungsinstallation des Umwandlungsprozesses zwischen a und b (in DM/(MW·a·cap))
2. SO₂-Immissionsbelastungsfunktion $z_2 = f_2(\underline{x}) = SO_2(\underline{x}) = SO_2(\underline{y}) = \underline{\alpha}_2^T \underline{y}$
 α_{2ab} = mittlere Immissionsbelastung durch SO₂ pro Energieeinheit und Jahr des Energieflusses von a nach b (in $\mu\text{g}/\text{m}^3 (\text{MWh}/\text{a})^{-1}$)
3. Feinstaub-Immissionsbelastungsfunktion $z_3 = f_3(\underline{x}) = FS(\underline{x}) = FS(\underline{y}) = \underline{\alpha}_3^T \underline{y}$
 α_{3ab} = mittlere Immissionsbelastung durch Feinstaub pro Energieeinheit und Jahr des Energieflusses von a nach b (in $\mu\text{g}/\text{m}^3 (\text{MWh}/\text{a})^{-1}$)
4. NO_x-Immissionsbelastungsfunktion $z_4 = f_4(\underline{x}) = NO_x(\underline{x}) = NO_x(\underline{y}) = \underline{\alpha}_4^T \underline{y}$
 α_{4ab} = mittlere Immissionsbelastung durch NO_x pro Energieeinheit und Jahr des Energieflusses von a nach b (in $\mu\text{g}/\text{m}^3 (\text{MWh}/\text{a})^{-1}$)

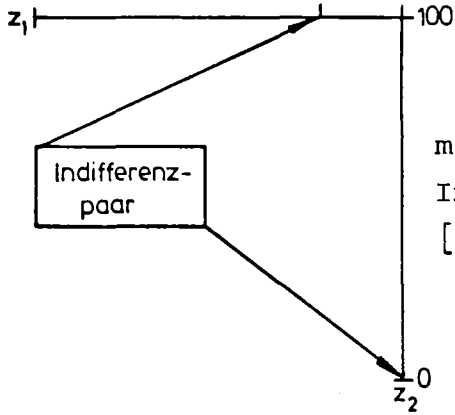
5. CO-Immissionsbelastungsfunktion $z_5 = f_5(\underline{x}) = CO(\underline{x}) = CO(\underline{y}) = \underline{\alpha}_5^T \underline{y}$
 α_{5ab} = mittlere Immissionsbelastung durch CO pro Energieeinheit und Jahr des Energieflusses von a nach b (in $\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{MWh}/\text{a})^{-1}$), wobei $a \in \text{SI}$ und $b \in \text{EI}$, da nur die Energieflüsse Diesel und Benzin für Kfz-Verkehr betrachtet werden.
6. Radiologische Belastungsfunktion $z_6 = f_6(\underline{x}) = R(\underline{x}) = R(\underline{c}) = \underline{\beta}_7^T \underline{c}$
 β_{7ab} = mittlere Ganzkörperdosisrate pro installierte Leistung der Kapazität, die Energie von a nach b umwandelt (in $10^{-2} \text{ mrem}/\text{MW}\cdot\text{a}$), wobei Index a nur die Primärenergie Kernkraft darstellt.
7. Unfallträchtigkeitfunktion $z_7 = f_7(\underline{x}) = U(\underline{x}) = U(\underline{y}) = \underline{\alpha}_7^T \underline{y}$
 α_{7ab} = Unfalltote pro Energieeinheit bezogen auf den Energiefluß von a nach b (in Unfalltote pro MWh)
8. CO_2 -Konzentrationszunahmefunktion $z_8 = f_8(\underline{x}) = \text{CO}_2(\underline{x}) = \text{CO}_2(\underline{y}) = \underline{\alpha}_8^T \underline{y}$
 α_{8ab} = jährliche Zunahme der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre pro Energieeinheit des Energieflusses von a nach b (in ppm/MWh)
9. Verdunstungsverlustefunktion $z_9 = f_9(\underline{x}) = V(\underline{x}) = V(\underline{y}) = \underline{\alpha}_9^T \underline{y}$
 α_{9ab} = verdunstete Wassermenge pro Energieeinheit des Energieflusses von a nach b (in $\text{m}^3/\text{sec}(\text{MWh}/\text{a})^{-1}$)
10. Landschaftsflächenbedarfsfunktion $z_{10} = f_{10}(\underline{x}) = L(\underline{x}) = L(\underline{y}, \underline{c}) = \underline{\alpha}_{10}^T \underline{y} + \underline{\beta}_{10}^T \underline{c}$
 α_{10ab} = Flächenbedarf (bezogen auf die Fläche Baden-Württembergs) pro Energieeinheit und Jahr für den Energiefluß von a nach b (in $\%(\text{MWh}/\text{a})^{-1}$), wobei Index a nur die Primärenergie Braunkohle und Index b nur die Sekundärenergie Strom repräsentiert.
 β_{10ab} = Flächenbedarf (bezogen auf die Fläche Baden-Württembergs) pro installierte Leistung und Jahr der Kapazität c_{ab} (in $\%/ \text{MW}$) mit $b \in \text{SI}$

11. Endenergievielfältigkeitsfunktion $z_{11} = f_{11}(\underline{x}) = VF(\underline{x}) = VF(\underline{y}) = \underline{\alpha}_{11}^T \underline{y}$
 α_{11ab} = Beitrag zum Vielfältigkeitsindex pro Energieeinheit und Jahr des Energieflusses von a nach b, wobei $b \in EI$ (in $(MWh/a)^{-1}$)
12. Wirkungsgradfunktion $z_{12} = f_{12}(\underline{x}) = W(\underline{x}) = W(\underline{y}) = \underline{\alpha}_{12}^T \underline{y} = \frac{1}{n}$
 α_{12ab} = reziproker Wert der Gesamtendenergienachfrage (in $(MWh/a)^{-1}$), wobei $a \in PI$.
13. Importanteilsfunktion $z_{13} = f_{13}(\underline{x}) = J(\underline{x}) = J(\underline{y}) = \underline{\alpha}_{13}^T \underline{y}$
 α_{13ab} = Wirkungsgrad der importierten Primärenergiemenge y_{ab} ($a \in PI$) bzgl. der Endenergienachfrage geteilt durch die Gesamtendenergienachfrage (Dimension: $(MWh/a)^{-1}$)
14. Vorratshaltungskostenfunktion $z_{14} = f_{14}(\underline{x}) = VK(\underline{x}) = VK(\underline{y}) = \underline{\alpha}_{14}^T \underline{y}$
 α_{14ab} = Vorratshaltungskosten für ein halbes Jahr für importierte Primärenergieträger pro Energieeinheit und Jahr des Energieflusses von a nach b (in $DM/(MWh \cdot cap)$), wobei $a \in PI$ nur die Primärenergieträger Öl und Gas repräsentiert.

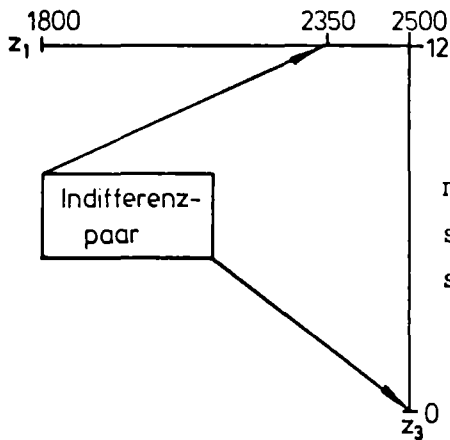
Anhang B: Indifferenzpaare und Mengen präferenzabhängiger (PA) Attribute

Grundsätzlich gilt für jede Indifferenzpaar-Bestimmung die Voraussetzung: \bar{z}_{ij}^0

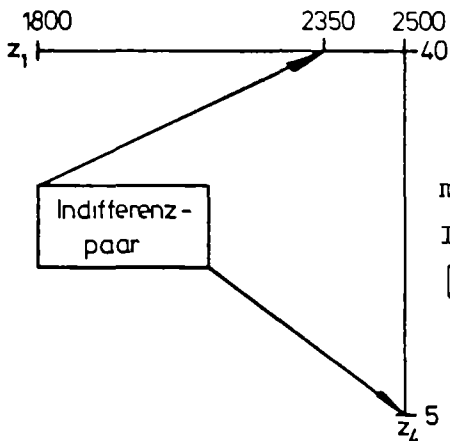
Gesamtkosten [DM/(cap.a)]
 1800 2350 2500



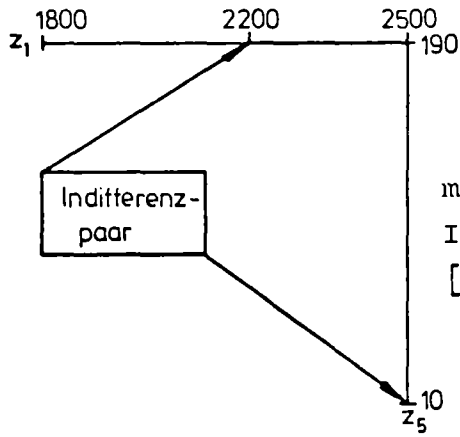
mittl. SO_2^- Immission [$\mu g/m^3$]
 PA von: Z_3
 Zusatzfragen ergeben (ZE):
 $Z_1 \times Z_2 \times Z_3$ PU \bar{z}_{123}



mittl. Feinstaub-Immission [$\mu g/m^3$]
 PA von: Z_2
 ZE:
 $Z_1 \times Z_2 \times Z_3$ PU \bar{z}_{123}



mittl. NO_x^- Immission [$\mu g/m^3$]
 PA von Z_5 :
 ZE:
 $Z_1 \times Z_4 \times Z_5$ PU \bar{z}_{145}

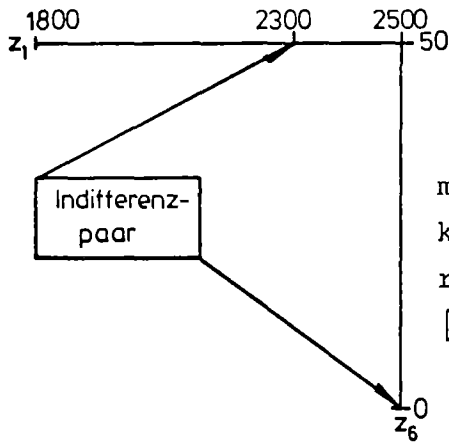


mittl. CO-
Immission
[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

PA von Z_4

ZE:

$$Z_1 \times Z_4 \times Z_5 \text{ PU } \bar{Z}_{145}$$

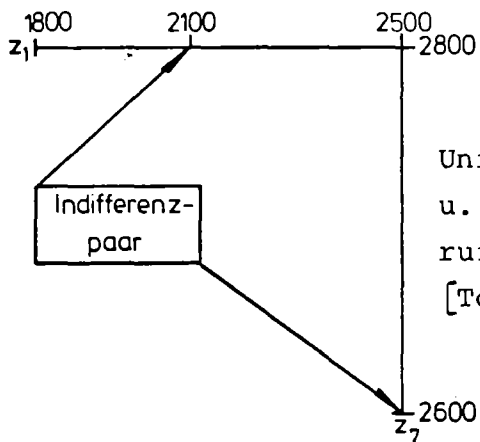


mittl. Ganz-
körperdosis-
rate
[10^{-2}mrem/a]

PA von Z_7

ZE:

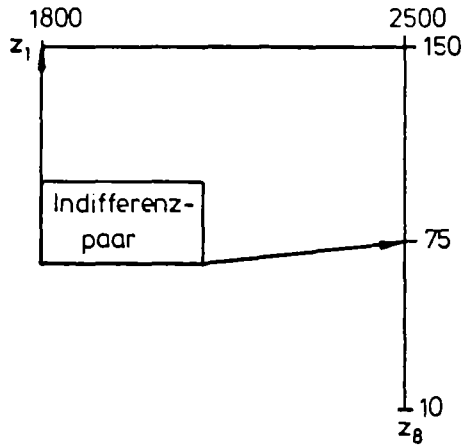
$$Z_1 \times Z_6 \times Z_7 \text{ PU } Z_{167}$$



Unfalltote
u. tödl. Be-
rufskrankh.
[Töte/a]

PA von: -

$$Z_1 \times Z_7 \text{ PU } \bar{Z}_{17}$$

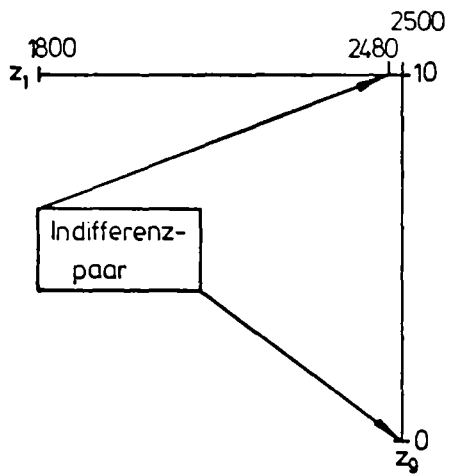


CO₂-Gehalt-
Erhöhung der
Atmosphäre
[ppm/a]

PA von: $Z_{2-5,7}$

ZE:

$Z_1 \times Z_2 \times Z_3 \times Z_4 \times Z_5 \times Z_7 \times Z_8$ PU
 $\bar{Z}_{1234568}$

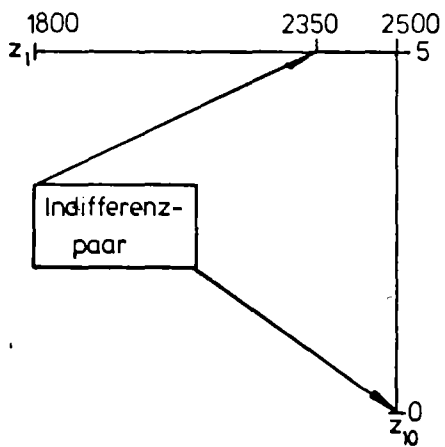


Verdunst.
Wasser-
menge
[m³/sec]

PA von: -

ZE:

$Z_1 \times Z_9$ PU \bar{Z}_{19}

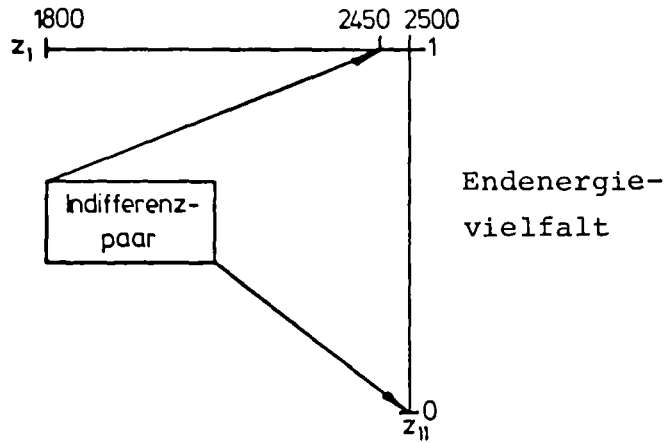


Landinan-
spruch-
nahme [%]

PA von: -

ZE:

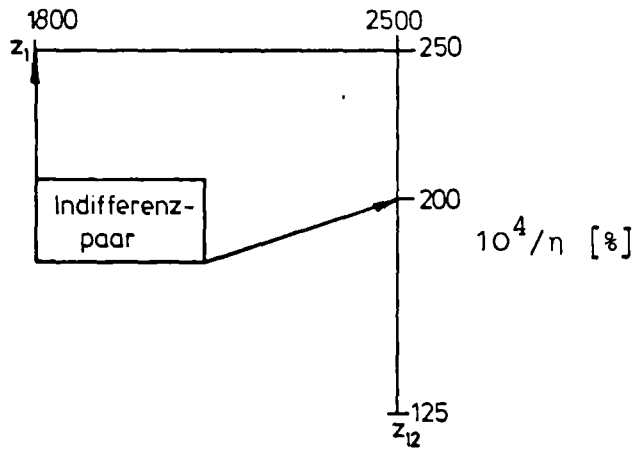
$Z_1 \times Z_{10}$ PU $\bar{Z}_{1,10}$



PA von: -

ZE:

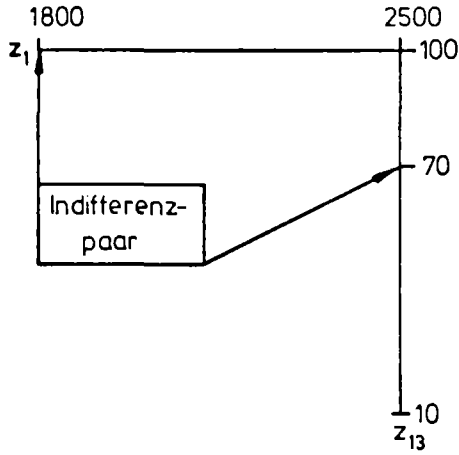
$$z_1 \times z_{11} \text{ PU } \bar{z}_{1,11}$$



PA von: z_{13}

ZE:

$$z_1 \times z_{12} \times z_{13} \text{ PU } \bar{z}_{1,12,13}$$



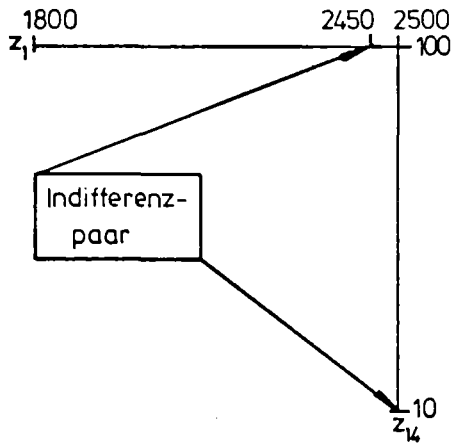
Importanteil
[%]

PA von: Z_{12}, Z_{14}

ZE:

$$Z_1 \times Z_{12} \times Z_{13} \times Z_{14} \text{ PU}$$

$$\bar{Z}_{1,12,13,14}$$



Vorratshaltungskosten
für 1/2 a
[DM/(cap·a)]

PA von: Z_{13}

ZE:

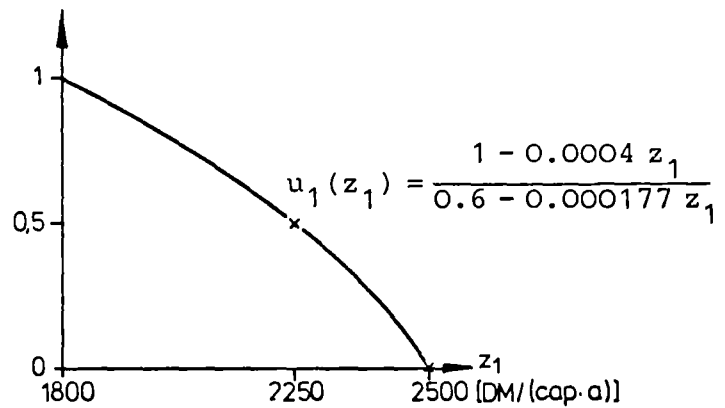
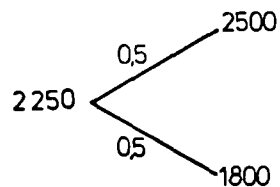
$$Z_1 \times Z_{13} \times Z_{14} \text{ PU}$$

$$\bar{Z}_{1,13,14}$$

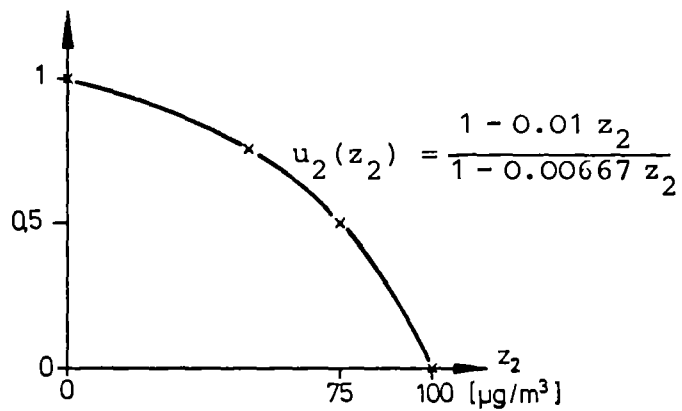
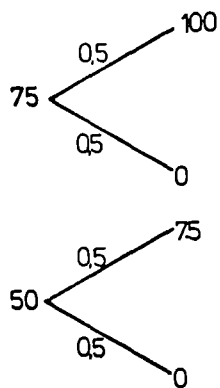
Anhang C: Einzelnutzenfunktionen (graphisch und algebraisch) sowie Lotterien zu ihrer Bestimmung

Grundsätzlich gilt bei jeder Lotterie-Frage die Voraussetzung: \bar{z}_i^0

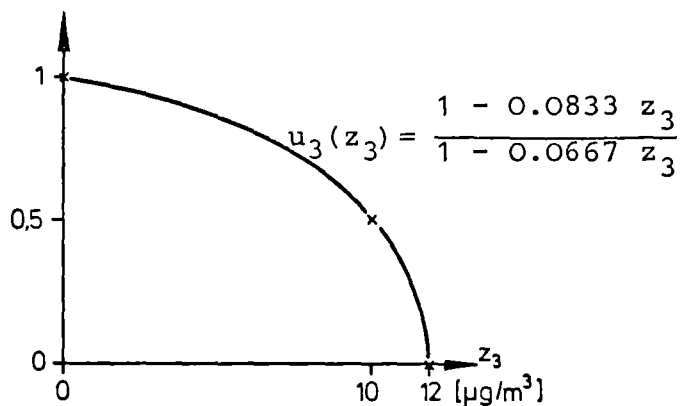
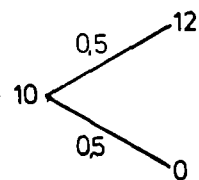
z1: Gesamtkosten [DM/(cap·a)]



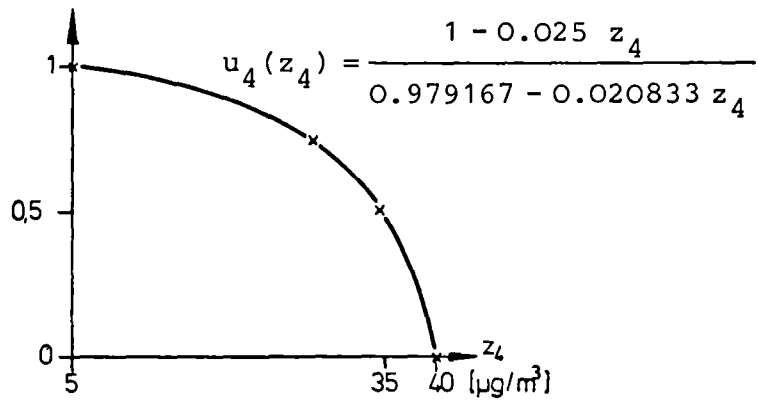
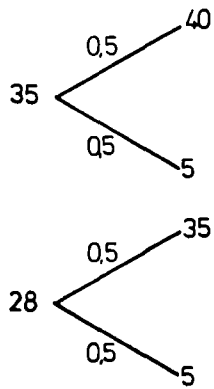
z2: mittl. SO₂-Immission [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



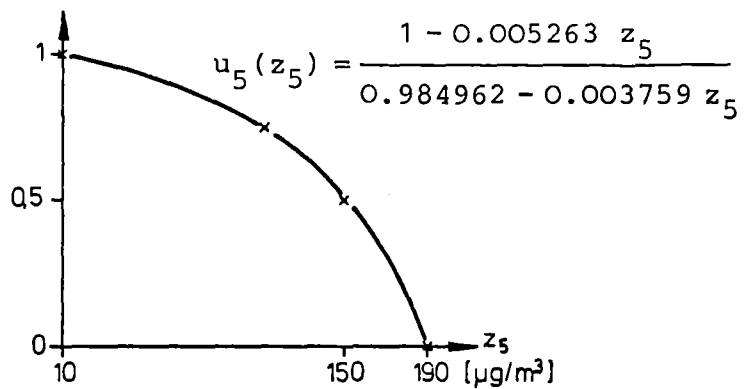
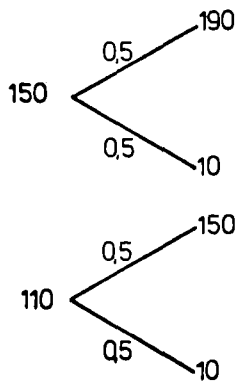
z3: mittl. Feinstaub-Immission [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



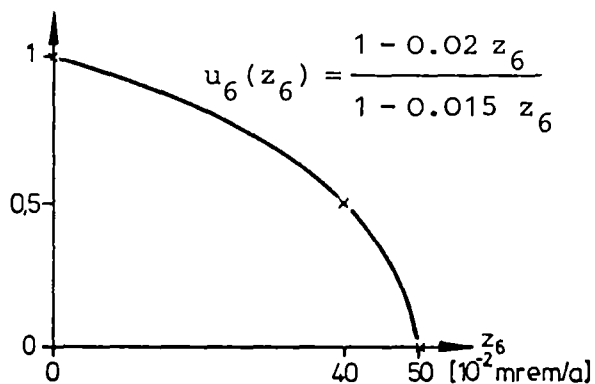
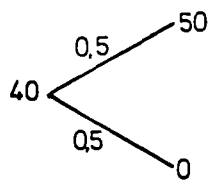
z4: mittl. NO_x-Immission [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



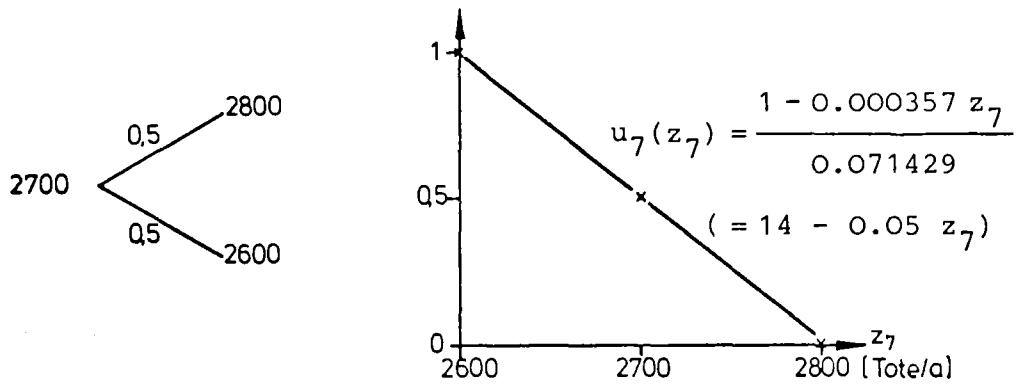
z5: mittl. CO-Immission [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]



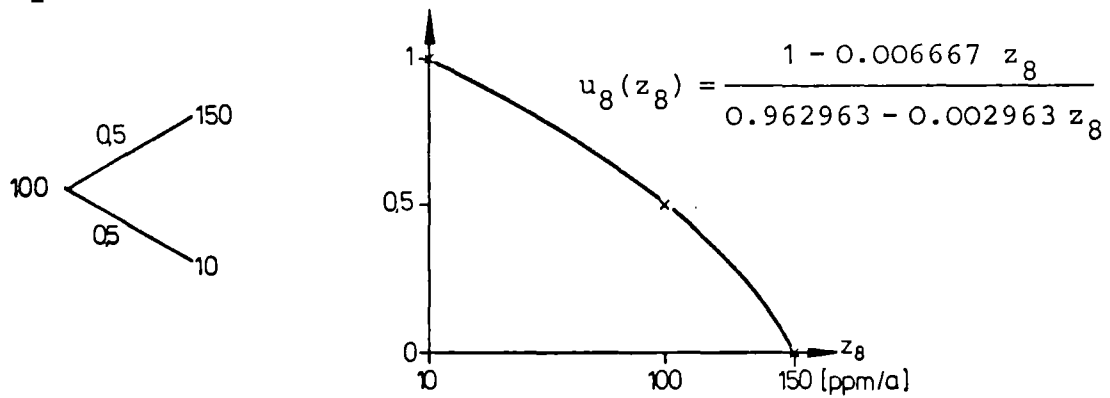
z6: mittl. Ganzkörperdosisrate [10^{-2}mrem/a]



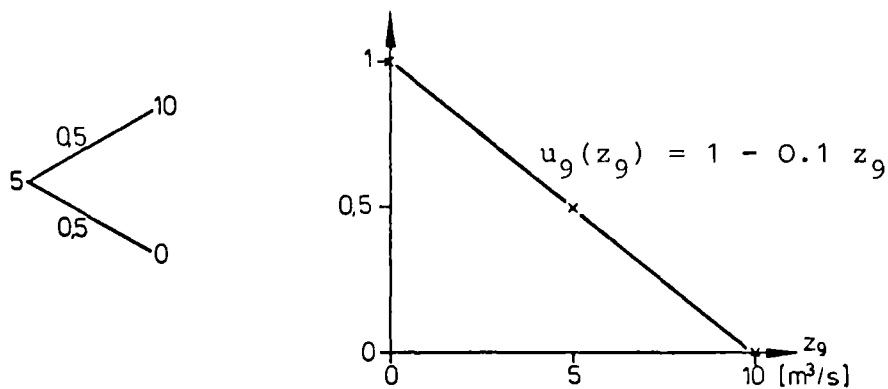
z7: Unfalltote [Tote/a]



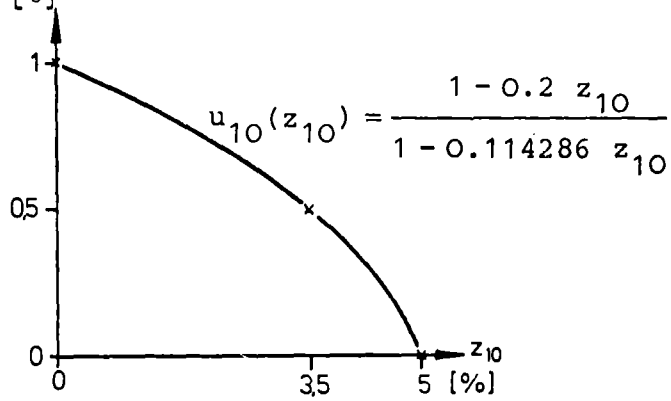
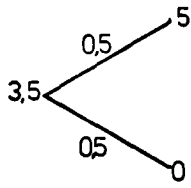
z8: CO₂-Gehalt-Erhöhung [ppm/a]



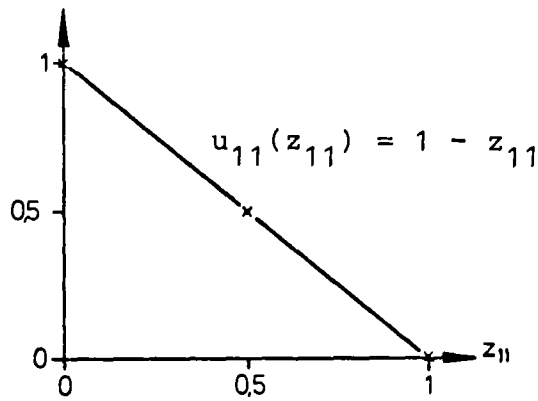
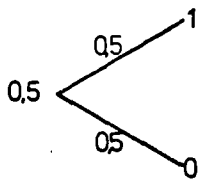
z9: verdunst. Wassermenge [m³/sec]



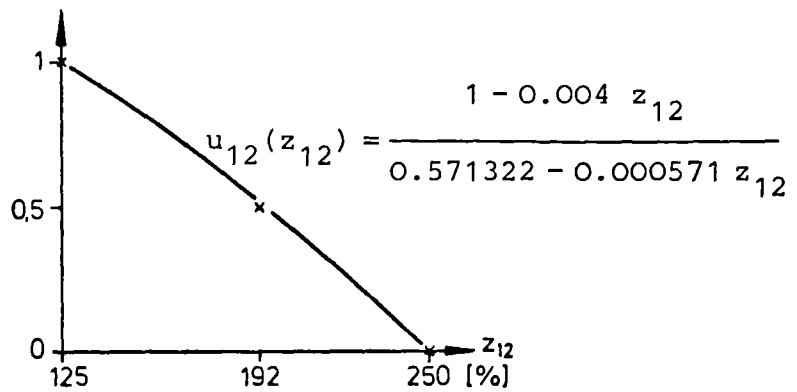
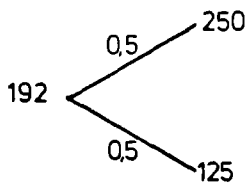
z10: Landinanspruchnahme [%]



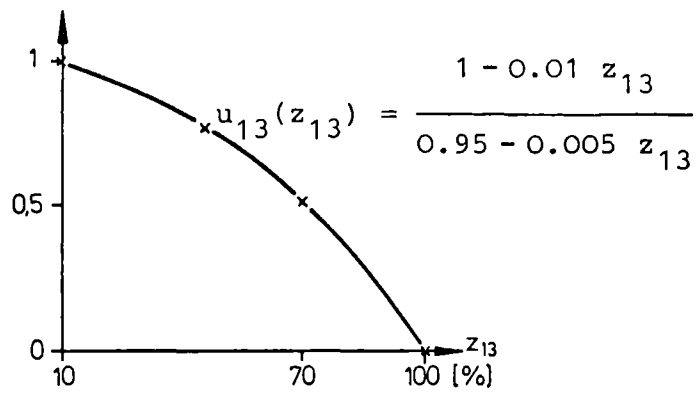
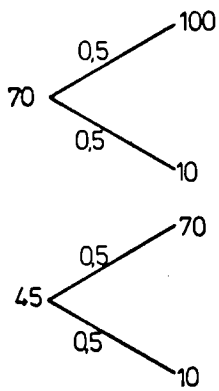
z11: Endenergievielfalt



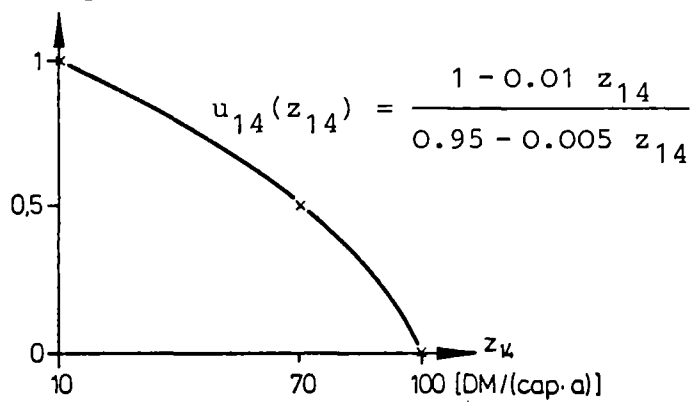
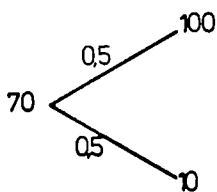
z12: $\frac{10^4}{\eta}$ [%]



z13: Importanteil [%]



z14: Vorratskosten [DM/cap·a]



Anhang D: Beziehung zwischen Attribute-"Synergismus" und dem Vorzeichen der Skalierungskonstanten c in der multiplikativen Nutzenfunktion

Behauptung: Für $\Delta w(\bar{z}_i^0) > \Delta w(\bar{z}_i^1)$ ist notwendig $c < 0$, während $-1 < c < 0$ hinreichend ist (s. Beziehung (5.4.6)).

Beweis: O.B.d.A. setzen wir $i = 1$. Dann ist $\Delta w(\bar{z}_i^0) = c_1$

$$\begin{aligned} \Delta w(\bar{z}_i^1) &= \frac{1}{c} \prod_{i=1}^k (1 + cc_i) - 1 - \prod_{i=2}^k (1 + cc_i) + 1 \\ &= c_1 \prod_{i=2}^k (1 + cc_i) \end{aligned}$$

Die Ungleichung in der Behauptung ist also äquivalent

$$1 > \prod_{i=2}^k (1 + cc_i)$$

Man erkennt daran unmittelbar, daß notwendig $c < 0$ ist, da die c_i positiv sind, und daß $-1 < c < 0$ hinreichend für die Gültigkeit der obigen Ungleichung ist.

Anhang E:

Gleichungssystem und Lösungsverfahren zur Bestimmung der Skalierungskonstanten c_i in der multiplikativen Nutzenfunktion für maximal 14 Einzelattribute

$$\begin{aligned}
 (0) \quad & k_0 \cdot c_1 = c_1 && k_0 := 1 \\
 (1) \quad & k_1 \cdot c_1 = c_2 \\
 (2) \quad & k_2 \cdot c_1 = c_3 \\
 (3) \quad & k_3 \cdot c_1 = c_4 \\
 (4) \quad & k_4 \cdot c_1 = c_5 \\
 (5) \quad & k_5 \cdot c_1 = c_6 \\
 (6) \quad & k_6 \cdot c_1 = c_7 \\
 (7) \quad & k_7 \cdot c_1 = c_8 \\
 (8) \quad & k_8 \cdot c_1 = c_9 && \text{(GS)} \\
 (9) \quad & k_9 \cdot c_1 = c_{10} \\
 (10) \quad & k_{10} \cdot c_1 = c_{11} \\
 (11) \quad & k_{11} \cdot c_1 = c_{12} \\
 (12) \quad & k_{12} \cdot c_1 = c_{13} \\
 (13) \quad & k_{13} \cdot c_1 = c_{14} \\
 (14) \quad & c_1 = k_{15} \cdot c_{14} + k_{14} \cdot c_1 + cc_1 c_{14} \cdot k_{14} \\
 (15) \quad & c + 1 = \prod_{i=1}^{14} (cc_1 + 1)
 \end{aligned}$$

Lösung: Einsetzen von (13) in (14) ergibt:

$$c_1 = k_{13} \cdot k_{15} \cdot c_{14} + k_{14} c_1 + cc_1 k_{13} c_{14} k_{14}$$

$$1 - k_{13} k_{15} - k_{14} = cc_1 \cdot k_{13} k_{14}$$

$$(o') \quad c_1 = \frac{(1 - k_{13} k_{15} - k_{14})}{k_{13} \cdot k_{14} \cdot c} \quad \text{womit nach (1) - (13) alle } c_i (i = 1, \dots, 14) \text{ in } c \text{ ausdrückbar sind}$$

$$(1') \quad (1) \Rightarrow c_2 = \frac{k_1 (1 - k_{13} k_{15} - k_{14})}{k_{13} k_{14} \cdot c}$$

$$\vdots$$

$$(13') \quad (13) \Rightarrow c_{14} = \frac{(1 - k_{13} k_{15} - k_{14})}{k_{14} \cdot c}$$

(o') - (13') in (15) eingesetzt ergibt:

$$c = \left[\left(\frac{1 - k_{13} k_{15} - k_{14}}{k_{13} k_{14}} + 1 \right) \left(\frac{k_1 (1 - k_{13} k_{15} - k_{14})}{k_{13} k_{14}} + 1 \right) \dots \right. \\ \left. \left(\frac{1 - k_{13} k_{15} - k_{14}}{k_{14}} + 1 \right) \right] - 1$$

$$c = \left[\prod_{i=0}^{13} \left(\frac{k_i (1 - k_{13} k_{15} - k_{14})}{k_{13} k_{14}} + 1 \right) \right] - 1 \quad (15')$$

oder

$$c = \prod_{i=0}^{13} (k_i \cdot c'_1 + 1) - 1 \quad (15'')$$

mit

$$c'_1 = c_1 \cdot c = \frac{1 - k_{13} k_{15} - k_{14}}{k_{13} k_{14}} \quad (o'')$$

Berechnungsreihenfolge: Zuerst (o''), danach (15'') ergibt c, und dies eingesetzt in (o') - (13') ergibt die c_i .

Anhang F: Bestimmung der Skalierungskonstanten

Bestimmung sämtlicher Skalierungskoeffizienten aus $v(\underline{y})$ unter Benutzung eines Taschenrechnerprogramms (TRP) zur Lösung des Gleichungssystems (GS)

1. Attributpaket $Y_{21} = \{Y_{211}, Y_{212}\} = \{Z_2, Z_3\}$

$$\left. \begin{array}{l} (13) \quad k_{13} \cdot d_{211} = d_{212} \\ (14) \quad d_{211} = k_{15} d_{212} + k_{14} d_{211} + k_{14} d^{21} d_{211} d_{212} \end{array} \right\} \text{(GS1)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{mit } k_{13} = v_{211}(0) = \frac{v_1(2350)}{v_1(2350)} = 1 \\ k_{14} = v_{211}(50) = 0.75 = k_{15} \end{array} \right\} \text{TRP} \Rightarrow \begin{array}{l} d^{21} = -0.889 \\ d_{211} = 0.750 \\ d_{212} = 0.750 \end{array}$$

2. Attributpaket $Y_{22} = \{Y_{221}, Y_{222}\} = \{Z_4, Z_5\}$

$$\left. \begin{array}{l} (13) \quad k_{13} \cdot d_{222} = d_{221} \\ (14) \quad d_{222} = k_{15} d_{221} + k_{14} d_{222} + k_{14} d^{22} d_{221} d_{222} \end{array} \right\} \text{(GS2)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{mit } k_{13} = \frac{v_1(2350)}{v_1(2200)} = 0.573 \\ \quad = v_{222}(140) \\ k_{14} = v_{222}(110) = 0.737 \\ k_{15} = 1. \end{array} \right\} \text{TRP} \Rightarrow \begin{array}{l} d^{22} = -0.846 \\ d_{221} = 0.497 \\ d_{222} = 0.868 \end{array}$$

3. Attributpaket $Y_2 = \{Y_{21}, Y_{22}, Y_{23}, Y_{24}, Y_{25}\} = \{\{Z_2, Z_3\}, \{Z_4, Z_5\}, Z_6, Z_7, Z_8\}$

$$\left. \begin{array}{l} (10) \quad k_{10} \cdot d_{22} = d_{24} \\ (11) \quad k_{11} \cdot d_{22} = d_{21} \\ (12) \quad k_{12} \cdot d_{22} = d_{25} \\ (13) \quad k_{13} \cdot d_{22} = d_{23} \\ (14) \quad d_{22} = k_{15} \cdot d_{23} + k_{14} d_{22} + k_{14} d^2 d_{22} d_{23} \end{array} \right\} \text{(GS3)}$$

$$\text{mit } k_9 = d_{62} \cdot v_{62}(70) \cdot v_1(2450)$$

$$= 0.046$$

$$k_{10} = d_{62} \cdot v_{62}(70) \cdot v_1(2350)$$

$$= 0.124$$

$$k_{11} = d_{62} \cdot v_{62}(70) \cdot v_1(2480)$$

$$= 0.019$$

$$k_{12} = \frac{d_{62} \cdot v_{62}(70)}{d_{25} \cdot v_{25}(75)} = 0.775$$

$$k_{13} = d_{62} \cdot v_{62}(70) = 0.376$$

$$k_{14} = v_{62}(60) = 0.615$$

$$k_{15} = \frac{1}{d_{62}} = 1.330$$

$$d = -0.772$$

$$d_1 = 0.242$$

$$d_2 = 0.500$$

$$d_3 = 0.012$$

$$d_4 = 0.080$$

$$d_5 = 0.030$$

$$d_6 = 0.644$$

TRP
⇒

Anhang G: Rangfolge der Attribute und Konsistenzprüfungen

Anhang G(1): Rangordnung der Attribute (endgültige)

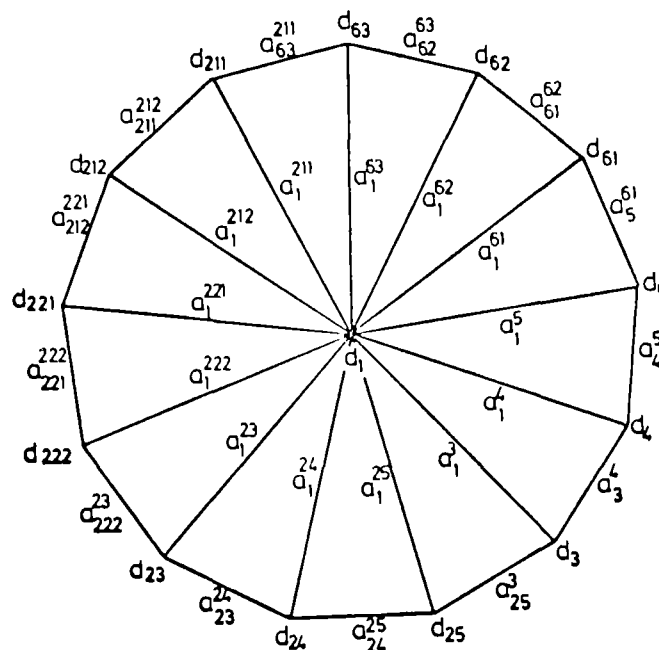
Rang-Nr.	Attribut	Skal.-Konst. bzw. Produkt aus solchen	Indifferenzwert bezogen auf Attribut 1: Kosten
1	$z_{12}: 10^4/n$	$d_{61} \cdot d_6 = 0.554$	200 % $a_1^{61} = \frac{1}{v_{61}(200)} = 2.286$
2	z_{13} : Importanteil	$d_{62} \cdot d_6 = 0.484$	70 % $a_1^{62} = \frac{1}{v_{62}(70)} = 2.$
3	z_8 : CO ₂	$d_{25} \cdot d_2 = 0.356$	75 µg/m ³ $a_1^{25} = \frac{1}{v_{25}(75)} = 1.481$
4	z_1 : Kosten	$d_1 = 0.242$	- $a_1^1 = 1.$
5	z_7 : Unfälle	$d_{24} \cdot d_2 = 0.171$	2100 DM/cap·a $a_1^{24} = v_1(2100) = 0.706$
6	z_5 : CO	$d_{222} \cdot d_{22} \cdot d_2 = 0.160$	2200,- $a_1^{222} = v_1(2200) = 0.574$
7	z_6 : Rad.Bel.	$d_{23} \cdot d_2 = 0.101$	2300,- $a_1^{23} = v_1(2300) = 0.419$
9.5	z_{10} : Landverbr.	$d_4 = 0.080$	2350,- $a_1^4 = v_1(2350) = 0.329$
9.5	z_2 : SO ₂	$d_{211} \cdot d_{21} \cdot d_2 = 0.080$	2350,- $a_1^{211} = v_1(2350) = 0.329$
9.5	z_3 : Staub	$d_{212} \cdot d_{21} \cdot d_2 = 0.080$	2350,- $a_1^{212} = v_1(2350) = 0.329$
9.5	z_4 : NO _x	$d_{211} \cdot d_{22} \cdot d_2 = 0.080$	2350,- $a_1^{221} = v_1(2350) = 0.329$
12.5	z_{11} : Vielfalt	$d_5 = 0.030$	2450,- $a_1^5 = v_1(2450) = 0.121$
12.5	z_{14} : Vorratskost.	$d_{63} \cdot d_6 = 0.030$	2450,- $a_1^{63} = v_1(2450) = 0.121$
14	z_9 : Verdunst.-Verluste	$d_3 = 0.012$	2480,- $a_1^3 = v_1(2480) = 0.050$

Einzelränge innerhalb der mehrelementigen Attributpakete:

1. Attributpaket Y_{21} : $d_{211} = d_{212}$
2. Attributpaket Y_{22} : $d_{222} > d_{221}$
3. Attributpaket Y_2 : $d_{25} > d_{24} > d_{22} > d_{21} > d_{23}$
4. Attributpaket Y_6 : $d_{61} > d_{62} > d_{63}$
5. Attributpaket Y : $d_6 > d_2 > d_1 > d_4 > d_5 > d_3$

Anhang G(2): Schematische Darstellung der für die Nutzenfunktions-schätzung verwendeten Fragen zur Konsistenzprüfung

Sie werden symbolisiert durch die Kreissehnen. Der Koeffizient an jeder Sehne, multipliziert mit dem Koeffizienten an dem im Uhrzeigersinn benachbarten Radius, muß gleich dem Koeffizienten am anderen benachbarten Radius sein.



