

1. Beschreiben Sie den Unterschied zwischen „Storylines“ (= narrative Szenarien), Szenarien und Modelle. *(Energiemodelle Folien 1-7ff)*

Energiemodelle:

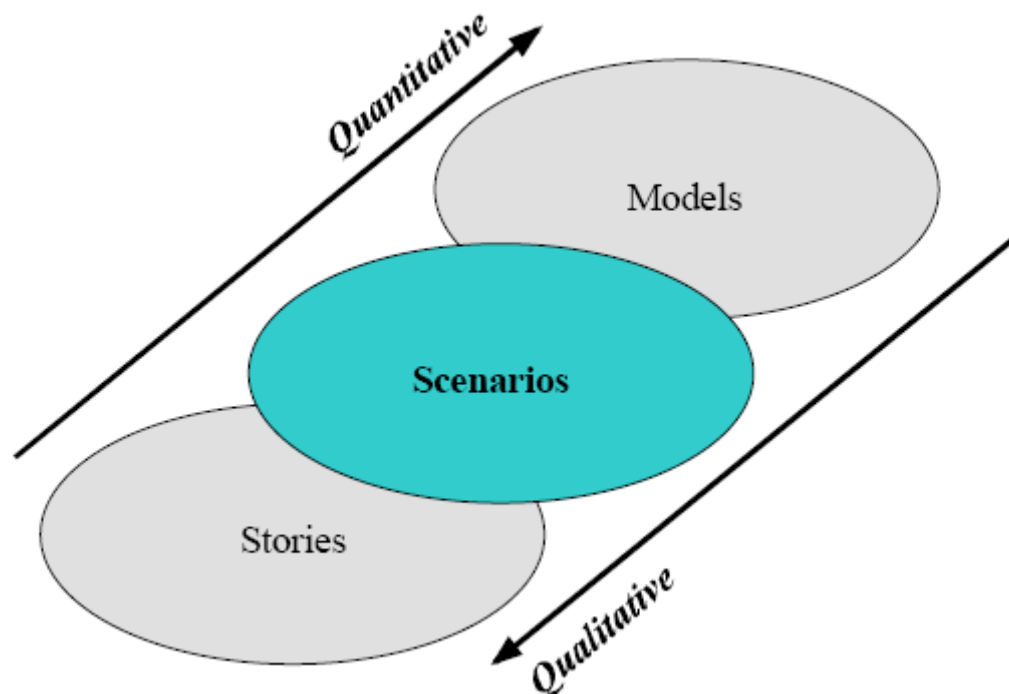
Dienen zur Abbildung der Energiesysteme, der Wechselwirkung verschiedener Akteure auf dem Energiemarkt, der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit.

Szenarien:

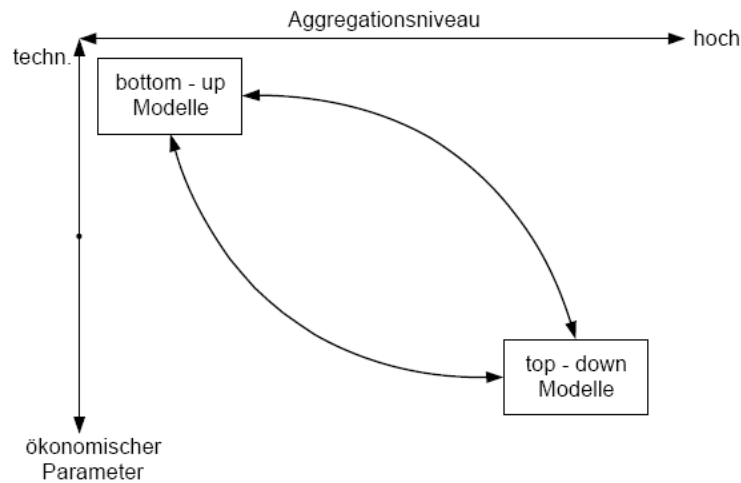
- Bereitstellung „konzeptionellen Rahmens“ zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen und der Darstellung von Auswirkungen alternativer Maßnahmen
- Ermöglichen die Interpretation glaubhafter (denkbarer, möglicher) Zukunftsentwicklungen
- Einbinden jener Aspekte, welche nicht formal modelliert werden können
- Mit dem Ziel bestehende (herkömmliche) Lösungsansätze (Vorstellungen) zu hinterfragen (und somit neue zu generieren)

Storylines:

Bei Storylines handelt es sich um die erzählende (=narrative) Form der Szenarien. Mittels der Storylines wird das Szenario interpretiert. Es sind daher auch mehrere Interpretationen in einer Storyline für ein Szenario möglich. Die Gesamtheit der Storylines für ein Szenario wird scenario family genannt. Dabei werden z.B. demografische, soziale, wirtschaftliche, technologische, ökologische und politische Aspekte beschrieben.



2. Erklären Sie den Unterschied zwischen Top-down- und Bottom-up-Modellen. Skizzieren Sie Stärken und Schwächen der beiden Ansätze. (Energiemodelle Folien 1-30f)



Unterschiedliche Fragestellungen:

“Top-Down” fragt:

Um wieviel reduziert eine gegebene Preissteigerung die Nachfrage?

“Bottom-Up” fragt:

Wie kann eine gegebene Energieeinsparung mit minimalen Kosten erzielt werden?