Anhang H: Nutzenfunktion von V. Schulz

Es wird die Nomenklatur aus Kap. 5.4 benutzt.

$$v(\underline{y}) = \sum_{i=1}^9 d_i v_i(y_i)$$

$$v_1(y_1) = u_1(z_1)$$

$$v_2(y_2) = \frac{1}{d^2} \prod_{j=1}^2 (1 + d^2 d_{2j} v_{2j}(y_{2j})) - \frac{1}{d^2}$$

$$v_{21}(y_{21}) = d_{211} u_2(z_2) + d_{212} u_3(z_3) + d^{21} d_{211} d_{212} u_2(z_2) u_3(z_3)$$

$$v_{22}(y_{22}) = d_{221} u_4(z_4) + d_{222} u_5(z_5) + d^{22} d_{221} d_{222} u_4(z_4) u_5(z_5)$$

$$v_3(y_3) = u_6(z_6)$$

$$v_4(y_4) = u_7(z_7)$$

$$v_5(y_5) = u_8(z_8)$$

$$v_6(y_6) = u_9(z_9)$$

$$v_7(y_7) = u_{10}(z_{10})$$

$$v_8(y_8) = u_{11}(z_{11})$$

$$v_9(y_9) = \frac{1}{d^9} \prod_{k=1}^9 (1 + d^9 d_{9k} u_{11+k}(z_{11+k})) - \frac{1}{d^9}$$

Koeffizienten:

$$d_1 = 0.167$$

$$d_2 = 0.340$$

$$d_3 = 0.070$$

$$d_4 = 0.070$$

$$d_5 = 0.016$$

$$d_6 = 0.042$$

$$d_7 = 0.0$$

$$d_8 = 0.118$$

$$d_9 = 0.177$$

$$d^2 = -0.828$$

$$d_{21} = 0.546$$

$$d_{22} = 0.829$$

$$d^9 = -0.705$$

$$d_{91} = 0.711$$

$$d_{92} = 0.474$$

$$d_{93} = 0.158$$

$$d^{21} = -0.858$$

$$d_{211} = 0.979$$

$$d_{212} = 0.130$$

$$d^{22} = -0.580$$

$$d_{221} = 0.516$$

$$d_{222} = 0.691$$

Anhang I: Nutzenfunktion von H. Stehfest

Es wird die Nomenklatur aus Kap. 5.4 benutzt.

$$v(\underline{y}) = \frac{1}{d} \prod_{i=1}^7 (1 + d d_i v_i(y_i)) - \frac{1}{d}$$

$$v_1(y_1) = u_1(z_1)$$

$$v_2(y_2) = \frac{1}{d^2} \prod_{j=1}^3 (1 + d^2 d_{2j} v_{2j}(y_{2j})) - \frac{1}{d^2}$$

$$v_{21}(y_{21}) = \frac{1}{d^{21}} \prod_{k=1}^4 (1 + d^{21} d_{21k} u_{1+k}(z_{1+k})) - \frac{1}{d^{21}}$$

$$v_{22}(y_{22}) = u_6(z_6)$$

$$v_{23}(y_{23}) = u_7(z_7)$$

$$v_3(y_3) = u_8(z_8)$$

$$v_4(y_4) = u_9(z_9)$$

$$v_5(y_5) = u_{10}(z_{10})$$

$$v_6(y_6) = u_{11}(z_{11})$$

$$v_7(y_7) = \frac{1}{d^7} \prod_{l=1}^3 (1 + d^7 d_{7l} u_{11+l}(z_{11+l})) - \frac{1}{d^7}$$

Koeffizienten:

$$d = -0.812$$

$$d_1 = 0.263$$

$$d_2 = 0.431$$

$$d_3 = 0.215$$

$$d_4 = 0.110$$

$$d_5 = 0.131$$

$$d_6 = 0.066$$

$$d_7 = 0.519$$

$$d^2 = -0.795$$

$$d_{21} = 0.787$$

$$d_{22} = 0.350$$

$$d_{23} = 0.304$$

$$d^7 = -0.824$$

$$d_{71} = 0.563$$

$$d_{72} = 0.769$$

$$d_{73} = 0.127$$

$$d^{21} = -0.869$$

$$d_{211} = 0.489$$

$$d_{212} = 0.324$$

$$d_{213} = 0.445$$

$$d_{214} = 0.547$$

TEIL III :

NUMERISCHE REALISIERUNG DES OPTIMIERUNGSMODELLS FÜR DAS
ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEM VON BADEN-WÜRTTEMBERG

B. FÜRNISS
V. SCHULZ
H. STEHFEST

<u>Inhaltsverzeichnis:</u>	Seite
1. Organisation der numerischen Rechnungen	1
1.1 Problembeschreibung	1
1.2 Lineares Optimierungsprogramm MPSX/370	2
1.3 Erstellen der Eingabematrix	4
2. Die wesentlichen Eingabeparameter	12
2.1 Parameter zur Ermittlung der Häufigkeiten der Lastzustände und der Tag-Nacht-Übergänge	13
2.2 Parameter zur Charakterisierung der Um- wandlungsoptionen	13
2.3 Parameter zur Berechnung der Attribute und Nutzenfunktionen	16
3. Das Restriktionensystem	17
3.1 Definition der Variablennamen	19
3.2 Formelmäßige Berechnung der Koeffizienten in den Restriktionen	23
4. Ein- und Ausgabeprotokoll für einen Optimierungslauf	75
5. Literatur	134

1. Organisation der numerischen Rechnungen

1.1 Problembeschreibung

Wie in Fürniß et al. (1980) beschrieben, läßt sich das Problem, ein regionales Energieversorgungssystem im Hinblick auf verschiedene energiepolitische Ziele möglichst günstig zu gestalten, als nichtlineares Maximierungsproblem mit linearen Restriktionen formulieren. Die Restriktionen beschreiben dabei die technisch möglichen Umwandlungsoptionen, die nichtlinearen Zielfunktionen sind sog. Nutzenfunktionen, die durch Befragen gewonnen werden (s. Teil II). Für die Lösung dieses Problems wurde das reduzierte Gradientenverfahren von Wolfe (s. z.B. Neumann (1975)) benutzt. Als Ausgangspunkt für dieses Verfahren diente die Lösung eines Maximierungsproblems, bei dem die Nutzenfunktion durch eine additiv separierbare Näherung (die additive Nutzenfunktion (s. Teil II) ersetzt worden war. Es zeigte sich, daß die Ergebnisse des reduzierten Gradientenverfahrens sich nur unwesentlich von der Ausgangslösung unterschieden (Fürniß et al. (1980)). Das Problem ließ sich damit im wesentlichen auf die Maximierung einer additiv separierbaren Zielfunktion bei linearen Restriktionen zurückführen, und nur davon soll im folgenden die Rede sein. Wegen der Einzelheiten für die Anwendung des reduzierten Gradientenverfahrens sei auf Hoch (1979) verwiesen.

Das vereinfachte Problem läßt sich durch stückweise Linearisierung der einzelnen Komponenten der additiven Nutzenfunktion in ein lineares Maximierungsproblem verwandeln. (Voraussetzung dafür ist allerdings die Konkavität der Nutzenfunktion, die in allen untersuchten Fällen jedoch erfüllt war, s. Teil II). Im Fall der Einzelzieloptimierung, der ebenfalls eine große Rolle spielte (s. Fürniß et al. (1980)), liegt von vornherein ein lineares Optimierungsproblem vor. Das im folgenden zu diskutierende rechentechnische Problem bestand also in der Bereitstellung der Koeffizienten für ein Problem der linearen Optimierung und der Lösung dieses Problems. Es lautet im Falle der Maximierung

$$\begin{aligned}
 & \max_x \quad cx \\
 & A x \leq b \\
 & 0 \leq x
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

wobei c , b und x Vektoren sind, während A eine Matrix ist.

1.2 Das lineare Optimierungsprogramm MPSX/370

Für die Lösung der in Abschnitt 1.1 genannten linearen Programmierungsaufgabe wurde das IBM-Programmprodukt MPSX/370 benutzt. Es bietet neben einem effizienten Lösungsalgorithmus verschiedene weitere Möglichkeiten zur einfachen Analyse linearer Optimierungsprobleme (s. IBM (1976)). Zu nennen ist hier vor allem das "parametric programming", mit dem sich auf recht einfache Weise Sensitivitätsrechnungen durchführen lassen. Als sehr nützlich erwies sich auch die Möglichkeit, eine einmal gefundene Lösung zum einen abzuspeichern und zum anderen als Startpunkt für einen weiteren Optimierungslauf zu benutzen, z.B. mit einer neuen Zielfunktion, wie es bei der Berechnung der Häufigkeitsverteilungen und der Übergangswahrscheinlichkeiten (s. Abschn. 1.3) der Fall war.

Das Abspeichern der vollständigen Lösung war auch erforderlich, um die Lösung des in Abschn. 1.1 erwähnten Näherungsproblems mit additiver Nutzfunktion als Zielfunktion an das Fortran-Programm RDGRAD (s. Hoch (1979)) zu übergeben, das das reduzierte Gradientenverfahren durchführt. Wegen dieser Übergabe waren bei der Eingabe für MPSX/370 folgende Einschränkungen zu beachten: Separierbare Nichtlinearitäten mußten durch Einführung zusätzlicher Variablen und Restriktionen explizit beseitigt werden. (MPSX/370 bietet die Option des "separable programming" zur einfacheren Berücksichtigung separierbarer Nichtlinearitäten.) Ferner waren Begrenzungen für einzelne Variable explizit als Ungleichungen einzugeben, obwohl MPSX/370 für derartige Restriktionen eine spezielle Verarbeitungsart ("bound-section") vorsieht.

Das Paket MPSX/370 ist durch einfache Aufrufe der verschiedenen Programmteile leicht zu handhaben. Zu dem in Abschn. 4 gegebenen Beispiel eines Kontrollprogramms seien die folgenden Erläuterungen gegeben:

PROGRAM	zeigt den Beginn des Kontrollprogramms an
INITIALZ	initialisiert einige programminterne Parameter
TITLE('XXX')	gibt jeder Druckerseite den Titel XXX
CONVERT	liest und prüft die Eingabedaten und legt sie in geeigneter Form auf einer Problemdatei ab

SETUP	bereitet die Optimierung vor, liest die Problemdatei, setzt den Optimierungstyp (z.B. Minimierung) fest, reserviert Speicherplatz
BCDOUT	druckt die Eingabedaten aus
PRIMAL	Hauptprozedur für die Optimierung, sucht eine zulässige Ausgangslösung und optimiert mittels "Simplex-Iteration"
SOLUTION	druckt die Lösung aus
EXIT	gibt die Regie an das Betriebssystem zurück
PEND	zeigt das Ende des Kontrollprogramms an

Die MOVE-Statements weisen internen Variablen extern gewählte Namen zu.

Bei der Eingabe für MPSX/370 müssen bestimmte Konventionen eingehalten werden (s. Abschn. 4). Entsprechend der mathematischen Darstellung (1.1) des Optimierungsproblems ist im wesentlichen die Matrix A einzugeben. Da i.a. die überwiegende Zahl der Matrixelemente Null ist, erfolgt dies in der Weise, daß für jedes von Null verschiedene Element Position und Wert eingelesen wird. Dazu erhalten alle Spalten (Variablen) und Zeilen (Restriktionen) einen Namen, ebenso die rechte Seite.

Das Eingabepaket gliedert sich in die Abschnitte ROW-Section, COLUMN-Section, RHS-Section, evtl. BOUND-Section (s.o.). Die ROW-Section enthält Namen und Typ der Restriktion. ("L" steht für " \leq ", "G" für " \geq ", "E" für "=".) Die Zielfunktion wird als Restriktion vom Typ "N" (non-constraint) behandelt. Die COLUMN-Section enthält die spaltenweise Eingabe der von Null verschiedenen Matrixelemente (Koeffizienten) des Optimierungsproblems. Eine Eingabezeile hat die Form:

"Spaltenname Zeilenname Koeffizient Zeilenname Koeffizient",

wobei die in der ROW-Section gewählte Reihenfolge der Zeilennamen einzuhalten ist. Die RHS-Section enthält die Werte der rechten Seite der Restriktionen. Die Eingabeform ist die gleiche wie die der COLUMN-Section.

1.3 Erstellen der Eingabematrix

Die einzugebende Koeffizientenmatrix ist in Abb. 1.1 schematisch dargestellt. In ihr bedeuten leere Rechtecke Untermatrizen, die nur aus Nullen bestehen, während schattierte Flächen Elemente ungleich Null enthalten. Wenn in einer Untermatrix nur einzelne Diagonalen oder Zeilen von Null verschiedene Elemente enthalten, so sind diese Diagonalen bzw. Zeilen durch entsprechende gestrichelte Linien symbolisiert. Die Namen am linken bzw. oberen Rand sind die Namen der Restriktionen bzw. Variablen, wie sie für die Eingabe für MPSX/370 vergeben wurden (vgl. Abschn. 4). RS ist die rechte Seite des Restriktionensystems.

Die ersten Zeilen von HTDEMND bis HTSTA3AE bilden die "Kernmatrix", die die Koeffizienten der Gleichungen für die technischen Restriktionen enthält. Diese Restriktionen werden in Abschn. 3 gegeben.

Das nichtlineare Attribut "Vielfältigkeitsindex" war, wie in Teil I, Abschn. 8, angegeben, durch Einführung zusätzlicher Variablen und Restriktionen als lineare Funktion darzustellen. Für jede Variable, die in die Berechnung dieses Attributs eingeht, waren zwei Hilfsvariable einzuführen, die durch die (vektorwertigen) Variablen XSNFM1 und XSNFM2 am oberen Rand angedeutet sind. Die Restriktionen GRIDVA bis GRIDVE definieren die Größen x_{ij} in Formel (8.1) in Teil I als Summe dieser Hilfsvariablen, wobei die letzteren so normiert werden, daß sie zwischen 0 und 1 schwanken. (Bei mehreren Deckungsoptionen mit derselben Endenergieform - z.B. Gasheizung und Gaswärmepumpe - steht x_{ij} für die Summe der entsprechenden Entscheidungsvariablen!) Der folgende Satz von Nebenbedingungen beschränkt die eine Hälfte der Hilfsvariablen auf den Bereich unterhalb der Knickstelle, die durch die Betragsfunktion in der Attributdarstellung entsteht. (d.h. auf den Bereich ≤ 1). Diese Restriktionen sind entsprechend den Hilfsvariablenamen symbolisch mit BXSFM1 bezeichnet, die tatsächlichen Namen (s. Abschn. 4) sind aber auch durch die Anfangsbuchstaben BX und die Ziffer 1 am Ende gekennzeichnet.

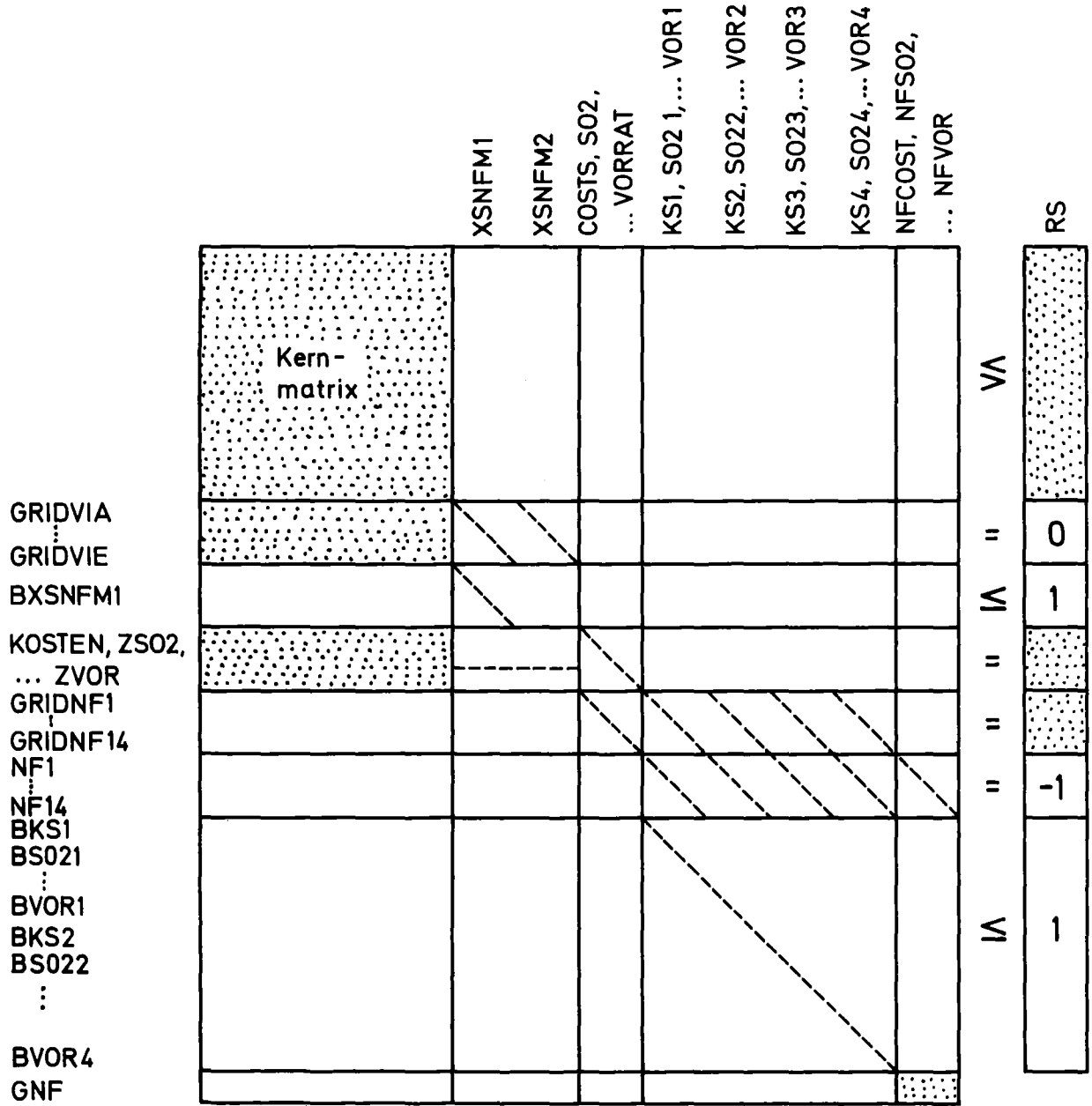


Abbildung 1.1: Schematische Darstellung der Eingabematrix

Die Nebenbedingungen "Kosten", "ZSO₂" "ZVOR" sind die Definitionsgleichungen für die Attribute, deren Variablennamen "COSTS", "SO₂" "VORRAT" sind. Die rechten Seiten dieser Definitionsgleichungen sind nicht alle Null, beispielsweise weil bei der Umwandlungsoption "Ölheizung" nicht nach Gemeindegroßenklassen unterschieden wurde (s. Fürniß et al. (1980)), wodurch es nötig war, den Attributwert als Abweichung von dem Fall 100 %iger Deckung des Raumwärmebedarfs mittels Ölheizung zu berechnen. Eine von Null verschiedene rechte Seite in einer Definitionsgleichung für ein Attribut ergibt sich auch, wenn ein Beitrag zum Indikatorwert allein vom Gebrauch einer Nutzenergieform herrührt, also nicht von den Entscheidungsvariablen abhängt. Dies gilt z.B. für das Unfallrisiko beim Umgang mit Elektrizität und beim PKW-Verkehr. Die nichtlinearen Einzelnutzenfunktionen (s. Teil II) waren über dem Schwankungsbereich des zugehörigen Attributs durch vier Geradenstücke zu approximieren: Die entsprechenden vier Hilfsvariablen je Attributvariable werden mit den Restriktionen GRIDNF1 ..., GRIDNF14 eingeführt (14 Attribute!), die Restriktionen NF1 bis NF14 definieren die Einzelnutzenfunktionen als Funktionen dieser Hilfsvariablen und die Restriktionen BKS1, BSO21 etc. begrenzen die Hilfsvariablen auf den jeweiligen Teilbereich der Attributschwankungsbreite. Der nicht beschränkte Ausdruck GNF schließlich stellt die (additive) Gesamtnutzenfunktion in Abhängigkeit von den Einzelnutzenfunktionen dar. Um in Abb. 1.1 die Abhängigkeiten zwischen den Variablen besser (nämlich durch Diagonalen) veranschaulichen zu können, wurde die Reihenfolge der Variablen etwas anders gewählt als bei der in Abschn. 4 wiedergegebenen Programmeingabe.

Die Programme zum Erstellen der in Abb. 1.1 gezeigten Eingabematrix (und zum Lösen des Optimierungsproblems) sind in Abb. 1.2 in ihrem Zusammenwirken gezeigt. Sie sollen im folgenden (von unten nach oben) erläutert werden:

Matrixaufbereitungsprogramm MATAUF

Das Programm MATAUF bringt die Eingabedaten für das Optimierungsprogramm MPSX in die in Kap. 1.2 beschriebene Form (s.a. Abschn. 4). Es liest dazu die Anzahl der Variablen und Restriktionen sowie deren Namen ein. Für die von Null verschiedenen Koeffizienten werden Zahlentripel (Spalte, Zeile, Wert) eingelesen, die vom Vorbereitungsprogramm KOEFF erzeugt werden. In einem als Unterprogramm ausgelegten Programmteil werden die Koeffizienten für die Berechnung der Einzelattribute ermittelt, in einem weiteren Unterprogramm werden die Koeffizienten für die Einzelnutzenfunktionen berechnet sowie die Gewichte der Einzelnutzenfunktionen bei der Berechnung der Gesamtnutzenfunktion eingelesen.

Vorbereitungsprogramm KOEFF

Aufgabe des Programms KOEFF ist es, die Koeffizienten der Matrix zu berechnen und sie als Zahlentripel (Spalte, Zeile, Wert) für die Weiterverarbeitung durch MATAUF auf eine Datei abzulegen.

Die meisten Koeffizienten lassen sich aus relativ wenigen, primären Parametern berechnen (s. Abschn. 2). Den Koeffizienten, die nicht von solchen primären Parametern abhängen, werden innerhalb des Programms KOEFF feste Werte zugewiesen.

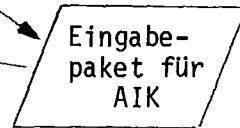
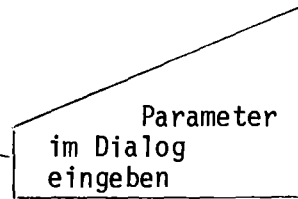
Berechnung der Häufigkeiten für Elektrizitäts- und Wärmenachfrage sowie der Wahrscheinlichkeiten für die Tag-Nacht-Übergänge zwischen den Lastsituationen

Für die Berechnung verschiedener Koeffizienten (s. Abschn. 3) werden benötigt:

- die Häufigkeiten a_{ik} für die verschiedenen Kombinationen (i,k) der Elektrizitäts- und Niedertemperaturnachfrage und
- die Häufigkeiten w_{ik}^{j1} für die Nachfragezustände (i,k) unter der Bedingung, daß anschließend ein Tag-Nacht- bzw. Nacht-Tag-Übergang nach (j,1) erfolgt.

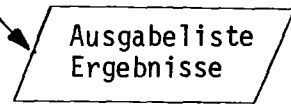
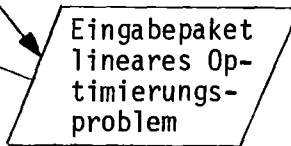
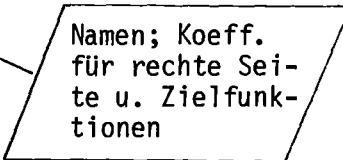
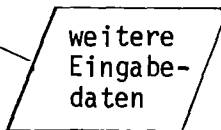
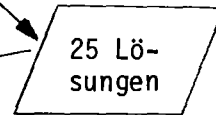
Berechnung der

a_{ik} und w_{ik}^j



Lösung des

Optimierungsproblems



= Programm



= Datei

Abbildung 1.2: Zusammenwirken der verschiedenen Programme zum Aufbau und zur Lösung des linearen Optimierungsproblems

Die Nachfragezustände werden dabei durch die Indizes (i, k) bzw. (j, l) so charakterisiert, wie es Abb. 1.3 zeigt, d.h. $(1,1)$ entspricht der Grundlast bei beiden Nachfragearten, während $(1,3)$ Grundlast bei Elektrizität und Spitzenlast bei Wärme bedeuteten.

Mangels ausreichender Informationen mußten die a_{ik} und w_{ik}^j teils aus bekannten Größen, teils aus realistischen Annahmen konstruiert werden:

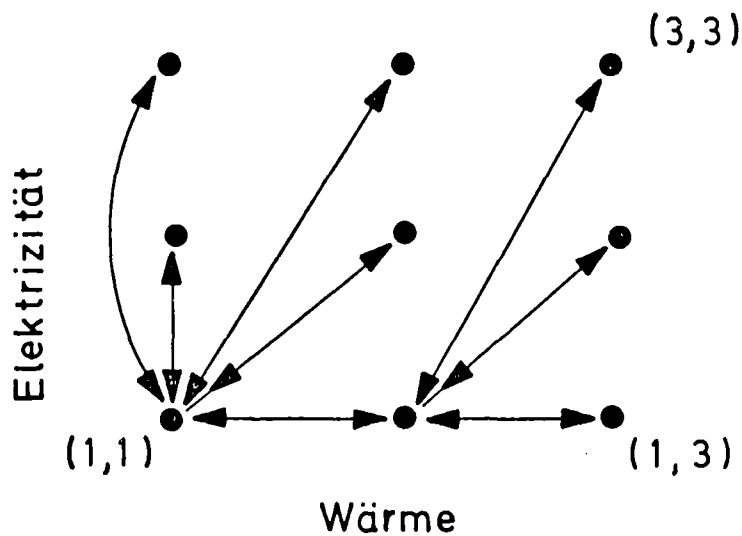


Abbildung 1.3: Angenommene Tag-Nacht-Übergänge zwischen den Lastsituationen für die kombinierte Nachfrage nach Niedertemperaturwärme und Elektrizität

Bekannt sind die Randverteilungen für Elektrizitäts- und Wärmenachfrage. Für die a_{ik} ergeben sich dadurch die Gleichungen

$$\sum_{i=1}^3 a_{ik} = \frac{\Delta_k}{8760} \quad k = 1, 2, 3 \quad (1.1)$$

$$\sum_{k=1}^3 a_{ik} = \frac{\Gamma_i}{8760} \quad i = 1, 2 \quad (1.2)$$

Dabei sind Δ_k und Γ_i , $i = 1, 2, 3$, die Zeitdauern in Stunden, während der Grund-, Mittel- bzw. Spitzenlast bei Wärme bzw. Elektrizität herrscht, 8760 ist die Jahresstundenzahl. Eine Gleichung vom Typ (1.2) für $i = 3$ erübrigt sich, da sie von den anderen 5 Gleichungen linear abhängig wäre. Eine weitere Bestimmungsgleichung für die a_{ik} kann man durch Vorgabe des Korrelationskoeffizienten ρ für die zweidimensionale, diskrete Wahrscheinlichkeitsdichte a_{ik} erhalten:

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{k=1}^3 E_i H_k a_{ik} = \rho \sqrt{(\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2) (\langle H^2 \rangle - \langle H \rangle^2)} + \langle E \rangle \langle H \rangle \quad (1.3)$$

Dabei sind E_i und H_k die Nachfragen (Leistung) nach Elektrizität bzw. Niedertemperaturwärme in den jeweils 3 Lastsituationen. $\langle E \rangle$, und $\langle E^2 \rangle$ sind die Mittelwerte 1. bzw. 2. Ordnung der Randverteilungen für Elektrizität, entsprechendes gilt für $\langle H \rangle$, $\langle H^2 \rangle$ bzgl. der Niedertemperaturwärme. Da über den Korrelationskoeffizienten nichts genaues bekannt war, wurde er als zu variierender Parameter behandelt.

Von den möglichen Tag- Nacht- und Nacht- Tag-Übergängen wurden nach einer Analyse tatsächlicher Lastkurven die in Abb. 1.3 gezeigten Übergänge als repräsentativ ausgewählt. Es wird angenommen, daß von zwei Zuständen, die aufeinander folgen, derjenige der dem Zustand (1.1) näher liegt, tagsüber, d.h. 16 h lang vorliegt. Ferner wird davon ausgegangen, daß jedem Übergang im Tag-Nacht-Wechsel ein Übergang in umgekehrter Richtung folgt.

Diese Annahme kann zwar nicht vollständig richtig sein, denn es müssen alle Zustände von jedem Zustand aus erreichbar sein. Wenn es aber, wie im vorliegenden Fall, um die Berücksichtigung der Energiemengen geht, die über Energiespeicher von einer Lastsituation in die anderen übertragen werden, dürfte die Annahme realistisch sein. Unter den erwähnten Annahmen ergeben sich für die w_{ik}^{j1} folgende Bestimmungsgleichungen:

$$\sum_{j1} w_{ik}^{j1} - a_{ik} = 0 \quad \forall i,k \quad (1.4)$$

wobei die Summe über alle gemäß Abb. 1.3 vorgesehenen Übergänge zu erstrecken ist, sowie

$$\gamma w_{ik}^{j1} - w_{j1}^{ik} = 0 \quad (1.5)$$

für alle vorgesehene Übergänge. Die Größe γ ist dabei das Verhältnis zwischen Nacht- und Tag-Zeit, wenn der Zustand (i,k) tagsüber angenommen wird; es wurde $\gamma = 0.5$ gesetzt (d.h. 16 Stunden Tag, 8 Stunden Nacht). Damit haben sich 23 lineare Gleichungen ergeben, die die 25 Unbekannten a_{ik} und w_{ik}^{j1} nicht eindeutig bestimmen. Andererseits bestehen die Nebenbedingungen

$$a_{ik} \geq 0 \quad (1.6)$$

$$w_{ik}^{j1} \geq 0 \quad (1.7)$$

so daß von vorneherein nicht sicher ist, ob überhaupt zulässige Lösungen des Systems (1.1) - (1.7) existieren. In der Tat zeigte sich, daß (bei den vorliegenden Randverteilungen) dies nur gegeben ist, wenn der Parameter ρ nicht größer als etwa 0.5 ist.

Dies zeigt, daß die Aufstellung weiterer Bestimmungsgleichungen für die a_{ik} und w_{ik}^{j1} ein problematischer Weg ist, um zu einer eindeutigen Lösung zu gelangen. Beispielsweise ist es nicht möglich, höhere Momente der a_{ik} willkürlich vorzugeben, weil deren Wertebereich durch die Vorgabe von ρ in unbekannter Weise eingeschränkt wird. Um zu einem konsistenten Satz von Werten a_{ik} und w_{ik}^{j1} zu kommen, wurde daher folgender Weg einge-

schlagen: Die Gleichungen und Ungleichungen (1.1) - (1.7) werden als Restriktionen eines linearen Optimierungsproblems betrachtet, bei dem eine der 25 Unbekannten zu maximieren ist. Als Lösung ergeben sich mit den Vorgaben verträgliche Häufigkeitsverteilungen, allerdings sind zwangsläufig einige Variablen gleich Null. Daher wird, von der gefundenen Lösung ausgehend, das Optimierungsproblem neu gelöst, jedoch mit einer anderen der 25 Unbekannten als zu maximierender Zielfunktion. Dieses Verfahren wird für alle 25 Variablen durchgeführt. Das ergibt 25 zulässige Lösungen, deren Mittelwert mit den gesuchten Größen a_{ik} und w_{ik}^{jl} identifiziert wird.

Die Berechnung der a_{ik} und w_{ik}^{jl} geschieht in den PL1-Programmen PRAIK und KOEFF sowie dem MPSX/370 -Kontrollprogramm AIK. Die Rechnungen von PRAIK basieren auf variablen und festen Parametern. Die variablen Parameter, nämlich Gesamtwärmebedarf D_H , Gesamtelektrizitätsbedarf D_E und Korrelationskoeffizient ρ , werden im Dialog eingegeben. Fest vorgegeben sind die Verhältniswerte der nachgefragten Arbeit für Spitzen- zu Mittellast und Mittel- zu Grundlast, sowohl bei Wärme als auch bei Elektrizität. Ferner sind für die nachgefragten Leistungen H_1 , H_3 , E_1 und E_3 (s. Gl. (1.3)) Basiswerte, die dem Jahr 1975 entsprechen, fest eingebaut; sie werden vom Programm PRAIK dem jeweils vorgegebenen Gesamtbedarf so angepaßt, daß die Verhältnisse konstant bleiben. Mithilfe der genannten Parameter werden die Gleichungen (1.1) - (1.5) aufgestellt und in der von MPSX/370 verlangten Form auf eine Datei abgelegt. Dann löst das Programm AIK mittels MPSX/370 die 25 Optimierungsaufgaben und übergibt die Lösungen an KOEFF, das den Mittelwert ausrechnet.

2. Die wesentlichen Eingabeparameter

Im folgenden werden die wesentlichen, nicht von anderen Programmen übergebenen Eingabedaten für die Programme PRAIK (Abschn. 2.1), KOEFF (Abschn. 2.2) und MATAUF (Abschn. 2.3) aufgeführt (s. Abb. 1.2). Die angegebenen Zahlenwerte wurden in dem Rechenlauf, der in Abschn. 4 protokolliert ist, benutzt. Die Bezeichnungen der Parameter korrespondieren mit denen in Abschn. 3.

2.1 Parameter zur Ermittlung der Häufigkeiten der Lastzustände und der Tag-Nacht-Übergänge

D_E, D_H	jährlicher Bedarf an Elektrizität und Niedertemperaturwärme = 86 bzw. 108 Mio MWh
E_1, E_3	elektrische Leistung bei Grund- bzw. Spitzenlast = 7 624 bzw. 13 083 MW
H_1, H_3	Wärmeleistung bei Grund- bzw. Spitzenlast = 5 548 bzw. 32 636 MW
ρ	Korrelationskoeffizient = 0.5
A_2	Verhältnis Spitzenlastenergie : Mittellastenergie bei Wärme = 0.66667
A_3	Verhältnis Mittellastenergie : Grundlastenergie bei Wärme = 1.85368
A_{13}	Verhältnis Spitzenlastenergie : Mittellastenergie bei Elektrizität = 0.52400
A_{14}	Verhältnis Mittellastenergie : Grundlastenergie bei Elektrizität = 1.36300

2.2 Parameter zur Charakterisierung der Umwandlungsoptionen

Bedarfsstruktur

$D_E, D_H,$ D_P, D_T	jährlicher Bedarf an Elektrizität, Niedertemperaturwärme, Hochtemperaturwärme und Transportenergie = 86, 108, 58 bzw. 18 Mio MWh
$RS_{166},$ $RS_{167},$ RS_{168}	Niedertemperaturwärmefachfrage in Großstädten, Mittelstädten und Landgemeinden, dargestellt als jeweils benötigte Leistung = 5771,7, 8490,7 bzw. 18365,4 MW
A_{124}/A_{249}	Anteil an D_T (s.o.) der mindestens durch Dieselkraftstoff gedeckt werden muß (LKW-Anteil an D_T) = 0.37
$A_2, A_3,$ A_{13}, A_{14}	s. Abschn. 2.1
$E_1, E_3,$ H_1, H_3	s. Abschn. 2.1

U_1 / H_3	Leistung für Warmwasserbereitung in Relation zu $H_3 = 0.02$ (s. Abb. 2.7, Fürniß et al. (1980))
U_2 / H_3	Maximale Leistung für Warmwasserbereitung und Niedertemperatur-Prozeßwärme in Relation zu $H_3 = 0.2$ (s. Abb. 2.7, Fürniß et al. (1980))

Umwandlungswirkungsgrade Sekundärenergie - Nutzenergie

A_1	Wirkungsgrad der Fernwärmeverteilung (incl. Verteilung im Gebäude) = 0.82
B_1	Wirkungsgrad der Erdgasheizung, incl. Verteilungsverlusten = 0.67
C_1	Wirkungsgrad der Heizung mit leichtem Heizöl = 0.67
A_{12}	Wirkungsgrad der Elektrizitätsverteilung = 0.95
ϵ_1	Wirkungsgrad der Elektrowärmepumpe im Direktbetrieb (definiert als Verhältnis zwischen jährlich abgegebener Nutzenergie und der jährlich eingesetzten elektrischen Energie, d.h. er berücksichtigt auch die Verteilungsverluste im Haus) = 2.5
ϵ_2	Wirkungsgrad der Elektrowärmepumpe im Speicherbetrieb (definiert wie ϵ_1) = 2.0
ϵ_g	Wirkungsgrad der Gaswärmepumpe (definiert analog zu ϵ_1 mit dem Unterschied, daß auch die Verteilungsverluste des Erdgases (2 %) mit berücksichtigt sind) = 1.5
A_{124}	mechanischer Wirkungsgrad des Dieselmotors = 0.35
B_{124}	mechanischer Wirkungsgrad des Ottomotors = 0.25
A_{134}	Umwandlungswirkungsgrad von schwerem Heizöl in Hochtemperaturwärme = 0.90
B_{134}	Umwandlungswirkungsgrad von leichtem Heizöl in Hochtemperaturwärme = 0.90

Umwandlungswirkungsgrade Primärenergie-Sekundärenergie bzw. Sekundärenergie-Sekundärenergie

Die Koeffizienten α und β die im folgenden für verschiedene Heizkraftwerke gegeben werden, haben die gleiche Bedeutung wie in den Gleichungen 2.2 und

2.3 in Fürniß et al. (1980). Das heißt, α ist das Verhältnis zwischen der Strommenge, auf die man bei größtmöglicher Wärmeentnahme im Heizkraftwerk verzichtet, und dieser entnehmbaren Wärmemenge. Mit β wird das Verhältnis zwischen Strom und Wärme bei maximaler Wärmeentnahme bezeichnet. Die ebenfalls angegebenen Koeffizienten ν bedeuten die Wärmeverluste bei der Erzeugung von Heizwärme und Strom bezogen auf den Primärenergieeinsatz. Demnach ist der Wirkungsgrad der Stromerzeugung in einem Heizkraftwerk, wenn keine Wärme entnommen wird,

$$\eta = \frac{(\alpha + \beta) (1 - \nu)}{1 + \beta}$$

Der Wirkungsgrad für die reinen Elektrizitätswerke wird in derselben Weise errechnet. Die Indizes C, N, \emptyset , G bedeuten Kohle, Kernenergie, schweres Heizöl bzw. Erdgas. Ein hochgestellter Index E bezieht sich auf Heizkraftwerke für das dezentrale Netz.

$$\alpha_C = \alpha_{\emptyset} = \alpha_G = 0.16$$

$$\alpha_N = 0.14$$

$$\alpha_C^E = \alpha_{\emptyset}^E = \alpha_G^E = 0.12$$

$$\beta_C = \beta_{\emptyset} = 0.46$$

$$\beta_N = 0.32$$

$$\beta_G = 0.53$$

$$\nu_C = \nu_{\emptyset} = \nu_G = 0.1$$

$$\nu_N = 0.05$$

η_T Wirkungsgrad des Stromtransports vom Rheinischen Braunkohlenrevier nach Baden-Württemberg = 0.965

η_H Umwandlungswirkungsgrad von Heizwerken = 0.9

η_P Umwandlungswirkungsgrad von Pumpspeicherwerken = 0.7

A_{125} Verlustfaktor für schweres Heizöl wegen Raffinerie-Eigenbedarfs = 0.88

A_{126}, A_{127} Verlustfaktoren für leichtes Heizöl bzw. Benzin aus Crackern wegen Eigenverbrauchs = 0.92

Sonstige Parameter

A_{128}	Verhältnis zwischen den Fraktionen schweres und leichtes Heizöl = 1.15
A_{129}	Verhältnis zwischen den Fraktionen leichtes Heizöl und Benzin = 2.6
A_{130}	Untere Grenze für das Verhältnis Benzin - leichtes Heizöl beim Cracken = 0.23
A_{131}	Obere Grenze für das Verhältnis Benzin - leichtes Heizöl beim Cracken = 4.4
r_1	Reservehaltungsfaktor für Kraftwerke, Heizkraftwerke, Heizwerke, Raffinerien und Cracker = 1.25
μ_1, μ_2, μ_3	Anteile der Haushaltswärmenachfrage, die durch Erdreichwärmepumpen befriedigt werden können, in Großstädten ($\mu_1 = 0.2$), Mittelstädten ($\mu_2 = 0.3$) bzw. Landgemeinden ($\mu_3 = 0.5$).
$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$	Anteile der Haushaltswärmenachfrage, die durch Solarheizungen und Erdreichwärmepumpen befriedigt werden können, in Großstädten ($\gamma_1 = 0.3$), Mittelstädten ($\gamma_2 = 0.5$) bzw. Landgemeinden ($\gamma_3 = 0.7$).
w	Minimales Verhältnis zwischen Nutzenergiebedarfsdeckung für Raumheizung durch Wärmeerzeugung und eingesparter Energie durch Isolierung. Somit ist $1 / (1 + w)$ der Bruchteil des Raumheizungsbedarfs, der durch Isoliermaßnahmen befriedigt werden kann, $w = 1.0$.
ρ_3, ρ_2	Spitzenlastzeit bzw. Mittellastzeit, während der das Solarheizungssystem durch Zusatzheizung mit leichtem Heizöl zu beheizen ist (s. Fürniß et al. (1980), Abb. 2.8), $\rho_3 = 700$ h, $\rho_2 = 500$ h

2.3 Parameter zur Berechnung der Attribute und der Nutzenfunktionen

Was die nichtmonetären Attribute betrifft, so werden neben Größen, die in den Abschn. 2.1 und 2.2 schon aufgeführt sind, nur noch Größen benutzt, die in Teil I erklärt und numerisch festgelegt sind.

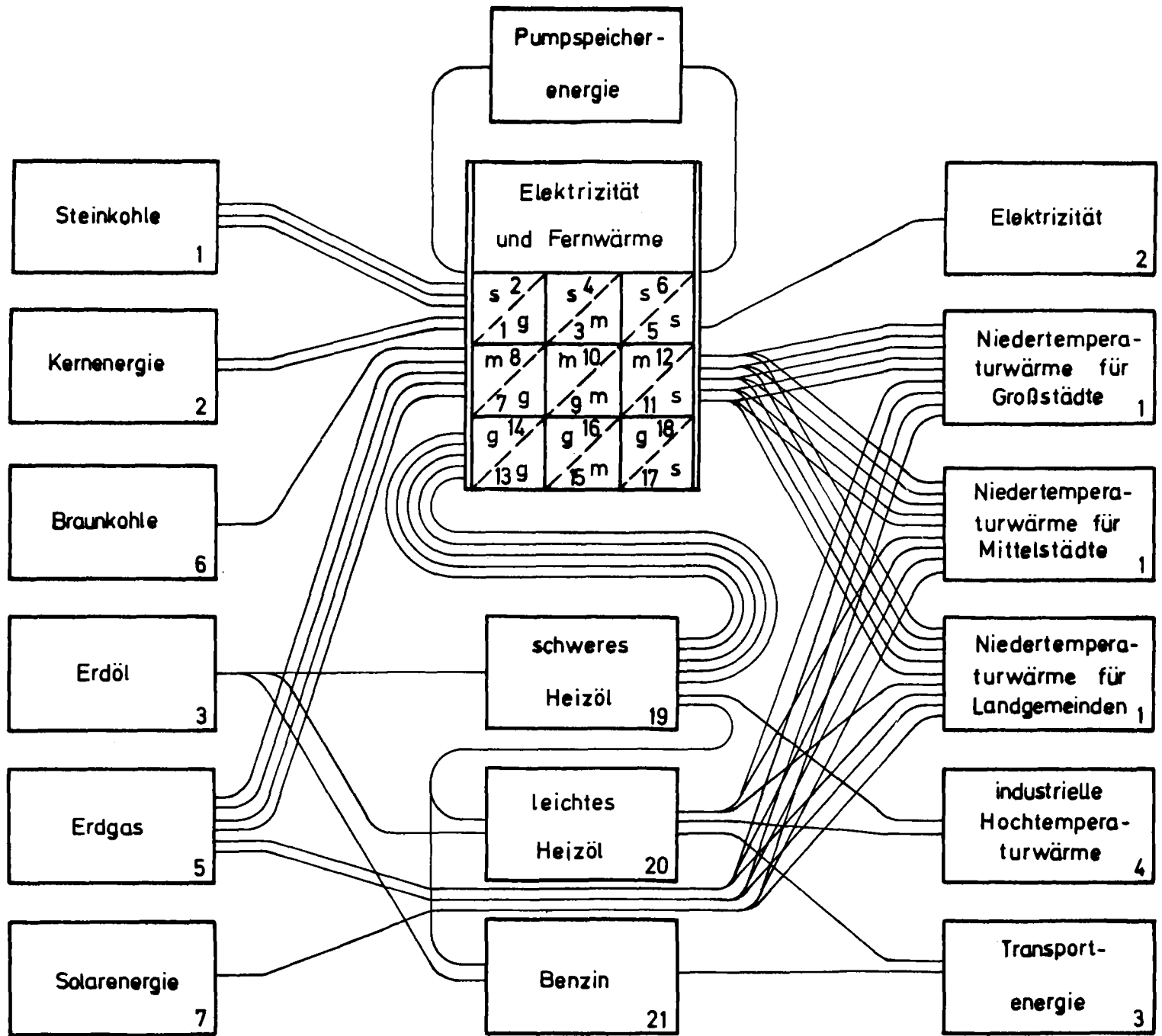
Die spezifischen Kosten für die (in Abschn. 3 definierten) Variablen lassen sich leicht aus der Eingabeliste in Abschn. 4 entnehmen.

Die Parameter, die die Nutzenfunktionen charakterisieren, sind zahlenmäßig in Teil II angegeben. Die dort angegebenen glatten Einzelnutzenfunktionen werden für die Eingabe in das lineare Optimierungsprogramm durch je einen Polygonzug mit 3 Ecken so approximiert, daß die Projektionen der Geradenstücke auf die Nutzen-(Ordinaten)Achse gleich lang sind.

3. Das Restriktionensystem

Nachfolgend wird die "Kernmatrix" von Abb. 1.1 beschrieben. Es handelt sich dabei um die Restriktionen, die die Energieumwandlungstechnologien des Energieflußschemas in Abb. 3.1 definieren (s.a. Fürniß et al. (1980), Abb. 2.1). Im Prinzip sind diese Restriktionen durch die Eingabeliste von Abschn. 4 gegeben, allerdings in einer sehr unübersichtlichen Form. Zum besseren Verständnis der Restriktionen werden zunächst die Variablenamen erklärt, und dann die Formeln zur Berechnung der Koeffizienten aus den Parametern von Abschn. 2 angegeben, bevor die Restriktionen mit kurzen Erläuterungen wiedergegeben werden.

Abbildung 3.1: Veranschaulichung der Struktur des regionalen Energieversorgungssystems



3.1 Definition der Variablennamen

Abgesehen von drei Hilfsvariablen, nämlich EC1, EC2 und XSOF1, besteht jeder Variablenname aus vier Teilen:

1. Das erste Zeichen gibt an, ob es sich bei der Variablen um eine Flußvariable (X), eine Kapazitätsvariable (C) oder eine Isoliervariable (I) handelt.
2. Die folgende Kombination von einem Buchstaben (P, S, F) und einer ein- oder zweistelligen Zahl charakterisiert die Eingangsenergie gemäß Abb. 3.1 für einen Umwandlungsprozeß. Sofern mehr als eine Eingangsenergie für den Umwandlungsprozeß maßgebend ist, steht anstelle der Zahl der Buchstabe M oder N.
3. Hieran schließt sich eine weitere Kombination wie unter 2. an, die die Ausgangsenergieform gemäß Abb. 3.1 angibt.
4. In vielen Fällen ist zur Identifikation der Variablen eine zusätzliche Kennzeichnung notwendig. Hierfür gibt es drei Gründe:
 - a) Die Unterteilung der Niedertemperaturwärmeversorgung nach Gemeindegrößenklassen. Die Zahl 1 steht hierbei für Großstädte, die 2 für Mittelstädte und die 3 für Landgemeinden. So sind z.B. unter der Kombination CP5F11 die in den Großstädten installierten Heizungsanlagen für Niedertemperaturwärmeerzeugung durch Erdgas zu verstehen.
 - b) Vielfach existieren unterschiedliche Umwandlungsoptionen mit gleichen Ein- und Ausgangsenergien, z.B. die Elektrizitätserzeugung in reinen Elektrizitätswerken sowie in großen oder kleinen Heizkraftwerken.
 - c) Die Zusammenfassung von Umwandlungsoptionen mit mehreren Ein- oder Ausgangsenergien durch den Buchstaben M oder N macht u.U. auch für unterschiedliche Ein- bzw. Ausgangsenergien eine besondere Kennzeichnung notwendig.
Zum Beispiel bedeutet CS19SNA die Kraftwerkskapazität für die

Elektrizitätserzeugung mit schwerem Heizöl, die Variable CS19SND hingegen die Kapazität der Crackanlagen mit den Produkten Benzin und leichtes Heizöl.

Die Kapazitätsvariablen sind i.a. als Ausstoßkapazität definiert, während die Flußvariablen eingesetzte Energiemengen bedeuten. Die Isoliervariablen sind als ersparte Nutzenergiemengen pro Jahr definiert.

Nach diesen Erläuterungen bedürfen die Variablenamen mit einer oder mehrerer der folgenden Eigenschaften noch einer zusätzlichen Erklärung:

- Es handelt sich um die Hilfsvariablen EC1, EC2 oder XSOF1
- Im zweiten oder dritten Teil des Variablenamens taucht ein M oder N auf.
- Die Variable enthält einen vierten Teil, und dieser ist ungleich den Zahlen 1,2 oder 3 in Verbindung mit F1 als drittem Teil.
- Der zweite bzw. dritte Teil enthält Numerierungen, die aus Übersichtsgründen im Schema von Abb. 3.1 nicht enthalten sind. Hierbei handelt es sich um Niedertemperaturwärmespeicher im Haushaltsbereich.

Im einzelnen bedeuten:

XSOF1	Hilfsvariable, die die gesamte erzeugte Fernheizenergie angibt
EC [I] I = 1,2	Hilfsvariable zur Bezeichnung der in den Lastsituationen (1,1) bzw. (1,2) vorhandenen freien Stromerzeugungskapazität
XP[I]S[J]E CP[I]SNE XS19S[J]E CS19SNE I = 1,5 J ≤ 17, ungerade	Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung in Heizkraftwerken des dezentralen Netzes. (Bei Erzeugung in großen Heizkraftwerken entfällt das E oder wird durch ein B ersetzt, s.u.)

XS19S [J] [Y] CS19SN [Y]	Y = B Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung, zentrales Netz
XP5S [J] [Y] CP5SN [Y]	Y = C Wärmeerzeugung in Spitzenheizwerken, zentrales Netz
J = 5, 11, 17	Y = CE Wärmeerzeugung in Spitzenheizwerken, dezentrales Netz
	Y = D Wärmeerzeugung in Spitzenheizwerken, dezentrales Netz, falls J = 11 oder 17 (bei Y = CE würde der Name zu lang für MPSX/370)
XS [J] F1E J \leq 17, ungerade	Fernwärme, dezentrales Netz
CSNF1 [Y]	Y = 1, 2, 3 Fernwrmeverteilung und -anschlüsse für zentrales Netz
	Y = E2, E3 Fernwrmeverteilung und -anschlüsse für dezentrales Netz (Mittelstädte und Landgemeinden)
XP [I] S [J] Y CP [I] SN [Y]	Y = A Elektrizitätserzeugung in reinen Elektrizitätswerken
XS19S [J] [Y] CS19SN [Y]	Y = B Elektrizitätserzeugung in großen Heizkraftwerken
I = 1, 2, 5 J \leq 18, gerade	Y = E Elektrizitätserzeugung in kleinen Heizkraftwerken (hier entfällt die Möglichkeit I = 2).
CP6SN	Kraftwerkskapazität für Braunkohlenverstromung
CSNSMP	Kapazität für Pumpspeicherwerke
CSNF2	Verteilungskapazitat für Elektrizität, ohne Elektrizität für Niedertemperaturwärme
CSMF1 [Y] Y = 1, 2, 3	zusatztliche Verteilungskapazitat für Elektrizität zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme
CP3SN	Raffineriekapazitat (im Gegensatz zu den übrigen Kapazitätsvariablen ist diese und die folgende Variable nicht über die Ausstoleistung sondern über die einsetzbare Menge definiert.)
CS19SND	Raffineriekapazitat (s. vorhergehende Variable)
CS20F1	Installierte Olheizungskapazitat in <u>allen</u> Gemeindegrößenklassen

XSMF6 CF6F1 [Y] Y = 1, 2, 3	Heizelektrizität für Haushalte mit Nachtspeicherheizungen
XSMF1A CSMF1A [Y] Y = 1, 2, 3	Heizelektrizität für Haushalte mit elektrischer Direktheizung
XSMF1B	Elektrizität für Warmwasserbereitung in Haushalten mit Elektroheizung
XSMF1C CSMF1C [Y] Y = 1, 2, 3	Elektrizität für Raumheizung mit 24 h-Wärmepumpe
XSMF1D	Elektrizität für Warmwasserbereitung in Haushalten mit 24 h-Wärmepumpe
XSMF1E CSMF1E [Y] Y = 1, 2, 3	Elektrizität für elektrische Zusatzheizung in Haushalten mit 24 h-Wärmepumpe
XSMF7A CSMF7A [Y] Y = 1, 2, 3	Elektrizität für Raumheizung mit 8 h-Wärmepumpe (Speicherbetrieb)
XSMF7B	Elektrizität für Warmwasserbereitung in Haushalten mit 8 h-Wärmepumpe
XSMF7C CSMF7C [Y] Y = 1, 2, 3	Elektrizität für elektrische Zusatzheizung in Haushalten mit 8 h-Wärmepumpe
XP7F8A CF8F1 [Y] Y = 1, 2, 3	Solarenergie für Raumwärme (Im Gegensatz zu den anderen Flußvariablen ist hier die bei F8 (Speicher) ankommende Energie gemeint, das gleiche gilt für die folgende Variable.)
XP7F8B	Solarenergie für Warmwasserbereitung (s. XP7F8A)
XS20F1A CS20F1A [Y] Y = 1, 2, 3	Leichtes Heizöl für Zusatzheizung in Haus- halten mit elektrischen Wärmepumpen
XS20F1B	Leichtes Heizöl für Zusatzheizung in Haushalten mit Solarheizung

XS20F1C	Leichtes Heizöl für Warmwasserbereitung in Haushalten mit Solarheizung
XP5F1A CP5F1 Y Y = 1, 2, 3	Erdgas für Raumheizung mit Gaswärmepumpen
XP5F1B	Erdgas für Warmwasserbereitung in Haushalten mit Gaswärmepumpen

Die Bezeichnungen der Isoliervariablen ergeben sich direkt aus den Bezeichnungen der entsprechenden Kapazitätsvariablen und sind daher nicht gesondert aufgeführt. Die Kapazitätsvariablen für Hausheizsysteme enthalten bis auf CF6F1 Y und CSMF1A Y, Y = 1,2,3 auch die Warmwasserbereitung.

3.2 Formelmäßige Berechnung der Koeffizienten in den Restriktionen

Abkürzungen

- σ_1 = 8760 h (Jahresstundenzahl)
- σ_2 = 4000 h (Dauer Mittellast + Spitzenlast Wärme)
- σ_3 = 1000 h (Dauer Spitzenlast Wärme)
- τ_2 = 5000 h (Dauer Mittellast + Spitzenlast Elektrizität)
- τ_3 = 1500 h (Dauer Spitzenlast Elektrizität)

$$e_1 = RS_{166} / (RS_{166} + RS_{167} + RS_{168})$$

$$e_2 = RS_{167} / (RS_{166} + RS_{167} + RS_{168})$$

$$e_3 = RS_{168} / (RS_{166} + RS_{167} + RS_{168})$$

$$\rho = \frac{(H_2 - u_2)(\sigma_2 - \sigma_3)}{\sigma_3(H_3 - u_2)}$$

$$q = \frac{(H_2 - u_2) \sigma_1 (a_{32} + a_{22} + w_{12}^{11})}{\sigma_3(H_3 - u_2) + (H_2 - u_2) \sigma_1 (a_{12} - w_{12}^{11})}$$

$$r = \sigma_3 + (\sigma_2 - \sigma_3) \frac{H_2 - u_2}{H_3 - u_2} = \sigma_3 (1 + \rho)$$

$$r_p = \sigma_2 + (\sigma_1 - \sigma_2) \frac{H_1 - u_1}{u_2 - u_1}$$

$$s = \frac{g_3(H_3 - u_2)}{g_3(H_3 - u_2) + g_2(H_2 - u_2)}$$

$$t = \frac{u_1 \sigma_1}{r(H_3 - u_2)}$$

$$z_c = \frac{\alpha_c + \beta_c}{1 + \beta_c} v_c$$

$$z_N = \frac{\alpha_N + \beta_N}{1 + \beta_N} v_N$$

$$z_o = \frac{\alpha_o + \beta_o}{1 + \beta_o} v_o$$

$$z_g = \frac{\alpha_g + \beta_g}{1 + \beta_g} v_g$$

$$z_s = z_c \cdot z_r$$

$$z_c^E = \frac{\alpha_c^E + \beta_c}{1 + \beta_c} v_c$$

$$z_o^E = \frac{\alpha_o^E + \beta_o}{1 + \beta_o} v_o$$

$$z_g^E = \frac{\alpha_g^E + \beta_g}{1 + \beta_g} v_g$$

$$\gamma_1 = \frac{u_1}{H_3 - u_2}$$

$$\gamma_2 = \frac{H_2 - u_2}{H_3 - u_2}$$

$$\gamma_3 = \frac{H_3 - u_2 + u_1}{H_3}$$

$$\gamma_4 = \frac{H_3 - u_2}{H_3}$$

$$\gamma_5 = \frac{H_2 - u_2}{H_2 - u_2 + u_1}$$

$$\gamma_6 = \frac{H_2 - u_2 + u_1}{H_3 - u_2 + u_1}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_1 (a_{32} + a_{22} + w_{12}^{11})}{\sigma_2}$$

$$\lambda_2 = \frac{\sigma_3 + \sigma_1 (a_{12} + w_{12}^{11})}{\sigma_1}$$

$$\lambda_3 = \frac{\sigma_3 + \sigma_1 (a_{12} + w_{12}^{11})}{\sigma_2}$$

$$\lambda_4 = \frac{a_{11}}{w_{11}^{32} + w_{11}^{22} + w_{11}^{12}}$$

$$\gamma_1 = \frac{u_1}{H_3 - u_2}$$

$$\gamma_2 = \frac{H_2 - u_2}{H_3 - u_2}$$

$$\gamma_3 = \frac{H_3 - u_2 + u_1}{H_3}$$

$$\gamma_4 = \frac{H_3 - u_2}{H_3}$$

$$\gamma_5 = \frac{H_2 - u_2}{H_2 - u_2 + u_1}$$

$$\gamma_6 = \frac{H_2 - u_2 + u_1}{H_3 - u_2 + u_1}$$

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_1 (a_{32} + a_{22} + w_{12}^{11})}{\sigma_2}$$

$$\lambda_2 = \frac{\sigma_3 + \sigma_1 (a_{12} + w_{12}^{11})}{\sigma_1}$$

$$\lambda_3 = \frac{\sigma_2 + \sigma_1 (a_{12} + w_{12}^{11})}{\sigma_2}$$

$$\lambda_4 = \frac{a_{11}}{w_{11}^{32} + w_{11}^{22} + w_{11}^{12}}$$

Berechnung der Koeffizienten

Die Indizes kennzeichnen die Position der entsprechenden Restriktion in Abschn. 3.3.

$$D_1 = A_{12} \cdot \varepsilon_1 \quad E_1 = A_{12} \cdot \varepsilon_2$$

$$F_1 = 2 \cdot D_1 / (1 + \varepsilon_1) \quad G_1 = 2 \cdot E_1 / (1 + \varepsilon_2)$$

$$L_1 = A_{12} \quad M_1 = C_1 \quad N_1 = \varepsilon_2$$

$$L_2 = (1 - A_2 \cdot \rho) / A_1 (1 + \rho)$$

$$L_3 = \rho / A_1 (1 + \rho)$$

$$A_4 = a_{33} / a_{23}$$

$$A_5 = a_{23} / a_{13}$$

$$A_6 = a_{32} / a_{22}$$

$$A_7 = a_{22} / a_{12}$$

$$A_8 = a_{31} / a_{21}$$

$$A_9 = a_{21} / a_{11}$$

$$A_{10} = \sigma_3 + \sigma_3 / A_2 + \sigma_3 / (A_2 \cdot A_3) \quad B_{10} = C_1$$

$$C_{10} = D_{10} = E_{10} = (A_{10} - r_p)(u_2 - u_1) / 3(H_2 - u_2 + u_1)$$

$$F_{10} = G_{10} = H_{10} = (A_{10} - r_p)(u_2 - u_1) / (H_3 - u_2 + u_1)$$

$$I_{10} = J_{10} = K_{10} = (A_{10} - r_p)(u_2 - u_1) / (H_2 - u_2 + u_1) = C_{10} \cdot 3$$

$$L_{10} = (A_{10} - r_p)(u_2 - u_1) / (H_3 - u_2)$$

$$M_{10} = 1 - A_{10} / r$$

$$N_{10} = \frac{(A_{10} - r_p)(u_2 - u_1)}{r \left(H_3 - u_2 + u_1 \frac{H_3 - u_2}{H_2 - u_2} \right)}$$

$$O_{10} = L_{10} / r$$

$$P_{10} = F_{10} / r$$

$$A_{11} = A_1 \quad L_{11} = \sigma_3$$

$$A_{15} = a_{33} / a_{32}$$

$$A_{16} = a_{32} / a_{31}$$

$$A_{17} = a_{23} / a_{22}$$

$$A_{18} = a_{22} / a_{21}$$

$$A_{19} = a_{13} / a_{12}$$

$$A_{20} = a_{12} / a_{11}$$

$$A_{21} = A_{12} \quad B_{21} = \tau_3$$

$$A_{22-24} = A_{28-30} = A_{34-36} = \eta_c / \alpha_c$$

$$B_{22-24} = B_{28-30} = B_{34-36} = \eta_N / \alpha_N$$

$$C_{22-24} = C_{28-30} = C_{34-36} = \eta_D / \alpha_D$$

$$E_{22-24} = E_{28-30} = E_{34-36} = \eta_G / \alpha_G$$

$$D_{22-24} = F_{22-24} = \eta_H$$

$$A_{25-27} = A_{31-33} = A_{37-39} = \eta_c$$

$$B_{25-27} = B_{31-33} = B_{37-39} = \eta_B$$

$$G_{25-27} = G_{31-33} = G_{37-39} = H_{25-27} = H_{31-33} = H_{37-39} = \eta_G$$

$$I_{25-27} = I_{31-33} = I_{37-39} = \eta_c^E$$

$$J_{25-27} = J_{31-33} = J_{37-39} = \eta_D^E$$

$$K_{25-27} = K_{31-33} = K_{37-39} = \eta_G^E$$

$$L_{25-27} = L_{31-33} = L_{37-39} = \eta_P$$

$$M_{25-27} = M_{31-33} = M_{37-39} = \eta_N$$

$$\emptyset_{25} = a_{31} \quad \emptyset_{26} = a_{32} \quad \emptyset_{27} = a_{33}$$

$$\emptyset_{31} = a_{21} \quad \emptyset_{32} = a_{22} \quad \emptyset_{33} = a_{23}$$

$$\emptyset_{37} = a_{11} \quad \emptyset_{38} = a_{12} \quad \emptyset_{39} = a_{13}$$

$$C_{26} = \frac{a_{32} \cdot \sigma_1 \cdot \rho}{(\sigma_2 - \sigma_3)(1+\rho)}$$

$$D_{26} = a_{32} \cdot \sigma_1 / \sigma_2$$

$$C_{27} = \frac{a_{33} \cdot \sigma_1}{\sigma_3(1+\rho)}$$

$$D_{27} = a_{33} \cdot \sigma_1 / \sigma_2$$

$$E_{27} = a_{33} \cdot \sigma_1 / \sigma_3$$

$$C_{32} = \frac{a_{22} \cdot \sigma_1 \cdot \rho}{(\sigma_2 - \sigma_3)(1+\rho)}$$

$$D_{32} = a_{22} \cdot \sigma_1 / \sigma_2$$

$$C_{33} = \frac{a_{23} \cdot \sigma_1}{\sigma_3(1+\rho)}$$

$$D_{33} = a_{23} \cdot \sigma_1 / \sigma_2$$

$$E_{33} = a_{23} \cdot \sigma_1 / \sigma_3$$

$$C_{37} = \rho / (1+\rho)$$

$$D_{37} = \lambda_1$$

$$E_{37} = 1 - \lambda_2$$

$$C_{38} = \frac{a_{12} \cdot \sigma_1 \cdot \rho}{(\sigma_2 - \sigma_3)(1+\rho)}$$

$$D_{38} = a_{12} \cdot \sigma_1 / \sigma_2$$

$$E_{38} = 1 / (1+\rho)$$

$$F_{38} = \lambda_3$$

$$\rho_{38} = \lambda_2$$

$$C_{39} = \frac{a_{13} \cdot \sigma_1}{\sigma_3(1+\rho)}$$

$$D_{39} = a_{13} \cdot \sigma_1 / \sigma_2$$

$$E_{39} = a_{13} \cdot \sigma_1 / \sigma_3$$

$$A_{40} = A_{43} = A_{46} = A_{49} = A_{52} = A_{55} = A_{58} = A_{61} = A_{64} = \beta_c / \alpha_c$$

$$A_{41} = A_{44} = A_{47} = A_{50} = A_{53} = A_{56} = A_{59} = A_{62} = A_{65} = \beta_n / \alpha_n$$

$$A_{42} = A_{45} = A_{48} = A_{51} = A_{54} = A_{57} = A_{60} = A_{63} = A_{66} = \beta_p / \alpha_p$$

$$B_{67-69} = \eta_H$$

$$A_{70-72} = C_{70-72} = B_{73-75} = \eta_C$$

$$A_{78-96} = C_{78-96} = B_{97-105} = \eta_N$$

$$A_{106-114} = C_{106-114} = B_{115-123} = \eta_D$$

$$\begin{aligned}
 B_{70} &= A_{75} = B_{88} = A_{97} = B_{106} = A_{115} = \tau_1 \cdot a_{31} / r_1 \\
 B_{21} &= A_{80} = B_{83} = A_{98} = B_{107} = A_{116} = \tau_1 \cdot a_{32} / r_1 \\
 A_{67} &= B_{72} = A_{81} = B_{90} = A_{93} = B_{108} = A_{117} = \tau_1 \cdot a_{33} / r_1 \\
 B_{73} &= A_{82} = B_{91} = A_{100} = B_{109} = A_{118} = \tau_1 \cdot a_{21} / r_1 \\
 B_{74} &= A_{83} = B_{92} = A_{101} = B_{110} = A_{119} = \tau_1 \cdot a_{22} / r_1 \\
 A_{68} &= B_{25} = A_{84} = B_{93} = A_{102} = B_{111} = A_{120} = \tau_1 \cdot a_{23} / r_1 \\
 B_{26} &= A_{85} = B_{94} = A_{103} = B_{112} = A_{121} = \tau_1 \cdot a_{11} / r_1 \\
 B_{27} &= A_{86} = B_{95} = A_{104} = B_{113} = A_{122} = \tau_1 \cdot a_{12} / r_1 \\
 A_{69} &= B_{78} = A_{87} = B_{96} = A_{105} = B_{114} = A_{123} = \tau_1 \cdot a_{13} / r_1
 \end{aligned}$$

$$A_{132} = \tau_1$$

$$A_{133} = \tau_1$$

$$A_{135} = a_{33} \cdot \frac{\sigma_1 (H_3 - H_2)}{H_3 \cdot \eta_4 \cdot A_1}$$

$$L_{135} = \frac{A_{135}}{r} \cdot \frac{-u_2}{H_3 - u_2}$$

$$A_{136} = a_{23} \cdot \frac{\sigma_1 (H_3 - H_2)}{H_3 \cdot \eta_4 \cdot A_1}$$

$$L_{136} = \frac{A_{136}}{r} \cdot \frac{-u_2}{H_3 - u_2}$$

$$A_{137} = a_3 \cdot \frac{\sigma_1 (H_3 - H_2)}{H_3 \cdot \eta_4 \cdot A_1}$$

$$L_{137} = \frac{A_{137}}{r} \cdot \frac{-u_2}{H_3 - u_2}$$

$$A_{138} = A_{10}$$

$$B_{138} = B_1$$

$$C_{138} = \epsilon_j \frac{\sigma_2 (u_2 - H_1) + \sigma_1 (H_1 - u_1)}{u_1 \sigma_1}$$

$$L_{138} = 1 - A_{138} / r$$

$$M_{138} = A_{138} \frac{u_2 - u_1}{H_3 - u_2 + u_1}$$

$$N_{138} = M_{138} / r$$

$$A_{139-147} = \beta_G / \alpha_G$$

$$\begin{aligned}
 B_{70} &= A_{75} = B_{88} = A_{97} = B_{106} = A_{115} = \tau_1 \cdot a_{31} / r_1 \\
 B_{71} &= A_{80} = B_{89} = A_{98} = B_{107} = A_{116} = \tau_1 \cdot a_{32} / r_1 \\
 A_{67} &= B_{72} = A_{81} = B_{90} = A_{99} = B_{108} = A_{117} = \tau_1 \cdot a_{33} / r_1 \\
 B_{73} &= A_{82} = B_{91} = A_{100} = B_{109} = A_{118} = \tau_1 \cdot a_{21} / r_1 \\
 B_{74} &= A_{83} = B_{92} = A_{101} = B_{110} = A_{119} = \tau_1 \cdot a_{22} / r_1 \\
 A_{68} &= B_{75} = A_{84} = B_{93} = A_{102} = B_{111} = A_{120} = \tau_1 \cdot a_{23} / r_1 \\
 B_{76} &= A_{85} = B_{94} = A_{103} = B_{112} = A_{121} = \tau_1 \cdot a_{11} / r_1 \\
 B_{77} &= A_{86} = B_{95} = A_{104} = B_{113} = A_{122} = \tau_1 \cdot a_{12} / r_1 \\
 A_{69} &= B_{78} = A_{87} = B_{96} = A_{105} = B_{114} = A_{123} = \tau_1 \cdot a_{13} / r_1
 \end{aligned}$$

$$A_{132} = \tau_1$$

$$A_{133} = \tau_1$$

$$A_{135} = a_{33} \cdot \frac{\sigma_1 (H_3 - H_2)}{H_3 \cdot r_4 \cdot A_1}$$

$$L_{135} = \frac{A_{135}}{r} \cdot \frac{-u_2}{H_3 - u_2}$$

$$A_{136} = a_{23} \cdot \frac{\sigma_1 (H_3 - H_2)}{H_3 \cdot r_4 \cdot A_1}$$

$$L_{136} = \frac{A_{136}}{r} \cdot \frac{-u_2}{H_3 - u_2}$$

$$A_{137} = a_3 \cdot \frac{\sigma_1 (H_3 - H_2)}{H_3 \cdot r_4 \cdot A_1}$$

$$L_{137} = \frac{A_{137}}{r} \cdot \frac{-u_2}{H_3 - u_2}$$

$$A_{138} = A_{10} \quad B_{138} = B_1$$

$$C_{138} = \epsilon_0 \cdot \frac{\sigma_2 (u_2 - H_1) + \sigma_1 (H_1 - u_1)}{u_1 \sigma_1}$$

$$L_{138} = 1 - A_{138} / r$$

$$M_{138} = A_{138} \cdot \frac{u_2 - u_1}{H_3 - u_2 + u_1}$$

$$N_{138} = M_{138} / r$$

$$A_{139-147} = \beta_G / \alpha_G$$

$$A_{148-156} = C_{148-156} = B_{157-165} = \eta_G$$

$$B_{148} = A_{157} = \tau_1 \cdot a_{31} / \tau_1$$

$$B_{149} = A_{158} = \tau_1 \cdot a_{32} / \tau_1$$

$$B_{150} = A_{159} = \tau_1 \cdot a_{33} / \tau_1$$

$$B_{151} = A_{160} = \tau_1 \cdot a_{21} / \tau_1$$

$$B_{152} = A_{161} = \tau_1 \cdot a_{22} / \tau_1$$

$$B_{153} = A_{162} = \tau_1 \cdot a_{23} / \tau_1$$

$$B_{154} = A_{163} = \tau_1 \cdot a_{11} / \tau_1$$

$$B_{155} = A_{164} = \tau_1 \cdot a_{12} / \tau_1$$

$$B_{156} = A_{165} = \tau_1 \cdot a_{13} / \tau_1$$

$$A_{166-168} = 1/\tau$$

$$B_{166-168} = 1/3\tau_3$$

$$C_{166-168} = 1/2\tau_3$$

$$L_{166-168} = 1/\tau_4$$

$$M_{166-168} = 1/\tau_3$$

$$A_{169-177} = C_{169-177} = \eta_C^E$$

$$A_{178-186} = C_{178-186} = \eta_D^E$$

$$A_{187-195} = C_{187-195} = \eta_G^E$$

$$B_{169} = B_{178} = B_{187} = \tau_1 \cdot a_{31} / \tau_1$$

$$B_{170} = B_{179} = B_{188} = \tau_1 \cdot a_{32} / \tau_1$$

$$B_{171} = B_{180} = B_{189} = \tau_1 \cdot a_{33} / \tau_1$$

$$B_{172} = B_{181} = B_{190} = \tau_1 \cdot a_{21} / \tau_1$$

$$B_{173} = B_{182} = B_{191} = \tau_1 \cdot a_{22} / \tau_1$$

$$B_{174} = B_{183} = B_{192} = \tau_1 \cdot a_{23} / \tau_1$$

$$B_{175} = B_{184} = B_{193} = \tau_1 \cdot a_{11} / \tau_1$$

$$B_{176} = B_{185} = B_{194} = \tau_1 \cdot a_{12} / \tau_1$$

$$B_{177} = B_{186} = B_{195} = \tau_1 \cdot a_{13} / \tau_1$$

$$A_{196} = A_1 \quad B_{196} = C_{196} = \sigma_3$$

$$A_{197} = A_{199} = A_{201} = A_{203} = A_{205} = A_{207} = A_{209} = A_{211} = A_{213} = \beta_c / \alpha_c^E$$

$$A_{198} = A_{200} = A_{202} = A_{204} = A_{206} = A_{208} = A_{210} = A_{212} = A_{214} = \beta_0 / \alpha_0^E$$

$$A_{215-223} = \beta_G / \alpha_G^E$$

$$A_{224-232} = \eta_c^E / \alpha_c^E$$

$$B_{224-232} = \eta_0^E / \alpha_0^E$$

$$C_{224-232} = \eta_G^E / \alpha_G^E$$

$$L_{224-226} = \eta_H$$

$$A_{233} = A_2$$

$$L_{233} = L_2$$

$$A_{234} = A_3$$

$$L_{234} = L_3$$

$$A_{235} = A_4$$

$$A_{236} = A_5$$

$$A_{237} = A_6$$

$$A_{238} = A_7$$

$$A_{239} = A_8$$

$$A_{240} = A_9$$

$$A_{241} = RS_{167} / RS_{166}$$

$$C_{241} = A_{241} / r$$

$$A_{242} = A_{243} = RS_{168} / RS_{167}$$

$$C_{242} = A_{242} / r$$

$$B_{241-243} = 1/r$$

$$C_{243} = A_{243} / r$$

$$A_{244} = A_{67} = a_{33} \cdot \sigma_1 / r_1$$

$$A_{245} = A_{68} = a_{23} \cdot \sigma_1 / r_1$$

$$A_{246} = A_{69} = a_{13} \cdot \sigma_1 / r_1$$

$$B_{244-246} = \eta_H$$

$$A_{247} = A_{248} = \frac{a_{13} + a_{23} + a_{33}}{A_2 (a_{12} + a_{22} + a_{32})}$$

$$B_{247} = B_{248} = C_{247} = C_{248} = A_1 / r_1$$

$$A_{251} = A_{83} = \tau_1 \cdot a_{31} / r_1$$

$$A_{252} = A_{80} = \tau_1 \cdot a_{32} / r_1$$

$$A_{253} = A_{81} = \tau_1 \cdot a_{33} / r_1$$

$$A_{254} = A_{82} = \tau_1 \cdot a_{21} / r_1$$

$$A_{255} = A_{83} = \tau_1 \cdot a_{22} / r_1$$

$$A_{256} = A_{84} = \tau_1 \cdot a_{23} / r_1$$

$$A_{257} = A_{85} = \tau_1 \cdot a_{11} / r_1$$

$$A_{258} = A_{86} = \tau_1 \cdot a_{12} / r_1$$

$$A_{259} = A_{87} = \tau_1 \cdot a_{13} / r_1$$

$$B_{251-259} = \eta_C$$

$$A_{260} = B_{26} = \tau_1 \cdot a_{11} / r_1$$

$$D_{260} = E_{260} = \eta_D^E$$

$$H_{260} = \eta_B$$

$$L_{260} = \eta_C$$

$$N_{260} = \eta_D$$

$$A_{261-265} = \eta_P$$

$$C_{261} = 1 - a_{11} / w_{11}^{31}$$

$$C_{262} = 1 - a_{11} / w_{11}^{32}$$

$$C_{263} = 1 - a_{11} / w_{11}^{21}$$

$$C_{264} = 1 - a_{11} / w_{11}^{22}$$

$$C_{265} = 1 - a_{11} / w_{11}^{12}$$

$$D_{261-265} = A_{260} = \tau_1 \cdot a_{11} / r_1$$

$$F_{261} = F_{263} = \lambda_1$$

$$E_{262} = E_{264} = E_{265} = (1 - \lambda_4) \frac{q}{1+q}$$

$$F_{262} = F_{264} = F_{265} = \lambda_1 (1 - \lambda_4)$$

$$B_{260} = C_{260} = \eta_C^E$$

$$F_{260} = G_{260} = \eta_G^E$$

$$I_{260} = A_{260} \cdot \eta_T$$

$$M_{260} = \eta_N$$

$$O_{260} = \eta_G$$

$$B_{261} = C_{261} \cdot \eta_P$$

$$B_{262} = C_{262} \cdot \eta_P$$

$$B_{263} = C_{263} \cdot \eta_P$$

$$B_{264} = C_{264} \cdot \eta_P$$

$$B_{265} = C_{265} \cdot \eta_P$$

$$E_{261} = E_{263} = q / (1+q)$$

$$A_{266} = B_{277} \quad B_{266} = B_{260} \quad C_{266} = C_{260} \quad D_{266} = D_{260}$$

$$E_{266} = E_{260} \quad F_{266} = F_{260} \quad G_{266} = G_{260} \quad H_{266} = H_{260}$$

$$I_{266} = I_{260} \quad L_{266} = L_{260} \quad M_{266} = M_{260} \quad N_{266} = N_{260}$$

$$O_{266} = O_{260}$$

$$A_{267-270} = \eta_P$$

$$C_{267} = 1 - a_{12} / w_{12}^{33}$$

$$B_{267} = C_{267} \cdot \eta_P$$

$$C_{268} = 1 - a_{12} / w_{12}^{11}$$

$$B_{268} = C_{268} \cdot \eta_P$$

$$C_{269} = 1 - a_{12} / w_{12}^{23}$$

$$B_{269} = C_{269} \cdot \eta_P$$

$$C_{270} = 1 - a_{12} / w_{12}^{13}$$

$$B_{270} = C_{270} \cdot \eta_P$$

$$D_{267-270} = A_{266} = \tau_1 \cdot a_{12} / \tau_1$$

$$E_{268} = 1 / (1+q)$$

$$F_{268} = \lambda_3$$

$$G_{268} = \lambda_2$$

$$H_{267} = H_{269} = H_{270} = 1 - \frac{a_{12}}{a_{12} - w_{12}^{11}}$$

$$E_{267} = E_{269} = E_{270} = H_{267} / (1+q)$$

$$F_{267} = F_{269} = F_{270} = H_{267} \cdot \lambda_3$$

$$G_{267} = G_{269} = G_{270} = H_{267} \cdot \lambda_2$$

$$A_{271} = B_{279} = w_{11}^{21} \cdot \tau_1 / \tau_P$$

$$A_{272} = B_{280} = w_{11}^{32} \cdot \tau_1 / \tau_P$$

$$A_{273} = B_{281} = w_{12}^{33} \cdot \tau_1 / \tau_P$$

$$A_{274} = B_{282} = w_{11}^{21} \cdot \tau_1 / \tau_P$$

$$A_{275} = B_{283} = w_{11}^{22} \cdot \tau_1 / \tau_P$$

$$A_{276} = B_{284} = w_{11}^{12} \cdot \tau_1 / \tau_P$$

$$A_{277} = B_{285} = w_{12}^{23} \cdot \tau_1 / \tau_P$$

$$A_{278} = B_{286} = w_{12}^{13} \cdot \tau_1 / \tau_P$$

$$A_{279-286} = \eta_P$$

$$A_{287} = A_{288} = A_{289} = A_{291} = A_{293} = A_{295} = \sigma_3$$

$$B_{287} = B_{288} = A_{12} / (1 + \rho)$$

$$B_{28} = A_{12} \cdot \varepsilon_1 \cdot \sigma_3 / \sigma_2$$

$$C_{28} = 2 A_{12} \varepsilon_1 \sigma_3 / \sigma_1 (1 + \varepsilon_1)$$

$$A_{290} = A_{292} = \sigma_1 (a_{12} - w_{12}^{11})$$

$$B_{290} = A_{12} \cdot \varepsilon_2 \cdot \lambda_3$$

$$C_{290} = 2 A_{12} \varepsilon_2 \lambda_2 / (1 + \varepsilon_2)$$

$$B_{291} = B_{292} = A_{12}$$

$$B_{293} = C_1$$

$$A_{294} = g_3$$

$$B_{294} = C_1 \cdot s$$

$$C_{294} = C_1 \cdot g_3 / (g_3 + g_2)$$

$$B_{295} = \varepsilon_j / (1 + \rho)$$

$$C_{295} = \varepsilon_j \cdot \sigma_3 / \sigma_1$$

$$A_{296} = t$$

$$L_{296} = t / A_{12}$$

$$A_{297} = t$$

$$C_{297} = \frac{2 \varepsilon_1 \cdot A_{12}}{1 + \varepsilon_1}$$

$$B_{297} = \frac{\sigma_3 (H_3 - H_2) + \sigma_2 (H_2 - u_2)}{\sigma_2 (H_2 - u_2)} \cdot t \cdot A_{12} \cdot \varepsilon_1$$

$$A_{298} = t$$

$$C_{298} = \frac{2 \varepsilon_2 A_{12}}{1 + \varepsilon_2}$$

$$B_{298} = \frac{\sigma_3 (H_3 - H_2) + \sigma_2 (H_2 - u_2)}{\sigma_2 (H_2 - u_2)} \cdot t \cdot A_{12} \cdot \varepsilon_2$$

$$A_{299} = \frac{u_1 (\sigma_1 - g_3 - g_2)}{\sigma_3 (H_3 - H_2) + \sigma_2 (H_2 - u_2)}$$

$$B_{299} = \frac{u_1 (\sigma_1 - g_3 - g_2)}{(\sigma_2 - g_3 - g_2) (H_2 - u_2) + (\sigma_3 - g_3) (H_3 - H_2)}$$

$$A_{300} = \frac{u_1 (g_3 + g_2)}{B_{10} \cdot (\sigma_2 (H_2 - u_2) + \sigma_3 (H_3 - H_2))}$$

$$B_{300} = \frac{u_1 (g_3 + g_2)}{(g_3 + g_2) (H_2 - u_2) + g_3 (H_3 - H_2)}$$

$$A_{301} = t / \varepsilon_j$$

$$B_{301} = t$$

$$A_{302-304} = \gamma_6$$

$$B_{302-304} = (\gamma_2 - \gamma_6) / r$$

$$C_{302-304} = 1 - \gamma_6$$

$$A_{305-307} = \gamma_6 / 2$$

$$B_{305-307} = (\gamma_2 - \gamma_6) / r$$

$$C_{305-307} = (1 - \gamma_6) / 3$$

$$A_{308-310} = \gamma_6$$

$$B_{308-310} = \gamma_6 / 2$$

$$C_{308-310} = 1 - \gamma_6$$

$$D_{308-310} = (1 - \gamma_6) / 3$$

$$L_{308-310} = (\gamma_2 - \gamma_6) / r$$

$$A_{311} = \frac{(\sigma_2 - s_3 - s_2)(H_2 - u_2) + (\sigma_3 - s_3)(H_3 - H_2)}{(s_3 + s_2)(H_2 - u_2) + s_3(H_3 - H_2)}$$

$$A_{312} = e_1$$

$$B_{312} = e_1 A_{12} / \sigma_1 a_{11}$$

$$A_{314} = e_2$$

$$B_{314} = e_2 A_{12} / \sigma_1 a_{11}$$

$$A_{316} = e_3$$

$$B_{316} = e_3 A_{12} / \sigma_1 a_{11}$$

$$C_{312} = C_{314} = C_{316} = 2 + \gamma_1 + \gamma_2$$

$$D_{312} = D_{314} = D_{316} = 1 / \epsilon_2$$

$$E_{312} = E_{314} = E_{316} = \gamma_1 + \gamma_2$$

$$F_{312} = F_{314} = F_{316} = 1 / \epsilon_1$$

$$A_{313} = A_{315} = A_{317} = 1 + \gamma_1$$

$$B_{313} = B_{315} = B_{317} = 1 / \epsilon_1$$

$$C_{313} = C_{315} = C_{317} = \gamma_1$$

$$L_{313} = L_{315} = L_{317} = \gamma_1 / r$$

$$A_{318-323} = 1 / r$$

$$B_{318-323} = 1 / 3$$

$$C_{318-323} = 1 / 2$$

$$A_{324-331} = \gamma_4$$

$$B_{324-331} = (1 - \gamma_4 + w) / r$$

$$C_{325-331} = \frac{\gamma_4(u_2 - u_1)}{H_3 - u_2 + u_1}$$

$$D_{325-331} = C_{329} / r$$

$$A_{332-334} = \gamma_4 / \gamma_3$$

$$B_{332-334} = \gamma_4 / 3\gamma_3$$

$$C_{332-334} = \gamma_4 / 2\gamma_3$$

$$D_{332-334} = (1 + w) / r$$

$$L_{332-334} = \gamma_4$$

$$\Pi_{332-334} = \gamma_4 / r$$

$$N_{332-334} = \gamma_4 / r\gamma_3$$

$$\Theta_{332-334} = 1 / r$$

$$A_{335-340} = w/r$$

$$A_{341-343} = \gamma_5$$

$$A_{344-346} = \gamma_5/3$$

$$A_{347-352} = \gamma_4/\gamma_3$$

$$B_{341-346} = (1 - \gamma_5 + w) \gamma_2 / r$$

$$B_{347-352} = (1 - \frac{\gamma_4}{\gamma_3} + w) / r$$

$$A_{353-355} = \frac{u_2 - u_1}{H_3 - u_2 + u_1}$$

$$B_{353-355} = A_{353} / r$$

$$A_{356-361} = \eta_H$$

$$B_{356} = B_{359} = A_{67} = \tau_1 \cdot a_{23} / r_1$$

$$B_{357} = B_{360} = A_{18} = \tau_1 \cdot a_{23} / r_1$$

$$B_{358} = B_{361} = A_{69} = \tau_1 \cdot a_{13} / r_1$$

$$RS_{318} = RS_{166} \cdot \gamma_3 \cdot \mu_1$$

$$RS_{319} = RS_{167} \cdot \gamma_3 \cdot \mu_2$$

$$RS_{320} = RS_{168} \cdot \gamma_3 \cdot \mu_3$$

$$RS_{321} = RS_{166} \cdot \gamma_3 \cdot \varphi_1$$

$$RS_{322} = RS_{167} \cdot \gamma_3 \cdot \varphi_2$$

$$RS_{323} = RS_{168} \cdot \gamma_3 \cdot \varphi_3$$

$$RS_{332} = RS_{166} \cdot \gamma_4$$

$$RS_{333} = RS_{167} \cdot \gamma_4$$

$$RS_{334} = RS_{168} \cdot \gamma_4$$

3.3 Das Restriktionensystem

Bedarfsdeckung für Niedertemperaturwärme

$$\begin{aligned}
 \text{HT-DEMAND} \quad & A_1 (XS1F1 + XS3F1 + XS5F1 + XS7F1 + XS9F1 + XS11F1 + XS13F1 + XS15F1 + XS17F1 + \\
 & + XS1F1E + XS3F1E + XS5F1E + XS7F1E + XS9F1E + XS11F1E + XS13F1E + XS15F1E + XS17F1E) + \\
 & + B_1 XP5F1 + C_1 XS20F1 + D_1 XSMF1C + E_1 XSMF7A + F_1 XSMF1D + G_1 XSMF7B + \\
 & + L_1 (XSMF6 + XSMF1A + XSMF1B + XSMF1E + XSMF7C) + \\
 & + M_1 (XS20F1A + XS20F1B + XS20F1C) + N_1 (XP5F1A + XP5F1B) + XP7F8A + XP7F8B + \\
 & + ISNF11 + ISNF12 + ISNF13 + ISNF1E2 + ISNF1E3 + IPSF11 + IPSF12 + IPSF13 + \\
 & + IS20F11 + IS20F12 + IS20F13 + IF6F11 + IF6F12 + IF6F13 + ISMF1A1 + ISMF1A2 + ISMF1A3 + \\
 & + ISMF1C1 + ISMF1C2 + ISMF1C3 + ISMF7A1 + ISMF7A2 + ISMF7A3 + IF8F11 + IF8F12 + IF8F13 + \\
 & + IPSF1A1 + IPSF1A2 + IPSF1A3 \geq D_H
 \end{aligned}$$

III/39

Verhältnis Spitzenlastwärme: Mittellastwärme bzw. Mittellastwärme Grundlastwärme

$$\text{PIRATHT} \quad XS5F1 + XS11F1 + XS17F1 - A_2 (XS3F1 + XS9F1 + XS15F1) + L_2 (ISNF11 + ISNF12 + ISNF13) = 0$$

$$\text{IBRATHT} \quad XS3F1 + XS9F1 + XS15F1 - A_3 (XS1F1 + XS7F1 + XS13F1) + L_3 (ISNF11 + ISNF12 + ISNF13) = 0$$

Aufteilung von Spitzenlast (PK)-, Mittellast (IM)- und Grundlast (BS)-Wärme auf die drei Lastsituationen bezügl. der Elektrizitätsnachfrage

$$CCPKHT1 \quad XS5F1 - A_4 \quad XS11F1 = 0$$

$$CCPKHT2 \quad XS11F1 - A_5 \quad XS17F1 = 0$$

$$CCIMHT1 \quad XS3F1 - A_6 \quad XS9F1 = 0$$

$$CCIMHT2 \quad XS9F1 - A_7 \quad XS15F1 = 0$$

$$CCBSHT1 \quad XS1F1 - A_8 \quad XS7F1 = 0$$

$$CCBSHT2 \quad XS7F1 - A_9 \quad XS13F1 = 0$$

Kapazitätsanforderung für Niedertemperaturwärmebedarfsdeckung durch leichtes Heizöl

$$\begin{aligned} HDMHTLD \quad & -A_{10} \quad CS20F1 + B_{10} \quad XS20F1 + C_{10} \quad CSMF7A1 + D_{10} \quad CSMF7A2 + E_{10} \quad CSMF7A3 + \\ & + F_{10} \quad CF8F11 + G_{10} \quad CF8F12 + H_{10} \quad CF8F13 + I_{10} \quad CSMF1C1 + J_{10} \quad CSMF1C2 + K_{10} \quad CSMF1C3 + \\ & + L_{10} \quad (CF6F11 + CF6F12 + CF6F13 + CSMF1A1 + CSMF1A2 + CSMF1A3) + \\ & + M_{10} \quad (IS20F11 + IS20F12 + IS20F13) + N_{10} \quad (IF8F11 + IF8F12 + IF8F13) + \\ & + O_{10} \quad (IF6F11 + IF6F12 + IF6F13 + ISMF1A1 + ISMF1A2 + ISMF1A3) + \\ & + P_{10} \quad (ISMF1C1 + ISMF1C2 + ISMF1C3 + ISMF7A1 + ISMF7A2 + ISMF7A3) \leq 0 \end{aligned}$$

Kapazitätsanforderung für Fernwärmeversorgung, zentrales Netz

$$HTTRALD \quad A_{11} \quad (XS5F1 + XS11F1 + XS17F1) - L_{11} \quad (CSNF11 + CSNF12 + CSNF13) \leq 0$$

Bedarfsdeckung für Elektrizität

$$ELDEMND \quad A_{12} (XS2F2 + XS4F2 + XS6F2 + XS8F2 + XS10F2 + XS12F2 + XS14F2 + XS16F2 + XS18F2) \geq D_E$$

Verhältnis Spitzenlast: Mittellastelektrizität bzw. Mittellast: Grundlastelektrizität

$$PIRATEL \quad XS2F2 + XS4F2 + XS6F2 - A_{13} (XS8F2 + XS10F2 + XS12F2) = 0$$

$$IBRATEL \quad XS8F2 + XS10F2 + XS12F2 - A_{14} (XS14F2 + XS16F2 + XS18F2) = 0$$

Aufteilung von Spitzenlast (PK)-, Mittellast (IM)- und Grundlast (BS)-Elektrizität auf die drei Lastsituationen bezügl. der Wärmenachfrage

$$CCPKEL1 \quad XS6F2 - A_{15} XS4F2 = 0$$

$$CCPKEL2 \quad XS4F2 - A_{16} XS2F2 = 0$$

$$CCIMEL1 \quad XS12F2 - A_{17} XS10F2 = 0$$

$$CCIMEL2 \quad XS10F2 - A_{18} XS8F2 = 0$$

$$CCBSEL1 \quad XS18F2 - A_{19} XS16F2 = 0$$

$$CCBSEL2 \quad XS16F2 - A_{20} XS14F2 = 0$$

Kapazitätsanforderung für Elektrizitätsnetz (ohne Elektrizität für Niedertemperaturwärme)

$$ELTRANS \quad A_{21} (XS2F2 + XS4F2 + XS6F2) - B_{21} CSNF2 \leq 0$$

Bilanzen für Fernwärme bei Spitzenlast

$$\begin{aligned}
 \text{PKHTBAL1} \quad & A_{22} XP1S5 + B_{22} XP2S5 + C_{22} XS19S5B + D_{22} XS19S5C + E_{22} XP5S5B + F_{22} XP5S5C - XS5F1 \geq 0 \\
 \text{PKHTBAL2} \quad & A_{23} XP1S11 + B_{23} XP2S11 + C_{23} XS19S11B + D_{23} XS19S11C + E_{23} XP5S11B + F_{23} XP5S11C - XS11F1 \geq 0 \\
 \text{PKHTBAL3} \quad & A_{24} XP1S17 + B_{24} XP2S17 + C_{24} XS19S17B + D_{24} XS19S17C + E_{24} XP5S17B + F_{24} XP5S17C - XS17F1 \geq 0
 \end{aligned}$$

Bilanzen für Elektrizität bei Spitzenlast

$$\begin{aligned}
 \text{PKELBAL1} \quad & A_{25} (XP1S2A + XP1S2B) + I_{25} XP1S2E + B_{25} XP6S2 + M_{25} (XP2S2A + XP2S2B) + \\
 & + N_{25} (XS19S2A + XS19S2B) + J_{25} XS19S2E + G_{25} XP5S2A + H_{25} XP5S2B + K_{25} XP5S2E - XS2F2 + \\
 & + L_{25} XS14S2 - XS2S14 - D_{25} (XSMF1B + XSMF1D) \geq 0 \\
 \text{PKELBAL2} \quad & A_{26} (XP1S4A + XP1S4B) + I_{26} XP1S4E + B_{26} XP6S4 + M_{26} (XP2S4A + XP2S4B) + \\
 & + N_{26} (XS19S4A + XS19S4B) + J_{26} XS19S4E + G_{26} XP5S4A + H_{26} XP5S4B + K_{26} XP5S4E - XS4F2 + \\
 & + L_{26} XS14S4 - XS4S14 - C_{26} XSMF1A - D_{26} XSMF1C - E_{26} (XSMF1B + XSMF1D) \geq 0 \\
 \text{PKELBAL3} \quad & A_{27} (XP1S6A + XP1S6B) + I_{27} XP1S6E + B_{27} XP6S6 + M_{27} (XP2S6A + XP2S6B) + \\
 & + N_{27} (XS19S6A + XS19S6B) + J_{27} XS19S6E + G_{27} XP5S6A + H_{27} XP5S6B + K_{27} XP5S6E - XS6F2 + \\
 & + L_{27} XS16S6 - XS6S16 - C_{27} XSMF1A - D_{27} XSMF1C - E_{27} XSMF1E - E_{27} (XSMF1B + XSMF1D) \geq 0
 \end{aligned}$$

Bilanzen für Fernwärme bei Mittellast

$$IMHTBAL1 \quad A_{28} XP1S3 + B_{28} XP2S3 + C_{28} XS19S3 + E_{28} XP5S3 - XS3F1 \geq 0$$

$$IMHTBAL2 \quad A_{29} XP1S9 + B_{29} XP2S9 + C_{29} XS19S9 + E_{29} XP5S9 - XS9F1 \geq 0$$

$$IMHTBAL3 \quad A_{30} XP1S15 + B_{30} XP2S15 + C_{30} XS19S15 + E_{30} XP5S15 - XS15F1 \geq 0$$

Bilanzen für Elektrizität bei Mittellast

$$IMELBAL1 \quad A_{31} (XP1S8A + XP1S8B) + I_{31} XP1S8E + B_{31} XP6S8 + M_{31} (XP2S8A + XP2S8B) + \\ + N_{31} (XS19S8A + XS19S8B) + J_{31} XS19S8E + G_{31} XP5S8A + H_{31} XP5S8B + K_{31} XP5S8E - XS8F2 + \\ + L_{31} XS14S8 - XS8S14 - D_{31} (XSMF1B + XSMF1D) \geq 0$$

$$IMELBAL2 \quad A_{32} (XP1S10A + XP1S10B) + I_{32} XP1S10E + B_{32} XP6S10 + M_{32} (XP2S10A + XP2S10B) + \\ + N_{32} (XS19S10A + XS19S10B) + J_{32} XS19S10E + G_{32} XP5S10A + H_{32} XP5S10B + K_{32} XP5S10E - XS10F2 + \\ + L_{32} XS14S10 - XS10S14 - C_{32} XSMF1A - D_{32} XSMF1C - D_{32} (XSMF1B + XSMF1D) \geq 0$$

$$IMELBAL3 \quad A_{33} (XP1S12A + XP1S12B) + I_{33} XP1S12E + B_{33} XP6S12 + M_{33} (XP2S12A + XP2S12B) + \\ + N_{33} (XS19S12A + XS19S12B) + J_{33} XS19S12E + G_{33} XP5S12A + H_{33} XP5S12B + K_{33} XP5S12E - XS12F2 + \\ + L_{33} XS16S12 - XS12S16 - C_{33} XSMF1A - D_{33} XSMF1C - E_{33} XSMF1E - D_{33} (XSMF1B + XSMF1D) \geq 0$$

Bilanzen für Fernwärme bei Grundlast

$$BSHTBAL1 \quad A_{34} XP1S1 + B_{34} XP2S1 + C_{34} XS19S1 + E_{34} XP5S1 - XS1F1 \geq 0$$

$$BSHTBAL2 \quad A_{35} XP1S7 + B_{35} XP2S7 + C_{35} XS19S7 + E_{35} XP5S7 - XS7F1 \geq 0$$

$$BSHTBAL3 \quad A_{36} XP1S13 + B_{36} XP2S13 + C_{36} XS19S13 + E_{36} XP5S13 - XS13F1 \geq 0$$

Bilanzen für Elektrizität bei Grundlast

$$\begin{aligned} BSELBAL1 \quad & A_{37} (XP1S14A + XP1S14B) + I_{37} XP1S14E + B_{37} XP6S14 + M_{37} (XP2S14A + XP2S14B) + \\ & + N_{37} (XS19S14A + XS19S14B) + J_{37} XS19S14E + G_{37} XP5S14A + H_{37} XP5S14B + K_{37} XP5S14E - XS14F2 + \\ & + L_{37} (XS2S14 + XS4S14 + XS8S14 + XS10S14 + XS16S14) - (XS14S2 + XS14S4 + XS14S8 + \\ & + XS14S10 + XS14S16) - C_{37} XSMF6 - D_{37} XSMF7A - E_{37} XSMF7B - \emptyset_{37} (XSMF1B + XSMF1D) \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BSELBAL2 \quad & A_{38} (XP1S16A + XP1S16B) + I_{38} XP1S16E + B_{38} XP6S16 + N_{38} (XP2S16A + XP2S16B) + \\ & + M_{38} (XS19S16A + XS19S16B) + J_{38} XS19S16E + G_{38} XP5S16A + H_{38} XP5S16B + K_{38} XP5S16E - XS16F2 + \\ & + L_{38} (XS14S16 + XS6S16 + XS12S16 + XS18S16) - (XS16S14 + XS16S6 + XS16S12 + XS16S18) - \\ & - C_{38} XSMF1A - D_{38} XSMF1C - E_{38} XSMF6 - F_{38} XSMF7A - P_{38} XSMF7B - \emptyset_{38} (XSMF1B + XSMF1D) - XSMF7C \geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BSELBAL3 \quad & A_{39} (XP1S18A + XP1S18B) + I_{39} XP1S18E + B_{39} XP6S18 + M_{39} (XP2S18A + XP2S18B) + \\ & + N_{39} (XS19S18A + XS19S18B) + J_{39} XS19S18E + G_{39} XP5S18A + H_{39} XP5S18B + K_{39} XP5S18E - XS18F2 + \\ & + L_{39} XS16S18 - XS18S16 - C_{39} XSMF1A - D_{39} XSMF1C - E_{39} XSMF1E - \emptyset_{39} (XSMF1B + XSMF1D) \geq 0 \end{aligned}$$

Begrenzung des Kraft-Wärme-Verhältnisses (COIN steht für Coincidence, der erste Buchstabe gibt die Situation bezügl. der Wärmenachfrage, der zweite diejenige bezügl. der Elektrizitätsnachfrage an. Es bedeuten: B (ase) - Grundlast, I (intermediate) - Mittellast, P (eak) - Spitzenlast.)

BPCOIN1	A_{40}	$XP1S1 - XP1S2B \leq 0$
BPCOIN2	A_{41}	$XP2S1 - XP2S2B \leq 0$
BPCOIN3	A_{42}	$XS1S1 - XS1S2B \leq 0$
IPCOIN1	A_{43}	$XP1S3 - XP1S4B \leq 0$
IPCOIN2	A_{44}	$XP2S3 - XP2S4B \leq 0$
IPCOIN3	A_{45}	$XS1S3 - XS1S4B \leq 0$
PPCOIN1	A_{46}	$XP1S5 - XP1S6B \leq 0$
PPCOIN2	A_{47}	$XP2S5 - XP2S6B \leq 0$
PPCOIN3	A_{48}	$XS1S5B - XS1S6B \leq 0$
BICOIN1	A_{49}	$XP1S7 - XP1S8B \leq 0$
BICOIN2	A_{50}	$XP2S7 - XP2S8B \leq 0$
BICOIN3	A_{51}	$XS1S7 - XS1S8B \leq 0$
IICOIN1	A_{52}	$XP1S9 - XP1S10B \leq 0$
IICOIN2	A_{53}	$XP2S9 - XP2S10B \leq 0$
IICOIN3	A_{54}	$XS1S9 - XS1S10B \leq 0$

PICØIN1	A_{55}	XP1511 - XP1512 B	≤ 0
PICØIN2	A_{56}	XP2511 - XP2512 B	≤ 0
PICØIN3	A_{57}	XS19511B - XS19512 B	≤ 0
BBCØIN1	A_{58}	XP1513 - XP1514 B	≤ 0
BBCØIN2	A_{59}	XP2513 - XP2514 B	≤ 0
BBCØIN3	A_{60}	XS19513 - XS19514 B	≤ 0
IBCØIN1	A_{61}	XP1515 - XP1516 B	≤ 0
IBCØIN2	A_{62}	XP2515 - XP2516 B	≤ 0
IBCØIN3	A_{63}	XS19515 - XS19516 B	≤ 0
PBCØIN1	A_{64}	XP1517 - XP1518 B	≤ 0
PBCØIN2	A_{65}	XP2517 - XP2518 B	≤ 0
PBCØIN3	A_{66}	XS19517B - XS19518B	≤ 0

Kapazitätsanforderungen für Heizwerke mit schwerem Heizöl

HTSTAT1	B_{67}	XS1955C - A_{67} CS195NC	≤ 0
HTSTAT2	B_{68}	XS19511C - A_{68} CS195NC	≤ 0
HTSTAT3	B_{69}	XS19517C - A_{69} CS195NC	≤ 0

Kapazitätsanforderungen für Kraft-Wärme-Kopplung mit Steinkohle

$$\begin{aligned}
 P\theta WHTC1 & \quad A_{70} XP1S1 + C_{70} XP1S2B - B_{70} CP1SNB \leq 0 \\
 P\theta WHTC2 & \quad A_{71} XP1S3 + C_{71} XP1S4B - B_{71} CP1SNB \leq 0 \\
 P\theta WHTC3 & \quad A_{72} XP1S5 + C_{72} XP1S6B - B_{72} CP1SNB \leq 0 \\
 P\theta WHTC4 & \quad A_{73} XP1S7 + C_{73} XP1S8B - B_{73} CP1SNB \leq 0 \\
 P\theta WHTC5 & \quad A_{74} XP1S9 + C_{74} XP1S10B - B_{74} CP1SNB \leq 0 \\
 P\theta WHTC6 & \quad A_{75} XP1S11 + C_{75} XP1S12B - B_{75} CP1SNB \leq 0 \\
 P\theta WHTC7 & \quad A_{76} XP1S13 + C_{76} XP1S14B - B_{76} CP1SNB \leq 0 \\
 P\theta WHTC8 & \quad A_{77} XP1S15 + C_{77} XP1S16B - B_{77} CP1SNB \leq 0 \\
 P\theta WHTC9 & \quad A_{78} XP1S17 + C_{78} XP1S18B - B_{78} CP1SNB \leq 0
 \end{aligned}$$

Kapazitätsanforderungen für Elektrizitätserzeugung mit Steinkohle

$$\begin{aligned}
 P\theta WLC1 & \quad B_{79} XP1S2A - A_{79} CP1SNA \leq 0 \\
 P\theta WLC2 & \quad B_{80} XP1S4A - A_{80} CP1SNA \leq 0 \\
 P\theta WLC3 & \quad B_{81} XP1S6A - A_{81} CP1SNA \leq 0 \\
 P\theta WLC4 & \quad B_{82} XP1S8A - A_{82} CP1SNA \leq 0 \\
 P\theta WLC5 & \quad B_{83} XP1S10A - A_{83} CP1SNA \leq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{P0WLC6} & \quad B_{24} \text{XP1S12A} - A_{24} \text{CP1SNA} \leq 0 \\
\text{P0WLC7} & \quad B_{25} \text{XP1S14A} - A_{25} \text{CP1SNA} \leq 0 \\
\text{P0WLC8} & \quad B_{26} \text{XP1S16A} - A_{26} \text{CP1SNA} \leq 0 \\
\text{P0WLC9} & \quad B_{27} \text{XP1S18A} - A_{27} \text{CP1SNA} \leq 0
\end{aligned}$$

Kapazitätsanforderungen für Kraft-Wärme-Kopplung mit Kernenergie

$$\begin{aligned}
\text{P0WHTNE1} & \quad A_{28} \text{XP2S1} + C_{28} \text{XP2S2B} - B_{28} \text{CP2SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHTNE2} & \quad A_{29} \text{XP2S3} + C_{29} \text{XP2S4B} - B_{29} \text{CP2SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHTNE3} & \quad A_{30} \text{XP2S5} + C_{30} \text{XP2S6B} - B_{30} \text{CP2SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHTNE4} & \quad A_{31} \text{XP2S7} + C_{31} \text{XP2S8B} - B_{31} \text{CP2SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHTNE5} & \quad A_{32} \text{XP2S9} + C_{32} \text{XP2S10B} - B_{32} \text{CP2SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHTNE6} & \quad A_{33} \text{XP2S11} + C_{33} \text{XP2S12B} - B_{33} \text{CP2SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHTNE7} & \quad A_{34} \text{XP2S13} + C_{34} \text{XP2S14B} - B_{34} \text{CP2SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHTNE8} & \quad A_{35} \text{XP2S15} + C_{35} \text{XP2S16B} - B_{35} \text{CP2SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHTNE9} & \quad A_{36} \text{XP2S17} + C_{36} \text{XP2S18B} - B_{36} \text{CP2SNB} \leq 0
\end{aligned}$$

Kapazitätsanforderungen für Elektrizitätserzeugung mit Kernenergie

P0WLNE1	B_{37}	XP2S2A	-	A_{37}	CP2SNA	≤ 0
P0WLNE2	B_{38}	XP2S4A	-	A_{38}	CP2SNA	≤ 0
P0WLNE3	B_{39}	XP2S6A	-	A_{39}	CP2SNA	≤ 0
P0WLNE4	B_{100}	XP2S8A	-	A_{100}	CP2SNA	≤ 0
P0WLNE5	B_{101}	XP2S10A	-	A_{101}	CP2SNA	≤ 0
P0WLNE6	B_{102}	XP2S12A	-	A_{102}	CP2SNA	≤ 0
P0WLNE7	B_{103}	XP2S14A	-	A_{103}	CP2SNA	≤ 0
P0WLNE8	B_{104}	XP2S16A	-	A_{104}	CP2SNA	≤ 0
P0WLNE9	B_{105}	XP2S18A	-	A_{105}	CP2SNA	≤ 0

Kapazitätsanforderungen für Kraft-Wärme-Kopplung mit schwerem Heizöl

P0WHT01	A_{106}	XS19S1	+	C_{106}	XS19S2B	-	B_{106}	CS19SNB	≤ 0
P0WHT02	A_{107}	XS19S3	+	C_{107}	XS19S4B	-	B_{107}	CS19SNB	≤ 0
P0WHT03	A_{108}	XS19S5B	+	C_{108}	XS19S6B	-	B_{108}	CS19SNB	≤ 0
P0WHT04	A_{109}	XS19S7	+	C_{109}	XS19S8B	-	B_{109}	CS19SNB	≤ 0
P0WHT05	A_{110}	XS19S9	+	C_{110}	XS19S10B	-	B_{110}	CS19SNB	≤ 0

$$\begin{aligned}
\text{P0WHT06} & \quad A_{111} \text{XS19S11B} + C_{111} \text{XS19S12B} - B_{111} \text{CS19SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHT07} & \quad A_{112} \text{XS19S13} + C_{112} \text{XS19S14B} - B_{112} \text{CS19SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHT08} & \quad A_{113} \text{XS19S15} + C_{113} \text{XS19S16B} - B_{113} \text{CS19SNB} \leq 0 \\
\text{P0WHT09} & \quad A_{114} \text{XS19S17B} + C_{114} \text{XS19S18B} - B_{114} \text{CS19SNB} \leq 0
\end{aligned}$$

Kapazitätsanforderung für Elektrizitätserzeugung mit schwerem Heizöl

$$\begin{aligned}
\text{P0W0IL1} & \quad B_{115} \text{XS19S2A} - A_{115} \text{CS19SNA} \leq 0 \\
\text{P0W0IL2} & \quad B_{116} \text{XS19S4A} - A_{116} \text{CS19SNA} \leq 0 \\
\text{P0W0IL3} & \quad B_{117} \text{XS19S6A} - A_{117} \text{CS19SNA} \leq 0 \\
\text{P0W0IL4} & \quad B_{118} \text{XS19S8A} - A_{118} \text{CS19SNA} \leq 0 \\
\text{P0W0IL5} & \quad B_{119} \text{XS19S10A} - A_{119} \text{CS19SNA} \leq 0 \\
\text{P0W0IL6} & \quad B_{120} \text{XS19S12A} - A_{120} \text{CS19SNA} \leq 0 \\
\text{P0W0IL7} & \quad B_{121} \text{XS19S14A} - A_{121} \text{CS19SNA} \leq 0 \\
\text{P0W0IL8} & \quad B_{122} \text{XS19S16A} - A_{122} \text{CS19SNA} \leq 0 \\
\text{P0W0IL9} & \quad B_{123} \text{XS19S18A} - A_{123} \text{CS19SNA} \leq 0
\end{aligned}$$

Bedarfsdeckung für Transportenergie

$$TRANSPRT \quad A_{124} XS20F3 + B_{124} XS21F3 \geq D_T$$

Bilanzen für schweres Heizöl, leichtes Heizöl und Benzin

$$\begin{aligned} HÖILBAL \quad & A_{125} XP3S19 - XS19S2A - XS19S4A - XS19S6A - XS19S8A - XS19S10A - XS19S12A - XS19S14A - \\ & - XS19S16A - XS19S18A - XS19S1 - XS19S3 - XS19S5B - XS19S7 - XS19S9 - XS19S11B - XS19S13 - \\ & - XS19S15 - XS19S17B - XS19S2B - XS19S4B - XS19S6B - XS19S8B - XS19S10B - XS19S12B - \\ & - XS19S14B - XS19S16B - XS19S18B - XS19S5C - XS19S11C - XS19S17C - XS19F4 - XS19S20 - \\ & - XS19S21 - XS19S1E - XS19S3E - XS19S5E - XS19S7E - XS19S9E - XS19S11E - XS19S13E - \\ & - XS19S15E - XS19S17E - XS19S2E - XS19S4E - XS19S6E - XS19S8E - XS19S10E - XS19S12E - \\ & - XS19S14E - XS19S16E - XS19S18E - XS19S5CE - XS19S11CE - XS19S17CE \geq 0 \end{aligned}$$

$$LÖILBAL \quad A_{126} XS19S20 + XP3S20 - XS20F1 - XS20F3 - XS20F4 - XS20F1A - XS20F1B - XS20F1C \geq 0$$

$$GASBAL \quad A_{127} XS19S21 + XP3S21 - XS21F3 \geq 0$$

Fraktionsverhältnis leichtes: schweres Heizöl bzw. leichtes Heizöl: Benzin

$$LHFRAC \quad XP3S19 - A_{128} XP3S20 = 0$$

$$LGFRAC \quad XP3S20 - A_{129} XP3S21 = 0$$

Untere bzw. obere Grenze für das Verhältnis leichtes Heizöl: Benzin beim Cracken

$$LLCRACK \quad A_{130} \quad XS19S20 - XS19S21 \leq 0$$

$$UPCRACK \quad XS19S21 - A_{131} \quad XS19S20 \leq 0$$

Kapazitätsanforderungen für Raffinerien und Cracker

$$REFINELD \quad XP3S19 + XP3S20 + XP3S21 - A_{132} \quad CP3SM \leq 0$$

$$CRACKLD \quad XS19S20 + XS19S21 - A_{133} \quad CS19SMD \leq 0$$

Bedarfsdeckung für Hochtemperaturwärme

$$INDUSDMD \quad A_{134} \quad XS19F4 + B_{134} \quad XS20F4 \geq D_p$$

Deckung der Spitzenlastfernwärme durch Heizwerke

$$STATION1 \quad XS19S5C + XP5S5C - A_{135} (CSNF12 + CSNF13) - L_{135} (ISNF12 - ISNF13) \geq 0$$

$$STATION2 \quad XS19S11C + XP5S11C - A_{136} (CSNF12 + CSNF13) - L_{136} (ISNF12 - ISNF13) \geq 0$$

$$STATION3 \quad XS19S17C + XP5S17C - A_{137} (CSNF12 + CSNF13) - L_{137} (ISNF12 - ISNF13) \geq 0$$

Kapazitätsanforderung für Niedertemperaturwärmebedarfsdeckung durch Erdgas

$$\text{GASHTLD} \quad B_{138} \text{XP5F1} - A_{138} (CP5F11 + CP5F12 + CP5F13) - C_{138} \text{XP5F1B} + \Pi_{138} (CP5F1A1 + CP5F1A2 + CP5F1A3) - L_{138} (IP5F11 + IP5F12 + IP5F13) + N_{138} (IP5F1A1 + IP5F1A2 + IP5F1A3) \leq 0$$

Begrenzung des Kraft-Wärme-Verhältnisses für Erdgas-Heizkraftwerke (vgl. Restriktionen 40-66)

$$\text{BPCØINS} \quad A_{139} \text{XP5S1} - \text{XP5S2B} \leq 0$$

$$\text{IPCØINS} \quad A_{140} \text{XP5S3} - \text{XP5S4B} \leq 0$$

$$\text{PPCØINS} \quad A_{141} \text{XP5S5B} - \text{XP5S6B} \leq 0$$

$$\text{BICØINS} \quad A_{142} \text{XP5S7} - \text{XP5S8B} \leq 0$$

$$\text{IICØINS} \quad A_{143} \text{XP5S9} - \text{XP5S10B} \leq 0$$

$$\text{PICØINS} \quad A_{144} \text{XP5S11B} - \text{XP5S12B} \leq 0$$

$$\text{BBCØINS} \quad A_{145} \text{XP5S13} - \text{XP5S14B} \leq 0$$

$$\text{IBCØINS} \quad A_{146} \text{XP5S15} - \text{XP5S16B} \leq 0$$

$$\text{PBCØINS} \quad A_{147} \text{XP5S17B} - \text{XP5S18B} \leq 0$$

Kapazitätsanforderungen für Kraft-Wärme-Kopplung mit Erdgas

$$\begin{aligned} P0WHTG1 & A_{148} XP5S1 + C_{148} XP5S2B - B_{148} CP5SNB \leq 0 \\ P0WHTG2 & A_{149} XP5S3 + C_{149} XP5S4B - B_{149} CP5SNB \leq 0 \\ P0WHTG3 & A_{150} XP5S5B + C_{150} XP5S6B - B_{150} CP5SNB \leq 0 \\ P0WHTG4 & A_{151} XP5S7 + C_{151} XP5S8B - B_{151} CP5SNB \leq 0 \\ P0WHTG5 & A_{152} XP5S9 + C_{152} XP5S10B - B_{152} CP5SNB \leq 0 \\ P0WHTG6 & A_{153} XP5S11B + C_{153} XP5S12B - B_{153} CP5SNB \leq 0 \\ P0WHTG7 & A_{154} XP5S13 + C_{154} XP5S14B - B_{154} CP5SNB \leq 0 \\ P0WHTG8 & A_{155} XP5S15 + C_{155} XP5S16B - B_{155} CP5SNB \leq 0 \\ P0WHTG9 & A_{156} XP5S17B + C_{156} XP5S18B - B_{156} CP5SNB \leq 0 \end{aligned}$$

Kapazitätsanforderungen für Elektrizitätserzeugung mit Erdgas

$$\begin{aligned} P0WLDG1 & B_{157} XP5S2A - A_{157} CP5SNA \leq 0 \\ P0WLDG2 & B_{158} XP5S4A - A_{158} CP5SNA \leq 0 \\ P0WLDG3 & B_{159} XP5S6A - A_{159} CP5SNA \leq 0 \\ P0WLDG4 & B_{160} XP5S8A - A_{160} CP5SNA \leq 0 \\ P0WLDG5 & B_{161} XP5S10A - A_{161} CP5SNA \leq 0 \end{aligned}$$

$$P0WLDG6 \quad B_{162} XP5S12A - A_{162} CP5SNA \leq 0$$

$$P0WLDG7 \quad B_{163} XP5S14A - A_{163} CP5SNA \leq 0$$

$$P0WLDG8 \quad B_{164} XP5S16A - A_{164} CP5SNA \leq 0$$

$$P0WLDG9 \quad B_{165} XP5S18A - A_{165} CP5SNA \leq 0$$

Unterteilung der Niedertemperaturwärmeversorgung nach Gemeindegrößenklassen

$$EXCL1 \quad CP5F11 + CSNF11 + CP5F1A1 + B_{166} CSNF7A1 + C_{166} CSNF7C1 + L_{166} (CF6F11 + CSNF1A1) + \\ + M_{166} (CSNF1C1 + CSNF1E1 + CF8F11 + CS20F1A1) + A_{166} (ISNF11 + IP5F11 + IS20F11 + IF6F11 + \\ + ISNF1A1 + ISNF1C1 + ISNF7A1 + IF8F11 + IP5F1A1) \leq RS_{166}$$

$$EXCL2 \quad CP5F12 + CSNF12 + CSNF1E2 + CP5F1A2 + B_{167} CSNF7A2 + C_{167} CSNF7C2 + \\ + L_{167} (CF6F12 + CSNF1A2) + M_{167} (CSNF1C2 + CSNF1E2 + CF8F12 + CS20F1A2) + \\ + A_{167} (ISNF12 + ISNF1E2 + IP5F12 + IS20F12 + IF6F12 + ISNF1A2 + ISNF1C2 + ISNF7A2 + \\ + IF8F12 + IP5F1A2) \leq RS_{167}$$

$$EXCL3 \quad CP5F13 + CSNF13 + CSNF1E3 + CP5F1A3 + B_{168} CSNF7A3 + C_{168} CSNF7C3 + \\ + L_{168} (CF6F13 + CSNF1A3) + M_{168} (CSNF1C3 + CSNF1E3 + CF8F13 + CS20F1A3) + \\ + A_{168} (ISNF13 + ISNF1E3 + IP5F13 + IS20F13 + IF6F13 + ISNF1A3 + ISNF1C3 + \\ + ISNF7A3 + IF8F13 + IP5F1A3) \leq RS_{168}$$

Analog zu Restriktionen 70-78, für dezentrale Versorgung

$$\begin{aligned}
 P0WHTC1E & A_{169} XP1S1E + C_{169} XP1S2E - B_{169} CP1SNE \leq 0 \\
 P0WHTC2E & A_{170} XP1S3E + C_{170} XP1S4E - B_{170} CP1SNE \leq 0 \\
 P0WHTC3E & A_{171} XP1S5E + C_{171} XP1S6E - B_{171} CP1SNE \leq 0 \\
 P0WHTC4E & A_{172} XP1S7E + C_{172} XP1S8E - B_{172} CP1SNE \leq 0 \\
 P0WHTC5E & A_{173} XP1S9E + C_{173} XP1S10E - B_{173} CP1SNE \leq 0 \\
 P0WHTC6E & A_{174} XP1S11E + C_{174} XP1S12E - B_{174} CP1SNE \leq 0 \\
 P0WHTC7E & A_{175} XP1S13E + C_{175} XP1S14E - B_{175} CP1SNE \leq 0 \\
 P0WHTC8E & A_{176} XP1S15E + C_{176} XP1S16E - B_{176} CP1SNE \leq 0 \\
 P0WHTC9E & A_{177} XP1S17E + C_{177} XP1S18E - B_{177} CP1SNE \leq 0
 \end{aligned}$$

Analog zu Restriktionen 106-114, für dezentrale Versorgung

$$\begin{aligned}
 P0WHT01E & A_{178} XS19S1E + C_{178} XS19S2E - B_{178} CS19SNE \leq 0 \\
 P0WHT02E & A_{179} XS19S3E + C_{179} XS19S4E - B_{179} CS19SNE \leq 0 \\
 P0WHT03E & A_{180} XS19S5E + C_{180} XS19S6E - B_{180} CS19SNE \leq 0 \\
 P0WHT04E & A_{181} XS19S7E + C_{181} XS19S8E - B_{181} CS19SNE \leq 0 \\
 P0WHT05E & A_{182} XS19S9E + C_{182} XS19S10E - B_{182} CS19SNE \leq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{P0WHT06E} & A_{183} \text{XS19S11E} + C_{183} \text{XS19S12E} - B_{183} \text{CS19SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHT07E} & A_{184} \text{XS19S13E} + C_{184} \text{XS19S14E} - B_{184} \text{CS19SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHT08E} & A_{185} \text{XS19S15E} + C_{185} \text{XS19S16E} - B_{185} \text{CS19SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHT09E} & A_{186} \text{XS19S17E} + C_{186} \text{XS19S18E} - B_{186} \text{CS19SNE} \leq 0
\end{aligned}$$

Analog zu Restriktionen 148-156, für dezentrale Versorgung

$$\begin{aligned}
\text{P0WHTG1E} & A_{187} \text{XP5S1E} + C_{187} \text{XP5S2E} - B_{187} \text{CP5SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHTG2E} & A_{188} \text{XP5S3E} + C_{188} \text{XP5S4E} - B_{188} \text{CP5SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHTG3E} & A_{189} \text{XP5S5E} + C_{189} \text{XP5S6E} - B_{189} \text{CP5SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHTG4E} & A_{190} \text{XP5S7E} + C_{190} \text{XP5S8E} - B_{190} \text{CP5SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHTG5E} & A_{191} \text{XP5S9E} + C_{191} \text{XP5S10E} - B_{191} \text{CP5SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHTG6E} & A_{192} \text{XP5S11E} + C_{192} \text{XP5S12E} - B_{192} \text{CP5SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHTG7E} & A_{193} \text{XP5S13E} + C_{193} \text{XP5S14E} - B_{193} \text{CP5SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHTG8E} & A_{194} \text{XP5S15E} + C_{194} \text{XP5S16E} - B_{194} \text{CP5SNE} \leq 0 \\
\text{P0WHTG9E} & A_{195} \text{XP5S17E} + C_{195} \text{XP5S18E} - B_{195} \text{CP5SNE} \leq 0
\end{aligned}$$

Kapazitätsanforderung für Fernwärmeversorgung, dezentrales Netz

$$HTTRALDE \quad A_{196} (XS5F1E + XS11F1E + XS17F1E) - B_{196} CSNF1E2 - C_{196} CSNF1E3 \leq 0$$

Analog zu Restriktionen 40-66 und 139-147, für dezentrale Versorgung

$$BPC0IN1E \quad A_{197} XP1S1E - XP1S2E \leq 0$$

$$BPC0IN3E \quad A_{198} XS19S1E - XS19S2E \leq 0$$

$$IPC0IN1E \quad A_{199} XP1S3E - XP1S4E \leq 0$$

$$IPC0IN3E \quad A_{200} XS19S3E - XS19S4E \leq 0$$

$$PPC0IN1E \quad A_{201} XP1S5E - XP1S6E \leq 0$$

$$PPC0IN3E \quad A_{202} XS19S5E - XS19S6E \leq 0$$

$$BIC0IN1E \quad A_{203} XP1S7E - XP1S8E \leq 0$$

$$BIC0IN3E \quad A_{204} XS19S7E - XS19S8E \leq 0$$

$$IIC0IN1E \quad A_{205} XP1S9E - XP1S10E \leq 0$$

$$IIC0IN3E \quad A_{206} XS19S9E - XS19S10E \leq 0$$

$$PIC0IN1E \quad A_{207} XP1S11E - XP1S12E \leq 0$$

$$PIC0IN3E \quad A_{208} XS19S11E - XS19S12E \leq 0$$

$$BBC0IN1E \quad A_{209} XP1S13E - XP1S14E \leq 0$$

$$BBC0IN3E \quad A_{210} XS19S13E - XS19S14E \leq 0$$

$$IBCØIN1E \quad A_{211} \quad XP1S15E - XP1S16E \quad \leq 0$$

$$IBCØIN3E \quad A_{212} \quad XS19S15E - XS19S16E \quad \leq 0$$

$$PBCØIN1E \quad A_{213} \quad XP1S17E - XP1S18E \quad \leq 0$$

$$PBCØIN3E \quad A_{214} \quad XS19S17E - XS19S18E \quad \leq 0$$

$$BPCØIN5E \quad A_{215} \quad XP5S1E - XP5S2E \quad \leq 0$$

$$IPCØIN5E \quad A_{216} \quad XP5S3E - XP5S4E \quad \leq 0$$

$$PPCØIN5E \quad A_{217} \quad XP5S5E - XP5S6E \quad \leq 0$$

$$BICØIN5E \quad A_{218} \quad XP5S7E - XP5S8E \quad \leq 0$$

$$IICØIN5E \quad A_{219} \quad XP5S9E - XP5S10E \quad \leq 0$$

$$PICØIN5E \quad A_{220} \quad XP5S11E - XP5S12E \quad \leq 0$$

$$BBCØIN5E \quad A_{221} \quad XP5S13E - XP5S14E \quad \leq 0$$

$$IBCØIN5E \quad A_{222} \quad XP5S15E - XP5S16E \quad \leq 0$$

$$PBCØIN5E \quad A_{223} \quad XP5S17E - XP5S18E \quad \leq 0$$

Analog zu Restriktionen 22-24, für dezentrale Versorgung

$$PKHTBA1E \quad A_{224} XP1S5E + B_{224} XS19S5E + C_{224} XP5S5E + L_{224} (XS19S5CE + XP5S5CE) - XS5F1E \geq 0$$

$$PKHTBA2E \quad A_{225} XP1S11E + B_{225} XS19S11E + C_{225} XP5S11E + L_{225} (XS19S11CE + XP5S11CE) - XS11F1E \geq 0$$

$$PKHTBA3E \quad A_{226} XP1S17E + B_{226} XS19S17E + C_{226} XP5S17E + L_{226} (XS19S17CE + XP5S17CE) - XS17F1E \geq 0$$

Analog zu Restriktionen 28-30, für dezentrale Versorgung

$$IPHTBA1E \quad A_{227} XP1S3E + B_{227} XS19S3E + C_{227} XP5S3E - XS3F1E \geq 0$$

$$IPHTBA2E \quad A_{228} XP1S9E + B_{228} XS19S9E + C_{228} XP5S9E - XS9F1E \geq 0$$

$$IPHTBA3E \quad A_{229} XP1S15E + B_{229} XS19S15E + C_{229} XP5S15E - XS15F1E \geq 0$$

Analog zu Restriktionen 34-36, für dezentrale Versorgung

$$BSHTBA1E \quad A_{230} XP1S1E + B_{230} XS19S1E + C_{230} XP5S1E - XS1F1E \geq 0$$

$$BSHTBA2E \quad A_{231} XP1S7E + B_{231} XS19S7E + C_{231} XP5S7E - XS7F1E \geq 0$$

$$BSHTBA3E \quad A_{232} XP1S13E + B_{232} XS19S13E + C_{232} XP5S13E - XS13F1E \geq 0$$

Analog zu Restriktionen 2-3, für dezentrale Versorgung

$$PIRATHTE \quad XS5F1E + XS11F1E + XS17F1E - A_{233} (XS3F1E + XS9F1E + XS15F1E) + L_{233} (ISNF1E2 + ISNF1E3) = 0$$

$$IBRATHTE \quad XS3F1E + XS9F1E + XS15F1E - A_{234} (XS1F1E + XS7F1E + XS13F1E) + L_{234} (ISNF1E2 + ISNF1E3) = 0$$

Analog zu Restriktionen 4-9, für dezentrale Versorgung

$$CCPKHT1E \quad XS5F1E - A_{235} XS11F1E = 0$$

$$CCPKHT2E \quad XS11F1E - A_{236} XS17F1E = 0$$

$$CCIMHT1E \quad XS3F1E - A_{237} XS9F1E = 0$$

$$CCIMHT2E \quad XS9F1E - A_{238} XS15F1E = 0$$

$$CCBSHT1E \quad XS1F1E - A_{239} XS7F1E = 0$$

$$CCBSHT2E \quad XS7F1E - A_{240} XS13F1E = 0$$

Begrenzung der Fernwärmeversorgung in den Gebieten, die über Anschlußleitungen versorgt werden

$$CØR1TØ2 \quad CSNF12 - A_{241} CSNF11 + B_{241} ISNF12 - C_{241} ISNF11 \leq 0$$

$$CØR2TØ3 \quad CSNF13 - A_{242} CSNF12 + B_{242} ISNF13 - C_{242} ISNF12 \leq 0$$

$$CØR1TØ2E \quad CSNF1E3 - A_{243} CSNF1E2 + B_{243} ISNF1E3 - C_{243} ISNF1E2 \leq 0$$

Kapazitätsanforderungen für Heizwerke mit Erdgas

$$HTSTAT1A \quad B_{244} XP555C - A_{244} CP55NC \leq 0$$

$$HTSTAT2A \quad B_{245} XP5511C - A_{245} CP55NC \leq 0$$

$$HTSTAT3A \quad B_{246} XP5517C - A_{246} CP55NC \leq 0$$

Sicherstellung von Reservekapazitäten an Heizwerken

$$\text{RESERVE1} \quad B_{247} \text{CP55NC} + C_{247} \text{CS19SNC} - A_{247} (\text{CSNF11} + \text{CSNF12} + \text{CSNF13}) \geq 0$$

$$\text{RESERVE2} \quad B_{248} \text{CP55NCE} + C_{248} \text{CS19SNCE} - A_{248} (\text{CSNF1E2} + \text{CSNF1E3}) \geq 0$$

Sicherstellung der Dieselölmenge zur Bedarfsdeckung des LKW-Verkehrs

$$\text{LKWVERKR} \quad A_{249} \text{XS20F3} \geq D_T$$

Ermittlung der insgesamt erzeugten Fernwärme

$$\begin{aligned} \text{SUMFW} \quad & \text{XS1F1} + \text{XS3F1} + \text{XS5F1} + \text{XS7F1} + \text{XS9F1} + \text{XS11F1} + \text{XS13F1} + \text{XS15F1} + \text{XS17F1} + \\ & + \text{XS1F1E} + \text{XS3F1E} + \text{XS5F1E} + \text{XS7F1E} + \text{XS9F1E} + \text{XS11F1E} + \text{XS13F1E} + \text{XS15F1E} + \text{XS17F1E} - \text{XSDF1} = 0 \end{aligned}$$

Kapazitätsanforderungen für Elektrizitätserzeugung mit Braunkohle

$$\begin{aligned}
 POWLB1 & B_{251} XP6S2 - A_{251} CP6SN \leq 0 \\
 POWLB2 & B_{252} XP6S4 - A_{252} CP6SN \leq 0 \\
 POWLB3 & B_{253} XP6S6 - A_{253} CP6SN \leq 0 \\
 POWLB4 & B_{254} XP6S8 - A_{254} CP6SN \leq 0 \\
 POWLB5 & B_{255} XP6S10 - A_{255} CP6SN \leq 0 \\
 POWLB6 & B_{256} XP6S12 - A_{256} CP6SN \leq 0 \\
 POWLB7 & B_{257} XP6S14 - A_{257} CP6SN \leq 0 \\
 POWLB8 & B_{258} XP6S16 - A_{258} CP6SN \leq 0 \\
 POWLB9 & B_{259} XP6S18 - A_{259} CP6SN \leq 0
 \end{aligned}$$

Sicherstellung von ausreichenden Kraftwerkskapazitäten (wegen nur näherungsweise Aufschlüsselung der Nachfragesituationen)

$$\begin{aligned}
 DEC14 & -A_{260} (CP15NA + CP15NB + CP25NA + CP25NB + CS19SNA + CS19SNB + CP55NA + CP55NB + \\
 & + CP15NE + CS19SNE + CP55NE - EC) + B_{260} XP1514E + C_{260} XP1513E + D_{260} XS19S14E + E_{260} XS19S13E + \\
 & + F_{260} XP5514E + G_{260} XPSF13E + H_{260} XP6S14 - I_{260} CP6SN + L_{260} (XP1514A + XP1513 + XP1514B) + \\
 & + M_{260} (XP2S14A + XP2S13 + XP2S14B) + N_{260} (XS19S14A + XS19S13 + XS19S14B) + \\
 & + O_{260} (XP5514A + XP5513 + XP5514B) \leq 0
 \end{aligned}$$

$$\text{CSE142} \quad A_{261} (XS4S14 + XS8S14 + XS10S14 + XS16S14) + B_{261} XS2S14 - C_{261} XS14S2 - D_{261} EC - \\ - E_{261} XSMF6 - F_{261} XSMF7A - XS14S4 - XS14S8 - XS14S10 - XS14S16 \leq 0$$

$$\text{CSE144} \quad A_{262} (XS2S14 + XS8S14 + XS10S14 + XS16S14) + B_{262} XS4S14 - C_{262} XS14S4 - D_{262} EC - \\ - E_{262} XSMF6 - F_{262} XSMF7A - XS14S2 - XS14S8 - XS14S10 - XS14S16 \leq 0$$

$$\text{CSE148} \quad A_{263} (XS2S14 + XS4S14 + XS10S14 + XS16S14) + B_{263} XS8S14 - C_{263} XS14S8 - D_{263} EC - \\ - E_{263} XSMF6 - F_{263} XSMF7A - XS14S2 - XS14S4 - XS14S10 - XS14S16 \leq 0$$

$$\text{CSE1410} \quad A_{264} (XS2S14 + XS4S14 + XS8S14 + XS16S14) + B_{264} XS10S14 - C_{264} XS14S10 - D_{264} EC - \\ - E_{264} XSMF6 - F_{264} XSMF7A - XS14S2 - XS14S4 - XS14S8 - XS14S16 \leq 0$$

$$\text{CSE1416} \quad A_{265} (XS2S14 + XS4S14 + XS8S14 + XS10S14) + B_{265} XS16S14 - C_{265} XS14S16 - D_{265} EC - \\ - E_{265} XSMF6 - F_{265} XSMF7A - XS14S2 - XS14S4 - XS14S8 - XS14S10 \leq 0$$

$$\text{DEC16} \quad -A_{266} (CP1SNA + CP1SNB + CP2SNA + CP2SNB + CS19SNA + CS19SNB + CP5SNA + CP5SNB + \\ + CP1SNE + CP5SNE + CS19SNE - EC) + L_{266} (XP1S16A + XP1S15 + XP1S16B) + \\ + M_{266} (XP2S16A + XP2S15 + XP2S16B) + N_{266} (XS19S16A + XS19S15 + XS19S16B) + \\ + O_{266} (XP5S16A + XP5S15 + XP5S16B) + B_{266} XP1S16E + C_{266} XP1S15E + D_{266} XS19S16E + E_{266} XS19S15E + \\ + F_{266} XP5S16E + G_{266} XP5S15E + H_{266} XP6S16 - I_{266} CP6SN \leq 0$$

$$\begin{aligned}
\text{CSE166} \quad & A_{267} (XS14S16 + XS12S16 + XS18S16) + B_{267} XS6S16 - C_{267} XS16S6 - D_{267} EC - \\
& - E_{267} XSMF6 - F_{267} XSMF7A - G_{267} XSMF7B - H_{267} XSMF7C - XS16S14 - XS16S12 - XS16S18 \leq 0 \\
\text{CSE1614} \quad & - A_{268} (XS6S16 + XS12S16 + XS18S16) + B_{268} XS14S16 - C_{268} XS16S14 - D_{268} EC - \\
& - E_{268} XSMF6 - F_{268} XSMF7A - G_{268} XSMF7B - XS16S6 - XS16S12 - XS16S18 - XSMF7C \leq 0 \\
\text{CSE1612} \quad & A_{269} (XS14S16 + XS6S16 + XS18S16) + B_{269} XS12S16 - C_{269} XS16S12 - D_{269} EC - \\
& - E_{269} XSMF6 - F_{269} XSMF7A - G_{269} XSMF7B - H_{269} XSMF7C - XS16S14 - XS16S6 - XS16S18 \leq 0 \\
\text{CSE1618} \quad & A_{270} (XS14S16 + XS6S16 + XS12S16) + B_{270} XS18S16 - C_{270} XS16S18 - D_{270} EC - \\
& - E_{270} XSMF6 - F_{270} XSMF7A - G_{270} XSMF7B - H_{270} XSMF7C - XS16S14 - XS16S6 - XS16S12 \leq 0
\end{aligned}$$

Kapazitätsanforderungen für Pumpspeicherwerte

$$\begin{aligned}
\text{CPSUP1} \quad & XS14S2 - A_{271} CSNSMP \leq 0 \\
\text{CPSUP2} \quad & XS14S4 - A_{272} CSNSMP \leq 0 \\
\text{CPSUP3} \quad & XS16S6 - A_{273} CSNSMP \leq 0 \\
\text{CPSUP4} \quad & XS14S8 - A_{274} CSNSMP \leq 0 \\
\text{CPSUP5} \quad & XS14S10 - A_{275} CSNSMP \leq 0 \\
\text{CPSUP6} \quad & XS14S16 - A_{276} CSNSMP \leq 0 \\
\text{CPSUP7} \quad & XS16S12 - A_{277} CSNSMP \leq 0 \\
\text{CPSUP8} \quad & XS16S18 - A_{278} CSNSMP \leq 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CPSDI1} & A_{275} \text{XS2S14} - B_{273} \text{CSNSMP} \leq 0 \\
\text{CPSDI2} & A_{280} \text{XS4S14} - B_{280} \text{CSNSMP} \leq 0 \\
\text{CPSDI3} & A_{281} \text{XS6S16} - B_{281} \text{CSNSMP} \leq 0 \\
\text{CPSDI4} & A_{282} \text{XS8S14} - B_{282} \text{CSNSMP} \leq 0 \\
\text{CPSDI5} & A_{283} \text{XS10S14} - B_{283} \text{CSNSMP} \leq 0 \\
\text{CPSDI6} & A_{284} \text{XS16S14} - B_{284} \text{CSNSMP} \leq 0 \\
\text{CPSDI7} & A_{285} \text{XS12S16} - B_{285} \text{CSNSMP} \leq 0 \\
\text{CPSDI8} & A_{286} \text{XS18S16} - B_{286} \text{CSNSMP} \leq 0
\end{aligned}$$

Kapazitätsanforderung für elektr. Nachtspeicherheizungen

$$\text{KAFELMS} \quad B_{287} \text{XSMF6} - A_{287} (\text{CF6F11} + \text{CF6F12} + \text{CF6F13}) \leq 0$$

Kapazitätsanforderung für elektr. Direktheizungen

$$\text{KAFELDH} \quad B_{288} \text{XSMF1A} - A_{288} (\text{CSMF1A1} + \text{CSMF1A2} + \text{CSMF1A3}) = 0$$

Kapazitätsanforderung für elektr. Wärmepumpen im Direktbetrieb

$$\text{KAFWPDH} \quad B_{289} \text{XSMF1C} + C_{289} \text{XSMF1D} - A_{289} (\text{CSMF1C1} + \text{CSMF1C2} + \text{CSMF1C3}) \leq 0$$

Kapazitätsanforderung für elektr. Wärmepumpen im Speicherbetrieb

$$KAFWPNS \quad B_{290} XSMF7A + C_{290} XSMF7B - A_{290} (CSMF7A1 + CSMF7A2 + CSMF7A3) \leq 0$$

Kapazitätsanforderung für Elektrozusatzheizungen für elektr. Wärmepumpen im Direktbetrieb

$$KAFWPDZE \quad B_{291} XSMF1E - A_{291} (CSMF1E1 + CSMF1E2 + CSMF1E3) = 0$$

Kapazitätsanforderung für Elektrozusatzheizungen für elektr. Wärmepumpen im Speicherbetrieb

$$KAFWPNZE \quad B_{292} XSMF7C - A_{292} (CSMF7C1 + CSMF7C2 + CSMF7C3) = 0$$

Kapazitätsanforderung für Ölzusatzheizungen für elektr. Wärmepumpen

$$KAFWPZ0 \quad B_{293} XS20F1A - A_{293} (CS20F1A1 + CS20F1A2 + CS20F1A3) \leq 0$$

Kapazitätsanforderung für Solarheizungen

$$KAFS0L \quad B_{294} XS20F1B + C_{294} XS20F1C - A_{294} (CF8F11 + CF8F12 + CF8F13) \leq 0$$

Kapazitätsanforderung für Erdgas-Wärmepumpen

$$KAFGWP \quad B_{295} XP5F1A + C_{295} XP5F1B - A_{295} (CP5F1A1 + CP5F1A2 + CP5F1A3) \leq 0$$

Verhältnisse der Energiemengen für Warmwasserbereitung zu denen für Raumheizung

$$\begin{aligned}
 \text{WWHTEL} & \quad X_{SMF1B} - A_{296} (X_{SMF6} + X_{SMF1A}) - L_{296} (IF_{6F11} + IF_{6F12} + IF_{6F13} + IS_{MF1A1} + IS_{MF1A2} + IS_{MF1A3}) = 0 \\
 \text{WWHTWPD} & \quad C_{297} X_{SMF1D} - B_{297} X_{SMF1C} - A_{297} (IS_{MF1C1} + IS_{MF1C2} + IS_{MF1C3}) = 0 \\
 \text{WWHTWPN} & \quad C_{298} X_{SMF7B} - B_{298} X_{SMF7A} - A_{298} (IS_{MF7A1} + IS_{MF7A2} + IS_{MF7A3}) = 0 \\
 \text{WWHTSØL} & \quad X_{P7F8B} - B_{299} X_{P7F8A} - A_{299} (IF_{8F11} + IF_{8F12} + IF_{8F13}) = 0 \\
 \text{WWHTSØLD} & \quad X_{S20F1C} - B_{300} X_{S20F1B} - A_{300} (IF_{8F11} + IF_{8F12} + IF_{8F13}) = 0 \\
 \text{WWHTGWP} & \quad X_{P5F1B} - B_{301} X_{P5F1A} - A_{301} (IP_{5F1A1} + IP_{5F1A2} + IP_{5F1A3}) = 0
 \end{aligned}$$

Zuordnung der Zusatzheizungen

$$\begin{aligned}
 \text{ZHTWPD1} & \quad A_{302} C_{SMF1E1} - B_{302} IS_{MF1C1} - C_{302} C_{SMF1C1} \leq 0 \\
 \text{ZHTWPD2} & \quad A_{303} C_{SMF1E2} - B_{303} IS_{MF1C2} - C_{303} C_{SMF1C2} \leq 0 \\
 \text{ZHTWPD3} & \quad A_{304} C_{SMF1E3} - B_{304} IS_{MF1C3} - C_{304} C_{SMF1C3} \leq 0 \\
 \\
 \text{ZHTWPN1} & \quad A_{305} C_{SMF7C1} - B_{305} IS_{MF7A1} - C_{305} C_{SMF7A1} \leq 0 \\
 \text{ZHTWPN2} & \quad A_{306} C_{SMF7C2} - B_{306} IS_{MF7A2} - C_{306} C_{SMF7A2} \leq 0 \\
 \text{ZHTWPN3} & \quad A_{307} C_{SMF7C3} - B_{307} IS_{MF7A3} - C_{307} C_{SMF7A3} \leq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZHTWP1} \quad & A_{302} (CSMF1E1 + CS20F1A1) + B_{302} CSNF7C1 - C_{302} CSNF1C1 - D_{302} CSNF7A1 - L_{302} (ISNF1C1 + ISNF7A1) = 0 \\ \text{ZHTWP2} \quad & A_{303} (CSMF1E2 + CS20F1A2) + B_{303} CSNF7C2 - C_{303} CSNF1C2 - D_{303} CSNF7A2 - L_{303} (ISNF1C2 + ISNF7A2) = 0 \\ \text{ZHTWP3} \quad & A_{310} (CSMF1E3 + CS20F1A3) + B_{310} CSNF7C3 - C_{310} CSNF1C3 - D_{310} CSNF7A3 - L_{310} (ISNF1C3 + ISNF7A3) = 0 \end{aligned}$$

Zusatzbedarf an leichtem Heizöl bei Solarheizungen

$$\text{SØLØEL} \quad XP7F8A - A_{311} XS20F1B = 0$$

Erforderliche Netzerweiterungen bei elektr. Niedertemperaturwärmeversorgung

69/III

$$\text{ECGRID11} \quad B_{312} XS14F2 + CSNF7C1 - CSNF11 - A_{312} CSNF2 + C_{312} CF6F11 + D_{312} CSNF7A1 + E_{312} CSNF1A1 + F_{312} CSNF1C1 \leq 0$$

$$\text{ECGRID12} \quad CSNF1E1 - CSNF11 + A_{313} CSNF1A1 + B_{313} CSNF1C1 + C_{313} CF6F11 + L_{313} (IF6F11 + ISNF1A1) \leq 0$$

$$\text{ECGRID21} \quad B_{314} XS14F2 - A_{314} CSNF2 + C_{314} CF6F12 + D_{314} CSNF7A2 + E_{314} CSNF1A2 + F_{314} CSNF1C2 + CSNF7C2 - CSNF12 \leq 0$$

$$\text{ECGRID22} \quad CSNF1E2 - CSNF12 + A_{315} CSNF1A2 + B_{315} CSNF1C2 + C_{315} CF6F12 + L_{315} (IF6F12 + ISNF1A1) \leq 0$$

$$\text{ECGRID31} \quad B_{316} XS14F2 - A_{316} CSNF2 + C_{316} CF6F13 + D_{316} CSNF7A3 + E_{316} CSNF1A3 + F_{316} CSNF1C3 + CSNF7C3 - CSNF13 \leq 0$$

$$\text{ECGRID32} \quad CSNF1E3 - CSNF13 + A_{317} CSNF1A3 + B_{317} CSNF1C3 + C_{317} CF6F13 + L_{317} (IF6F13 + ISNF1A3) \leq 0$$

Einschränkungen des möglichen Versorgungsgrades mit elektr. Wärmepumpen

$$\begin{aligned} \text{MAXWP1} & \quad CSNF1C1 + CSNF1E1 + CS20F1A1 + B_{318} CSNF7A1 + C_{318} CSNF7C1 + A_{318} (ISNF1C1 + ISNF7A1) \leq RS_{318} \\ \text{MAXWP2} & \quad CSNF1C2 + CSNF1E2 + CS20F1A2 + B_{319} CSNF7A2 + C_{319} CSNF7C2 + A_{319} (ISNF1C2 + ISNF7A2) \leq RS_{319} \\ \text{MAXWP3} & \quad CSNF1C3 + CSNF1E3 + CS20F1A3 + B_{320} CSNF7A3 + C_{320} CSNF7C3 + A_{320} (ISNF1C3 + ISNF7A3) \leq RS_{320} \end{aligned}$$

Einschränkungen des möglichen Versorgungsgrades mit elektr. Wärmepumpen und Solarkollektoren

$$\begin{aligned} \text{MAXS0L1} & \quad CF8F11 + CSNF1C1 + CSNF1E1 + B_{321} CSNF7A1 + C_{321} CSNF7C1 + A_{321} (ISNF1C1 + ISNF7A1 + IF8F11) \leq RS_{321} \\ \text{MAXS0L2} & \quad CF8F12 + CSNF1C2 + CSNF1E2 + B_{322} CSNF7A2 + C_{322} CSNF7C2 + A_{322} (ISNF1C2 + ISNF7A2 + IF8F12) \leq RS_{322} \\ \text{MAXS0L3} & \quad CF8F13 + CSNF1C3 + CSNF1E3 + B_{323} CSNF7A3 + C_{323} CSNF7C3 + A_{323} (ISNF1C3 + ISNF7A3 + IF8F13) \leq RS_{323} \end{aligned}$$

III/70

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Fernwärme-beheizten Gebäuden, zentrales Netz

$$\begin{aligned} \text{MAXIFW1} & \quad B_{324} ISNF11 - A_{324} CSNF11 \leq 0 \\ \text{MAXIFW2} & \quad B_{325} ISNF12 - A_{325} CSNF12 \leq 0 \\ \text{MAXIFW3} & \quad B_{326} ISNF13 - A_{326} CSNF13 \leq 0 \end{aligned}$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Fernwärme-beheizten Gebäuden, dezentrales Netz

$$\begin{aligned} \text{MAXIFW2E} & \quad B_{327} ISNF1E2 - A_{327} CSNF1E2 \leq 0 \\ \text{MAXIFW3E} & \quad B_{328} ISNF1E3 - A_{328} CSNF1E3 \leq 0 \end{aligned}$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Erdgas-beheizten Gebäuden

$$\begin{aligned}
 \text{MAXIG1} \quad & C_{329} CP5F1A1 - A_{329} CP5F11 + B_{329} IP5F11 + D_{329} IP5F1A1 \leq 0 \\
 \text{MAXIG2} \quad & C_{330} CP5F1A2 - A_{330} CP5F12 + B_{330} IP5F12 + D_{330} IP5F1A2 \leq 0 \\
 \text{MAXIG3} \quad & C_{331} CP5F1A3 - A_{331} CP5F13 + B_{331} IP5F13 + D_{331} IP5F1A3 \leq 0
 \end{aligned}$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Öl-beheizten Gebäuden

$$\begin{aligned}
 \text{MAXI01} \quad & CF6F11 + CSMF1A1 + A_{332} (CSMF1C1 + CSMF1E1 + CS20F1A1 + CF8F11) + B_{332} CSMF7A1 + C_{332} CSMF7C1 + \\
 & + L_{332} (CSNF11 + CP5F11 + CP5F1A1) + D_{332} IS20F11 + M_{332} (ISNF11 + IP5F11 + IP5F1A1) + \\
 & + N_{332} (ISMF1C1 + ISMF7A1 + IF8F11) + O_{332} (IF6F11 + ISMF1A1) \leq RS_{332} \\
 \text{MAXI02} \quad & CF6F12 + CSMF1A2 + A_{333} (CSMF1C2 + CSMF1E2 + CS20F1A2 + CF8F12) + B_{333} CSMF7A2 + C_{333} CSMF7C2 + \\
 & + L_{333} (CSNF12 + CSNF1E2 + CP5F12 + CP5F1A2) + M_{333} (ISNF12 + ISNF1E2 + IP5F12 + IP5F1A2) + \\
 & + D_{333} IS20F12 + N_{333} (ISMF1C2 + ISMF7A2 + IF8F12) + O_{333} (IF6F12 + ISMF1A2) \leq RS_{333} \\
 \text{MAXI03} \quad & CF6F13 + CSMF1A3 + A_{334} (CSMF1C3 + CSMF1E3 + CS20F1A3 + CF8F13) + B_{334} CSMF7A3 + C_{334} CSMF7C3 + \\
 & + L_{334} (CSNF13 + CSNF1E3 + CP5F13 + CP5F1A3) + M_{334} (ISNF13 + ISNF1E3 + IP5F13 + IP5F1A3) + \\
 & + D_{334} IS20F13 + N_{334} (ISMF1C3 + ISMF7A3 + IF8F13) + O_{334} (IF6F13 + ISMF1A3) \leq RS_{334}
 \end{aligned}$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Gebäuden mit elektr. Nachtspeicherheizung

$$\text{MAXIELN1} \quad A_{335} \text{IF6F11} - \text{CF6F11} \leq 0$$

$$\text{MAXIELN2} \quad A_{336} \text{IF6F12} - \text{CF6F12} \leq 0$$

$$\text{MAXIELN3} \quad A_{337} \text{IF6F13} - \text{CF6F13} \leq 0$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Gebäuden mit elektr. Direktheizung

$$\text{MAXIELD1} \quad A_{338} \text{ISMF1A1} - \text{CSMF1A1} \leq 0$$

$$\text{MAXIELD2} \quad A_{339} \text{ISMF1A2} - \text{CSMF1A2} \leq 0$$

$$\text{MAXIELD3} \quad A_{340} \text{ISMF1A3} - \text{CSMF1A3} \leq 0$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Gebäuden mit elektr. Wärmepumpe im Direktbetrieb

$$\text{MAXIWRD1} \quad -A_{341} \text{CSMF1C1} + B_{341} \text{ISMF1C1} \leq 0$$

$$\text{MAXIWRD2} \quad -A_{342} \text{CSMF1C2} + B_{342} \text{ISMF1C2} \leq 0$$

$$\text{MAXIWRD3} \quad -A_{343} \text{CSMF1C3} + B_{343} \text{ISMF1C3} \leq 0$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Gebäuden mit elektr. Wärmepumpe im Speicherbetrieb

$$\text{MAXIWRN1} \quad -A_{344} \text{CSMF7A1} + B_{344} \text{ISMF7A1} \leq 0$$

$$\text{MAXIWRN2} \quad -A_{345} \text{CSMF7A2} + B_{345} \text{ISMF7A2} \leq 0$$

$$\text{MAXIWRN3} \quad -A_{346} \text{CSMF7A3} + B_{346} \text{ISMF7A3} \leq 0$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Gebäuden mit Solarkollektor-Heizung

$$\text{MAXISØL1} \quad -A_{347} \text{CF8F11} + B_{347} \text{IF8F11} \leq 0$$

$$\text{MAXISØL2} \quad -A_{348} \text{CF8F12} + B_{348} \text{IF8F12} \leq 0$$

$$\text{MAXISØL3} \quad -A_{349} \text{CF8F13} + B_{349} \text{IF8F13} \leq 0$$

Beschränkung der Isoliermaßnahmen bei Gebäuden mit Erdgas-Wärmepumpen

$$\text{MAXIGWP1} \quad -A_{350} \text{CP5F1A1} + B_{350} \text{IP5F1A1} \leq 0$$

$$\text{MAXIGWP2} \quad -A_{351} \text{CP5F1A2} + B_{351} \text{IP5F1A2} \leq 0$$

$$\text{MAXIGWP3} \quad -A_{352} \text{CP5F1A3} + B_{352} \text{IP5F1A3} \leq 0$$

Deckung des Prozeßwärmebedarfs durch Erdgas in den Gebieten, die mit Erdgaswärmepumpen versorgt werden

$$\text{PRØGW P1} \quad A_{353} \text{CP5F1A1} + B_{353} \text{IP5F1A1} - \text{CP5F11} \leq 0$$

$$\text{PRØGW P2} \quad A_{354} \text{CP5F1A2} + B_{354} \text{IP5F1A2} - \text{CP5F12} \leq 0$$

$$\text{PRØGW P3} \quad A_{355} \text{CP5F1A3} + B_{355} \text{IP5F1A3} - \text{CP5F13} \leq 0$$

Analog zu Restriktionen 67-69, für dezentrale Versorgung

$$HTSTAT1E \quad A_{356} \quad XS1955CE - B_{356} \quad CS19SNCE \leq 0$$

$$HTSTAT2E \quad A_{357} \quad XS19511CE - B_{357} \quad CS19SNCE \leq 0$$

$$HTSTAT3E \quad A_{358} \quad XS19517CE - B_{358} \quad CS19SNCE \leq 0$$

Analog zu Restriktionen 244-246, für dezentrale Versorgung

$$HTSTA1AE \quad A_{359} \quad XP555CE - B_{359} \quad CP5SNCE \leq 0$$

$$HTSTA2AE \quad A_{360} \quad XP5511CE - B_{360} \quad CP5SNCE \leq 0$$

$$HTSTA3AE \quad A_{361} \quad XP5517CE - B_{361} \quad CP5SNCE \leq 0$$

4. Ein- und Ausgabeprotokoll für einen Optimierungslauf

Aus Gründen der Rechengenauigkeit werden die Nebenbedingungen im Programm MATAUF (s. Abschn. 1.3) so umformuliert, daß die Fluß- und Isoliervariablen die Einheit 10^7 MWh und die Kapazitätsvariablen die Einheit 10^4 MW haben. Die Attributwerte werden in den folgenden Einheiten ausgedruckt:

Kosten	10^9 DM/a
SO ₂	10 µg/m ³
Staub	10 µg/m ³
NO _x	10 µg/m ³
CO	10 µg/m ³
CO ₂	10 ppm/a
Radioaktivität	mrem/a
Verdunstung	m ³ /sec
Landschaftsverbrauch	10^{-2} %
Unfallträchtigkeit	10^3 Tote/a
Vielfältigkeit	dimensionslos
reziproker Wirkungsgrad	dimensionslos
Importabhängigkeit	dimensionslos
Vorratshaltung	10^8 DM/a

Maximiert wird die additive Näherung der Nutzenfunktion, die in Teil II im Detail diskutiert wurde.

E I N G A B E

=====

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

NAME	BA_WUE		
ROWS			
L HTDEMND	L IICOIN2	L POWHTO2	
E PIRATHT	L IICOIN3	L POWHTO3	
E IBRATHT	L PICOIN1	L POWHTO4	
E CCPKHT1	L PICOIN2	L POWHTO5	
E CCPKHT2	L PICOIN3	L POWHTO6	
E CCIMHT1	L BBCOIN1	L POWHTO7	
E CCIMHT2	L BBCOIN2	L POWHTO8	
E CCBSHT1	L BBCOIN3	L POWHTO9	
E CCBSHT2	L IBCOIN1	L POWOIL1	
L HOMHTLD	L IBCOIN2	L POWOIL2	
L HTTRALD	L IBCOIN3	L POWOIL3	
L ELDEMND	L PBCOIN1	L POWOIL4	
E PIRATEL	L PBCOIN2	L POWOIL5	
E IBRATEL	L PBCOIN3	L POWOIL6	
E CCPKEL1	L HTSTAT1	L POWOIL7	
E CCPKEL2	L HTSTAT2	L POWOIL8	
E CCIMEL1	L HTSTAT3	L POWOIL9	
E CCIMEL2	L POWHTC1	L TRANSPRT	
E CCBSEL1	L POWHTC2	L HOILBAL	
E CCBSEL2	L POWHTC3	L LOILBAL	
L ELTRANS	L POWHTC4	L GASBAL	
L PKHTBAL1	L POWHTC5	E LHFRACTION	
L PKHTBAL2	L POWHTC6	E LGFRAC	
L PKHTBAL3	L POWHTC7	L LLCRACK	
L PKELBAL1	L POWHTC8	L UPCRACK	
L PKELBAL2	L POWHTC9	L REFINELD	
L PKELBAL3	L POWLC1	L CRACKLD	
L IMHTBAL1	L POWLC2	L INDUSDMO	
L IMHTBAL2	L POWLC3	L STATION1	
L IMHTBAL3	L POWLC4	L STATION2	
L IMELBAL1	L POWLC5	L STATION3	
L IMELBAL2	L POWLC6	L GASHTLD	
L IMELBAL3	L POWLC7	L BPCOIN5	
L BSHTBAL1	L POWLC8	L IPCOIN5	
L BSHTBAL2	L POWLC9	L PPCOIN5	
L BSHTBAL3	L POWHTNE1	L BICOIN5	
L BSELBAL1	L POWHTNE2	L IICOIN5	
L BSELBAL2	L POWHTNE3	L PICOIN5	
L BSELBAL3	L POWHTNE4	L BBCOIN5	
L BPCOIN1	L POWHTNE5	L IBCOIN5	
L BPCOIN2	L POWHTNE6	L PBCOIN5	
L BPCOIN3	L POWHTNE7	L POWHTG1	
L IPCOIN1	L POWHTNE8	L POWHTG2	
L IPCOIN2	L POWHTNE9	L POWHTG3	
L IPCOIN3	L POWLNE1	L POWHTG4	
L PPCOIN1	L POWLNE2	L POWHTG5	
L PPCOIN2	L POWLNE3	L POWHTG6	
L PPCOIN3	L POWLNE4	L POWHTG7	
L BICOIN1	L POWLNE5	L POWHTG8	
L BICOIN2	L POWLNE6	L POWHTG9	
L BICOIN3	L POWLNE7	L POWLDG1	
L IICOIN1	L POWLNE8	L POWLDG2	
	L POWLNE9	L POWLDG3	
	L POWHTO1	L POWLDG4	

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

L	POWLDG5	L	BPCOIN5E	L	CSE1612
L	POWLDG6	L	IPCOIN5E	L	CSE1618
L	POWLDG7	L	PPCOIN5E	L	CPSUP1
L	POWLDG8	L	BICOIN5E	L	CPSUP2
L	POWLDG9	L	IICOIN5E	L	CPSUP3
L	EXCL1	L	PICOIN5E	L	CPSUP4
L	EXCL2	L	BBCOIN5E	L	CPSUP5
L	EXCL3	L	IBCOIN5E	L	CPSUP6
L	POWHTC1E	L	PBCOIN5E	L	CPSUP7
L	POWHTC2E	L	PKHTBA1E	L	CPSUP8
L	POWHTC3E	L	PKHTBA2E	L	CPSDI1
L	POWHTC4E	L	PKHTBA3E	L	CPSDI2
L	POWHTC5E	L	IMHTBA1E	L	CPSDI3
L	POWHTC6E	L	IMHTBA2E	L	CPSDI4
L	POWHTC7E	L	IMHTBA3E	L	CPSDI5
L	POWHTC8E	L	BSHTBA1E	L	CPSDI6
L	POWHTC9E	L	BSHTBA2E	L	CPSDI7
L	POWHTO1E	L	BSHTBA3E	L	CPSDI8
L	POWHTO2E	E	PIRATHTE	L	KAFELNS
L	POWHTO3E	E	IBRATHTE	E	KAFELDH
L	POWHTO4E	E	CCPKHT1E	L	KAFWPDH
L	POWHTO5E	E	CCPKHT2E	L	KAFWPNS
L	POWHTO6E	E	CCIMHT1E	E	KAFWPDZE
L	POWHTO7E	E	CCIMHT2E	E	KAFWPNZE
L	POWHTO8E	E	CCBSHT1E	L	KAFWPZO
L	POWHTO9E	E	CCBSHT2E	L	KAFSOL
L	POWHTG1E	L	COR1TO2	L	KAFGWP
L	POWHTG2E	L	COR2TO3	E	WWHTEL
L	POWHTG3E	L	COR1TO2E	E	WWHTWPD
L	POWHTG4E	L	HTSTAT1A	E	WWHTWPN
L	POWHTG5E	L	HTSTAT2A	E	WWHTSOL
L	POWHTG6E	L	HTSTAT3A	E	WWHTSOLO
L	POWHTG7E	L	RESERVE1	E	WWHTGWP
L	POWHTG8E	L	RESERVE2	L	ZHTWPD1
L	POWHTG9E	L	LKWVERKR	L	ZHTWPD2
L	HTTRALDE	E	SUMFW	L	ZHTWPD3
L	BPCOIN1E	L	POWLB1	L	ZHTWPN1
L	BPCOIN3E	L	POWLB2	L	ZHTWPN2
L	IPCOIN1E	L	POWLB3	L	ZHTWPN3
L	IPCOIN3E	L	POWLB4	E	ZHTWP1
L	PPCOIN1E	L	POWLB5	E	ZHTWP2
L	PPCOIN3E	L	POWLB6	E	ZHTWP3
L	BICOIN1E	L	POWLB7	E	SGLOEL
L	BICOIN3E	L	POWLB8	L	ECGRID11
L	IICOIN1E	L	POWLB9	L	ECGRID12
L	IICOIN3E	E	DEC14	L	ECGRID21
L	PICOIN1E	L	CSE142	L	ECGRID22
L	PICOIN3E	L	CSE144	L	ECGRID31
L	BBCOIN1E	L	CSE148	L	ECGRID32
L	BBCOIN3E	L	CSE1410	L	MAXWP1
L	IBCOIN1E	L	CSE1416	L	MAXWP2
L	IBCOIN3E	E	DEC16	L	MAXWP3
L	PBCOIN1E	L	CSE166	L	MAXSOL1
L	PBCOIN3E	L	CSE1614	L	MAXSOL2

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

L	MAXSOL3	L	BXS20F41	L	BST2
L	MAXIFW1	L	BXELF11	L	BST3
L	MAXIFW2	L	BXP7F81	L	BST4
L	MAXIFW3	E	KOSTEN	L	BNOX1
L	MAXIFW2E	E	ZS02	L	BNOX2
L	MAXIFW3E	E	ZFS	L	BNOX3
L	MAXIG1	E	ZNOX	L	BNOX4
L	MAXIG2	E	ZCO	L	BCOS1
L	MAXIG3	E	ZRAD	L	BCOS2
L	MAXIO1	E	ZUNF	L	BCOS3
L	MAXIO2	E	ZCO2	L	BCOS4
L	MAXIO3	E	ZVV	L	BRB1
L	MAXIELN1	E	ZLAND	L	BRB2
L	MAXIELN2	E	ZVIFI	L	BRB3
L	MAXIELN3	E	ZEFF	L	BRB4
L	MAXIELD1	E	ZIMP	L	BUNF1
L	MAXIELD2	E	ZVOR	L	BUNF2
L	MAXIELD3	E	GRIDNF1	L	BUNF3
L	MAXIWPD1	E	GRIDNF2	L	BUNF4
L	MAXIWPD2	E	GRIDNF3	L	BCO21
L	MAXIWPD3	E	GRIDNF4	L	BCO22
L	MAXIWPN1	E	GRIDNF5	L	BCO23
L	MAXIWPN2	E	GRIDNF6	L	BCO24
L	MAXIWPN3	E	GRIDNF7	L	BVD1
L	MAXISOL1	E	GRIDNF8	L	BVD2
L	MAXISOL2	E	GRIDNF9	L	BVD3
L	MAXISOL3	E	GRIDNF10	L	BVD4
L	MAXIGWP1	E	GRIDNF11	L	BLAND1
L	MAXIGWP2	E	GRIDNF12	L	BLAND2
L	MAXIGWP3	E	GRIDNF13	L	BLAND3
L	PROGWP1	E	GRIDNF14	L	BLAND4
L	PROGWP2	E	NF1	L	BVIFA1
L	PROGWP3	E	NF2	L	BVIFA2
L	HTSTAT1E	E	NF3	L	BVIFA3
L	HTSTAT2E	E	NF4	L	BVIFA4
L	HTSTAT3E	E	NF5	L	BEFF1
L	HTSTA1AE	E	NF6	L	BEFF2
L	HTSTA2AE	E	NF7	L	BEFF3
L	HTSTA3AE	E	NF8	L	BEFF4
E	GRIDVIA	E	NF9	L	BIMP1
E	GRIDVIB	E	NF10	L	BIMP2
E	GRIDVIC	E	NF11	L	BIMP3
E	GRIDVI4	E	NF12	L	BIMP4
E	GRIDVI5	E	NF13	L	BVOR1
E	GRIDVI6	E	NF14	L	BVOR2
E	GRIDVI7	L	BKS1	L	BVOR3
E	GRIDVID	L	BKS2	L	BVOR4
E	GRIDVIE	L	BKS3	N	GNF
L	BXSOF11	L	BKS4		
L	BXS20F11	L	BSO21		
L	BXP5F11	L	BSO22		
L	BXS20F31	L	BSO23		
L	BXS21F31	L	BSO24		
L	BXS19F41	L	BST1		

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE (GR)

COLUMNS

XP1S2A	PKELBAL1	-	.38219	POWLC1	.38219	
XP1S2A	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912	
XP1S2A	ZFS		.00375	ZNOX	.07493	
XP1S2A	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400	
XP1S2A	ZVV		.24373	ZEFF	.03704	
XP1S4A	PKELBAL2	-	.38219	POWLC2	.38219	
XP1S4A	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912	
XP1S4A	ZFS		.00375	ZNOX	.07493	
XP1S4A	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400	
XP1S4A	ZVV		.24373	ZEFF	.03704	
XP1S6A	PKELBAL3	-	.38219	POWLC3	.38219	
XP1S6A	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912	
XP1S6A	ZFS		.00375	ZNOX	.07493	
XP1S6A	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400	
XP1S6A	ZVV		.24373	ZEFF	.03704	
XP1S8A	IMELBAL1	-	.38219	POWLC4	.38219	
XP1S8A	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912	
XP1S8A	ZFS		.00375	ZNOX	.07493	
XP1S8A	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400	
XP1S8A	ZVV		.24373	ZEFF	.03704	
XP1S10A	IMELBAL2	-	.38219	POWLC5	.38219	
XP1S10A	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912	
XP1S10A	ZFS		.00375	ZNOX	.07493	
XP1S10A	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400	
XP1S10A	ZVV		.24373	ZEFF	.03704	
XP1S12A	IMELBAL3	-	.38219	POWLC6	.38219	
XP1S12A	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912	
XP1S12A	ZFS		.00375	ZNOX	.07493	
XP1S12A	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400	
XP1S12A	ZVV		.24373	ZEFF	.03704	
XP1S14A	BSELBAL1	-	.38219	POWLC7	.38219	
XP1S14A	DEC14		.38219	KOSTEN	.21000	
XP1S14A	ZSO2		.15912	ZFS	.00375	
XP1S14A	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225	
XP1S14A	ZCO2		.19400	ZVV	.24373	
XP1S14A	ZEFF		.03704			
XP1S16A	BSELBAL2	-	.38219	POWLC8	.38219	
XP1S16A	DEC16		.38219	KOSTEN	.21000	
XP1S16A	ZSO2		.15912	ZFS	.00375	
XP1S16A	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225	
XP1S16A	ZCO2		.19400	ZVV	.24373	
XP1S16A	ZEFF		.03704			
XP1S18A	BSELBAL3	-	.38219	POWLC9	.38219	
XP1S18A	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912	
XP1S18A	ZFS		.00375	ZNOX	.07493	
XP1S18A	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400	
XP1S18A	ZVV		.24373	ZEFF	.03704	
CP1SNA	POWLC1	-	.11284	POWLC2	-	.33903
CP1SNA	POWLC3	-	.74798	POWLC4	-	1.75974
CP1SNA	POWLC5	-	.99961	POWLC6	-	.04011
CP1SNA	POWLC7	-	1.93589	POWLC8	-	1.06066
CP1SNA	POWLC9	-	.01211	DEC14	-	1.93589
CP1SNA	DEC16	-	1.06066	KOSTEN		2.60000
CP1SNA	ZLAND		.28000			
XP1S1	BSHTBAL1	-	2.38870	BPCOIN1		2.87500
XP1S1	POWHTC1		.38219	KOSTEN		.21000
XP1S1	ZSO2		.15912	ZFS		.00375
XP1S1	ZNOX		.07493	ZUNF		.00225
XP1S1	ZCO2		.19400	ZVV	-	.70071

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP1S1	ZEFF		.03704		
XP1S3	IMHTBAL1	-	2.38870	IPCOINI	2.87500
XP1S3	POWHTC2		.38219	KOSTEN	.21000
XP1S3	ZSO2		.15912	ZFS	.00375
XP1S3	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225
XP1S3	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S3	ZEFF		.03704		
XP1S5	PKHTBAL1	-	2.38870	PPCOINI	2.87500
XP1S5	POWHTC3		.38219	KOSTEN	.21000
XP1S5	ZSO2		.15912	ZFS	.00375
XP1S5	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225
XP1S5	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S5	ZEFF		.03704		
XP1S7	BSHTBAL2	-	2.38870	BICOINI	2.87500
XP1S7	POWHTC4		.38219	KOSTEN	.21000
XP1S7	ZSO2		.15912	ZFS	.00375
XP1S7	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225
XP1S7	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S7	ZEFF		.03704		
XP1S9	IMHTBAL2	-	2.38870	IICOINI	2.87500
XP1S9	POWHTC5		.38219	KOSTEN	.21000
XP1S9	ZSO2		.15912	ZFS	.00375
XP1S9	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225
XP1S9	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S9	ZEFF		.03704		
XP1S11	PKHTBAL2	-	2.38870	PICOINI	2.87500
XP1S11	POWHTC6		.38219	KOSTEN	.21000
XP1S11	ZSO2		.15912	ZFS	.00375
XP1S11	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225
XP1S11	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S11	ZEFF		.03704		
XP1S13	BSHTBAL3	-	2.38870	BBCOINI	2.87500
XP1S13	POWHTC7		.38219	DEC14	.38219
XP1S13	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912
XP1S13	ZFS		.00375	ZNOX	.07493
XP1S13	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400
XP1S13	ZVV	-	.70071	ZEFF	.03704
XP1S15	IMHTBAL3	-	2.38870	IBCOINI	2.87500
XP1S15	POWHTC8		.38219	DEC16	.38219
XP1S15	KOSTEN		.21000	ZSO2	.15912
XP1S15	ZFS		.00375	ZNOX	.07493
XP1S15	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400
XP1S15	ZVV	-	.70071	ZEFF	.03704
XP1S17	PKHTBAL3	-	2.38870	PBCOINI	2.87500
XP1S17	POWHTC9		.38219	KOSTEN	.21000
XP1S17	ZSO2		.15912	ZFS	.00375
XP1S17	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225
XP1S17	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S17	ZEFF		.03704		
XP1S2B	PKELBAL1	-	.38219	BPCOINI	- 1.00000
XP1S2B	POWHTC1		.38219	KOSTEN	.21000
XP1S2B	ZSO2		.15912	ZFS	.00375
XP1S2B	ZNOX		.07493	ZUNF	.00225
XP1S2B	ZCO2		.19400	ZVV	.24373

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP1S2B	ZEFF		.03704				
XP1S4B	PKELBAL2	-	.38219	IPCOIN1	-	1.00000	
XP1S4B	POWHTC2		.38219	KOSTEN		.21000	
XP1S4B	ZSO2		.15912	ZFS		.00375	
XP1S4B	ZNOX		.07493	ZUNF		.00225	
XP1S4B	ZCO2		.19400	ZVV		.24373	
XP1S4B	ZEFF		.03704				
XP1S6B	PKELBAL3	-	.38219	PPCOIN1	-	1.00000	
XP1S6B	POWHTC3		.38219	KOSTEN		.21000	
XP1S6B	ZSO2		.15912	ZFS		.00375	
XP1S6B	ZNOX		.07493	ZUNF		.00225	
XP1S6B	ZCO2		.19400	ZVV		.24373	
XP1S6B	ZEFF		.03704				
XP1S8B	IMELBAL1	-	.38219	BICOIN1	-	1.00000	
XP1S8B	POWHTC4		.38219	KOSTEN		.21000	
XP1S8B	ZSO2		.15912	ZFS		.00375	
XP1S8B	ZNOX		.07493	ZUNF		.00225	
XP1S8B	ZCO2		.19400	ZVV		.24373	
XP1S8B	ZEFF		.03704				
XP1S10B	IMELBAL2	-	.38219	IICOIN1	-	1.00000	
XP1S10B	POWHTC5		.38219	KOSTEN		.21000	
XP1S10B	ZSO2		.15912	ZFS		.00375	
XP1S10B	ZNOX		.07493	ZUNF		.00225	
XP1S10B	ZCO2		.19400	ZVV		.24373	
XP1S10B	ZEFF		.03704				
XP1S12B	IMELBAL3	-	.38219	PICOIN1	-	1.00000	
XP1S12B	POWHTC6		.38219	KOSTEN		.21000	
XP1S12B	ZSO2		.15912	ZFS		.00375	
XP1S12B	ZNOX		.07493	ZUNF		.00225	
XP1S12B	ZCO2		.19400	ZVV		.24373	
XP1S12B	ZEFF		.03704				
XP1S14B	BSELBAL1	-	.38219	BBCOIN1	-	1.00000	
XP1S14B	POWHTC7		.38219	DEC14		.38219	
XP1S14B	KOSTEN		.21000	ZSO2		.15912	
XP1S14B	ZFS		.00375	ZNOX		.07493	
XP1S14B	ZUNF		.00225	ZCO2		.19400	
XP1S14B	ZVV		.24373	ZEFF		.03704	
XP1S16B	BSELBAL2	-	.38219	IBCOIN1	-	1.00000	
XP1S16B	POWHTC8		.38219	DEC16		.38219	
XP1S16B	KOSTEN		.21000	ZSO2		.15912	
XP1S16B	ZFS		.00375	ZNOX		.07493	
XP1S16B	ZUNF		.00225	ZCO2		.19400	
XP1S16B	ZVV		.24373	ZEFF		.03704	
XP1S18B	BSELBAL3	-	.38219	PBCOIN1	-	1.00000	
XP1S18B	POWHTC9		.38219	KOSTEN		.21000	
XP1S18B	ZSO2		.15912	ZFS		.00375	
XP1S18B	ZNOX		.07493	ZUNF		.00225	
XP1S18B	ZCO2		.19400	ZVV		.24373	
XP1S18B	ZEFF		.03704				
CP1SNB	POWHTC1	-	.11284	POWHTC2	-	.33903	
CP1SNB	POWHTC3	-	.74798	POWHTC4	-	1.75974	
CP1SNB	POWHTC5	-	.99961	POWHTC6	-	.04011	
CP1SNB	POWHTC7	-	1.93589	POWHTC8	-	1.06066	
CP1SNB	POWHTC9	-	.01211	DEC14	-	1.93589	

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

CP1SNB	DEC16	-	1.06066	KOSTEN	2.80000
CP1SNB	ZLAND		.28000		
XP1S1E	POWHTC1E		.35753	BPCOIN1E	3.83333
XP1S1E	BSHTBA1E	-	2.97945	KOSTEN	.20000
XP1S1E	ZSO2		.39312	ZFS	.06744
XP1S1E	ZNOX		.13113	ZUNF	.00225
XP1S1E	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S1E	ZEFF		.03704		
XP1S3E	POWHTC2E		.35753	IPCOIN1E	3.83333
XP1S3E	IMHTBA1E	-	2.97945	KOSTEN	.20000
XP1S3E	ZSO2		.39312	ZFS	.06744
XP1S3E	ZNOX		.13113	ZUNF	.00225
XP1S3E	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S3E	ZEFF		.03704		
XP1S5E	POWHTC3E		.35753	PPCOIN1E	3.83333
XP1S5E	PKHTBA1E	-	2.97945	KOSTEN	.20000
XP1S5E	ZSO2		.39312	ZFS	.06744
XP1S5E	ZNOX		.13113	ZUNF	.00225
XP1S5E	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S5E	ZEFF		.03704		
XP1S7E	POWHTC4E		.35753	BICOIN1E	3.83333
XP1S7E	BSHTBA2E	-	2.97945	KOSTEN	.20000
XP1S7E	ZSO2		.39312	ZFS	.06744
XP1S7E	ZNOX		.13113	ZUNF	.00225
XP1S7E	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S7E	ZEFF		.03704		
XP1S9E	POWHTC5E		.35753	IICOIN1E	3.83333
XP1S9E	IMHTBA2E	-	2.97945	KOSTEN	.20000
XP1S9E	ZSO2		.39312	ZFS	.06744
XP1S9E	ZNOX		.13113	ZUNF	.00225
XP1S9E	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S9E	ZEFF		.03704		
XP1S11E	POWHTC6E		.35753	PICOIN1E	3.83333
XP1S11E	PKHTBA2E	-	2.97945	KOSTEN	.20000
XP1S11E	ZSO2		.39312	ZFS	.06744
XP1S11E	ZNOX		.13113	ZUNF	.00225
XP1S11E	ZCO2		.19400	ZVV	- .70071
XP1S11E	ZEFF		.03704		
XP1S13E	POWHTC7E		.35753	BBCOIN1E	3.83333
XP1S13E	BSHTBA3E	-	2.97945	DEC14	.35753
XP1S13E	KOSTEN		.20000	ZSO2	.39312
XP1S13E	ZFS		.06744	ZNOX	.13113
XP1S13E	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400
XP1S13E	ZVV	-	.70071	ZEFF	.03704
XP1S15E	POWHTC8E		.35753	IBCOIN1E	3.83333
XP1S15E	IMHTBA3E	-	2.97945	DEC16	.35753
XP1S15E	KOSTEN		.20000	ZSO2	.39312
XP1S15E	ZFS		.06744	ZNOX	.13113
XP1S15E	ZUNF		.00225	ZCO2	.19400
XP1S15E	ZVV	-	.70071	ZEFF	.03704
XP1S17E	POWHTC9E		.35753	PBCOIN1E	3.83333
XP1S17E	PKHTBA3E	-	2.97945	KOSTEN	.20000
XP1S17E	ZSO2		.39312	ZFS	.06744
XP1S17E	ZNOX		.13113	ZUNF	.00225

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP1S17E	ZCO2		.19400	ZVV	-	.70071
XP1S17E	ZEFF		.03704			
XP1S2E	PKELBAL1	-	.35753	POWHTC1E		.35753
XP1S2E	BPCOIN1E	-	1.00000	KOSTEN		.20000
XP1S2E	ZSO2		.39312	ZFS		.06744
XP1S2E	ZNOX		.13113	ZUNF		.00225
XP1S2E	ZCO2		.19400	ZVV		.24373
XP1S2E	ZEFF		.03704			
XP1S4E	PKELBAL2	-	.35753	POWHTC2E		.35753
XP1S4E	IPCOIN1E	-	1.00000	KOSTEN		.20000
XP1S4E	ZSO2		.39312	ZFS		.06744
XP1S4E	ZNOX		.13113	ZUNF		.00225
XP1S4E	ZCO2		.19400	ZVV		.24373
XP1S4E	ZEFF		.03704			
XP1S6E	PKELBAL3	-	.35753	POWHTC3E		.35753
XP1S6E	PPCOIN1E	-	1.00000	KOSTEN		.20000
XP1S6E	ZSO2		.39312	ZFS		.06744
XP1S6E	ZNOX		.13113	ZUNF		.00225
XP1S6E	ZCO2		.19400	ZVV		.24373
XP1S6E	ZEFF		.03704			
XP1S8E	IMELBAL1	-	.35753	POWHTC4E		.35753
XP1S8E	BICOIN1E	-	1.00000	KOSTEN		.20000
XP1S8E	ZSO2		.39312	ZFS		.06744
XP1S8E	ZNOX		.13113	ZUNF		.00225
XP1S8E	ZCO2		.19400	ZVV		.24373
XP1S8E	ZEFF		.03704			
XP1S10E	IMELBAL2	-	.35753	POWHTC5E		.35753
XP1S10E	IICOIN1E	-	1.00000	KOSTEN		.20000
XP1S10E	ZSO2		.39312	ZFS		.06744
XP1S10E	ZNOX		.13113	ZUNF		.00225
XP1S10E	ZCO2		.19400	ZVV		.24373
XP1S10E	ZEFF		.03704			
XP1S12E	IMELBAL3	-	.35753	POWHTC6E		.35753
XP1S12E	PICOIN1E	-	1.00000	KOSTEN		.20000
XP1S12E	ZSO2		.39312	ZFS		.06744
XP1S12E	ZNOX		.13113	ZUNF		.00225
XP1S12E	ZCO2		.19400	ZVV		.24373
XP1S12E	ZEFF		.03704			
XP1S14E	BSELBAL1	-	.35753	POWHTC7E		.35753
XP1S14E	BBCOIN1E	-	1.00000	DEC14		.35753
XP1S14E	KOSTEN		.20000	ZSO2		.39312
XP1S14E	ZFS		.06744	ZNOX		.13113
XP1S14E	ZUNF		.00225	ZCO2		.19400
XP1S14E	ZVV		.24373	ZEFF		.03704
XP1S16E	BSELBAL2	-	.35753	POWHTC8E		.35753
XP1S16E	IBCOIN1E	-	1.00000	DEC16		.35753
XP1S16E	KOSTEN		.20000	ZSO2		.39312
XP1S16E	ZFS		.06744	ZNOX		.13113
XP1S16E	ZUNF		.00225	ZCO2		.19400
XP1S16E	ZVV		.24373	ZEFF		.03704
XP1S18E	BSELBAL3	-	.35753	POWHTC9E		.35753
XP1S18E	PBCOIN1E	-	1.00000	KOSTEN		.20000
XP1S18E	ZSO2		.39312	ZFS		.06744
XP1S18E	ZNOX		.13113	ZUNF		.00225

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP1S18E	ZCO2		.19400	ZVV		.24373
XP1S18E	ZEFF		.03704			
CP1SNE	POWHTC1E	-	.11284	POWHTC2E	-	.33903
CP1SNE	POWHTC3E	-	.74798	POWHTC4E	-	1.75974
CP1SNE	POWHTC5E	-	.99961	POWHTC6E	-	.04011
CP1SNE	POWHTC7E	-	1.93589	POWHTC8E	-	1.06066
CP1SNE	POWHTC9E	-	.01211	DEC14	-	1.93589
CP1SNE	DEC16	-	1.06066	KOSTEN		2.80000
CP1SNE	ZLAND		.28000			
XP2S2A	PKELBAL1	-	.33106	POWLNE1		.33106
XP2S2A	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390
XP2S2A	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
XP2S4A	PKELBAL2	-	.33106	POWLNE2		.33106
XP2S4A	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390
XP2S4A	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
XP2S6A	PKELBAL3	-	.33106	POWLNE3		.33106
XP2S6A	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390
XP2S6A	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
XP2S8A	IMELBAL1	-	.33106	POWLNE4		.33106
XP2S8A	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390
XP2S8A	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
XP2S10A	IMELBAL2	-	.33106	POWLNE5		.33106
XP2S10A	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390
XP2S10A	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
XP2S12A	IMELBAL3	-	.33106	POWLNE6		.33106
XP2S12A	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390
XP2S12A	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
XP2S14A	BSELBAL1	-	.33106	POWLNE7		.33106
XP2S14A	DEC14		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S14A	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S14A	ZIMP		.01165			
XP2S16A	BSELBAL2	-	.33106	POWLNE8		.33106
XP2S16A	DEC16		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S16A	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S16A	ZIMP		.01165			
XP2S18A	BSELBAL3	-	.33106	POWLNE9		.33106
XP2S18A	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390
XP2S18A	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
CP2SNA	POWLNE1	-	.11284	POWLNE2	-	.33903
CP2SNA	POWLNE3	-	.74798	POWLNE4	-	1.75974
CP2SNA	POWLNE5	-	.99961	POWLNE6	-	.04011
CP2SNA	POWLNE7	-	1.93589	POWLNE8	-	1.06066
CP2SNA	POWLNE9	-	.01211	DEC14	-	1.93589
CP2SNA	DEC16	-	1.06066	KOSTEN		3.00000
CP2SNA	ZRAD		.24100	ZLAND		.28000
XP2S1	BSHTBAL1	-	2.36472	BPCOIN2		2.28571
XP2S1	POWHTNE1		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S1	ZVV	-	.60319	ZEFF		.03704
XP2S1	ZIMP		.07182			
XP2S3	IMHTBAL1	-	2.36472	IPCOIN2		2.28571
XP2S3	POWHTNE2		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S3	ZVV	-	.60319	ZEFF		.03704
XP2S3	ZIMP		.07182			
XP2S5	PKHTBAL1	-	2.36472	PPCOIN2		2.28571

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP2S5	POWHTNE3		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S5	ZVV	-	.60319	ZEFF		.03704
XP2S5	ZIMP		.07182			
XP2S7	BSHTBAL2	-	2.36472	BICOIN2		2.28571
XP2S7	POWHTNE4		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S7	ZVV	-	.60319	ZEFF		.03704
XP2S7	ZIMP		.07182			
XP2S9	IMHTBAL2	-	2.36472	IICOIN2		2.28571
XP2S9	POWHTNE5		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S9	ZVV	-	.60319	ZEFF		.03704
XP2S9	ZIMP		.07182			
XP2S11	PKHTBAL2	-	2.36472	PICOIN2		2.28571
XP2S11	POWHTNE6		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S11	ZVV	-	.60319	ZEFF		.03704
XP2S11	ZIMP		.07182			
XP2S13	BSHTBAL3	-	2.36472	BBCOIN2		2.28571
XP2S13	POWHTNE7		.33106	DEC14		.33106
XP2S13	KOSTEN		.05000	ZVV	-	.60319
XP2S13	ZEFF		.03704	ZIMP		.07182
XP2S15	IMHTBAL3	-	2.36472	IBCOIN2		2.28571
XP2S15	POWHTNE8		.33106	DEC16		.33106
XP2S15	KOSTEN		.05000	ZVV	-	.60319
XP2S15	ZEFF		.03704	ZIMP		.07182
XP2S17	PKHTBAL3	-	2.36472	PBCOIN2		2.28571
XP2S17	POWHTNE9		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S17	ZVV	-	.60319	ZEFF		.03704
XP2S17	ZIMP		.07182			
XP2S2B	PKELBAL1	-	.33106	BPCOIN2	-	1.00000
XP2S2B	POWHTNE1		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S2B	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S2B	ZIMP		.01165			
XP2S4B	PKELBAL2	-	.33106	IPCOIN2	-	1.00000
XP2S4B	POWHTNE2		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S4B	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S4B	ZIMP		.01165			
XP2S6B	PKELBAL3	-	.33106	PPCOIN2	-	1.00000
XP2S6B	POWHTNE3		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S6B	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S6B	ZIMP		.01165			
XP2S8B	IMELBAL1	-	.33106	BICOIN2	-	1.00000
XP2S8B	POWHTNE4		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S8B	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S8B	ZIMP		.01165			
XP2S10B	IMELBAL2	-	.33106	IICOIN2	-	1.00000
XP2S10B	POWHTNE5		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S10B	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S10B	ZIMP		.01165			
XP2S12B	IMELBAL3	-	.33106	PICOIN2	-	1.00000
XP2S12B	POWHTNE6		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S12B	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S12B	ZIMP		.01165			
XP2S14B	BSELBAL1	-	.33106	BBCOIN2	-	1.00000
XP2S14B	POWHTNE7		.33106	DEC14		.33106
XP2S14B	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE (GR)

XP2S14B	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
XP2S16B	BSELBAL2	-	.33106	IBCOIN2	-	1.00000
XP2S16B	POWHTNE8		.33106	DEC16		.33106
XP2S16B	KOSTEN		.05000	ZVV		.26390
XP2S16B	ZEFF		.03704	ZIMP		.01165
XP2S18B	BSELBAL3	-	.33106	PBCOIN2	-	1.00000
XP2S18B	POWHTNE9		.33106	KOSTEN		.05000
XP2S18B	ZVV		.26390	ZEFF		.03704
XP2S18B	ZIMP		.01165			
CP2SNB	POWHTNE1	-	.11284	POWHTNE2	-	.33903
CP2SNB	POWHTNE3	-	.74798	POWHTNE4	-	1.75974
CP2SNB	POWHTNE5	-	.99961	POWHTNE6	-	.04011
CP2SNB	POWHTNE7	-	1.93589	POWHTNE8	-	1.06066
CP2SNB	POWHTNE9	-	.01211	DEC14	-	1.93589
CP2SNB	DEC16	-	1.06066	KOSTEN		3.45000
CP2SNB	ZRAD		.24100	ZLAND		.28000
XP5S2A	PKELBAL1	-	.40588	POWLDG1		.40588
XP5S2A	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S2A	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S2A	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S2A	ZVOR		.01200			
XP5S4A	PKELBAL2	-	.40588	POWLDG2		.40588
XP5S4A	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S4A	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S4A	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S4A	ZVOR		.01200			
XP5S6A	PKELBAL3	-	.40588	POWLDG3		.40588
XP5S6A	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S6A	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S6A	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S6A	ZVOR		.01200			
XP5S8A	IMELBAL1	-	.40588	POWLDG4		.40588
XP5S8A	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S8A	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S8A	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S8A	ZVOR		.01200			
XP5S10A	IMELBAL2	-	.40588	POWLDG5		.40588
XP5S10A	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S10A	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S10A	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S10A	ZVOR		.01200			
XP5S12A	IMELBAL3	-	.40588	POWLDG6		.40588
XP5S12A	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S12A	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S12A	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S12A	ZVOR		.01200			
XP5S14A	BSELBAL1	-	.40588	POWLDG7		.40588
XP5S14A	DEC14		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S14A	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S14A	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S14A	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200
XP5S16A	BSELBAL2	-	.40588	POWLDG8		.40588
XP5S16A	DEC16		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S16A	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP5S16A	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S16A	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200
XP5S18A	BSELBAL3	-	.40588	POWLDG9		.40588
XP5S18A	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S18A	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S18A	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S18A	ZVOR		.01200			
CP5SNA	POWLDG1	-	.11284	POWLDG2	-	.33903
CP5SNA	POWLDG3	-	.74798	POWLDG4	-	1.75974
CP5SNA	POWLDG5	-	.99961	POWLDG6	-	.04011
CP5SNA	POWLDG7	-	1.93589	POWLDG8	-	1.06066
CP5SNA	POWLDG9	-	.01211	DEC14	-	1.93589
CP5SNA	DEC16	-	1.06066	KOSTEN		1.94000
CP5SNA	ZLAND		.28000			
XP5S1	BSHTBAL1	-	2.53677	BPCOIN5		3.31250
XP5S1	POWHTG1		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S1	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S1	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S1	ZIMP		.03852	ZVOR		.01200
XP5S3	IMHTBAL1	-	2.53677	IPCOIN5		3.31250
XP5S3	POWHTG2		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S3	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S3	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S3	ZIMP		.03852	ZVOR		.01200
XP5S5B	PKHTBAL1	-	2.53677	PPCOIN5		3.31250
XP5S5B	POWHTG3		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S5B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S5B	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S5B	ZIMP		.03852	ZVOR		.01200
XP5S7	BSHTBAL2	-	2.53677	BICOIN5		3.31250
XP5S7	POWHTG4		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S7	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S7	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S7	ZIMP		.03852	ZVOR		.01200
XP5S9	IMHTBAL2	-	2.53677	IICOIN5		3.31250
XP5S9	POWHTG5		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S9	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S9	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S9	ZIMP		.03852	ZVOR		.01200
XP5S11B	PKHTBAL2	-	2.53677	PICOIN5		3.31250
XP5S11B	POWHTG6		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S11B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S11B	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S11B	ZIMP		.03852	ZVOR		.01200
XP5S13	BSHTBAL3	-	2.53677	BBCOIN5		3.31250
XP5S13	POWHTG7		.40588	DEC14		.40588
XP5S13	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S13	ZCO2		.13200	ZVV	-	.77638
XP5S13	ZEFF		.03704	ZIMP		.03852
XP5S13	ZVOR		.01200			
XP5S15	IMHTBAL3	-	2.53677	IBCOIN5		3.31250
XP5S15	POWHTG8		.40588	DEC16		.40588
XP5S15	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S15	ZCO2		.13200	ZVV	-	.77638

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP5S15	ZEFF		.03704	ZIMP		.03852
XP5S15	ZVOR		.01200			
XP5S17B	PKHTBAL3	-	2.53677	PBCOIN5		3.31250
XP5S17B	POWHTG9		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S17B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S17B	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S17B	ZIMP		.03852	ZVOR		.01200
XP5S2B	PKELBAL1	-	.40588	BPCOIN5	-	1.00000
XP5S2B	POWHTG1		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S2B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S2B	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S2B	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200
XP5S4B	PKELBAL2	-	.40588	IPCOIN5	-	1.00000
XP5S4B	POWHTG2		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S4B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S4B	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S4B	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200
XP5S6B	PKELBAL3	-	.40588	PPCOIN5	-	1.00000
XP5S6B	POWHTG3		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S6B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S6B	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S6B	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200
XP5S8B	IMELBAL1	-	.40588	BICOIN5	-	1.00000
XP5S8B	POWHTG4		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S8B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S8B	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S8B	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200
XP5S10B	IMELBAL2	-	.40588	IICOIN5	-	1.00000
XP5S10B	POWHTG5		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S10B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S10B	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S10B	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200
XP5S12B	IMELBAL3	-	.40588	PICOIN5	-	1.00000
XP5S12B	POWHTG6		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S12B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S12B	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S12B	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200
XP5S14B	BSELBAL1	-	.40588	BBCOIN5	-	1.00000
XP5S14B	POWHTG7		.40588	DEC14		.40588
XP5S14B	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S14B	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S14B	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S14B	ZVOR		.01200			
XP5S16B	BSELBAL2	-	.40588	IBCOIN5	-	1.00000
XP5S16B	POWHTG8		.40588	DEC16		.40588
XP5S16B	KOSTEN		.31500	ZNOX		.07493
XP5S16B	ZCO2		.13200	ZVV		.23438
XP5S16B	ZEFF		.03704	ZIMP		.00714
XP5S16B	ZVOR		.01200			
XP5S18B	BSELBAL3	-	.40588	PBCOIN5	-	1.00000
XP5S18B	POWHTG9		.40588	KOSTEN		.31500
XP5S18B	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S18B	ZVV		.23438	ZEFF		.03704
XP5S18B	ZIMP		.00714	ZVOR		.01200

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

CP5SNB	POWHTG1	-	.11284	POWHTG2	-	.33903
CP5SNB	POWHTG3	-	.74798	POWHTG4	-	1.75974
CP5SNB	POWHTG5	-	.99961	POWHTG6	-	.04011
CP5SNB	POWHTG7	-	1.93589	POWHTG8	-	1.06066
CP5SNB	POWHTG9	-	.01211	DEC14	-	1.93589
CP5SNB	DEC16	-	1.06066	KOSTEN		2.14000
CP5SNB	ZLAND		.28000			
XP5S5C	PKHTBAL1	-	.90000	STATION1	-	1.00000
XP5S5C	HTSTAT1A		.90000	KOSTEN		.31500
XP5S5C	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S5C	ZEFF		.03704	ZIMP		.01367
XP5S5C	ZVOR		.01200			
XP5S11C	PKHTBAL2	-	.90000	STATION2	-	1.00000
XP5S11C	HTSTAT2A		.90000	KOSTEN		.31500
XP5S11C	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S11C	ZEFF		.03704	ZIMP		.01367
XP5S11C	ZVOR		.01200			
XP5S17C	PKHTBAL3	-	.90000	STATION3	-	1.00000
XP5S17C	HTSTAT3A		.90000	KOSTEN		.31500
XP5S17C	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S17C	ZEFF		.03704	ZIMP		.01367
XP5S17C	ZVOR		.01200			
CP5SNC	HTSTAT1A	-	.74798	HTSTAT2A	-	.04011
CP5SNC	HTSTAT3A	-	.01211	RESERVE1	-	.65600
CP5SNC	KOSTEN		.13500	ZLAND		.12000
XP5S1E	POWHTG1E		.38235	BPCOIN5E		4.41667
XP5S1E	BSHTBA1E	-	3.18628	KOSTEN		.31500
XP5S1E	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S1E	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S1E	ZIMP		.04838	ZVOR		.01200
XP5S3E	POWHTG2E		.38235	IPCOIN5E		4.41667
XP5S3E	IMHTBA1E	-	3.18628	KOSTEN		.31500
XP5S3E	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S3E	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S3E	ZIMP		.04838	ZVOR		.01200
XP5S5E	POWHTG3E		.38235	PPCOIN5E		4.41667
XP5S5E	PKHTBA1E	-	3.18628	KOSTEN		.31500
XP5S5E	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S5E	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S5E	ZIMP		.04838	ZVOR		.01200
XP5S7E	POWHTG4E		.38235	BICOIN5E		4.41667
XP5S7E	BSHTBA2E	-	3.18628	KOSTEN		.31500
XP5S7E	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S7E	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S7E	ZIMP		.04838	ZVOR		.01200
XP5S9E	POWHTG5E		.38235	IICOIN5E		4.41667
XP5S9E	IMHTBA2E	-	3.18628	KOSTEN		.31500
XP5S9E	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S9E	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704
XP5S9E	ZIMP		.04838	ZVOR		.01200
XP5S11E	POWHTG6E		.38235	PICOIN5E		4.41667
XP5S11E	PKHTBA2E	-	3.18628	KOSTEN		.31500
XP5S11E	ZNOX		.07493	ZCO2		.13200
XP5S11E	ZVV	-	.77638	ZEFF		.03704

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP5S11E	ZIMP		.04838	ZVOR	.01200
XP5S13E	POWHTG7E		.38235	BBCOIN5E	4.41667
XP5S13E	BSHTBA3E	-	3.18628	DEC14	.38235
XP5S13E	KOSTEN		.31500	ZNOX	.07493
XP5S13E	ZCO2		.13200	ZVV	- .77638
XP5S13E	ZEFF		.03704	ZIMP	.04838
XP5S13E	ZVOR		.01200		
XP5S15E	POWHTG8E		.38235	IBCOIN5E	4.41667
XP5S15E	IMHTBA3E	-	3.18628	DEC16	.38235
XP5S15E	KOSTEN		.31500	ZNOX	.07493
XP5S15E	ZCO2		.13200	ZVV	- .77638
XP5S15E	ZEFF		.03704	ZIMP	.04838
XP5S15E	ZVOR		.01200		
XP5S17E	POWHTG9E		.38235	PBCOIN5E	4.41667
XP5S17E	PKHTBA3E	-	3.18628	KOSTEN	.31500
XP5S17E	ZNOX		.07493	ZCO2	.13200
XP5S17E	ZVV	-	.77638	ZEFF	.03704
XP5S17E	ZIMP		.04838	ZVOR	.01200
XP5S2E	PKELBAL1	-	.38235	POWHTG1E	.38235
XP5S2E	BPCOIN5E	-	1.00000	KOSTEN	.31500
XP5S2E	ZNOX		.07493	ZCO2	.13200
XP5S2E	ZVV		.23438	ZEFF	.03704
XP5S2E	ZIMP		.00673	ZVOR	.01200
XP5S4E	PKELBAL2	-	.38235	POWHTG2E	.38235
XP5S4E	IPCOIN5E	-	1.00000	KOSTEN	.31500
XP5S4E	ZNOX		.07493	ZCO2	.13200
XP5S4E	ZVV		.23438	ZEFF	.03704
XP5S4E	ZIMP		.00673	ZVOR	.01200
XP5S6E	PKELBAL3	-	.38235	POWHTG3E	.38235
XP5S6E	PPCOIN5E	-	1.00000	KOSTEN	.31500
XP5S6E	ZNOX		.07493	ZCO2	.13200
XP5S6E	ZVV		.23438	ZEFF	.03704
XP5S6E	ZIMP		.00673	ZVOR	.01200
XP5S8E	IMELBAL1	-	.38235	POWHTG4E	.38235
XP5S8E	BICOIN5E	-	1.00000	KOSTEN	.31500
XP5S8E	ZNOX		.07493	ZCO2	.13200
XP5S8E	ZVV		.23438	ZEFF	.03704
XP5S8E	ZIMP		.00673	ZVOR	.01200
XP5S10E	IMELBAL2	-	.38235	POWHTG5E	.38235
XP5S10E	IICOIN5E	-	1.00000	KOSTEN	.31500
XP5S10E	ZNOX		.07493	ZCO2	.13200
XP5S10E	ZVV		.23438	ZEFF	.03704
XP5S10E	ZIMP		.00673	ZVOR	.01200
XP5S12E	IMELBAL3	-	.38235	POWHTG6E	.38235
XP5S12E	PICOIN5E	-	1.00000	KOSTEN	.31500
XP5S12E	ZNOX		.07493	ZCO2	.13200
XP5S12E	ZVV		.23438	ZEFF	.03704
XP5S12E	ZIMP		.00673	ZVOR	.01200
XP5S14E	BSELBAL1	-	.38235	POWHTG7E	.38235
XP5S14E	BBCOIN5E	-	1.00000	DEC14	.38235
XP5S14E	KOSTEN		.31500	ZNOX	.07493
XP5S14E	ZCO2		.13200	ZVV	.23438
XP5S14E	ZEFF		.03704	ZIMP	.00673
XP5S14E	ZVOR		.01200		

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP5S16E	BSELBAL2	-	.38235	POWHTG8E	.38235
XP5S16E	IBCOIN5E	-	1.00000	DEC16	.38235
XP5S16E	KOSTEN		.31500	ZNOX	.07493
XP5S16E	ZCO2		.13200	ZVV	.23438
XP5S16E	ZEFF		.03704	ZIMP	.00673
XP5S16E	ZVOR		.01200		
XP5S18E	BSELBAL3	-	.38235	POWHTG9E	.38235
XP5S18E	PBCOIN5E	-	1.00000	KOSTEN	.31500
XP5S18E	ZNOX		.07493	ZCO2	.13200
XP5S18E	ZVV		.23438	ZEFF	.03704
XP5S18E	ZIMP		.00673	ZVOR	.01200
CP5SNE	POWHTG1E	-	.11284	POWHTG2E	-
CP5SNE	POWHTG3E	-	.74798	POWHTG4E	-
CP5SNE	POWHTG5E	-	.99961	POWHTG6E	-
CP5SNE	POWHTG7E	-	1.93589	POWHTG8E	-
CP5SNE	POWHTG9E	-	.01211	DEC14	-
CP5SNE	DEC16	-	1.06066	KOSTEN	2.25000
CP5SNE	ZLAND		.28000		
XP5S5CE	PKHTBA1E	-	.90000	HTSTA1AE	.90000
XP5S5CE	KOSTEN		.31500	ZNOX	.07493
XP5S5CE	ZCO2		.13200	ZEFF	.03704
XP5S5CE	ZIMP		.04838	ZVOR	.01200
XP5S11CE	PKHTBA2E	-	.90000	HTSTA2AE	.90000
XP5S11CE	KOSTEN		.31500	ZNOX	.07493
XP5S11CE	ZCO2		.13200	ZEFF	.03704
XP5S11CE	ZIMP		.03852	ZVOR	.01200
XP5S17CE	PKHTBA3E	-	.90000	HTSTA3AE	.90000
XP5S17CE	KOSTEN		.31500	ZNOX	.07493
XP5S17CE	ZCO2		.13200	ZEFF	.03704
XP5S17CE	ZIMP		.03852	ZVOR	.01200
CP5SNCE	RESERVE2	-	.65600	HTSTA1AE	-
CP5SNCE	HTSTA2AE	-	.04011	HTSTA3AE	-
CP5SNCE	KOSTEN		.13500	ZLAND	.12000
XP6S2	PKELBAL1	-	.36881	POWLB1	.38219
XP6S2	KOSTEN		.06500	ZSO2	.78624
XP6S2	ZFS		.14987	ZNOX	.26227
XP6S2	ZCO2		.23844	ZVV	.24373
XP6S2	ZLAND		.26700	ZEFF	.03704
XP6S4	PKELBAL2	-	.36881	POWLB2	.38219
XP6S4	KOSTEN		.06500	ZSO2	.78624
XP6S4	ZFS		.14987	ZNOX	.26227
XP6S4	ZCO2		.23844	ZVV	.24373
XP6S4	ZLAND		.26700	ZEFF	.03704
XP6S6	PKELBAL3	-	.36881	POWLB3	.38219
XP6S6	KOSTEN		.06500	ZSO2	.78624
XP6S6	ZFS		.14987	ZNOX	.26227
XP6S6	ZCO2		.23844	ZVV	.24373
XP6S6	ZLAND		.26700	ZEFF	.03704
XP6S8	IMELBAL1	-	.36881	POWLB4	.38219
XP6S8	KOSTEN		.06500	ZSO2	.78624
XP6S8	ZFS		.14987	ZNOX	.26227
XP6S8	ZCO2		.23844	ZVV	.24373
XP6S8	ZLAND		.26700	ZEFF	.03704
XP6S10	IMELBAL2	-	.36881	POWLB5	.38219

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP6S10	KOSTEN	.06500	ZSO2	.78624
XP6S10	ZFS	.14987	ZNOX	.26227
XP6S10	ZCO2	.23844	ZVV	.24373
XP6S10	ZLAND	.26700	ZEFF	.03704
XP6S12	IMELBAL3 -	.36881	POWLB6	.38219
XP6S12	KOSTEN	.06500	ZSO2	.78624
XP6S12	ZFS	.14987	ZNOX	.26227
XP6S12	ZCO2	.23844	ZVV	.24373
XP6S12	ZLAND	.26700	ZEFF	.03704
XP6S14	BSELBAL1 -	.36881	POWLB7	.38219
XP6S14	DEC14	.36881	KOSTEN	.06500
XP6S14	ZSO2	.78624	ZFS	.14987
XP6S14	ZNOX	.26227	ZCO2	.23844
XP6S14	ZVV	.24373	ZLAND	.26700
XP6S14	ZEFF	.03704		
XP6S16	BSELBAL2 -	.36881	POWLB8	.38219
XP6S16	DEC16	.36881	KOSTEN	.06500
XP6S16	ZSO2	.78624	ZFS	.14987
XP6S16	ZNOX	.26227	ZCO2	.23844
XP6S16	ZVV	.24373	ZLAND	.26700
XP6S16	ZEFF	.03704		
XP6S18	BSELBAL3 -	.36881	POWLB9	.38219
XP6S18	KOSTEN	.06500	ZSO2	.78624
XP6S18	ZFS	.14987	ZNOX	.26227
XP6S18	ZCO2	.23844	ZVV	.24373
XP6S18	ZLAND	.26700	ZEFF	.03704
CP6SN	POWLB1 -	.11284	POWLB2 -	.33903
CP6SN	POWLB3 -	.74798	POWLB4 -	1.75974
CP6SN	POWLB5 -	.99961	POWLB6 -	.04011
CP6SN	POWLB7 -	1.93589	POWLB8 -	1.06066
CP6SN	POWLB9 -	.01211	DEC14 -	1.86813
CP6SN	DEC16 -	1.02353	KOSTEN	2.77800
CP6SN	ZLAND	.56000		
XS19S2A	PKELBAL1 -	.38219	POWOIL1	.38219
XS19S2A	HOILBAL	1.00000	KOSTEN	.01500
XS19S2A	ZSO2	.15912	ZFS	.00187
XS19S2A	ZNOX	.05620	ZVV	.24373
XS19S2A	ZIMP	.01345		
XS19S4A	PKELBAL2 -	.38219	POWOIL2	.38219
XS19S4A	HOILBAL	1.00000	KOSTEN	.01500
XS19S4A	ZSO2	.15912	ZFS	.00187
XS19S4A	ZNOX	.05620	ZVV	.24373
XS19S4A	ZIMP	.01345		
XS19S6A	PKELBAL3 -	.38219	POWOIL3	.38219
XS19S6A	HOILBAL	1.00000	KOSTEN	.01500
XS19S6A	Z	.15912	ZFS	.00187
XS19S6A	Zi	.05620	ZVV	.24373
XS19S6A	ZIMP	.01345		
XS19S8A	IMELBAL1 -	.38219	POWOIL4	.38219
XS19S8A	HOILBAL	1.00000	KOSTEN	.01500
XS19S8A	ZSO2	.15912	ZFS	.00187
XS19S8A	ZNOX	.05620	ZVV	.24373
XS19S8	IMP	.01345		
XS19S8	IMELBAL2 -	.38219	POWOIL5	.38219

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS19S10A	HOILBAL	1.00000	KOSTEN	.01500
XS19S10A	ZSO2	.15912	ZFS	.00187
XS19S10A	ZNOX	.05620	ZVV	.24373
XS19S10A	ZIMP	.01345		
XS19S12A	IMELBAL3 -	.38219	POWOIL6	.38219
XS19S12A	HOILBAL	1.00000	KOSTEN	.01500
XS19S12A	ZSO2	.15912	ZFS	.00187
XS19S12A	ZNOX	.05620	ZVV	.24373
XS19S12A	ZIMP	.01345		
XS19S14A	BSELBAL1 -	.38219	POWOIL7	.38219
XS19S14A	HOILBAL	1.00000	DEC14	.38219
XS19S14A	KOSTEN	.01500	ZSO2	.15912
XS19S14A	ZFS	.00187	ZNOX	.05620
XS19S14A	ZVV	.24373	ZIMP	.01345
XS19S16A	BSELBAL2 -	.38219	POWOIL8	.38219
XS19S16A	HOILBAL	1.00000	DEC16	.38219
XS19S16A	KOSTEN	.01500	ZSO2	.15912
XS19S16A	ZFS	.00187	ZNOX	.05620
XS19S16A	ZVV	.24373	ZIMP	.01345
XS19S18A	BSELBAL3 -	.38219	POWOIL9	.38219
XS19S18A	HOILBAL	1.00000	KOSTEN	.01500
XS19S18A	ZSO2	.15912	ZFS	.00187
XS19S18A	ZNOX	.05620	ZVV	.24373
XS19S18A	ZIMP	.01345		
CS19SNA	POWOIL1 -	.11284	POWOIL2 -	.33903
CS19SNA	POWOIL3 -	.74798	POWOIL4 -	1.75974
CS19SNA	POWOIL5 -	.99961	POWOIL6 -	.04011
CS19SNA	POWOIL7 -	1.93589	POWOIL8 -	1.06066
CS19SNA	POWOIL9 -	.01211	DEC14 -	1.93589
CS19SNA	DEC16 -	1.06066	KOSTEN	2.30000
CS19SNA	ZLAND	.28000		
XS19S1	BSHTBAL1 -	2.38870	BPCOIN3	2.87500
XS19S1	POWHTO1	.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S1	KOSTEN	.01500	ZSO2	.15912
XS19S1	ZFS	.00187	ZNOX	.05620
XS19S1	ZVV -	.70071	ZIMP	.07255
XS19S3	IMHTBAL1 -	2.38870	IPCOIN3	2.87500
XS19S3	POWHTO2	.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S3	KOSTEN	.01500	ZSO2	.15912
XS19S3	ZFS	.00187	ZNOX	.05620
XS19S3	ZVV -	.70071	ZIMP	.07255
XS19S5B	PKHTBAL1 -	2.38870	PPCOIN3	2.87500
XS19S5B	POWHTO3	.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S5B	KOSTEN	.01500	ZSO2	.15912
XS19S5B	ZFS	.00187	ZNOX	.05620
XS19S5B	ZVV -	.70071	ZIMP	.07255
XS19S7	BSHTBAL2 -	2.38870	BICOIN3	2.87500
XS19S7	POWHTO4	.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S7	KOSTEN	.01500	ZSO2	.15912
XS19S7	ZFS	.00187	ZNOX	.05620
XS19S7	ZVV -	.70071	ZIMP	.07255
XS19S9	IMHTBAL2 -	2.38870	IICOIN3	2.87500
XS19S9	POWHTO5	.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S9	KOSTEN	.01500	ZSO2	.15912

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS19S9	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S9	ZVV	-	.70071	ZIMP	.07255
XS19S11B	PKHTBAL2	-	2.38870	PIC0IN3	2.87500
XS19S11B	POWHT06		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S11B	KOSTEN		.01500	ZSO2	.15912
XS19S11B	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S11B	ZVV	-	.70071	ZIMP	.07255
XS19S13	BSHTBAL3	-	2.38870	BBCOIN3	2.87500
XS19S13	POWHT07		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S13	DEC14		.38219	KOSTEN	.01500
XS19S13	ZSO2		.15912	ZFS	.00187
XS19S13	ZNOX		.05620	ZVV	- .70071
XS19S13	ZIMP		.07255		
XS19S15	IMHTBAL3	-	2.38870	IBCOIN3	2.87500
XS19S15	POWHT08		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S15	DEC16		.38219	KOSTEN	.01500
XS19S15	ZSD2		.15912	ZFS	.00187
XS19S15	ZNOX		.05620	ZVV	- .70071
XS19S15	ZIMP		.07255		
XS19S17B	PKHTBAL3	-	2.38870	PBCOIN3	2.87500
XS19S17B	POWHT09		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S17B	KOSTEN		.01500	ZSO2	.15912
XS19S17B	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S17B	ZVV	-	.70071	ZIMP	.07255
XS19S2B	PKELBAL1	-	.38219	BPCOIN3	- 1.00000
XS19S2B	POWHT01		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S2B	KOSTEN		.01500	ZSO2	.15912
XS19S2B	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S2B	ZVV		.24373	ZIMP	.01345
XS19S4B	PKELBAL2	-	.38219	IPCOIN3	- 1.00000
XS19S4B	POWHT02		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S4B	KOSTEN		.01500	ZSO2	.15912
XS19S4B	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S4B	ZVV		.24373	ZIMP	.01345
XS19S6B	PKELBAL3	-	.38219	PPCOIN3	- 1.00000
XS19S6B	POWHT03		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S6B	KOSTEN		.01500	ZSO2	.15912
XS19S6B	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S6B	ZVV		.24373	ZIMP	.01345
XS19S8B	IMELBAL1	-	.38219	BICOIN3	- 1.00000
XS19S8B	POWHT04		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S8B	KOSTEN		.01500	ZSO2	.15912
XS19S8B	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S8B	ZVV		.24373	ZIMP	.01345
XS19S10B	IMELBAL2	-	.38219	IICOIN3	- 1.00000
XS19S10B	POWHT05		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S10B	KOSTEN		.01500	ZSO2	.15912
XS19S10B	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S10B	ZVV		.24373	ZIMP	.01345
XS19S12B	IMELBAL3	-	.38219	PIC0IN3	- 1.00000
XS19S12B	POWHT06		.38219	HOILBAL	1.00000
XS19S12B	KOSTEN		.01500	ZSO2	.15912
XS19S12B	ZFS		.00187	ZNOX	.05620
XS19S12B	ZVV		.24373	ZIMP	.01345

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS19S14B	BSELBAL1	-	.38219	BBCOIN3	-	1.00000
XS19S14B	POWHT07		.38219	HOILBAL		1.00000
XS19S14B	DEC14		.38219	KOSTEN		.01500
XS19S14B	ZSO2		.15912	ZFS		.00187
XS19S14B	ZNOX		.05620	ZVV		.24373
XS19S14B	ZIMP		.01345			
XS19S16B	BSELBAL2	-	.38219	IBCOIN3	-	1.00000
XS19S16B	POWHT08		.38219	HOILBAL		1.00000
XS19S16B	DEC16		.38219	KOSTEN		.01500
XS19S16B	ZSO2		.15912	ZFS		.00187
XS19S16B	ZNOX		.05620	ZVV		.24373
XS19S16B	ZIMP		.01345			
XS19S18B	BSELBAL3	-	.38219	PBCOIN3	-	1.00000
XS19S18B	POWHT09		.38219	HOILBAL		1.00000
XS19S18B	KOSTEN		.01500	ZSO2		.15912
XS19S18B	ZFS		.00187	ZNOX		.05620
XS19S18B	ZVV		.24373	ZIMP		.01345
CS19SNB	POWHT01	-	.11284	POWHT02	-	.33903
CS19SNB	POWHT03	-	.74798	POWHT04	-	1.75974
CS19SNB	POWHT05	-	.99961	POWHT06	-	.04011
CS19SNB	POWHT07	-	1.93589	POWHT08	-	1.06066
CS19SNB	POWHT09	-	.01211	DEC14	-	1.93589
CS19SNB	DEC16	-	1.06066	KOSTEN		2.50000
CS19SNB	ZLAND		.28000			
XS19S5C	PKHTBAL1	-	.90000	HTSTAT1		.90000
XS19S5C	HOILBAL		1.00000	STATION1	-	1.00000
XS19S5C	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S5C	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S5C	ZIMP		.02733			
XS19S11C	PKHTBAL2	-	.90000	HTSTAT2		.90000
XS19S11C	HOILBAL		1.00000	STATION2	-	1.00000
XS19S11C	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S11C	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S11C	ZIMP		.02733			
XS19S17C	PKHTBAL3	-	.90000	HTSTAT3		.90000
XS19S17C	HOILBAL		1.00000	STATION3	-	1.00000
XS19S17C	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S17C	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S17C	ZIMP		.02733			
CS19SNC	HTSTAT1	-	.74798	HTSTAT2	-	.04011
CS19SNC	HTSTAT3	-	.01211	RESERVE1	-	.65600
CS19SNC	KOSTEN		.15000	ZLAND		.12000
XS19S1E	HOILBAL		1.00000	POWHT01E		.35753
XS19S1E	BPCOIN3E		3.83333	BSHTBA1E	-	2.97945
XS19S1E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S1E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S1E	ZVV	-	.70071	ZIMP		.09049
XS19S3E	HOILBAL		1.00000	POWHT02E		.35753
XS19S3E	IPCOIN3E		3.83333	IMHTBA1E	-	2.97945
XS19S3E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S3E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S3E	ZVV	-	.70071	ZIMP		.09049
XS19S5E	HOILBAL		1.00000	POWHT03E		.35753
XS19S5E	PPCOIN3E		3.83333	PKHTBA1E	-	2.97945

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS19S5E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S5E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S5E	ZVV	-	.70071	ZIMP		.09049
XS19S7E	HOILBAL		1.00000	POWHT04E		.35753
XS19S7E	BICOIN3E		3.83333	BSHTBA2E	-	2.97945
XS19S7E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S7E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S7E	ZVV	-	.70071	ZIMP		.09049
XS19S9E	HOILBAL		1.00000	POWHT05E		.35753
XS19S9E	IICOIN3E		3.83333	IMHTBA2E	-	2.97945
XS19S9E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S9E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S9E	ZVV	-	.70071	ZIMP		.09049
XS19S11E	HOILBAL		1.00000	POWHT06E		.35753
XS19S11E	PICOIN3E		3.83333	PKHTBA2E	-	2.97945
XS19S11E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S11E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S11E	ZVV	-	.70071	ZIMP		.09049
XS19S13E	HOILBAL		1.00000	POWHT07E		.35753
XS19S13E	BBCOIN3E		3.83333	BSHTBA3E	-	2.97945
XS19S13E	DEC14		.35753	KOSTEN		.00500
XS19S13E	ZSO2		.37440	ZFS		.00749
XS19S13E	ZNOX		.11240	ZVV	-	.70071
XS19S13E	ZIMP		.09049			
XS19S15E	HOILBAL		1.00000	POWHT08E		.35753
XS19S15E	IBCOIN3E		3.83333	IMHTBA3E	-	2.97945
XS19S15E	DEC16		.35753	KOSTEN		.00500
XS19S15E	ZSO2		.37440	ZFS		.00749
XS19S15E	ZNOX		.11240	ZVV	-	.70071
XS19S15E	ZIMP		.09049			
XS19S17E	HOILBAL		1.00000	POWHT09E		.35753
XS19S17E	PBCOIN3E		3.83333	PKHTBA3E	-	2.97945
XS19S17E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S17E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S17E	ZVV	-	.70071	ZIMP		.09049
XS19S2E	PKELBAL1	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S2E	POWHT01E		.35753	BPCOIN3E	-	1.00000
XS19S2E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S2E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S2E	ZVV		.24373	ZIMP		.01258
XS19S4E	PKELBAL2	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S4E	POWHT02E		.35753	IPCOIN3E	-	1.00000
XS19S4E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S4E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S4E	ZVV		.24373	ZIMP		.01258
XS19S6E	PKELBAL3	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S6E	POWHT03E		.35753	PPCOIN3E	-	1.00000
XS19S6E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S6E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S6E	ZVV		.24373	ZIMP		.01258
XS19S8E	IMELBAL1	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S8E	POWHT04E		.35753	BICOIN3E	-	1.00000
XS19S8E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S8E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS19S8E	ZVV		.24373	ZIMP		.01258
XS19S10E	IMELBAL2	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S10E	POWHT05E		.35753	IICOIN3E	-	1.00000
XS19S10E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S10E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S10E	ZVV		.24373	ZIMP		.01258
XS19S12E	IMELBAL3	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S12E	POWHT06E		.35753	PICOIN3E	-	1.00000
XS19S12E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S12E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S12E	ZVV		.24373	ZIMP		.01258
XS19S14E	BSELBAL1	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S14E	POWHT07E		.35753	BBCOIN3E	-	1.00000
XS19S14E	DEC14		.35753	KOSTEN		.00500
XS19S14E	ZSO2		.37440	ZFS		.00749
XS19S14E	ZNOX		.11240	ZVV		.24373
XS19S14E	ZIMP		.01258			
XS19S16E	BSELBAL2	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S16E	POWHT08E		.35753	IBCOIN3E	-	1.00000
XS19S16E	DEC16		.35753	KOSTEN		.00500
XS19S16E	ZSO2		.37440	ZFS		.00749
XS19S16E	ZNOX		.11240	ZVV		.24373
XS19S16E	ZIMP		.01258			
XS19S18E	BSELBAL3	-	.35753	HOILBAL		1.00000
XS19S18E	POWHT09E		.35753	PBCOIN3E	-	1.00000
XS19S18E	KOSTEN		.00500	ZSO2		.37440
XS19S18E	ZFS		.00749	ZNOX		.11240
XS19S18E	ZVV		.24373	ZIMP		.01258
CS19SNE	POWHT01E	-	.11284	POWHT02E	-	.33903
CS19SNE	POWHT03E	-	.74798	POWHT04E	-	1.75974
CS19SNE	POWHT05E	-	.99961	POWHT06E	-	.04011
CS19SNE	POWHT07E	-	1.93589	POWHT08E	-	1.06066
CS19SNE	POWHT09E	-	.01211	DEC14	-	1.93589
CS19SNE	DEC16	-	1.06066	KOSTEN		2.80000
CS19SNE	ZLAND		.28000			
XS19S5CE	HOILBAL		1.00000	PKHTBA1E	-	.90000
XS19S5CE	HTSTAT1E		.90000	KOSTEN		.00500
XS19S5CE	ZSO2		.37440	ZFS		.00749
XS19S5CE	ZNOX		.11240	ZIMP		.09049
XS19S11D	HOILBAL		1.00000	PKHTBA2E	-	.90000
XS19S11D	HTSTAT2E		.90000	KOSTEN		.00500
XS19S11D	ZSO2		.37440	ZFS		.00749
XS19S11D	ZNOX		.11240	ZIMP		.09049
XS19S17D	HOILBAL		1.00000	PKHTBA3E	-	.90000
XS19S17D	HTSTAT3E		.90000	KOSTEN		.00500
XS19S17D	ZSO2		.37440	ZFS		.00749
XS19S17D	ZNOX		.11240	ZIMP		.09049
CS19SNCE	RESERVE2	-	.65600	HTSTAT1E	-	.74798
CS19SNCE	HTSTAT2E	-	.04011	HTSTAT3E	-	.01211
CS19SNCE	KOSTEN		.15000	ZLAND		.12000
XP3S19	HOILBAL	-	.88000	LHFRAC		1.00000
XP3S19	REFINELD		1.00000	KOSTEN		.23500
XP3S19	ZCO2		.15400	ZEFF		.03704
XP3S19	ZVOR		.15400			

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XP3S20	LOILBAL	-	1.00000	LHFRAC	-	1.15000
XP3S20	LGFRAC		1.00000	REFINELD		1.00000
XP3S20	KOSTEN		.23500	ZCO2		.15400
XP3S20	ZEFF		.03704	ZVOR		.15400
XP3S21	GASBAL	-	1.00000	LGFRAC	-	2.60000
XP3S21	REFINELD		1.00000	KOSTEN		.26500
XP3S21	ZCO2		.15400	ZEFF		.03704
XP3S21	ZVOR		.15400			
CP3SN	REFINELD	-	7.88398	KOSTEN		.04100
CP3SN	ZLAND		.05730			
XS19S20	HOILBAL		1.00000	LOILBAL	-	.92000
XS19S20	LLCRACK		.23000	UPCRACK	-	4.40000
XS19S20	CRACKLD		1.00000	KOSTEN		.03000
XS19S21	HOILBAL		1.00000	GASBAL	-	.92000
XS19S21	LLCRACK	-	1.00000	UPCRACK		1.00000
XS19S21	CRACKLD		1.00000	KOSTEN		.06000
CS19SND	CRACKLD	-	7.88398	KOSTEN		.07300
CS19SND	ZLAND		.05730			
XS20F3	TRANSPRT	-	.35000	LOILBAL		1.00000
XS20F3	LKWVERKR	-	.94595	GRIDVI4	-	1.00000
XS20F3	KOSTEN		.09300	ZSO2		.08984
XS20F3	ZFS		.03188	ZNOX		.17098
XS20F3	ZCO		.69842	ZIMP		.01296
XS21F3	TRANSPRT	-	.25000	GASBAL		1.00000
XS21F3	GRIDVI5	-	1.00000	KOSTEN		.09300
XS21F3	ZSO2		.00876	ZFS		.00311
XS21F3	ZNOX		.19007	ZCO		3.92950
XS21F3	ZIMP		.00926			
XS19F4	HOILBAL		1.00000	INDUSDMD	-	.90000
XS19F4	GRIDVI6	-	1.00000	KOSTEN		.01200
XS19F4	ZSO2		.37440	ZFS		.00749
XS19F4	ZNOX		.11240	ZIMP		.03333
XS20F4	LOILBAL		1.00000	INDUSDMD	-	.90000
XS20F4	GRIDVI7	-	1.00000	KOSTEN		.01200
XS20F4	ZSO2		.10670	ZFS		.00173
XS20F4	ZNOX		.11240	ZIMP		.03333
XS2S14	PKELBAL1		1.00000	BSELBAL1	-	.70000
XS2S14	CSE142	-	23.31770	CSE144		.70000
XS2S14	CSE148		.70000	CSE1410		.70000
XS2S14	CSE1416		.70000	CPSDI1		.70000
XS2S14	ZIMP	-	.01508			
XS4S14	PKELBAL2		1.00000	BSELBAL1	-	.70000
XS4S14	CSE142		.70000	CSE144	-	7.29403
XS4S14	CSE148		.70000	CSE1410		.70000
XS4S14	CSE1416		.70000	CPSDI2		.70000
XS4S14	ZIMP	-	.01508			
XS8S14	IMELBAL1		1.00000	BSELBAL1	-	.70000
XS8S14	CSE142		.70000	CSE144		.70000
XS8S14	CSE148	-	.84014	CSE1410		.70000
XS8S14	CSE1416		.70000	CPSDI4		.70000
XS8S14	ZIMP	-	.01508			
XS10S14	IMELBAL2		1.00000	BSELBAL1	-	.70000
XS10S14	CSE142		.70000	CSE144		.70000
XS10S14	CSE148		.70000	CSE1410	-	2.01131

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS10S14	CSE1416	-	.70000	CPSDI5	.70000
XS10S14	ZIMP	-	.01508		
XS16S14	BSELBAL1	-	.70000	BSELBAL2	1.00000
XS16S14	CSE142		.70000	CSE144	.70000
XS16S14	CSE148		.70000	CSE1410	.70000
XS16S14	CSE1416	-	3.40298	CSE166	- 1.00000
XS16S14	CSE1614		.60571	CSE1612	- 1.00000
XS16S14	CSE1618	-	1.00000	CPSDI6	.70000
XS16S14	ZIMP	-	.01508		
XS14S2	PKELBAL1	-	.70000	BSELBAL1	1.00000
XS14S2	CSE142		33.31110	CSE144	- 1.00000
XS14S2	CSE148	-	1.00000	CSE1410	- 1.00000
XS14S2	CSE1416	-	1.00000	CPSUP1	1.00000
XS14S2	ZIMP	-	.01508		
XS14S4	PKELBAL2	-	.70000	BSELBAL1	1.00000
XS14S4	CSE142	-	1.00000	CSE144	10.42000
XS14S4	CSE148	-	1.00000	CSE1410	- 1.00000
XS14S4	CSE1416	-	1.00000	CPSUP2	1.00000
XS14S4	ZIMP	-	.01508		
XS14S8	IMELBAL1	-	.70000	BSELBAL1	1.00000
XS14S8	CSE142	-	1.00000	CSE144	- 1.00000
XS14S8	CSE148		1.20020	CSE1410	- 1.00000
XS14S8	CSE1416	-	1.00000	CPSUP4	1.00000
XS14S8	ZIMP	-	.01508		
XS14S10	IMELBAL2	-	.70000	BSELBAL1	1.00000
XS14S10	CSE142	-	1.00000	CSE144	- 1.00000
XS14S10	CSE148	-	1.00000	CSE1410	2.87330
XS14S10	CSE1416	-	1.00000	CPSUP5	1.00000
XS14S10	ZIMP	-	.01508		
XS14S16	BSELBAL1		1.00000	BSELBAL2	- .70000
XS14S16	CSE142	-	1.00000	CSE144	- 1.00000
XS14S16	CSE148	-	1.00000	CSE1410	- 1.00000
XS14S16	CSE1416		4.86141	CSE166	.70000
XS14S16	CSE1614	-	.42400	CSE1612	.70000
XS14S16	CSE1618		.70000	CPSUP6	1.00000
XS14S16	ZIMP	-	.01508		
XS6S16	PKELBAL3		1.00000	BSELBAL2	- .70000
XS6S16	CSE166	-	1.28523	CSE1614	.70000
XS6S16	CSE1612		.70000	CSE1618	.70000
XS6S16	CPSDI3		.70000	ZIMP	- .01508
XS12S16	IMELBAL3		1.00000	BSELBAL2	- .70000
XS12S16	CSE166		.70000	CSE1614	.70000
XS12S16	CSE1612	-	36.32320	CSE1618	.70000
XS12S16	CPSDI7		.70000	ZIMP	- .01508
XS18S16	BSELBAL2	-	.70000	BSELBAL3	1.00000
XS18S16	CSE166		.70000	CSE1614	.70000
XS18S16	CSE1612		.70000	CSE1618	- 121.90500
XS18S16	CPSDI8		.70000	ZIMP	- .01508
XS16S6	PKELBAL3	-	.70000	BSELBAL2	1.00000
XS16S6	CSE166		1.83604	CSE1614	- 1.00000
XS16S6	CSE1612	-	1.00000	CSE1618	- 1.00000
XS16S6	CPSUP3		1.00000	ZIMP	- .01508
XS16S12	IMELBAL3	-	.70000	BSELBAL2	1.00000
XS16S12	CSE166	-	1.00000	CSE1614	- 1.00000

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS16S12	CSE1612	51.89040	CSE1618	-	1.00000
XS16S12	CPSUP7	1.00000	ZIMP	-	.01508
XS16S18	BSELBAL2	1.00000	BSELBAL3	-	.70000
XS16S18	CSE166	-	CSE1614	-	1.00000
XS16S18	CSE1612	-	CSE1618		174.15100
XS16S18	CPSUP8	1.00000	ZIMP	-	.01508
CSNSMP	CPSUP1	-	CPSUP2	-	.21190
CSNSMP	CPSUP3	-	CPSUP4	-	1.09983
CSNSMP	CPSUP5	-	CPSUP6	-	.41285
CSNSMP	CPSUP7	-	CPSUP8	-	.00757
CSNSMP	CPSDI1	-	CPSDI2	-	.21190
CSNSMP	CPSDI3	-	CPSDI4	-	1.09983
CSNSMP	CPSDI5	-	CPSDI6	-	.41285
CSNSMP	CPSDI7	-	CPSDI8	-	.00757
CSNSMP	KOSTEN	1.30000	ZLAND		.28000
EC1	DEC14	1935.89000	CSE142	-	1935.89000
EC1	CSE144	-	CSE148	-	1935.89000
EC1	CSE1410	-	CSE1416	-	1935.89000
EC2	DEC16	1060.66000	CSE166	-	1060.66000
EC2	CSE1614	-	CSE1612	-	1060.66000
EC2	CSE1618	-			
XS2F2	ELDEMND	-	PIRATEL		1.00000
XS2F2	CCPKEL2	-	ELTRANS		.95000
XS2F2	PKELBAL1	1.00000			
XS4F2	ELDEMND	-	PIRATEL		1.00000
XS4F2	CCPKEL1	-	CCPKEL2		1.00000
XS4F2	ELTRANS	.95000	PKELBAL2		1.00000
XS6F2	ELDEMND	-	PIRATEL		1.00000
XS6F2	CCPKEL1	1.00000	ELTRANS		.95000
XS6F2	PKELBAL3	1.00000			
XS8F2	ELDEMND	-	PIRATEL	-	.52400
XS8F2	IBRATEL	1.00000	CCIMEL2	-	.56804
XS8F2	IMELBAL1	1.00000			
XS10F2	ELDEMND	-	PIRATEL	-	.52400
XS10F2	IBRATEL	1.00000	CCIMEL1	-	.04012
XS10F2	CCIMEL2	1.00000	IMELBAL2		1.00000
XS12F2	ELDEMND	-	PIRATEL	-	.52400
XS12F2	IBRATEL	1.00000	CCIMEL1		1.00000
XS12F2	IMELBAL3	1.00000			
XS14F2	ELDEMND	-	IBRATEL	-	1.36300
XS14F2	CCBSEL2	-	BSELBAL1		1.00000
XS14F2	ECGRID11	.06945	ECGRID21		.10216
XS14F2	ECGRID31	.22098			
XS16F2	ELDEMND	-	IBRATEL	-	1.36300
XS16F2	CCBSEL1	-	CCBSEL2		1.00000
XS16F2	BSELBAL2	1.00000			
XS18F2	ELDEMND	-	IBRATEL	-	1.36300
XS18F2	CCBSEL1	1.00000	BSELBAL3		1.00000
CSNF2	ELTRANS	-	ECGRID11	-	.17689
CSNF2	ECGRID21	-	ECGRID31	-	.56288
CSNF2	KOSTEN	2.30000			
XS1F1	HTDEMND	-	IBRATHT	-	1.85368
XS1F1	CCBSHT1	1.00000	BSHTBAL1		1.00000
XS1F1	SUMFW	1.00000			

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS3F1	HTDEMND	-	.82000	PIRATHT	-	.66667
XS3F1	IBRATHT		1.00000	CCIMHT1		1.00000
XS3F1	IMHTBAL1		1.00000	SUMFW		1.00000
XS5F1	HTDEMND	-	.82000	PIRATHT		1.00000
XS5F1	CCPKHT1		1.00000	HTTRALD		.82000
XS5F1	PKHTBAL1		1.00000	SUMFW		1.00000
XS7F1	HTDEMND	-	.82000	IBRATHT	-	1.85368
XS7F1	CCBSHT1	-	.06413	CCBSHT2		1.00000
XS7F1	BSHTBAL2		1.00000	SUMFW		1.00000
XS9F1	HTDEMND	-	.82000	PIRATHT	-	.66667
XS9F1	IBRATHT		1.00000	CCIMHT1	-	.33917
XS9F1	CCIMHT2		1.00000	IMHTBAL2		1.00000
XS9F1	SUMFW		1.00000			
XS11F1	HTDEMND	-	.82000	PIRATHT		1.00000
XS11F1	CCPKHT1	-	18.64940	CCPKHT2		1.00000
XS11F1	HTTRALD		.82000	PKHTBAL2		1.00000
XS11F1	SUMFW		1.00000			
XS13F1	HTDEMND	-	.82000	IBRATHT	-	1.85368
XS13F1	CCBSHT2	-	.90901	BSHTBAL3		1.00000
XS13F1	SUMFW		1.00000			
XS15F1	HTDEMND	-	.82000	PIRATHT	-	.66667
XS15F1	IBRATHT		1.00000	CCIMHT2	-	.94244
XS15F1	IMHTBAL3		1.00000	SUMFW		1.00000
XS17F1	HTDEMND	-	.82000	PIRATHT		1.00000
XS17F1	CCPKHT2	-	3.31158	HTTRALD		.82000
XS17F1	PKHTBAL3		1.00000	SUMFW		1.00000
CSNF11	HTTRALD	-	1.00026	EXCL1		1.00000
CSNF11	COR1TO2	-	1.47109	RESERVE1		.49973
CSNF11	MAXIFW1	-	.80000	MAXIO1		.80000
CSNF11	KOSTEN		.62480	ZSO2	-	2.71266
CSNF11	ZFS	-	.04397	ZNOX	-	.76621
CSNF12	HTTRALD	-	1.00026	STATION1		.63343
CSNF12	STATION2		.03396	STATION3		.01026
CSNF12	EXCL2		1.00000	COR1TO2		1.00000
CSNF12	COR2TO3	-	2.16300	RESERVE1		.49973
CSNF12	MAXIFW2	-	.80000	MAXIO2		.80000
CSNF12	KOSTEN		1.36070	ZSO2	-	1.59245
CSNF12	ZFS	-	.02581	ZNOX	-	.44980
CSNF13	HTTRALD	-	1.00026	STATION1		.63343
CSNF13	STATION2		.03396	STATION3		.01026
CSNF13	EXCL3		1.00000	COR2TO3		1.00000
CSNF13	RESERVE1		.49973	MAXIFW3	-	.80000
CSNF13	MAXIO3		.80000	KOSTEN		1.87000
CSNF13	ZSO2	-	1.01038	ZFS	-	.01638
CSNF13	ZNOX	-	.28539			
XS1F1E	HTDEMND	-	.82000	BSHTBA1E		1.00000
XS1F1E	IBRATHTE	-	1.85368	CCBSHT1E		1.00000
XS1F1E	SUMFW		1.00000			
XS3F1E	HTDEMND	-	.82000	IMHTBA1E		1.00000
XS3F1E	PIRATHTE	-	.66667	IBRATHTE		1.00000
XS3F1E	CCIMHT1E		1.00000	SUMFW		1.00000
XS5F1E	HTDEMND	-	.82000	HTTRALDE		.82000
XS5F1E	PKHTBA1E		1.00000	PIRATHTE		1.00000
XS5F1E	CCPKHT1E		1.00000	SUMFW		1.00000

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

XS7F1E	HTDEMND	-	.82000	BSHTBA2E		1.00000
XS7F1E	IBRATHTE	-	1.85368	CCBSHT1E	-	.06413
XS7F1E	CCBSHT2E		1.00000	SUMFW		1.00000
XS9F1E	HTDEMND	-	.82000	IMHTBA2E		1.00000
XS9F1E	PIRATHTE	-	.66667	IBRATHTE		1.00000
XS9F1E	CCIMHT1E	-	.33917	CCIMHT2E		1.00000
XS9F1E	SUMFW		1.00000			
XS11F1E	HTDEMND	-	.82000	HTTRALDE		.82000
XS11F1E	PKHTBA2E		1.00000	PIRATHTE		1.00000
XS11F1E	CCPKHT1E	-	18.64940	CCPKHT2E		1.00000
XS11F1E	SUMFW		1.00000			
XS13F1E	HTDEMND	-	.82000	BSHTBA3E		1.00000
XS13F1E	IBRATHTE	-	1.85368	CCBSHT2E	-	.90901
XS13F1E	SUMFW		1.00000			
XS15F1E	HTDEMND	-	.82000	IMHTBA3E		1.00000
XS15F1E	PIRATHTE	-	.66667	IBRATHTE		1.00000
XS15F1E	CCIMHT2E	-	.94244	SUMFW		1.00000
XS17F1E	HTDEMND	-	.82000	HTTRALDE		.82000
XS17F1E	PKHTBA3E		1.00000	PIRATHTE		1.00000
XS17F1E	CCPKHT2E	-	3.31158	SUMFW		1.00000
CSNF1E2	EXCL2		1.00000	HTTRALDE	-	1.00026
CSNF1E2	COR1TO2E	-	2.16300	RESERVE2		.49973
CSNF1E2	MAXIFW2E	-	.80000	MAXIO2		.80000
CSNF1E2	KOSTEN		.81796	ZSO2	-	1.59245
CSNF1E2	ZFS	-	.02581	ZNOX	-	.44980
CSNF1E3	EXCL3		1.00000	HTTRALDE	-	1.00026
CSNF1E3	COR1TO2E		1.00000	RESERVE2		.49973
CSNF1E3	MAXIFW3E	-	.80000	MAXIO3		.80000
CSNF1E3	KOSTEN		1.87000	ZSO2	-	1.01038
CSNF1E3	ZFS	-	.01638	ZNOX	-	.28539
XS0F1	SUMFW	-	1.00000	GRIDVIA	-	.07593
XS20F1	HTDEMND	-	.67000	HOMHTLD		.67000
XS20F1	LOILBAL		1.00000	GRIDVIB	-	.06204
XS20F1	KOSTEN		.01500	ZUNF		.00210
XS20F1	ZIMP		.02481			
CS20F1	HOMHTLD	-	3.31005	KOSTEN		.39300
XP5F1	HTDEMND	-	.67000	GASHTLD		.67000
XP5F1	GRIDVIC	-	.06204	KOSTEN		.31500
XP5F1	ZUNF		.00520	ZCO2		.13200
XP5F1	ZEFF		.03704	ZIMP		.01241
XP5F1	ZVOR		.01200			
CP5F11	GASHTLD	-	3.31005	EXCL1		1.00000
CP5F11	MAXIG1	-	.80000	MAXIO1		.80000
CP5F11	PROGWP1	-	1.00000	KOSTEN		.45500
CP5F11	ZSO2	-	2.71266	ZFS	-	.04397
CP5F11	ZNOX	-	.26651			
CP5F12	GASHTLD	-	3.31005	EXCL2		1.00000
CP5F12	MAXIG2	-	.80000	MAXIO2		.80000
CP5F12	PROGWP2	-	1.00000	KOSTEN		.57700
CP5F12	ZSO2	-	1.59245	ZFS	-	.02581
CP5F12	ZNOX	-	.15645			
CP5F13	GASHTLD	-	3.31005	EXCL3		1.00000
CP5F13	MAXIG3	-	.80000	MAXIO3		.80000
CP5F13	PROGWP3	-	1.00000	KOSTEN		.66100

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

CP5F13	ZSO2	-	1.01038	ZFS	-	.01638
CP5F13	ZNOX	-	.09927			
XP5F1A	HTDEMND	-	1.50000	KAFGWP		.70606
XP5F1A	WWHTGWP	-	.10306	GRIDVIC	-	.13889
XP5F1A	KOSTEN		.31500	ZUNF		.00520
XP5F1A	ZCO2		.13200	ZEFF		.03704
XP5F1A	ZIMP		.02778	ZVDR		.01200
XP5F1B	HTDEMND	-	1.50000	GASHTLD	-	12.27720
XP5F1B	KAFGWP		.17128	WWHTGWP		1.00000
XP5F1B	GRIDVIC	-	.13889	KOSTEN		.31500
XP5F1B	ZUNF		.00520	ZCO2		.13200
XP5F1B	ZEFF		.03704	ZIMP		.02778
XP5F1B	ZVDR		.01200			
CP5F1A1	GASHTLD		.72659	EXCL1		1.00000
CP5F1A1	KAFGWP	-	1.00026	MAXIG1		.17561
CP5F1A1	MAXIO1		.80000	MAXIGWP1	-	.97561
CP5F1A1	PROGWP1		.21951	KOSTEN		.70980
CP5F1A1	ZSO2	-	2.71179	ZFS	-	.04396
CP5F1A1	ZNOX	-	.45745			
CP5F1A2	GASHTLD		.72659	EXCL2		1.00000
CP5F1A2	KAFGWP	-	1.00026	MAXIG2		.17561
CP5F1A2	MAXIO2		.80000	MAXIGWP2	-	.97561
CP5F1A2	PROGWP2		.21951	KOSTEN		.92410
CP5F1A2	ZSO2	-	1.59194	ZFS	-	.02581
CP5F1A2	ZNOX	-	.26854			
CP5F1A3	GASHTLD		.72659	EXCL3		1.00000
CP5F1A3	KAFGWP	-	1.00026	MAXIG3		.17561
CP5F1A3	MAXIO3		.80000	MAXIGWP3	-	.97561
CP5F1A3	PROGWP3		.21951	KOSTEN		1.17600
CP5F1A3	ZSO2	-	1.01006	ZFS	-	.01637
CP5F1A3	ZNOX	-	.17039			
XSMF6	HTDEMND	-	.95000	BSELBAL1		.44103
XSMF6	BSELBAL2		.55897	CSE142	-	.44103
XSMF6	CSE144		.41310	CSE148	-	.44103
XSMF6	CSE1410		.41310	CSE1416		.41310
XSMF6	CSE166		.92283	CSE1614	-	.55897
XSMF6	CSE1612		.92283	CSE1618		.92283
XSMF6	KAFELNS		.44717	WWHTEL	-	.10306
XSMF6	GRIDVID	-	.08796			
CF6F11	HOMHTLD	-	1.04771	EXCL1		1.25000
CF6F11	KAFELNS	-	1.00026	ECGRID11		2.40003
CF6F11	ECGRID12		.02500	MAXIO1		1.00000
CF6F11	MAXIELN1	-	1.00000	KOSTEN		.69300
CF6F11	ZSO2	-	1.92097	ZFS	-	.03114
CF6F11	ZNOX	-	.54259			
CF6F12	HOMHTLD	-	1.04771	EXCL2		1.25000
CF6F12	KAFELNS	-	1.00026	ECGRID21		2.40003
CF6F12	ECGRID22		.02500	MAXIO2		1.00000
CF6F12	MAXIELN2	-	1.00000	KOSTEN		.69300
CF6F12	ZSO2	-	1.12769	ZFS	-	.01828
CF6F12	ZNOX	-	.31852			
CF6F13	HOMHTLD	-	1.04771	EXCL3		1.25000
CF6F13	KAFELNS	-	1.00026	ECGRID31		2.40003
CF6F13	ECGRID32		.02500	MAXIO3		1.00000

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

CF6F13	MAXIELN3	-	1.00000	KOSTEN		.69300
CF6F13	ZSO2	-	.71550	ZFS	-	.01160
CF6F13	ZNOX	-	.20210			
XSMF1A	HTDEMND	-	.95000	PKELBAL2		.07479
XSMF1A	PKELBAL3		.43999	IMELBAL2		.22052
XSMF1A	IMELBAL3		.02359	BSELBAL2		.23398
XSMF1A	BSELBAL3		.00712	KAFELDH		.44717
XSMF1A	WWHTEL	-	.10306	GRIDVID	-	.08796
CSMF1A1	HOMHTLD	-	1.04771	EXCL1		1.25000
CSMF1A1	KAFELDH	-	1.00026	ECGRID11		.40003
CSMF1A1	ECGRID12		1.02500	MAXIO1		1.00000
CSMF1A1	MAXIELD1	-	1.00000	KOSTEN	-	.13200
CSMF1A1	ZSO2	-	1.92097	ZFS	-	.03114
CSMF1A1	ZNOX	-	.54259			
CSMF1A2	HOMHTLD	-	1.04771	EXCL2		1.25000
CSMF1A2	KAFELDH	-	1.00026	ECGRID21		.40003
CSMF1A2	ECGRID22		1.02500	MAXIO2		1.00000
CSMF1A2	MAXIELD2	-	1.00000	KOSTEN	-	.13200
CSMF1A2	ZSO2	-	1.12769	ZFS	-	.01828
CSMF1A2	ZNOX	-	.31852			
CSMF1A3	HOMHTLD	-	1.04771	EXCL3		1.25000
CSMF1A3	KAFELDH	-	1.00026	ECGRID31		.40003
CSMF1A3	ECGRID32		1.02500	MAXIO3		1.00000
CSMF1A3	MAXIELD3	-	1.00000	KOSTEN	-	.13200
CSMF1A3	ZSO2	-	.71550	ZFS	-	.01160
CSMF1A3	ZNOX	-	.20210			
XSMF1B	HTDEMND	-	.95000	PKELBAL1		.01610
XSMF1B	PKELBAL2		.04838	PKELBAL3		.10673
XSMF1B	IMELBAL1		.25110	IMELBAL2		.14264
XSMF1B	IMELBAL3		.00572	BSELBAL1		.27624
XSMF1B	BSELBAL2		.15135	BSELBAL3		.00173
XSMF1B	WWHTEL		1.00000	GRIDVID	-	.08796
XSMF1B	KOSTEN		.04486			
XSMF1C	HTDEMND	-	2.37500	PKELBAL2		.10596
XSMF1C	PKELBAL3		.23378	IMELBAL2		.31242
XSMF1C	IMELBAL3		.01254	BSELBAL2		.33151
XSMF1C	BSELBAL3		.00379	KAFWPDH		.59399
XSMF1C	WWHTWPD	-	.34678	GRIDVID	-	.21991
XSMF1D	HTDEMND	-	1.35714	PKELBAL1		.01610
XSMF1D	PKELBAL2		.04838	PKELBAL3		.10673
XSMF1D	IMELBAL1		.25110	IMELBAL2		.14264
XSMF1D	IMELBAL3		.00572	BSELBAL1		.27624
XSMF1D	BSELBAL2		.15135	BSELBAL3		.00173
XSMF1D	KAFWPDH		.15496	WWHTWPD		1.35714
XSMF1D	GRIDVID	-	.12566			
CSMF1C1	HOMHTLD	-	2.61909	EXCL1		1.21951
CSMF1C1	KAFWPDH	-	1.00026	ZHTWPD1	-	.60973
CSMF1C1	ZHTWPD1	-	.60973	ECGRID11		.40000
CSMF1C1	ECGRID12		.40000	MAXWP1		1.00000
CSMF1C1	MAXSOL1		1.00000	MAXIO1		.97561
CSMF1C1	MAXIWPD1	-	.93750	KOSTEN		1.57500
CSMF1C1	ZSO2	-	3.52139	ZFS	-	.05708
CSMF1C1	ZNOX	-	.99464			
CSMF1C2	HOMHTLD	-	2.61909	EXCL2		1.21951

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

CSMF1C2	KAFWPDH	-	1.00026	ZHTWPD2	-	.60973
CSMF1C2	ZHTWP2	-	.60973	ECGRID21		.40000
CSMF1C2	ECGRID22		.40000	MAXWP2		1.00000
CSMF1C2	MAXSOL2		1.00000	MAXIO2		.97561
CSMF1C2	MAXIWPD2	-	.93750	KOSTEN		1.57500
CSMF1C2	ZSO2	-	2.06722	ZFS	-	.03351
CSMF1C2	ZNOX	-	.58390			
CSMF1C3	HOMHTLD	-	2.61909	EXCL3		1.21951
CSMF1C3	KAFWPDH	-	1.00026	ZHTWPD3	-	.60973
CSMF1C3	ZHTWP3	-	.60973	ECGRID31		.40000
CSMF1C3	ECGRID32		.40000	MAXWP3		1.00000
CSMF1C3	MAXSOL3		1.00000	MAXIO3		.97561
CSMF1C3	MAXIWPD3	-	.93750	KOSTEN		1.57500
CSMF1C3	ZSO2	-	1.31161	ZFS	-	.02126
CSMF1C3	ZNOX	-	.37047			
XSMF1E	HTDEMND	-	.95000	PKELBAL3		.93474
XSMF1E	IMELBAL3		.05012	BSELBAL3		.01514
XSMF1E	KAFWPDZE		.95000	GRIDVID	-	.08796
CSMF1E1	EXCL1		1.21951	KAFWPDZE	-	1.00026
CSMF1E1	ZHTWPD1		.39027	ZHTWP1		.39027
CSMF1E1	ECGRID12		1.00000	MAXWP1		1.00000
CSMF1E1	MAXSOL1		1.00000	MAXIO1		.97561
CSMF1E1	KOSTEN		.15000	ZSO2	-	.81973
CSMF1E1	ZFS	-	.01329	ZNOX	-	.23154
CSMF1E2	EXCL2		1.21951	KAFWPDZE	-	1.00026
CSMF1E2	ZHTWPD2		.39027	ZHTWP2		.39027
CSMF1E2	ECGRID22		1.00000	MAXWP2		1.00000
CSMF1E2	MAXSOL2		1.00000	MAXIO2		.97561
CSMF1E2	KOSTEN		.15000	ZSO2	-	.48122
CSMF1E2	ZFS	-	.00780	ZNOX	-	.13592
CSMF1E3	EXCL3		1.21951	KAFWPDZE	-	1.00026
CSMF1E3	ZHTWPD3		.39027	ZHTWP3		.39027
CSMF1E3	ECGRID32		1.00000	MAXWP3		1.00000
CSMF1E3	MAXSOL3		1.00000	MAXIO3		.97561
CSMF1E3	KOSTEN		.15000	ZSO2	-	.30532
CSMF1E3	ZFS	-	.00495	ZNOX	-	.08624
XSMF7A	HTDEMND	-	1.90000	BSELBAL1		.62484
XSMF7A	BSELBAL2		.37515	CSE142	-	.62484
XSMF7A	CSE144		.58527	CSE148	-	.62484
XSMF7A	CSE1410		.58527	CSE1416		.58527
XSMF7A	CSE166		.61936	CSE1614	-	.37515
XSMF7A	CSE1612		.61936	CSE1618		.61936
XSMF7A	KAFWPNS		.71279	WWHTWPN	-	.27742
XSMF7A	GRIDVID	-	.17593			
XSMF7B	HTDEMND	-	1.26667	BSELBAL1		.82872
XSMF7B	BSELBAL2		.17128	CSE166		.28277
XSMF7B	CSE1614	-	.17128	CSE1612		.28277
XSMF7B	CSE1618		.28277	KAFWPNS		.21695
XSMF7B	WWHTWPN		1.26667	GRIDVID	-	.11728
CSMF7A1	HOMHTLD	-	.87303	EXCL1		.40650
CSMF7A1	KAFWPNS	-	.50013	ZHTWPN1	-	.20324
CSMF7A1	ZHTWP1	-	.20324	ECGRID11		.50000
CSMF7A1	MAXWP1		.33333	MAXSOL1		.33333
CSMF7A1	MAXIO1		.32520	MAXIWPN1	-	.31250

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

CSMF7A1	KOSTEN		1.20000	ZSO2	-	1.17380
CSMF7A1	ZFS	-	.01903	ZNOX	-	.33155
CSMF7A2	HOMHTLD	-	.87303	EXCL2		.40650
CSMF7A2	KAFWPNS	-	.50013	ZHTWPN2	-	.20324
CSMF7A2	ZHTWP2	-	.20324	ECGRID21		.50000
CSMF7A2	MAXWP2		.33333	MAXSOL2		.33333
CSMF7A2	MAXIO2		.32520	MAXIWPN2	-	.31250
CSMF7A2	KOSTEN		1.20000	ZSO2	-	.68907
CSMF7A2	ZFS	-	.01117	ZNOX	-	.19463
CSMF7A3	HOMHTLD	-	.87303	EXCL3		.40650
CSMF7A3	KAFWPNS	-	.50013	ZHTWPN3	-	.20324
CSMF7A3	ZHTWP3	-	.20324	ECGRID31		.50000
CSMF7A3	MAXWP3		.33333	MAXSOL3		.33333
CSMF7A3	MAXIO3		.32520	MAXIWPN3	-	.31250
CSMF7A3	KOSTEN		1.20000	ZSO2	-	.43720
CSMF7A3	ZFS	-	.00709	ZNOX	-	.12349
XSMF7C	HTDEMND	-	.95000	BSELBAL2		1.00000
XSMF7C	CSE166		1.65095	CSE1614	-	1.00000
XSMF7C	CSE1612		1.65095	CSE1618		1.65095
XSMF7C	KAFWPNZE		.95000	GRIDVID	-	.08796
CSMF7C1	EXCL1		.60976	KAFWPNZE	-	.50013
CSMF7C1	ZHTWPN1		.19514	ZHTWP1		.19514
CSMF7C1	ECGRID11		1.00000	MAXWP1		.50000
CSMF7C1	MAXSOL1		.50000	MAXIO1		.48780
CSMF7C1	KOSTEN		.15000	ZSO2	-	.40986
CSMF7C1	ZFS	-	.00664	ZNOX	-	.11577
CSMF7C2	EXCL2		.60976	KAFWPNZE	-	.50013
CSMF7C2	ZHTWPN2		.19514	ZHTWP2		.19514
CSMF7C2	ECGRID21		1.00000	MAXWP2		.50000
CSMF7C2	MAXSOL2		.50000	MAXIO2		.48780
CSMF7C2	KOSTEN		.15000	ZSO2	-	.24061
CSMF7C2	ZFS	-	.00390	ZNOX	-	.06796
CSMF7C3	EXCL3		.60976	KAFWPNZE	-	.50013
CSMF7C3	ZHTWPN3		.19514	ZHTWP3		.19514
CSMF7C3	ECGRID31		1.00000	MAXWP3		.50000
CSMF7C3	MAXSOL3		.50000	MAXIO3		.48780
CSMF7C3	KOSTEN		.15000	ZSO2	-	.15266
CSMF7C3	ZFS	-	.00247	ZNOX	-	.04312
XS20F1A	HTDEMND	-	.67000	LOILBAL		1.00000
XS20F1A	KAFWPZO		.67000	GRIDVIB	-	.06204
XS20F1A	KOSTEN		.01500	ZUNF		.00210
XS20F1A	ZIMP		.02481			
CS20F1A1	EXCL1		1.21951	KAFWPZO	-	1.00026
CS20F1A1	ZHTWP1		.39027	MAXWP1		1.00000
CS20F1A1	MAXIO1		.97561	KOSTEN		.39300
CS20F1A2	EXCL2		1.21951	KAFWPZO	-	1.00026
CS20F1A2	ZHTWP2		.39027	MAXWP2		1.00000
CS20F1A2	MAXIO2		.97561	KOSTEN		.39300
CS20F1A3	EXCL3		1.21951	KAFWPZO	-	1.00026
CS20F1A3	ZHTWP3		.39027	MAXWP3		1.00000
CS20F1A3	MAXIO3		.97561	KOSTEN		.39300
CSMF11	ECGRID11	-	1.00000	ECGRID12	-	1.00000
CSMF11	KOSTEN		.55000			
CSMF12	ECGRID21	-	1.00000	ECGRID22	-	1.00000

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

CSMF12	KOSTEN		.55000				
CSMF13	ECGRID31	-	1.00000	ECGRID32	-	1.00000	
CSMF13	KOSTEN		.55000				
XP7F8A	HTDEMND	-	1.00000	WWHTSOL	-	.15273	
XP7F8A	SOLOEL		1.00000	GRIDVIE	-	.09259	
XP7F8B	HTDEMND	-	1.00000	WWHTSOL		1.00000	
XP7F8B	GRIDVIE	-	.09259				
XS20F1B	HTDEMND	-	.67000	LOILBAL		1.00000	
XS20F1B	KAFSOL		.52844	WWHTSOLO	-	.03380	
XS20F1B	SOLOEL	-	1.39434	GRIDVIB	-	.06204	
XS20F1B	KOSTEN		.01500	ZUNF		.00210	
XS20F1B	ZIMP		.02481				
XS20F1C	HTDEMND	-	.67000	LOILBAL		1.00000	
XS20F1C	KAFSOL		.39083	WWHTSOLO		1.00000	
XS20F1C	GRIDVIB	-	.06204	KOSTEN		.01500	
XS20F1C	ZUNF		.00210	ZIMP		.02481	
CF8F11	HOMHTLD	-	1.02216	EXCL1		1.21951	
CF8F11	KAFSOL	-	.70000	MAXSOL1		1.00000	
CF8F11	MAXIO1		.97561	MAXISOL1	-	.97561	
CF8F11	KOSTEN		2.89300	ZSO2	-	1.14053	
CF8F11	ZFS	-	.01849	ZNOX	-	.32215	
CF8F12	HOMHTLD	-	1.02216	EXCL2		1.21951	
CF8F12	KAFSOL	-	.70000	MAXSOL2		1.00000	
CF8F12	MAXIO2		.97561	MAXISOL2	-	.97561	
CF8F12	KOSTEN		2.89300	ZSO2	-	.66954	
CF8F12	ZFS	-	.01085	ZNOX	-	.18912	
CF8F13	HOMHTLD	-	1.02216	EXCL3		1.21951	
CF8F13	KAFSOL	-	.70000	MAXSOL3		1.00000	
CF8F13	MAXIO3		.97561	MAXISOL3	-	.97561	
CF8F13	KOSTEN		2.89300	ZSO2	-	.42481	
CF8F13	ZFS	-	.00689	ZNOX	-	.11999	
ISNF11	HTDEMND	-	1.00000	PIRATHT		.14371	
ISNF11	IBRATHT		.64548	EXCL1		.47058	
ISNF11	COR1TO2	-	.69227	MAXIFW1		.56470	
ISNF11	MAXIO1		.37647	GRIDVIA	-	.09259	
ISNF11	KOSTEN		.56072	ZSO2	-	1.27654	
ISNF11	ZFS	-	.02069	ZNOX	-	.36057	
ISNF12	HTDEMND	-	1.00000	PIRATHT		.14371	
ISNF12	IBRATHT		.64548	STATION1	-	.07452	
ISNF12	STATION2	-	.00400	STATION3	-	.00121	
ISNF12	EXCL2		.47058	COR1TO2		.47058	
ISNF12	COR2TO3	-	1.01788	MAXIFW2		.56470	
ISNF12	MAXIO2		.37647	GRIDVIA	-	.09259	
ISNF12	KOSTEN		.90703	ZSO2	-	.74939	
ISNF12	ZFS	-	.01215	ZNOX	-	.21167	
ISNF13	HTDEMND	-	1.00000	PIRATHT		.14371	
ISNF13	IBRATHT		.64548	STATION1	-	.07452	
ISNF13	STATION2	-	.00400	STATION3	-	.00121	
ISNF13	EXCL3		.47058	COR2TO3		.47058	
ISNF13	MAXIFW3		.56470	MAXIO3		.37647	
ISNF13	GRIDVIA	-	.09259	KOSTEN		1.14670	
ISNF13	ZSO2	-	.47547	ZFS	-	.00771	
ISNF13	ZNOX	-	.13430				
ISNF1E2	HTDEMND	-	1.00000	EXCL2		.47058	

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

ISNF1E2	PIRATHTE		.14371	IBRATHTE		.64548
ISNF1E2	COR1TO2E	-	1.01788	MAXIFW2E		.56470
ISNF1E2	MAXIO2		.37647	KOSTEN		.65162
ISNF1E2	ZSO2	-	.74939	ZFS	-	.01215
ISNF1E2	ZNOX	-	.21167			
ISNF1E3	HTDEMND	-	1.00000	EXCL3		.47058
ISNF1E3	PIRATHTE		.14371	IBRATHTE		.64548
ISNF1E3	COR1TO2E		.47058	MAXIFW3E		.56470
ISNF1E3	MAXIO3		.37647	KOSTEN		1.14670
ISNF1E3	ZSO2	-	.47547	ZFS	-	.00771
ISNF1E3	ZNOX	-	.13430			
IP5F11	HTDEMND	-	1.00000	GASHTLD	-	.55766
IP5F11	EXCL1		.47058	MAXIG1		.56470
IP5F11	MAXIO1		.37647	GRIDVIC	-	.09259
IP5F11	KOSTEN		.39352	ZSO2	-	1.27654
IP5F11	ZFS	-	.02069	ZNOX		.02555
IP5F12	HTDEMND	-	1.00000	GASHTLD	-	.55766
IP5F12	EXCL2		.47058	MAXIG2		.56470
IP5F12	MAXIO2		.37647	GRIDVIC	-	.09259
IP5F12	KOSTEN		.45658	ZSO2	-	.74939
IP5F12	ZFS	-	.01215	ZNOX		.01500
IP5F13	HTDEMND	-	1.00000	GASHTLD	-	.55766
IP5F13	EXCL3		.47058	MAXIG3		.56470
IP5F13	MAXIO3		.37647	GRIDVIC	-	.09259
IP5F13	KOSTEN		.50882	ZSO2	-	.47547
IP5F13	ZFS	-	.00771	ZNOX		.00952
IS20F11	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.55766
IS20F11	EXCL1		.47058	MAXIO1		.94117
IS20F11	GRIDVIB		.09259	KOSTEN		.26670
IS20F11	ZSO2	-	.81952	ZFS	-	.01328
IS20F11	ZNOX	-	.23148			
IS20F12	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.55766
IS20F12	EXCL2		.47058	MAXIO2		.94117
IS20F12	GRIDVIB	-	.09259	KOSTEN		.26670
IS20F12	ZSO2	-	.48110	ZFS	-	.00780
IS20F12	ZNOX	-	.13589			
IS20F13	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.55766
IS20F13	EXCL3		.47058	MAXIO3		.94117
IS20F13	GRIDVIB	-	.09259	KOSTEN		.26670
IS20F13	ZSO2	-	.30525	ZFS	-	.00495
IS20F13	ZNOX	-	.08622			
IF6F11	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.49304
IF6F11	EXCL1		.47058	WWHTEL	-	.10848
IF6F11	ECGRID12		.01176	MAXIO1		.47058
IF6F11	MAXIELN1		.47058	GRIDVID	-	.09259
IF6F11	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.90398
IF6F11	ZFS	-	.01465	ZNOX	-	.25533
IF6F12	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.49304
IF6F12	EXCL2		.47058	WWHTEL	-	.10848
IF6F12	ECGRID22		.01176	MAXIO2		.47058
IF6F12	MAXIELN2		.47058	GRIDVID	-	.09259
IF6F12	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.53068
IF6F12	ZFS	-	.00860	ZNOX	-	.14989
IF6F13	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.49304

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

IF6F13	EXCL3		.47058	WWHTEL	-	.10848
IF6F13	ECGRID32		.01176	MAXIO3		.47058
IF6F13	MAXIELN3		.47058	GRIDVID	-	.09259
IF6F13	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.33670
IF6F13	ZFS	-	.00546	ZNOX	-	.09510
ISMFA1	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.49304
ISMFA1	EXCL1		.47058	WWHTEL	-	.10848
ISMFA1	ECGRID12		.01176	MAXIO1		.47058
ISMFA1	MAXIELD1		.47058	GRIDVID	-	.09259
ISMFA1	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.90398
ISMFA1	ZFS	-	.01465	ZNOX	-	.25533
ISMFA2	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.49304
ISMFA2	EXCL2		.47058	WWHTEL	-	.10848
ISMFA2	ECGRID22		.01176	MAXIO2		.47058
ISMFA2	MAXIELD2		.47058	GRIDVID	-	.09259
ISMFA2	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.53068
ISMFA2	ZFS	-	.00860	ZNOX	-	.14989
ISMFA3	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.49304
ISMFA3	EXCL3		.47058	WWHTEL	-	.10848
ISMFA3	ECGRID32		.01176	MAXIO3		.47058
ISMFA3	MAXIELD3		.47058	GRIDVID	-	.09259
ISMFA3	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.33670
ISMFA3	ZFS	-	.00546	ZNOX	-	.09510
ISMFC1	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.48101
ISMFC1	EXCL1		.47058	WWHTWPD	-	.10306
ISMFC1	ZHTWPD1	-	.00717	ZHTWP1	-	.00717
ISMFC1	MAXWP1		.47058	MAXSOL1		.47058
ISMFC1	MAXIO1		.45911	MAXIWPD1		.18751
ISMFC1	GRIDVIB	-	.01362	GRIDVID	-	.07897
ISMFC1	KOSTEN		.40568	ZSO2	-	.86255
ISMFC1	ZFS	-	.01398	ZNOX	-	.24363
ISMFC2	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.48101
ISMFC2	EXCL2		.47058	WWHTWPD	-	.10306
ISMFC2	ZHTWPD2	-	.00717	ZHTWP2	-	.00717
ISMFC2	MAXWP2		.47058	MAXSOL2		.47058
ISMFC2	MAXIO2		.45911	MAXIWPD2		.18751
ISMFC2	GRIDVIB	-	.01362	GRIDVID	-	.07897
ISMFC2	KOSTEN		.40568	ZSO2	-	.50636
ISMFC2	ZFS	-	.00821	ZNOX	-	.14302
ISMFC3	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.48101
ISMFC3	EXCL3		.47058	WWHTWPD	-	.10306
ISMFC3	ZHTWPD3	-	.00717	ZHTWP3	-	.00717
ISMFC3	MAXWP3		.47058	MAXSOL3		.47058
ISMFC3	MAXIO3		.45911	MAXIWPD3		.18751
ISMFC3	GRIDVIB	-	.01362	GRIDVID	-	.07897
ISMFC3	KOSTEN		.40568	ZSO2	-	.32127
ISMFC3	ZFS	-	.00521	ZNOX	-	.09075
ISMFA1	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.48101
ISMFA1	EXCL1		.47058	WWHTWPN	-	.10306
ISMFA1	ZHTWPN1	-	.00717	ZHTWP1	-	.00717
ISMFA1	MAXWP1		.47058	MAXSOL1		.47058
ISMFA1	MAXIO1		.45911	MAXIWPN1		.18751
ISMFA1	GRIDVIB	-	.01362	GRIDVID	-	.07897
ISMFA1	KOSTEN		.58437	ZSO2	-	.86255

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE (GR)

ISM7A1	ZFS	-	.01398	ZNOX	-	.24363
ISM7A2	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.48101
ISM7A2	EXCL2		.47058	WWHTWPN	-	.10306
ISM7A2	ZHTWPN2	-	.00717	ZHTWP2	-	.00717
ISM7A2	MAXWP2		.47058	MAXSOL2		.47058
ISM7A2	MAXIO2		.45911	MAXIWP2		.18751
ISM7A2	GRIDVIB	-	.01362	GRIDVID	-	.07897
ISM7A2	KOSTEN		.58437	ZSO2	-	.50636
ISM7A2	ZFS	-	.00821	ZNOX	-	.14302
ISM7A3	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.48101
ISM7A3	EXCL3		.47058	WWHTWPN	-	.10306
ISM7A3	ZHTWPN3	-	.00717	ZHTWP3	-	.00717
ISM7A3	MAXWP3		.47058	MAXSOL3		.47058
ISM7A3	MAXIO3		.45911	MAXIWP3		.18751
ISM7A3	GRIDVIB	-	.01362	GRIDVID	-	.07897
ISM7A3	KOSTEN		.58437	ZSO2	-	.32127
ISM7A3	ZFS	-	.00521	ZNOX	-	.09075
IF8F11	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.46222
IF8F11	EXCL1		.47058	WWHTSOL	-	.08894
IF8F11	WWHTSOLO	-	.02107	MAXSOL1		.47058
IF8F11	MAXIO1		.45911	MAXISOL1		.48206
IF8F11	GRIDVIB	-	.03867	GRIDVIE	-	.05392
IF8F11	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.89916
IF8F11	ZFS	-	.01458	ZNOX	-	.25397
IF8F12	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.46222
IF8F12	EXCL2		.47058	WWHTSOL	-	.08894
IF8F12	WWHTSOLO	-	.02107	MAXSOL2		.47058
IF8F12	MAXIO2		.45911	MAXISOL2		.48206
IF8F12	GRIDVIB	-	.03867	GRIDVIE	-	.05392
IF8F12	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.52785
IF8F12	ZFS	-	.00856	ZNOX	-	.14909
IF8F13	HTDEMND	-	1.00000	HOMHTLD	-	.46222
IF8F13	EXCL3		.47058	WWHTSOL	-	.08894
IF8F13	WWHTSOLO	-	.02107	MAXSOL3		.47058
IF8F13	MAXIO3		.45911	MAXISOL3		.48206
IF8F13	GRIDVIB	-	.03867	GRIDVIE	-	.05392
IF8F13	KOSTEN		.26670	ZSO2	-	.33491
IF8F13	ZFS	-	.00543	ZNOX	-	.09460
IP5F1A1	HTDEMND	-	1.00000	GASHTLD		.34192
IP5F1A1	EXCL1		.47058	WWHTGWP	-	.06871
IP5F1A1	MAXIG1		.08264	MAXIO1		.37647
IP5F1A1	MAXIGWP1		.48206	PROGWP1		.10330
IP5F1A1	GRIDVIC	-	.09259	KOSTEN		.52820
IP5F1A1	ZSO2	-	1.27613	ZFS	-	.02069
IP5F1A1	ZNOX	-	.28270			
IP5F1A2	HTDEMND	-	1.00000	GASHTLD		.34192
IP5F1A2	EXCL2		.47058	WWHTGWP	-	.06871
IP5F1A2	MAXIG2		.08264	MAXIO2		.37647
IP5F1A2	MAXIGWP2		.48206	PROGWP2		.10330
IP5F1A2	GRIDVIC	-	.09259	KOSTEN		.61013
IP5F1A2	ZSO2	-	.74915	ZFS	-	.01214
IP5F1A2	ZNOX	-	.16596			
IP5F1A3	HTDEMND	-	1.00000	GASHTLD		.34192
IP5F1A3	EXCL3		.47058	WWHTGWP	-	.06871

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

IP5F1A3	MAXIG3		.08264	MAXIO3		.37647
IP5F1A3	MAXIGWP3		.48206	PROGWP3		.10330
IP5F1A3	GRIDVIC	-	.09259	KOSTEN		.69554
IP5F1A3	ZSO2	-	.47532	ZFS	-	.00771
IP5F1A3	ZNOX	-	.10530			
XS0F11	GRIDVIA		.20000	BXS0F11		1.00000
XS0F11	ZVIFI	-	.07337			
XS0F12	GRIDVIA		.80000	ZVIFI		.29348
XS20F11	GRIDVIB		.20000	BXS20F11		1.00000
XS20F11	ZVIFI	-	.07337			
XS20F12	GRIDVIB		.80000	ZVIFI		.29348
XP5F11	GRIDVIC		.20000	BXP5F11		1.00000
XP5F11	ZVIFI	-	.07337			
XP5F12	GRIDVIC		.80000	ZVIFI		.29348
XS20F31	GRIDVI4		2.57143	BXS20F31		1.00000
XS20F31	ZVIFI	-	.04891			
XS20F32	GRIDVI4		2.57143	ZVIFI		.04891
XS21F31	GRIDVI5		3.60000	BXS21F31		1.00000
XS21F31	ZVIFI	-	.04891			
XS21F32	GRIDVI5		3.60000	ZVIFI		.04891
XS19F41	GRIDVI6		3.22222	BXS19F41		1.00000
XS19F41	ZVIFI	-	.15761			
XS19F42	GRIDVI6		3.22222	ZVIFI		.15761
XS20F41	GRIDVI7		3.22222	BXS20F41		1.00000
XS20F41	ZVIFI	-	.15761			
XS20F42	GRIDVI7		3.22222	ZVIFI		.15761
XELF11	GRIDVID		.20000	BXELF11		1.00000
XELF11	ZVIFI	-	.07337			
XELF12	GRIDVID		.80000	ZVIFI		.29348
XP7F81	GRIDVIE		.20000	BXP7F81		1.00000
XP7F81	ZVIFI	-	.07337			
XP7F82	GRIDVIE		.80000	ZVIFI		.29348
COSTS	KOSTEN	-	1.00000	GRIDNF1	-	1.00000
SO2	ZSO2	-	1.00000	GRIDNF2	-	1.00000
STAUB	ZFS	-	1.00000	GRIDNF3	-	1.00000
NOX	ZNOX	-	1.00000	GRIDNF4	-	1.00000
COXID	ZCO	-	1.00000	GRIDNF5	-	1.00000
RABE	ZRAD	-	1.00000	GRIDNF6	-	1.00000
UNFALL	ZUNF	-	1.00000	GRIDNF7	-	1.00000
CO2	ZCO2	-	1.00000	GRIDNF8	-	1.00000
VDUNST	ZVV	-	1.00000	GRIDNF9	-	1.00000
LAND	ZLAND	-	1.00000	GRIDNF10	-	1.00000
VIELFALT	ZVIFI	-	1.00000	GRIDNF11	-	1.00000
EFFIZ	ZEFF	-	1.00000	GRIDNF12	-	1.00000
IMPORT	ZIMP	-	1.00000	GRIDNF13	-	1.00000
VORRAT	ZVOR	-	1.00000	GRIDNF14	-	1.00000
KS1	GRIDNF1		2.50000	NF1	-	.25000
KS1	BKS1		1.00000			
KS2	GRIDNF1		2.00000	NF1	-	.25000
KS2	BKS2		1.00000			
KS3	GRIDNF1		1.50000	NF1	-	.25000
KS3	BKS3		1.00000			
KS4	GRIDNF1		1.00000	NF1	-	.25000
KS4	BKS4		1.00000			

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

SO21	GRIDNF2	5.00000	NF2	-	.25000
SO21	BSO21	1.00000			
SO22	GRIDNF2	2.50000	NF2	-	.25000
SO22	BSO22	1.00000			
SO23	GRIDNF2	1.50000	NF2	-	.25000
SO23	BSO23	1.00000			
SO24	GRIDNF2	1.00000	NF2	-	.25000
SO24	BSO24	1.00000			
ST1	GRIDNF3	.75000	NF3	-	.25000
ST1	BST1	1.00000			
ST2	GRIDNF3	.25000	NF3	-	.25000
ST2	BST2	1.00000			
ST3	GRIDNF3	.12500	NF3	-	.25000
ST3	BST3	1.00000			
ST4	GRIDNF3	.07500	NF3	-	.25000
ST4	BST4	1.00000			
NOX1	GRIDNF4	2.30000	NF4	-	.25000
NOX1	BNOX1	1.00000			
NOX2	GRIDNF4	.70000	NF4	-	.25000
NOX2	BNOX2	1.00000			
NOX3	GRIDNF4	.32000	NF4	-	.25000
NOX3	BNOX3	1.00000			
NOX4	GRIDNF4	.18000	NF4	-	.25000
NOX4	BNOX4	1.00000			
COS1	GRIDNF5	10.00000	NF5	-	.25000
COS1	BCOS1	1.00000			
COS2	GRIDNF5	4.00000	NF5	-	.25000
COS2	BCOS2	1.00000			
COS3	GRIDNF5	2.50000	NF5	-	.25000
COS3	BCOS3	1.00000			
COS4	GRIDNF5	1.50000	NF5	-	.25000
COS4	BCOS4	1.00000			
RB1	GRIDNF6	.28500	NF6	-	.25000
RB1	BRB1	1.00000			
RB2	GRIDNF6	.11500	NF6	-	.25000
RB2	BRB2	1.00000			
RB3	GRIDNF6	.06000	NF6	-	.25000
RB3	BRB3	1.00000			
RB4	GRIDNF6	.04000	NF6	-	.25000
RB4	BRB4	1.00000			
UNF1	GRIDNF7	.05000	NF7	-	.25000
UNF1	BUNF1	1.00000			
UNF2	GRIDNF7	.05000	NF7	-	.25000
UNF2	BUNF2	1.00000			
UNF3	GRIDNF7	.05000	NF7	-	.25000
UNF3	BUNF3	1.00000			
UNF4	GRIDNF7	.05000	NF7	-	.25000
UNF4	BUNF4	1.00000			
CO21	GRIDNF8	5.30000	NF8	-	.25000
CO21	BCO21	1.00000			
CO22	GRIDNF8	3.70000	NF8	-	.25000
CO22	BCO22	1.00000			
CO23	GRIDNF8	2.80000	NF8	-	.25000
CO23	BCO23	1.00000			

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

CO24	GRIDNF8	2.20000	NF8	-	.25000
CO24	BCO24	1.00000			
VD1	GRIDNF9	2.50000	NF9	-	.25000
VD1	BVD1	1.00000			
VD2	GRIDNF9	2.50000	NF9	-	.25000
VD2	BVD2	1.00000			
VD3	GRIDNF9	2.50000	NF9	-	.25000
VD3	BVD3	1.00000			
VD4	GRIDNF9	2.50000	NF9	-	.25000
VD4	BVD4	1.00000			
LAND1	GRIDNF10	220.00000	NF10	-	.25000
LAND1	BLAND1	1.00000			
LAND2	GRIDNF10	130.00000	NF10	-	.25000
LAND2	BLAND2	1.00000			
LAND3	GRIDNF10	90.00000	NF10	-	.25000
LAND3	BLAND3	1.00000			
LAND4	GRIDNF10	60.00000	NF10	-	.25000
LAND4	BLAND4	1.00000			
VIFA1	GRIDNF11	.25000	NF11	-	.25000
VIFA1	BVIFA1	1.00000			
VIFA2	GRIDNF11	.25000	NF11	-	.25000
VIFA2	BVIFA2	1.00000			
VIFA3	GRIDNF11	.25000	NF11	-	.25000
VIFA3	BVIFA3	1.00000			
VIFA4	GRIDNF11	.25000	NF11	-	.25000
VIFA4	BVIFA4	1.00000			
EFF1	GRIDNF12	.35000	NF12	-	.25000
EFF1	BEFF1	1.00000			
EFF2	GRIDNF12	.32000	NF12	-	.25000
EFF2	BEFF2	1.00000			
EFF3	GRIDNF12	.30000	NF12	-	.25000
EFF3	BEFF3	1.00000			
EFF4	GRIDNF12	.28000	NF12	-	.25000
EFF4	BEFF4	1.00000			
IMP1	GRIDNF13	.35000	NF13	-	.25000
IMP1	BIMP1	1.00000			
IMP2	GRIDNF13	.25000	NF13	-	.25000
IMP2	BIMP2	1.00000			
IMP3	GRIDNF13	.17000	NF13	-	.25000
IMP3	BIMP3	1.00000			
IMP4	GRIDNF13	.13000	NF13	-	.25000
IMP4	BIMP4	1.00000			
VOR1	GRIDNF14	3.50000	NF14	-	.25000
VOR1	BVOR1	1.00000			
VOR2	GRIDNF14	2.50000	NF14	-	.25000
VOR2	BVOR2	1.00000			
VOR3	GRIDNF14	1.70000	NF14	-	.25000
VOR3	BVOR3	1.00000			
VOR4	GRIDNF14	1.30000	NF14	-	.25000
VOR4	BVOR4	1.00000			
NFCOST	NF1	-	GNF		.09900
NFSO2	NF2	-	GNF		.03300
NFSTAUB	NF3	-	GNF		.03300
NFNOX	NF4	-	GNF		.03300
NFCO	NF5	-	GNF		.05700
NFRABE	NF6	-	GNF		.04100
NFUNF	NF7	-	GNF		.07000
NFCO2	NF8	-	GNF		.14700
NFVDST	NF9	-	GNF		.00500
NFLAND	NF10	-	GNF		.03300
NFVIFA	NF11	-	GNF		.01200
NFEFF	NF12	-	GNF		.22700
NFIMP	NF13	-	GNF		.19800
NFVOR	NF14	-	GNF		.01200

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

RHS

RS	HTDEMND	-	10.80000	ELDEMND	-	8.60000
RS	TRANSPRT	-	1.80000	INDUSDMD	-	5.80000
RS	EXCL1		.57717	EXCL2		.84907
RS	EXCL3		1.83654	LKWVERKR	-	1.80000
RS	MAXWP1		.09466	MAXWP2		.20887
RS	MAXWP3		.75298	MAXSOL1		.14198
RS	MAXSOL2		.34812	MAXSOL3		1.05420
RS	MAXIO1		.46174	MAXIO2		.67926
RS	MAXIO3		1.46923	BXSOF11		1.00000
RS	BXS2OF11		1.00000	BXP5F11		1.00000
RS	BXS2OF31		1.00000	BXS21F31		1.00000
RS	BXS19F41		1.00000	BXS20F41		1.00000
RS	BXELF11		1.00000	BXP7F81		1.00000
RS	ZSO2	-	4.62582	ZFS	-	.02499
RS	ZNOX	-	1.06729	ZCO		1.14783
RS	ZUNF	-	2.60601	ZVIFI	-	.77989
RS	GRIDNF1	-	18.00000	GRIDNF4	-	.50000
RS	GRIDNF5	-	1.00000	GRIDNF7	-	2.60000
RS	GRIDNF8	-	1.00000	GRIDNF12	-	1.25000
RS	GRIDNF13	-	.10000	GRIDNF14	-	1.00000
RS	NF1	-	1.00000	NF2	-	1.00000
RS	NF3	-	1.00000	NF4	-	1.00000
RS	NF5	-	1.00000	NF6	-	1.00000
RS	NF7	-	1.00000	NF8	-	1.00000
RS	NF9	-	1.00000	NF10	-	1.00000
RS	NF11	-	1.00000	NF12	-	1.00000
RS	NF13	-	1.00000	NF14	-	1.00000
RS	BKS1		1.00000	BKS2		1.00000
RS	BKS3		1.00000	BKS4		1.00000
RS	BSQ21		1.00000	BSQ22		1.00000
RS	BSQ23		1.00000	BSQ24		1.00000
RS	BST1		1.00000	BST2		1.00000
RS	BST3		1.00000	BST4		1.00000
RS	BNOX1		1.00000	BNOX2		1.00000
RS	BNOX3		1.00000	BNOX4		1.00000
RS	BCOS1		1.00000	BCOS2		1.00000
RS	BCOS3		1.00000	BCOS4		1.00000
RS	BRB1		1.00000	BRB2		1.00000
RS	BRB3		1.00000	BRB4		1.00000
RS	BUNF1		1.00000	BUNF2		1.00000
RS	BUNF3		1.00000	BUNF4		1.00000
RS	BCD21		1.00000	BCD22		1.00000
RS	BCD23		1.00000	BCD24		1.00000
RS	BVD1		1.00000	BVD2		1.00000
RS	BVD3		1.00000	BVD4		1.00000
RS	BLAND1		1.00000	BLAND2		1.00000
RS	BLAND3		1.00000	BLAND4		1.00000
RS	BVIFA1		1.00000	BVIFA2		1.00000
RS	BVIFA3		1.00000	BVIFA4		1.00000
RS	BEFF1		1.00000	BEFF2		1.00000
RS	BEFF3		1.00000	BEFF4		1.00000
RS	BIMP1		1.00000	BIMP2		1.00000
RS	BIMP3		1.00000	BIMP4		1.00000
RS	BVOR1		1.00000	BVOR2		1.00000
RS	BVOR3		1.00000	BVOR4		1.00000

ENDATA

A U S G A B E
=====

MPSX/370 R1.5

ENERGIEMODELL BA-WUE(GR)

PAGE 76 80/298

SECTION 1 - ROWS

NUMBER	..ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
	1	HTDEMND	UL	10.80000-	.	NONE	10.80000-	.03116-
	2	PIRATHT	EQ	.	.	.	.	.04113
	3	IBRATHT	EQ	.	.	.	.	.01002
A	4	CCPKHT1	EQ	.	.	.	.	.
A	5	CCPKHT2	EQ	.	.	.	.	.
	6	CCIMHT1	EQ	.	.	.	.	.00221-
	7	CCIMHT2	EQ	.	.	.	.	.00077-
	8	CCBSHT1	EQ	.	.	.	.	.00112-
	9	CCBSHT2	EQ	.	.	.	.	.00150-
	10	HOMHTLD	UL	.	.	NONE	.	.00196-
	11	HTTRALD	UL	.	.	NONE	.	.05975-
	12	ELDEMNO	UL	8.60000-	.	NONE	8.60000-	.04629-
	13	PIRATEL	EQ	.	.	.	.	.04244
	14	IBRATEL	EQ	.	.	.	.	.01192
	15	CCPKEL1	EQ	.	.	.	.	.01584
	16	CCPKEL2	EQ	.	.	.	.	.00888
	17	CCIMEL1	EQ	.	.	.	.	.00593-
	18	CCIMEL2	EQ	.	.	.	.	.00022-
A	19	CCBSEL1	EQ	.	.	.	.	.
A	20	CCBSEL2	EQ	.	.	.	.	.
	21	ELTRANS	UL	.	.	NONE	.	.02530-
	22	PKHTBAL1	UL	.	.	NONE	.	.01735-
	23	PKHTBAL2	UL	.	.	NONE	.	.01735-
	24	PKHTBAL3	UL	.	.	NONE	.	.01735-
	25	PKELBAL1	UL	.	.	NONE	.	.03570-
	26	PKELBAL2	UL	.	.	NONE	.	.03632-
	27	PKELBAL3	UL	.	.	NONE	.	.07822-
	28	IMHTBAL1	UL	.	.	NONE	.	.00561-
	29	IMHTBAL2	UL	.	.	NONE	.	.00780-
	30	IMHTBAL3	UL	.	.	NONE	.	.00854-
	31	IMELBAL1	UL	.	.	NONE	.	.03378-
	32	IMELBAL2	UL	.	.	NONE	.	.03367-
	33	IMELBAL3	UL	.	.	NONE	.	.02773-
	34	BSHTBAL1	UL	.	.	NONE	.	.00551-
	35	BSHTBAL2	UL	.	.	NONE	.	.00521-
	36	BSHTBAL3	UL	.	.	NONE	.	.00799-
	37	BSELBAL1	UL	.	.	NONE	.	.02773-
	38	BSELBAL2	UL	.	.	NONE	.	.02773-
	39	BSELBAL3	JL	.	.	NONE	.	.02773-
	40	BPCOIN1	BS	.15579-	.15579	NONE	.	.
	41	BPCOIN2	BS	.	.	NONE	.	.
	42	BPCOIN3	BS	.	.	NONE	.	.
	43	IPCOIN1	BS	.	.	NONE	.	.
	44	IPCOIN2	BS	.	.	NONE	.	.
	45	IPCOIN3	BS	.	.	NONE	.	.
	46	PPCOIN1	UL	.	.	NONE	.	.00310-
	47	PPCOIN2	UL	.	.	NONE	.	.00125-
	48	PPCOIN3	UL	.	.	NONE	.	.00020-
	49	BICOIN1	BS	1.83758-	1.83758	NONE	.	.

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
50	BICOIN2	BS	.	.	.	NONE	.	.
51	BICOIN3	BS	.	.	.	NONE	.	.
52	IICOIN1	UL	.	.	.	NONE	.	.00161-
53	IICOIN2	BS	.	.	.	NONE	.	.
54	IICOIN3	BS	.	.	.	NONE	.	.
55	PICOIN1	UL	.	.	.	NONE	.	.00808-
56	PICOIN2	UL	.	.	.	NONE	.	.00634-
57	PICOIN3	UL	.	.	.	NONE	.	.00499-
58	BBCOIN1	UL	.	.	.	NONE	.	.00231-
59	BBCOIN2	BS	.	.	.	NONE	.	.
60	BBCOIN3	BS	.	.	.	NONE	.	.
61	IBCOIN1	UL	.	.	.	NONE	.	.00265-
62	IBCOIN2	BS	.	.	.	NONE	.	.
63	IBCOIN3	BS	.	.	.	NONE	.	.
64	PBCOIN1	UL	.	.	.	NONE	.	.00808-
65	PBCOIN2	BS	.	.	.	NONE	.	.
66	PBCOIN3	UL	.	.	.	NONE	.	.00499-
67	HTSTAT1	BS	.	.	.	NONE	.	.
68	HTSTAT2	BS	.	.	.	NONE	.	.
69	HTSTAT3	BS	.	.	.	NONE	.	.
70	POWHTC1	UL	.	.	.	NONE	.	.00191-
71	POWHTC2	UL	.	.	.	NONE	.	.00254-
72	POWHTC3	UL	.	.	.	NONE	.	.05255-
73	POWHTC4	BS	.22624-	.22624	.	NONE	.	.
74	POWHTC5	UL	.	.	.	NONE	.	.00410-
75	POWHTC6	UL	.	.	.	NONE	.	.01509-
76	POWHTC7	BS	1.02150-	1.02150	.	NONE	.	.
77	POWHTC8	UL	.	.	.	NONE	.	.00089-
78	POWHTC9	UL	.	.	.	NONE	.	.01509-
79	POWLC1	UL	.	.	.	NONE	.	.00191-
80	POWLC2	UL	.	.	.	NONE	.	.00254-
81	POWLC3	UL	.	.	.	NONE	.	.04444-
82	POWLC4	BS	.	.	.	NONE	.	.
83	POWLC5	BS	.	.	.	NONE	.	.
84	POWLC6	BS	.	.	.	NONE	.	.
85	POWLC7	BS	.	.	.	NONE	.	.
86	POWLC8	BS	.	.	.	NONE	.	.
87	POWLC9	BS	.	.	.	NONE	.	.
88	POWHTNE1	UL	.	.	.	NONE	.	.00797-
89	POWHTNE2	UL	.	.	.	NONE	.	.00859-
90	POWHTNE3	UL	.	.	.	NONE	.	.05427-
91	POWHTNE4	UL	.	.	.	NONE	.	.00606-
92	POWHTNE5	UL	.	.	.	NONE	.	.00594-
93	POWHTNE6	UL	.	.	.	NONE	.	.01914-
A 94	POWHTNE7	UL	.	.	.	NONE	.	.
95	POWHTNE8	BS	.	.	.	NONE	.	.
96	POWHTNE9	UL	.	.	.	NONE	.	.06290-
97	POWLNE1	UL	.	.	.	NONE	.	.00797-
98	POWLNE2	UL	.	.	.	NONE	.	.00859-
99	POWLNE3	UL	.	.	.	NONE	.	.05049-
100	POWLNE4	UL	.	.	.	NONE	.	.00606-

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
101	POWLNE5	UL	.	.	.	NONE	.	.00594-
102	POWLNE6	BS	.00182-	.	.00182	NONE	.	.
103	POWLNE7	BS	.10731-	.	.10731	NONE	.	.
104	POWLNE8	BS	.48211-	.	.48211	NONE	.	.
105	POWLNE9	BS	.00606-	.	.00606	NONE	.	.
106	POWHT01	BS	.	.	.	NONE	.	.
107	POWHT02	BS	.	.	.	NONE	.	.
108	POWHT03	UL	.	.	.	NONE	.	.03602-
109	POWHT04	BS	.	.	.	NONE	.	.
110	POWHT05	BS	.	.	.	NONE	.	.
111	POWHT06	BS	.	.	.	NONE	.	.
112	POWHT07	BS	.	.	.	NONE	.	.
113	POWHT08	BS	.	.	.	NONE	.	.
114	POWHT09	BS	.	.	.	NONE	.	.
115	POWOIL1	BS	.	.	.	NONE	.	.
116	POWOIL2	BS	.	.	.	NONE	.	.
117	POWOIL3	UL	.	.	.	NONE	.	.03551-
118	POWOIL4	BS	.	.	.	NONE	.	.
119	POWOIL5	BS	.	.	.	NONE	.	.
120	POWOIL6	BS	.	.	.	NONE	.	.
121	POWOIL7	BS	.	.	.	NONE	.	.
122	POWOIL8	BS	.	.	.	NONE	.	.
123	POWOIL9	BS	.	.	.	NONE	.	.
124	TRANSPRT	UL	1.80000-	.	.	NONE	1.80000-	.06248-
125	HOILBAL	UL	.	.	.	NONE	.	.01245-
126	LOILBAL	UL	.	.	.	NONE	.	.01413-
127	GASBAL	UL	.	.	.	NONE	.	.00460-
128	LHFRAC	EQ	.	.	.	.	.	.00021
129	LGFRAC	EQ	.	.	.	.	.	.00272-
130	LLCRACK	UL	.	.	.	NONE	.	.00023-
131	UPCRACK	BS	.	.	.	NONE	.	.
132	REFINELD	UL	.	.	.	NONE	.	.00009-
133	CRACKLD	BS	.	.	.	NONE	.	.
134	INDUSMD	UL	5.80000-	.	.	NONE	5.80000-	.02401-
135	STATION1	BS	.12708-	.	.12708	NONE	.	.
136	STATION2	BS	.00681-	.	.00681	NONE	.	.
137	STATION3	BS	.00206-	.	.00206	NONE	.	.
138	GASHTLD	UL	.	.	.	NONE	.	.00722-
139	BPCOIN5	BS	.01264-	.	.01264	NONE	.	.
140	IPCOIN5	BS	.03796-	.	.03796	NONE	.	.
141	PPCOIN5	UL	.	.	.	NONE	.	.00157-
142	BICOIN5	BS	.	.	.	NONE	.	.
143	IICOIN5	BS	.	.	.	NONE	.	.
144	PICOIN5	UL	.	.	.	NONE	.	.00633-
145	BBCOIN5	UL	.	.	.	NONE	.	.00010-
146	IBCOIN5	UL	.	.	.	NONE	.	.00052-
147	PBCOIN5	UL	.	.	.	NONE	.	.00633-
A 148	POWHTG1	UL	.	.	.	NONE	.	.
149	POWHTG2	UL	.	.	.	NONE	.	.00063-
150	POWHTG3	UL	.	.	.	NONE	.	.04641-
151	POWHTG4	BS	.07997-	.	.07997	NONE	.	.

III/117

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
152	POWHTG5	BS	.04543-		.04543	NONE	.	.
153	POWHTG6	UL	.		.	NONE	.	.00762-
154	POWHTG7	BS	.08798-		.08798	NONE	.	.
155	POWHTG8	BS	.04820-		.04820	NONE	.	.
156	POWHTG9	UL	.		.	NONE	.	.00762-
157	POWLDG1	BS	.01451-		.01451	NONE	.	.
158	POWLDG2	UL	.		.	NONE	.	.00063-
159	POWLDG3	UL	.		.	NONE	.	.04253-
160	POWLDG4	BS	.48101-		.48101	NONE	.	.
161	POWLDG5	BS	.27324-		.27324	NONE	.	.
162	POWLDG6	BS	.01096-		.01096	NONE	.	.
163	POWLDG7	BS	.52916-		.52916	NONE	.	.
164	POWLDG8	BS	.28992-		.28992	NONE	.	.
165	POWLDG9	BS	.00331-		.00331	NONE	.	.
166	EXCL1	UL	.57717		.	NONE	.57717	.07144-
167	EXCL2	UL	.84907		.	NONE	.84907	.05154-
168	EXCL3	BS	1.83654		.	NONE	1.83654	.
169	POWHTC1E	UL	.		.	NONE	.	.00167-
170	POWHTC2E	UL	.		.	NONE	.	.00160-
171	POWHTC3E	UL	.		.	NONE	.	.05189-
172	POWHTC4E	UL	.		.	NONE	.	.00091-
173	POWHTC5E	UL	.		.	NONE	.	.00192-
174	POWHTC6E	UL	.		.	NONE	.	.00263-
175	POWHTC7E	BS	.		.	NONE	.	.
176	POWHTC8E	UL	.		.	NONE	.	.00263-
177	POWHTC9E	UL	.		.	NONE	.	.02069-
178	POWHTO1E	BS	.		.	NONE	.	.
179	POWHTO2E	BS	.		.	NONE	.	.
180	POWHTO3E	UL	.		.	NONE	.	.03609-
181	POWHTO4E	BS	.		.	NONE	.	.
182	POWHTO5E	BS	.		.	NONE	.	.
183	POWHTO6E	UL	.		.	NONE	.	.01317-
184	POWHTO7E	UL	.		.	NONE	.	.00043-
185	POWHTO8E	UL	.		.	NONE	.	.01317-
186	POWHTO9E	UL	.		.	NONE	.	.00490-
187	POWHTG1E	BS	.00251-		.00251	NONE	.	.
188	POWHTG2E	BS	.00438-		.00438	NONE	.	.
189	POWHTG3E	UL	.		.	NONE	.	.04939-
190	POWHTG4E	BS	.03917-		.03917	NONE	.	.
191	POWHTG5E	BS	.01292-		.01292	NONE	.	.
192	POWHTG6E	BS	.		.	NONE	.	.
193	POWHTG7E	BS	.04309-		.04309	NONE	.	.
194	POWHTG8E	BS	.01371-		.01371	NONE	.	.
195	POWHTG9E	UL	.		.	NONE	.	.01612-
196	HTTRALDE	UL	.		.	NONE	.	.05272-
197	BPCOIN1E	UL	.		.	NONE	.	.00233-
198	BPCOIN3E	BS	.		.	NONE	.	.
199	IPCOIN1E	UL	.		.	NONE	.	.00208-
200	IPCOIN3E	BS	.		.	NONE	.	.
201	PPCOIN1E	UL	.		.	NONE	.	.00508-
202	PPCOIN3E	UL	.		.	NONE	.	.00201-

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.DUAL ACTIVITY
203	BICOIN1E	UL	.	.	NONE	.	.	.00274-
204	BICOIN3E	BS	.	.	NONE	.	.	.
205	IICOIN1E	UL	.	.	NONE	.	.	.00314-
206	IICOIN3E	BS	.	.	NONE	.	.	.
207	PICOIN1E	UL	.	.	NONE	.	.	.00552-
208	PICOIN3E	BS	.	.	NONE	.	.	.
209	BBCOIN1E	UL	.	.	NONE	.	.	.00458-
210	BBCOIN3E	BS	.	.	NONE	.	.	.
211	IBCOIN1E	UL	.	.	NONE	.	.	.00552-
212	IBCOIN3E	BS	.	.	NONE	.	.	.
213	PBCOIN1E	UL	.	.	NONE	.	.	.01198-
214	PBCOIN3E	UL	.	.	NONE	.	.	.00891-
215	BPCOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00076-
216	IPCOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00052-
217	PPCOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00338-
218	BICOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00108-
219	IICOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00153-
220	PICOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00381-
221	BBCOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00271-
222	IBCOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00381-
223	PBCOIN5E	UL	.	.	NONE	.	.	.00997-
224	PKHTBA1E	UL	.	.	NONE	.	.	.01747-
225	PKHTBA2E	UL	.	.	NONE	.	.	.01213-
226	PKHTBA3E	UL	.	.	NONE	.	.	.02260-
227	IMHTBA1E	UL	.	.	NONE	.	.	.00758-
228	IMHTBA2E	UL	.	.	NONE	.	.	.00898-
229	IMHTBA3E	UL	.	.	NONE	.	.	.01213-
230	BSHTBA1E	UL	.	.	NONE	.	.	.00791-
231	BSHTBA2E	UL	.	.	NONE	.	.	.00835-
232	BSHTBA3E	UL	.	.	NONE	.	.	.01060-
233	PIRATHTE	EQ	.	.	.	.	.	.03530
234	IBRATHTE	EQ	.	.	.	.	.	.00849
235	CCPKHT1E	EQ	.	.	.	.	.	.00019
236	CCPKHT2E	EQ	.	.	.	.	.	.00161-
237	CCIMHT1E	EQ	.	.	.	.	.	.00260-
238	CCIMHT2E	EQ	.	.	.	.	.	.00208-
239	CCBSHT1E	EQ	.	.	.	.	.	.00157-
240	CCBSHT2E	EQ	.	.	.	.	.	.00124-
241	COR1T02	BS	.05224-	.05224	NONE	.	.	.
242	COR2T03	UL	.	.	NONE	.	.	.00163-
243	COR1T02E	BS	.11299-	.11299	NONE	.	.	.
244	HTSTAT1A	BS	.22620-	.22620	NONE	.	.	.
245	HTSTAT2A	BS	.01213-	.01213	NONE	.	.	.
246	HTSTAT3A	BS	.00366-	.00366	NONE	.	.	.
247	RESERVE1	UL	.	.	NONE	.	.	.00340-
248	RESERVE2	UL	.	.	NONE	.	.	.00340-
249	LKWVERKR	BS	3.54800-	1.74800	NONE	1.80000-	.	.
250	SUMFW	EQ	.	.	.	.	.	.00033-
251	POWL B1	BS	.	.	NONE	.	.	.
252	POWL B2	BS	.	.	NONE	.	.	.
253	POWL B3	UL	.	.	NONE	.	.	.03650-

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
254	POWLB4	BS	.	.	.	NONE	.	.
255	POWLB5	BS	.	.	.	NONE	.	.
256	POWLB6	BS	.	.	.	NONE	.	.
257	POWLB7	BS	.	.	.	NONE	.	.
258	POWLB8	BS	.	.	.	NONE	.	.
259	POWLB9	BS	.	.	.	NONE	.	.
A 260	DEC14	EQ	.	.	.	.	.	.
261	CSE142	BS	1.78904-		1.78904	NONE	.	.
262	CSE144	BS	1.78904-		1.78904	NONE	.	.
263	CSE148	BS	1.78904-		1.78904	NONE	.	.
264	CSE1410	BS	1.78904-		1.78904	NONE	.	.
265	CSE1416	BS	1.78904-		1.78904	NONE	.	.
A 266	DEC16	EQ	.	.	.	.	.	.
267	CSE166	BS	.83395-		.83395	NONE	.	.
268	CSE1614	BS	.83395-		.83395	NONE	.	.
269	CSE1612	BS	.83395-		.83395	NONE	.	.
270	CSE1618	BS	.83395-		.83395	NONE	.	.
271	CPSUP1	UL	.	.	.	NONE	.	.00013-
272	CPSUP2	UL	.	.	.	NONE	.	.00057-
273	CPSUP3	UL	.	.	.	NONE	.	.02990-
274	CPSUP4	BS	.	.	.	NONE	.	.
275	CPSUP5	BS	.	.	.	NONE	.	.
276	CPSUP6	BS	.	.	.	NONE	.	.
277	CPSUP7	BS	.	.	.	NONE	.	.
278	CPSUP8	BS	.	.	.	NONE	.	.
279	CPSDI1	BS	.	.	.	NONE	.	.
280	CPSDI2	BS	.	.	.	NONE	.	.
281	CPSDI3	BS	.	.	.	NONE	.	.
282	CPSDI4	BS	.	.	.	NONE	.	.
283	CPSDI5	BS	.	.	.	NONE	.	.
284	CPSDI6	BS	.	.	.	NONE	.	.
285	CPSDI7	BS	.	.	.	NONE	.	.
286	CPSDI8	BS	.	.	.	NONE	.	.
287	KAFELNS	UL	.	.	.	NONE	.	.00349-
288	KAFELDH	EQ	.	.	.	.	.	.03139-
289	KAFWPDH	UL	.	.	.	NONE	.	.05431-
290	KAFWPNS	UL	.	.	.	NONE	.	.04594-
291	KAFWPDZE	EQ	.	.	.	.	.	.00010
292	KAFWPNZE	EQ	.	.	.	.	.	.00238-
293	KAFWPZO	UL	.	.	.	NONE	.	.00196-
294	KAFSOL	UL	.	.	.	NONE	.	.10216-
295	KAFGWP	UL	.	.	.	NONE	.	.05547-
296	WWHTEL	EQ	.	.	.	.	.	.00678
297	WWHTWPD	EQ	.	.	.	.	.	.00118
298	WWHTWPN	EQ	.	.	.	.	.	.00181-
299	WWHTSOL	EQ	.	.	.	.	.	.03157-
300	WWHTSOLO	EQ	.	.	.	.	.	.05730-
301	WWHTGWP	EQ	.	.	.	.	.	.10727-
302	ZHTWPD1	BS	.	.	.	NONE	.	.
303	ZHTWPD2	BS	.	.	.	NONE	.	.
304	ZHTWPD3	BS	.	.	.	NONE	.	.

NUMBER	..ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
305	ZHTWP1	BS	.	.	.	NONE	.	.
306	ZHTWP2	UL	.	.	.	NONE	.	.01136-
307	ZHTWP3	BS	.	.	.	NONE	.	.
308	ZHTWP1	BS	.	.	.	.	.	.
309	ZHTWP2	EQ	.	.	.	.	.	.18986
310	ZHTWP3	EQ	.	.	.	.	.	.12907
311	SOLOEL	EQ	.	.	.	.	.	.03639-
312	ECGRID11	BS	.10396-	.	.10396	NONE	.	.
313	ECGRID12	UL	.	.	.	NONE	.	.00907-
314	ECGRID21	BS	.15294-	.	.15294	NONE	.	.
315	ECGRID22	UL	.	.	.	NONE	.	.00907-
316	ECGRID31	BS	.33082-	.	.33082	NONE	.	.
317	ECGRID32	BS	.	.	.	NONE	.	.
318	MAXWP1	BS	.	.	.09466	NONE	.09466	.
319	MAXWP2	BS	.	.	.20887	NONE	.20887	.
320	MAXWP3	BS	.	.	.75298	NONE	.75298	.
321	MAXSOL1	BS	.	.	.14198	NONE	.14198	.
322	MAXSOL2	BS	.	.	.34812	NONE	.34812	.
323	MAXSOL3	BS	.	.	1.05420	NONE	1.05420	.
324	MAXIFW1	UL	.	.	.	NONE	.	.01212-
325	MAXIFW2	UL	.	.	.	NONE	.	.01212-
326	MAXIFW3	UL	.	.	.	NONE	.	.01212-
327	MAXIFW2E	UL	.	.	.	NONE	.	.01412-
328	MAXIFW3E	UL	.	.	.	NONE	.	.01096-
329	MAXIG1	BS	.	.	.	NONE	.	.
330	MAXIG2	UL	.	.	.	NONE	.	.00426-
331	MAXIG3	UL	.	.	.	NONE	.	.01576-
332	MAXIO1	BS	.46174	.	.	NONE	.46174	.
333	MAXIO2	UL	.67926	.	.	NONE	.67926	.00689-
334	MAXIO3	UL	1.46923	.	.	NONE	1.46923	.05061-
335	MAXIELN1	BS	.	.	.	NONE	.	.
336	MAXIELN2	UL	.	.	.	NONE	.	.00538-
337	MAXIELN3	UL	.	.	.	NONE	.	.05281-
338	MAXIELD1	BS	.	.	.	NONE	.	.
339	MAXIELD2	UL	.	.	.	NONE	.	.03917-
340	MAXIELD3	UL	.	.	.	NONE	.	.01130-
341	MAXIWP1	BS	.	.	.	NONE	.	.
342	MAXIWP2	UL	.	.	.	NONE	.	.15449-
343	MAXIWP3	UL	.	.	.	NONE	.	.01700-
344	MAXIWP1	BS	.	.	.	NONE	.	.
345	MAXIWP2	BS	.	.	.	NONE	.	.
346	MAXIWP3	UL	.	.	.	NONE	.	.11376-
347	MAXISOL1	UL	.	.	.	NONE	.	.00644-
348	MAXISOL2	UL	.	.	.	NONE	.	.01533-
349	MAXISOL3	UL	.	.	.	NONE	.	.02194-
350	MAXIGWP1	BS	.	.	.	NONE	.	.
351	MAXIGWP2	UL	.	.	.	NONE	.	.00524-
352	MAXIGWP3	UL	.	.	.	NONE	.	.01145-
353	PROGWP1	UL	.	.	.	NONE	.	.04695-
354	PROGWP2	BS	.	.	.	NONE	.	.
355	PROGWP3	UL	.	.	.	NONE	.	.01186-

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
356	HTSTAT1E	BS	.	.	NONE	.	.
357	HTSTAT2E	BS	.	.	NONE	.	.
358	HTSTAT3E	BS	.	.	NONE	.	.
359	HTSTA1AE	BS	.01786-	.01786	NONE	.	.
360	HTSTA2AE	BS	.00096-	.00096	NONE	.	.
361	HTSTA3AE	BS	.00029-	.00029	NONE	.	.
362	GRIDVIA	EQ	.	.	.	.	.00440
363	GRIDVIB	EQ	.	.	.	.	.00440-
364	GRIDVIC	EQ	.	.	.	.	.00440-
365	GRIDVI4	EQ	.	.	.	.	.00023
366	GRIDVI5	EQ	.	.	.	.	.00016-
367	GRIDVI6	EQ	.	.	.	.	.00059
368	GRIDVI7	EQ	.	.	.	.	.00059-
369	GRIDVID	EQ	.	.	.	.	.00440-
370	GRIDVIE	EQ	.	.	.	.	.00440-
371	BXS0F11	UL	1.00000	.	NONE	1.00000	.00176-
372	BXS20F11	BS	.00007	.99993	NONE	1.00000	.
373	BXP5F11	BS	.17312	.82688	NONE	1.00000	.
374	BXS20F31	UL	1.00000	.	NONE	1.00000	.00117-
375	BXS21F31	BS	.54138	.45862	NONE	1.00000	.
376	BXS19F41	UL	1.00000	.	NONE	1.00000	.00378-
377	BXS20F41	BS	.40852	.59148	NONE	1.00000	.
378	BXELF11	BS	.	1.00000	NONE	1.00000	.
379	BXP7F81	BS	.	1.00000	NONE	1.00000	.
380	KOSTEN	EQ	.	.	.	.	.01650-
381	ZS02	EQ	4.62582-	.	4.62582-	4.62582-	.00165-
382	ZFS	EQ	.02499-	.	.02499-	.02499-	.01100-
383	ZNOX	EQ	1.06729-	.	1.06729-	1.06729-	.01179-
384	ZCO	EQ	1.14783	.	1.14783	1.14783	.00142-
385	ZRAD	EQ	.	.	.	.	.03596-
386	ZUNF	EQ	2.60601-	.	2.60601-	2.60601-	.35000-
387	ZCO2	EQ	.	.	.	.	.00693-
388	ZVV	EQ	.	.	.	.	.00050-
389	ZLAND	EQ	.	.	.	.	.00004-
390	ZVIF I	EQ	.77989-	.	.77989-	.77989-	.01200-
391	ZEFF	EQ	.	.	.	.	.16214-
392	ZIMP	EQ	.	.	.	.	.19036-
393	ZVOR	EQ	.	.	.	.	.00086-
394	GRIDNF1	EQ	18.00000-	.	18.00000-	18.00000-	.01650
395	GRIDNF2	EQ	.	.	.	.	.00165
396	GRIDNF3	EQ	.	.	.	.	.01100
397	GRIDNF4	EQ	.50000-	.	.50000-	.50000-	.01179
398	GRIDNF5	EQ	1.00000-	.	1.00000-	1.00000-	.00142
399	GRIDNF6	EQ	.	.	.	.	.03596
400	GRIDNF7	EQ	2.60000-	.	2.60000-	2.60000-	.35000
401	GRIDNF8	EQ	1.00000-	.	1.00000-	1.00000-	.00693
402	GRIDNF9	EQ	.	.	.	.	.00050
403	GRIDNF10	EQ	.	.	.	.	.00004
404	GRIDNF11	EQ	.	.	.	.	.01200
405	GRIDNF12	EQ	1.25000-	.	1.25000-	1.25000-	.16214
406	GRIDNF13	EQ	.10000-	.	.10000-	.10000-	.19036

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
407	GRIDNF14	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.00086
408	NF1	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.09900
409	NF2	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.03300
410	NF3	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.03300
411	NF4	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.03300
412	NF5	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.05700
413	NF6	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.04100
414	NF7	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.07000
415	NF8	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.14700
416	NF9	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.00500
417	NF10	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.03300
418	NF11	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.01200
419	NF12	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.22700
420	NF13	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.19800
421	NF14	EQ	1.00000-	.	.	1.00000-	1.00000-	.01200
422	BKS1	UL	1.00000	.	.	1.00000	1.00000	.01650-
423	BKS2	UL	1.00000	.	.	NONE	1.00000	.00825-
424	BKS3	BS	.16217	.	.83783	NONE	1.00000	.
425	BKS4	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
426	BS021	BS	.95995	.04005	.	NONE	1.00000	.
427	BS022	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
428	BS023	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
429	BS024	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
430	BST1	BS	.24338	.75662	.	NONE	1.00000	.
431	BST2	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
432	BST3	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
433	BST4	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
434	BNOX1	UL	1.00000	.	.	NONE	1.00000	.01886-
435	BNOX2	BS	.00293	.99707	.	NONE	1.00000	.
436	BNOX3	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
437	BNOX4	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
438	BCOS1	BS	.81302	.18698	.	NONE	1.00000	.
439	BCOS2	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
440	BCOS3	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
441	BCOS4	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
442	BRB1	BS	.55616	.44384	.	NONE	1.00000	.
443	BRB2	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
444	BRB3	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
445	BRB4	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
446	BUNF1	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
447	BUNF2	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
448	BUNF3	BS	.85951	.14049	.	NONE	1.00000	.
449	BUNF4	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
450	BCO21	BS	.81683	.18317	.	NONE	1.00000	.
451	BCO22	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
452	BCO23	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
453	BCO24	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
454	BVD1	BS	.55563	.44437	.	NONE	1.00000	.
455	BVD2	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.
A 456	BVD3	UL	1.00000	.	.	NONE	1.00000	.
457	BVD4	BS	.	1.00000	.	NONE	1.00000	.

NUMBER	...ROW..	AT	...ACTIVITY...	SLACK	ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..DUAL ACTIVITY
458	BLAND1	BS	.00380		.99620	NONE	1.00000	.
459	BLAND2	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
460	BLAND3	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
461	BLAND4	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
462	BVIFA1	BS	.16537		.83463	NONE	1.00000	.
A 463	BVIFA2	UL	1.00000		.	NONE	1.00000	.
A 464	BVIFA3	UL	1.00000		.	NONE	1.00000	.
A 465	BVIFA4	UL	1.00000		.	NONE	1.00000	.
466	BEFF1	BS	.97671		.02329	NONE	1.00000	.
467	BEFF2	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
468	BEFF3	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
469	BEFF4	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
470	BIMP1	UL	1.00000		.	NONE	1.00000	.01713-
471	BIMP2	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
472	BIMP3	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
473	BIMP4	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
474	BVOR1	BS	.28738		.71262	NONE	1.00000	.
475	BVOR2	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
476	BVOR3	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
477	BVOR4	BS	.		1.00000	NONE	1.00000	.
478	GNF	BS	.74868		.74868-	NONE	NONE	1.00000

SECTION 2 - COLUMNS

NUMBER	.COLUMNS	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.REDUCED COST.
479	XP1S2A	BS	.	.	.	NONE	.
480	XP1S4A	BS	.	.	.	NONE	.
481	XP1S6A	BS	.	.	.	NONE	.
A 482	XP1S8A	LL	.	.	.	NONE	.
483	XP1S10A	LL	.	.	.	NONE	.00004-
484	XP1S12A	LL	.	.	.	NONE	.00231-
485	XP1S14A	LL	.	.	.	NONE	.00231-
486	XP1S16A	LL	.	.	.	NONE	.00231-
487	XP1S18A	LL	.	.	.	NONE	.00231-
488	CP1SNA	LL	.	.	.	NONE	.00860-
489	XP1S1	BS	.03793	.	.	NONE	.
490	XP1S3	BS	.23474	.	.	NONE	.
491	XP1S5	BS	.51789	.	.	NONE	.
492	XP1S7	BS	.59143	.	.	NONE	.
493	XP1S9	BS	.69211	.	.	NONE	.
494	XP1S11	BS	.02777	.	.	NONE	.
495	XP1S13	BS	.65064	.	.	NONE	.
496	XP1S15	BS	.73438	.	.	NONE	.
497	XP1S17	BS	.00839	.	.	NONE	.
498	XP1S2B	BS	.26483	.	.	NONE	.
499	XP1S4B	BS	.67488	.	.	NONE	.
500	XP1S6B	BS	1.48894	.	.	NONE	.
501	XP1S8B	BS	3.53795	.	.	NONE	.
502	XP1S10B	BS	1.98982	.	.	NONE	.
503	XP1S12B	BS	.07984	.	.	NONE	.
504	XP1S14B	BS	1.87058	.	.	NONE	.
505	XP1S16B	BS	2.11135	.	.	NONE	.
506	XP1S18B	BS	.02411	.	.	NONE	.
507	CP1SNB	BS	1.02541	.	.	NONE	.
508	XP1S1E	BS	.00051	.	.	NONE	.
509	XP1S3E	BS	.00154	.	.	NONE	.
510	XP1S5E	BS	.00340	.	.	NONE	.
511	XP1S7E	BS	.00800	.	.	NONE	.
512	XP1S9E	BS	.00454	.	.	NONE	.
513	XP1S11E	BS	.00018	.	.	NONE	.
514	XP1S13E	BS	.00880	.	.	NONE	.
515	XP1S15E	BS	.00482	.	.	NONE	.
516	XP1S17E	BS	.00006	.	.	NONE	.
517	XP1S2E	BS	.00197	.	.	NONE	.
518	XP1S4E	BS	.00591	.	.	NONE	.
519	XP1S6E	BS	.01303	.	.	NONE	.
520	XP1S8E	BS	.03065	.	.	NONE	.
521	XP1S10E	BS	.01741	.	.	NONE	.
522	XP1S12E	BS	.00070	.	.	NONE	.
523	XP1S14E	BS	.03372	.	.	NONE	.
524	XP1S16E	BS	.01848	.	.	NONE	.
525	XP1S18E	BS	.00021	.	.	NONE	.
526	CP1SNE	BS	.00785	.	.	NONE	.
527	XP2S2A	BS	.22418	.	.	NONE	.

NUMBER	.COLUMNS	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	..REDUCED COST.
528	XP2S4A	BS	.67353	.	.	NONE	.
529	XP2S6A	BS	1.48596	.	.	NONE	.
530	XP2S8A	BS	3.49594	.	.	NONE	.
531	XP2S10A	BS	1.98584	.	.	NONE	.
532	XP2S12A	BS	.07417	.	.	NONE	.
533	XP2S14A	BS	3.52174	.	.	NONE	.
534	XP2S16A	BS	.65088	.	.	NONE	.
535	XP2S18A	BS	.00577	.	.	NONE	.
536	CP2SNA	BS	.65769	.	.	NONE	.
537	XP2S1	LL	.	.	.	NONE	.00980-
538	XP2S3	LL	.	.	.	NONE	.00977-
539	XP2S5	BS	.	.	.	NONE	.
540	XP2S7	LL	.	.	.	NONE	.00989-
541	XP2S9	LL	.	.	.	NONE	.00372-
542	XP2S11	BS	.	.	.	NONE	.
543	XP2S13	LL	.	.	.	NONE	.00130-
544	XP2S15	BS	.	.	.	NONE	.
545	XP2S17	BS	.	.	.	NONE	.
546	XP2S2B	BS	.	.	.	NONE	.
547	XP2S4B	BS	.	.	.	NONE	.
548	XP2S6B	BS	.	.	.	NONE	.
549	XP2S8B	BS	.	.	.	NONE	.
550	XP2S10B	BS	.	.	.	NONE	.
551	XP2S12B	BS	.	.	.	NONE	.
552	XP2S14B	BS	.	.	.	NONE	.
A 553	XP2S16B	LL	.	.	.	NONE	.
554	XP2S18B	LL	.	.	.	NONE	.02082-
555	CP2SNB	LL	.	.	.	NONE	.00307-
556	XP5S2A	BS	.04025	.	.	NONE	.
557	XP5S4A	BS	.22832	.	.	NONE	.
558	XP5S6A	BS	.50373	.	.	NONE	.
559	XP5S8A	LL	.	.	.	NONE	.00078-
560	XP5S10A	LL	.	.	.	NONE	.00082-
561	XP5S12A	LL	.	.	.	NONE	.00323-
562	XP5S14A	LL	.	.	.	NONE	.00323-
563	XP5S16A	LL	.	.	.	NONE	.00323-
564	XP5S18A	LL	.	.	.	NONE	.00323-
565	CP5SNA	BS	.27334	.	.	NONE	.
566	XP5S1	LL	.	.	.	NONE	.00597-
567	XP5S3	LL	.	.	.	NONE	.00597-
568	XP5S5B	BS	.01942	.	.	NONE	.
569	XP5S7	LL	.	.	.	NONE	.00675-
570	XP5S9	LL	.	.	.	NONE	.00016-
571	XP5S11B	BS	.00104	.	.	NONE	.
572	XP5S13	BS	.	.	.	NONE	.
573	XP5S15	BS	.	.	.	NONE	.
574	XP5S17B	BS	.00031	.	.	NONE	.
575	XP5S2B	BS	.01264	.	.	NONE	.
576	XP5S4B	BS	.03796	.	.	NONE	.
577	XP5S6B	BS	.06433	.	.	NONE	.
578	XP5S8B	LL	.	.	.	NONE	.00078-

NUMBER	.COLUMNS	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.REDUCED COST.
579	XP5S10B	LL	.	.	.	NONE	.00082-
580	XP5S12B	BS	.00345	.	.	NONE	.
581	XP5S14B	LL	.	.	.	NONE	.00314-
582	XP5S16B	LL	.	.	.	NONE	.00272-
583	XP5S18B	BS	.00104	.	.	NONE	.
584	CP5SNB	BS	.04545	.	.	NONE	.
585	XP5S5C	BS	.92531	.	.	NONE	.
586	XP5S11C	BS	.04962	.	.	NONE	.
587	XP5S17C	BS	.01498	.	.	NONE	.
588	CP5SNC	BS	1.41578	.	.	NONE	.
589	XP5S1E	BS	.	.	.	NONE	.
590	XP5S3E	BS	.00153	.	.	NONE	.
591	XP5S5E	BS	.00804	.	.	NONE	.
592	XP5S7E	BS	.	.	.	NONE	.
593	XP5S9E	BS	.00450	.	.	NONE	.
594	XP5S11E	BS	.00043	.	.	NONE	.
595	XP5S13E	BS	.	.	.	NONE	.
596	XP5S15E	BS	.00478	.	.	NONE	.
597	XP5S17E	BS	.00013	.	.	NONE	.
598	XP5S2E	BS	.	.	.	NONE	.
599	XP5S4E	BS	.00675	.	.	NONE	.
600	XP5S6E	BS	.03550	.	.	NONE	.
601	XP5S8E	LL	.	.	.	NONE	.00042-
602	XP5S10E	BS	.01989	.	.	NONE	.
603	XP5S12E	BS	.00190	.	.	NONE	.
604	XP5S14E	LL	.	.	.	NONE	.00110-
605	XP5S16E	BS	.02110	.	.	NONE	.
606	XP5S18E	BS	.00057	.	.	NONE	.
607	CP5SNE	BS	.02226	.	.	NONE	.
608	XP5S5CE	LL	.	.	.	NONE	.00650-
609	XP5S11CE	LL	.	.	.	NONE	.00943-
610	XP5S17CE	BS	.	.	.	NONE	.
611	CP5SNCE	BS	.02388	.	.	NONE	.
612	XP6S2	LL	.	.	.	NONE	.00173-
613	XP6S4	LL	.	.	.	NONE	.00150-
614	XP6S6	BS	.	.	.	NONE	.
615	XP6S8	LL	.	.	.	NONE	.00244-
616	XP6S10	LL	.	.	.	NONE	.00248-
617	XP6S12	LL	.	.	.	NONE	.00467-
618	XP6S14	LL	.	.	.	NONE	.00467-
619	XP6S16	LL	.	.	.	NONE	.00467-
620	XP6S18	LL	.	.	.	NONE	.00467-
621	CP6SN	LL	.	.	.	NONE	.01856-
622	XS19S2A	LL	.	.	.	NONE	.00268-
623	XS19S4A	LL	.	.	.	NONE	.00244-
624	XS19S6A	BS	.	.	.	NONE	.
625	XS19S8A	LL	.	.	.	NONE	.00341-
626	XS19S10A	LL	.	.	.	NONE	.00346-
627	XS19S12A	LL	.	.	.	NONE	.00573-
628	XS19S14A	LL	.	.	.	NONE	.00573-
629	XS19S16A	LL	.	.	.	NONE	.00573-

NUMBER	.COLUMNS	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.REDUCED COST.
630	XS19S18A	LL	.	.	.	NONE	.00573-
631	CS19SNA	LL	.	.	.	NONE	.01140-
632	XS19S1	LL	.	.	.	NONE	.01393-
633	XS19S3	LL	.	.	.	NONE	.01369-
634	XS19S5B	BS	.	.	.	NONE	.
635	XS19S7	LL	.	.	.	NONE	.01466-
636	XS19S9	LL	.	.	.	NONE	.00847-
637	XS19S11B	BS	.	.	.	NONE	.
638	XS19S13	LL	.	.	.	NONE	.00801-
639	XS19S15	LL	.	.	.	NONE	.00670-
640	XS19S17B	BS	.	.	.	NONE	.
641	XS19S2B	LL	.	.	.	NONE	.00268-
642	XS19S4B	LL	.	.	.	NONE	.00244-
643	XS19S6B	BS	.	.	.	NONE	.
644	XS19S8B	LL	.	.	.	NONE	.00341-
645	XS19S10B	LL	.	.	.	NONE	.00346-
646	XS19S12B	LL	.	.	.	NONE	.00074-
647	XS19S14B	LL	.	.	.	NONE	.00573-
648	XS19S16B	LL	.	.	.	NONE	.00573-
649	XS19S18B	LL	.	.	.	NONE	.00074-
650	CS19SNO	LL	.	.	.	NONE	.01432-
651	XS19S5C	LL	.	.	.	NONE	.00415-
652	XS19S11C	LL	.	.	.	NONE	.00415-
653	XS19S17C	LL	.	.	.	NONE	.00415-
654	CS19SNC	LL	.	.	.	NONE	.00025-
655	XS19S1E	LL	.	.	.	NONE	.00787-
656	XS19S3E	LL	.	.	.	NONE	.00886-
657	XS19S5E	BS	.	.	.	NONE	.
658	XS19S7E	LL	.	.	.	NONE	.00657-
659	XS19S9E	LL	.	.	.	NONE	.00468-
660	XS19S11E	BS	.	.	.	NONE	.
661	XS19S13E	BS	.	.	.	NONE	.
662	XS19S15E	BS	.	.	.	NONE	.
663	XS19S17E	BS	.	.	.	NONE	.
664	XS19S2E	LL	.	.	.	NONE	.00431-
665	XS19S4E	LL	.	.	.	NONE	.00409-
666	XS19S6E	BS	.	.	.	NONE	.
667	XS19S8E	LL	.	.	.	NONE	.00500-
668	XS19S10E	LL	.	.	.	NONE	.00504-
669	XS19S12E	LL	.	.	.	NONE	.01187-
670	XS19S14E	LL	.	.	.	NONE	.00732-
671	XS19S16E	LL	.	.	.	NONE	.01187-
672	XS19S18E	BS	.	.	.	NONE	.
673	CS19SNE	LL	.	.	.	NONE	.00382-
674	XS19S5CE	LL	.	.	.	NONE	.01606-
675	XS19S11D	LL	.	.	.	NONE	.02087-
676	XS19S17D	LL	.	.	.	NONE	.01144-
677	CS19SNCE	LL	.	.	.	NONE	.00025-
678	XP3S19	BS	5.82738	.	.	NONE	.
679	XP3S20	BS	5.06729	.	.	NONE	.
680	XP3S21	BS	1.94896	.	.	NONE	.

NUMBER	.COLUMNS	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.REDUCED COST.
681	CP3SN	BS	1.62908	.	.	NONE	.
682	XS19S20	BS	.	.	.	NONE	.
683	XS19S21	LL	.	.	.	NONE	.00898-
684	CS19SND	LL	.	.	.	NONE	.00121-
685	XS20F3	BS	3.75074	.	.	NONE	.
686	XS21F3	BS	1.94896	.	.	NONE	.
687	XS19F4	BS	5.12810	.	.	NONE	.
688	XS20F4	BS	1.31635	.	.	NONE	.
689	XS2S14	LL	.	.	.	NONE	.01341-
690	XS4S14	LL	.	.	.	NONE	.01404-
691	XS8S14	LL	.	.	.	NONE	.01150-
692	XS10S14	LL	.	.	.	NONE	.01139-
693	XS16S14	LL	.	.	.	NONE	.00545-
694	XS14S2	BS	.	.	.	NONE	.
695	XS14S4	BS	.	.	.	NONE	.
696	XS14S8	LL	.	.	.	NONE	.00121-
697	XS14S10	LL	.	.	.	NONE	.00129-
698	XS14S16	LL	.	.	.	NONE	.00545-
699	XS6S16	LL	.	.	.	NONE	.05594-
700	XS12S16	LL	.	.	.	NONE	.00545-
701	XS18S16	LL	.	.	.	NONE	.00545-
702	XS16S6	BS	.	.	.	NONE	.
703	XS16S12	LL	.	.	.	NONE	.00545-
704	XS16S18	LL	.	.	.	NONE	.00545-
705	CSNSMP	LL	.	.	.	NONE	.00735-
706	EC1	BS	.00092	.	.	NONE	.
707	EC2	BS	.00079	.	.	NONE	.
708	XS2F2	BS	.19760	.	.	NONE	.
709	XS4F2	BS	.59368	.	.	NONE	.
710	XS6F2	BS	1.30980	.	.	NONE	.
711	XS8F2	BS	2.52051	.	.	NONE	.
712	XS10F2	BS	1.43176	.	.	NONE	.
713	XS12F2	BS	.05745	.	.	NONE	.
714	XS14F2	BS	1.89289	.	.	NONE	.
715	XS16F2	BS	1.03710	.	.	NONE	.
716	XS18F2	BS	.01184	.	.	NONE	.
717	CSNF2	BS	1.33084	.	.	NONE	.
718	XS1F1	BS	.09059	.	.	NONE	.
719	XS3F1	BS	.56072	.	.	NONE	.
720	XS5F1	BS	2.11913	.	.	NONE	.
721	XS7F1	BS	1.41276	.	.	NONE	.
722	XS9F1	BS	1.65324	.	.	NONE	.
723	XS11F1	BS	.11363	.	.	NONE	.
724	XS13F1	BS	1.55418	.	.	NONE	.
725	XS15F1	BS	1.75421	.	.	NONE	.
726	XS17F1	BS	.03431	.	.	NONE	.
727	CSNF11	BS	.34630	.	.	NONE	.
728	CSNF12	BS	.47810	.	.	NONE	.
729	CSNF13	BS	1.03412	.	.	NONE	.
730	XS1F1E	BS	.00153	.	.	NONE	.
731	XS3F1E	BS	.00946	.	.	NONE	.

NUMBER	COLUMNS	AT	ACTIVITY...	INPUT COST..	LOWER LIMIT.	UPPER LIMIT.	REDUCED COST.
732	XS5F1E	BS	.03574	.	.	NONE	.
733	XS7F1E	BS	.02383	.	.	NONE	.
734	XS9F1E	BS	.02788	.	.	NONE	.
735	XS11F1E	BS	.00192	.	.	NONE	.
736	XS13F1E	BS	.02621	.	.	NONE	.
737	XS15F1E	BS	.02958	.	.	NONE	.
738	XS17F1E	BS	.00058	.	.	NONE	.
739	CSNF1E2	BS	.03134	.	.	NONE	.
740	CSNF1E3	LL	.	.	.	NONE	.00633-
741	XSO F1	BS	9.44950	.	.	NONE	.
742	XS20F1	BS	.00020	.	.	NONE	.
743	CS20F1	BS	.00004	.	.	NONE	.
744	XP5F1	BS	.24185	.	.	NONE	.
745	CP5F11	BS	.	.	.	NONE	.
746	CP5F12	LL	.	.	.	NONE	.03450-
747	CP5F13	BS	.02034	.	.	NONE	.
748	XP5F1A	BS	.06403	.	.	NONE	.
749	XP5F1B	BS	.01320	.	.	NONE	.
750	CP5F1A1	LL	.	.	.	NONE	.03287--
751	CP5F1A2	LL	.	.	.	NONE	.01162--
752	CP5F1A3	BS	.04746	.	.	NONE	.
753	XSMF6	BS	.	.	.	NONE	.
754	CF6F11	LL	.	.	.	NONE	.08552-
755	CF6F12	LL	.	.	.	NONE	.06624-
756	CF6F13	BS	.	.	.	NONE	.
757	XSMF1A	LL	.	.	.	NONE	.03664-
758	CSMF1A1	LL	.	.	.	NONE	.05307-
759	CSMF1A2	BS	.	.	.	NONE	.
760	CSMF1A3	BS	.	.	.	NONE	.
761	XSMF1B	BS	.	.	.	NONE	.
762	XSMF1C	BS	.	.	.	NONE	.
763	XSMF1D	BS	.	.	.	NONE	.
764	CSMF1C1	LL	.	.	.	NONE	.03913-
765	CSMF1C2	BS	.	.	.	NONE	.
766	CSMF1C3	LL	.	.	.	NONE	.07191-
767	XSMF1E	LL	.	.	.	NONE	.04485-
768	CSMF1E1	LL	.	.	.	NONE	.09454-
769	CSMF1E2	LL	.	.	.	NONE	.00464-
770	CSMF1E3	BS	.	.	.	NONE	.
771	XSMF7A	BS	.	.	.	NONE	.
772	XSMF7B	BS	.	.	.	NONE	.
773	CSMF7A1	LL	.	.	.	NONE	.01810-
774	CSMF7A2	LL	.	.	.	NONE	.05103-
775	CSMF7A3	BS	.	.	.	NONE	.
776	XSMF7C	BS	.	.	.	NONE	.
777	CSMF7C1	LL	.	.	.	NONE	.04273-
778	CSMF7C2	BS	.	.	.	NONE	.
779	CSMF7C3	BS	.	.	.	NONE	.
780	XS20F1A	BS	.	.	.	NONE	.
781	CS20F1A1	LL	.	.	.	NONE	.09165-
782	CS20F1A2	BS	.	.	.	NONE	.

NUMBER	.COLUMNS	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.REDUCED COST.
783	CS20F1A3	LL	.	.	.	NONE	.00353-
784	CSMF11	BS	.	.	.	NONE	.
785	CSMF12	BS	.	.	.	NONE	.
786	CSMF13	LL	.	.	.	NONE	.00907-
787	XP7F8A	BS	.	.	.	NONE	.
788	XP7F8B	BS	.	.	.	NONE	.
789	XS20F1B	BS	.	.	.	NONE	.
790	XS20F1C	LL	.	.	.	NONE	.09591-
791	CF8F11	LL	.	.	.	NONE	.04919-
792	CF8F12	LL	.	.	.	NONE	.02538-
793	CF8F13	BS	.	.	.	NONE	.
794	ISNF11	BS	.49060	.	.	NONE	.
795	ISNF12	BS	.67731	.	.	NONE	.
796	ISNF13	BS	1.46502	.	.	NONE	.
797	ISNF1E2	BS	.04440	.	.	NONE	.
798	ISNF1E3	BS	.	.	.	NONE	.
799	IP5F11	LL	.	.	.	NONE	.00249-
800	IP5F12	BS	.	.	.	NONE	.
801	IP5F13	BS	.	.	.	NONE	.
802	IS20F11	LL	.	.	.	NONE	.00195-
803	IS20F12	BS	.	.	.	NONE	.
804	IS20F13	LL	.	.	.	NONE	.01780-
805	IF6F11	LL	.	.	.	NONE	.00167-
806	IF6F12	BS	.	.	.	NONE	.
807	IF6F13	LL	.	.	.	NONE	.01954-
808	ISMF1A1	LL	.	.	.	NONE	.00167-
809	ISMF1A2	LL	.	.	.	NONE	.01590-
810	ISMF1A3	BS	.	.	.	NONE	.
811	ISMF1C1	LL	.	.	.	NONE	.00348-
812	ISMF1C2	LL	.	.	.	NONE	.02944-
813	ISMF1C3	BS	.	.	.	NONE	.
814	ISMF7A1	LL	.	.	.	NONE	.00612-
815	ISMF7A2	LL	.	.	.	NONE	.00303-
816	ISMF7A3	LL	.	.	.	NONE	.02078-
817	IF8F11	BS	.	.	.	NONE	.
818	IF8F12	BS	.	.	.	NONE	.
819	LF8F13	BS	.	.	.	NONE	.
820	IP5F1A1	LL	.	.	.	NONE	.00505-
821	IP5F1A2	BS	.	.	.	NONE	.
822	IP5F1A3	BS	.09605	.	.	NONE	.
823	XS0F11	BS	1.00000	.	.	NONE	.
824	XS0F12	BS	.95156	.	.	NONE	.
825	XS20F11	BS	.00007	.	.	NONE	.
826	XS20F12	LL	.	.	.	NONE	.00704-
827	XP5F11	BS	.17312	.	.	NONE	.
828	XP5F12	LL	.	.	.	NONE	.00704-
829	XS20F31	BS	1.00000	.	.	NONE	.
830	XS20F32	BS	.45862	.	.	NONE	.
831	XS21F31	BS	.54138	.	.	NONE	.
832	XS21F32	LL	.	.	.	NONE	.00117-
833	XS19F41	BS	1.00000	.	.	NONE	.

NUMBER	.COLUMNS	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.REDUCED COST.
834	XS19F42	BS	.59148	.	.	NONE	.
835	XS20F41	BS	.40852	.	.	NONE	.
836	XS20F42	LL	.	.	.	NONE	.00378-
837	XELF11	BS	.	.	.	NONE	.
838	XELF12	LL	.	.	.	NONE	.00704-
839	XP7F81	BS	.	.	.	NONE	.
840	XP7F82	LL	.	.	.	NONE	.00704-
841	COSTS	BS	22.74326	.	.	NONE	.
842	SO2	BS	4.79977	.	.	NONE	.
843	STAUB	BS	.18253	.	.	NONE	.
844	NOX	BS	2.80205	.	.	NONE	.
845	COXID	BS	9.13019	.	.	NONE	.
846	RABE	BS	.15850	.	.	NONE	.
847	UNFALL	BS	2.64298	.	.	NONE	.
848	CO2	BS	5.32918	.	.	NONE	.
849	VDUNST	BS	3.88909	.	.	NONE	.
850	LAND	BS	.83507	.	.	NONE	.
851	VIELFALT	BS	.79134	.	.	NONE	.
852	EFFIZ	BS	1.59185	.	.	NONE	.
853	IMPORT	BS	.45000	.	.	NONE	.
854	VORRAT	BS	2.00584	.	.	NONE	.
855	KS1	BS	1.00000	.	.	NONE	.
856	KS2	BS	1.00000	.	.	NONE	.
857	KS3	BS	.16217	.	.	NONE	.
858	KS4	LL	.	.	.	NONE	.00825-
859	SO21	BS	.95995	.	.	NONE	.
860	SO22	LL	.	.	.	NONE	.00412-
861	SO23	LL	.	.	.	NONE	.00577-
862	SO24	LL	.	.	.	NONE	.00660-
863	ST1	BS	.24338	.	.	NONE	.
864	ST2	LL	.	.	.	NONE	.00550-
865	ST3	LL	.	.	.	NONE	.00687-
866	ST4	LL	.	.	.	NONE	.00743-
867	NOX1	BS	1.00000	.	.	NONE	.
868	NOX2	BS	.00293	.	.	NONE	.
869	NOX3	LL	.	.	.	NONE	.00448-
870	NOX4	LL	.	.	.	NONE	.00613-
871	COS1	BS	.81302	.	.	NONE	.
872	COS2	LL	.	.	.	NONE	.00855-
873	COS3	LL	.	.	.	NONE	.01069-
874	COS4	LL	.	.	.	NONE	.01211-
875	RB1	BS	.55616	.	.	NONE	.
876	RB2	LL	.	.	.	NONE	.00611-
877	RB3	LL	.	.	.	NONE	.00809-
878	RB4	LL	.	.	.	NONE	.00881-
A	879	UNF1	LL	.	.	NONE	.
A	880	UNF2	LL	.	.	NONE	.
	881	UNF3	BS	.85951	.	NONE	.
	882	UNF4	LL	.	.	NONE	.3499986E-06-
	883	CO21	BS	.81683	.	NONE	.
	884	CO22	LL	.	.	NONE	.01109-

NUMBER	.COLUMNS	AT	...ACTIVITY...	..INPUT COST..	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.REDUCED COST.
885	CO23	LL	.	.	.	NONE	.01733-
886	CO24	LL	.	.	.	NONE	.02150-
887	VD1	BS	.55563	.	.	NONE	.
A 888	VD2	LL	.	.	.	NONE	.
889	VD3	BS	1.00000	.	.	NONE	.
A 890	VD4	LL	.	.	.	NONE	.
891	LAND1	BS	.00380	.	.	NONE	.
892	LAND2	LL	.	.	.	NONE	.00337-
893	LAND3	LL	.	.	.	NONE	.00487-
894	LAND4	LL	.	.	.	NONE	.00600-
895	VIFA1	BS	.16537	.	.	NONE	.
896	VIFA2	BS	1.00000	.	.	NONE	.
897	VIFA3	BS	1.00000	.	.	NONE	.
898	VIFA4	BS	1.00000	.	.	NONE	.
899	EFF1	BS	.97671	.	.	NONE	.
900	EFF2	LL	.	.	.	NONE	.00486-
901	EFF3	LL	.	.	.	NONE	.00811-
902	EFF4	LL	.	.	.	NONE	.01135-
903	IMP1	BS	1.00000	.	.	NONE	.
904	IMP2	LL	.	.	.	NONE	.00191-
905	IMP3	LL	.	.	.	NONE	.01714-
906	IMP4	LL	.	.	.	NONE	.02475-
907	VOR1	BS	.28738	.	.	NONE	.
908	VOR2	LL	.	.	.	NONE	.00086-
909	VOR3	LL	.	.	.	NONE	.00154-
910	VOR4	LL	.	.	.	NONE	.00189-
911	NFCOST	BS	.45946	.09900	.	NONE	.
912	NFSQ2	BS	.76001	.03300	.	NONE	.
913	NFSTAUB	BS	.93916	.03300	.	NONE	.
914	NFNDX	BS	.74927	.03300	.	NONE	.
915	NFCO	BS	.79675	.05700	.	NONE	.
916	NFRABE	BS	.86096	.04100	.	NONE	.
917	NFUNF	BS	.78512	.07000	.	NONE	.
918	NFCO2	BS	.79579	.14700	.	NONE	.
919	NFVDST	BS	.61109	.00500	.	NONE	.
920	NFLAND	BS	.99905	.03300	.	NONE	.
921	NFVIFA	BS	.20866	.01200	.	NONE	.
922	NFEFF	BS	.75582	.22700	.	NONE	.
923	NFIMP	BS	.75000	.19800	.	NONE	.
924	NFVOR	BS	.92815	.01200	.	NONE	.

5. Literatur

Fürniß, B., Schulz, V., Stehfest, H. (1980): Optimierung des Energieversorgungssystems von Baden-Württemberg bei mehrfacher Zielsetzung. Bericht KfK 2978/I, Kernforschungszentrum Karlsruhe.

Hoch, D. (1979): Mehrfache Zielsetzung bei der Optimierung eines regionalen Energieversorgungssystems. Diplomarbeit, Institut für Wirtschaftstheorie und Operations Research, Universität Karlsruhe.

Neumann, K. (1975): Operations Research Verfahren, Bd. I. Hanser-Verlag, München.

IBM (1976): Mathematical Programming System Extended/370. Manual SH19-1095-1, IBM France, Paris.