Vergleich von Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz

	Top-Down	Bottom-Up
Abbildung einzelner Technologien; Substitution von Energieträgern Effizienzgewinne durch technischen Fortschritt; Reduzierung des Nutzenergieniveau; Innovationen	– sektorale Produktionsfunktionen mit geschätzten Koeffizienten; Abb. des technischen Fortschritts über globale Parameter	+ Prozessorientierte Darstellung; Abb. von Einzelmaßnahmen zur CO2-Minderung
Gesamtwirtschaftliche Einflüsse: Preiseinflüsse (z.B. durch CO2-Steuern); Beschäftigungseffekte; Energienachfrageeffekt; Import/Export	+ Abb. der Wirkungen fiskalischer (monetären) Politikmaßnahmen	– Volkswirtschaftlicher Kreislauf der Entstehung und Verwendung von Gütern wird nicht abgebildet
Verhalten: Hemmnisse Präferenzen	–/+ teilweise über Nachfrageelastizitäten	– unterstellt wird vollkommen rationales Verhalten
Strukturwandel: Intrasektoraler Strukturwandel Intersektoraler Strukturwandel	– nur teilweise bei Input-Output-Modellen enthalten	+ unterschiedliche Entwicklung der Subsektoren
Kosten der CO2-Minderung:	\$200-500/tC	\$20-200/tC

3. Beschreiben Sie (mindestens vier) verschiedenen Arten von Modellen (Kapitel 2.2). Nach welchen Merkmalen können Energiemodelle unterschieden werden? (Kap. 2.1) (Energiemodell2 2-1ff)

ARTEN VON MODELLEN:

- Simulationsmodelle: versuchen „nur“ die Wirklichkeit abzubilden
- Analysemodelle: versuchen Parametereinfluß herauszufiltern (Einkommen, Klima, Personenzahl ...)
- Optimierungsmodelle: Sollen steuernde Eingriffe im Sinne einer Zielfunktion zu analysieren
- Szenarienmodelle: sollen Bandbreiten, mögliche Entwicklungen für die Zukunft darzustellen
- Prognosen: Sollen die Zukunft voraussagen

MERKMALE VON MODELLEN

- Statisches versus dynamisches Modell:

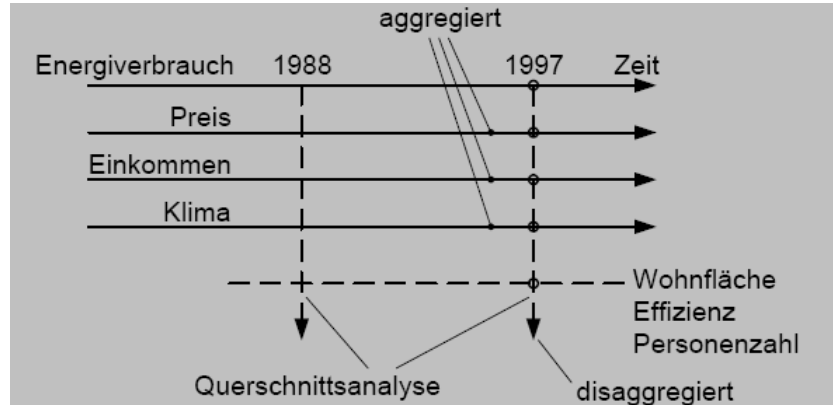
Ohne Zeit

Zeitlicher Einfluß
Zeit spielt eine große Rolle

- Querschnitts – versus Zeitreihenanalysen

(QSA)
Stichprobe ÖSTAT
(z. B. 30000 Haushalte 1997)

(ZRA)
z.B. Zeitraum 1970 – 1997
(z.B. Energy Balances)



- Aggregiert versus

Disaggregiert

Verteilung über verschiedene statistische Größen (z.B. Standardabweichung)

Verteilung im Detail bekannt

- Technische Modelle (Bottom – up) (disaggregiert)
- Ökonomische Modelle (Top – down) (aggregiert)
- Ge“poolte“ Modelle: verbinden QSA mit ZRA
Ermöglichen auch internationale Querschnittvergleiche (IEA: Cross- Country Comparisons)

4. In welchen grundsätzlichen Aspekten unterscheiden sich Zeitreihen- und Querschnittsanalysen? *(Energiemodelle 3-13ff)*

Im Gegensatz zu Zeitreihenanalysen werden für Querschnittsanalysen disaggregierte Daten verwendet, die sich meist auf einen bestimmten Zeitpunkt, z.B. ein Jahr, beziehen. Das können z.B. Daten aus Mikrozensushebungen sein. Aufgrund der Tatsache, dass es sich dabei um Daten einzelner Verbraucher mit ganz bestimmten individuellen Merkmalen handelt, können –falls erhoben – eben auch diese anderen Merkmale in die Analysen miteinbezogen werden.

Durch Berücksichtigung verschiedener (langfristiger) Strukturparameter ist ebenfalls möglich, kurz- und langfristige Effekte herauszufiltern. Darüber hinaus erlaubt dieser Ansatz die Untersuchung bestimmter Muster von Verbrauchertypen und des Einflusses verschiedener Parameterkategorien (wirtschaftlich, technisch, strukturell, verhaltensmäßig) und damit auch z.B. Analysen der Reaktion des Energieverbrauchsverhaltens auf Energiesparmaßnahmen.

5. Beschreiben Sie grundsätzlich, wie bei der Erstellung von ökonometrischen Modellen die Energienachfrage basierend auf Zeitreihenanalysen modelliert wird. *(Energiemodelle 3-8ff)*

Die Basis für Analysen ist die Beschreibung des Energieverbrauchs durch Preise, Einkommen und mögliche zusätzliche Parameter bzw. Verzögerungen mit Hilfe des Ansatzes einer sog. Produktionsfunktion, die Ausgangsüberlegung dazu ist, dass es langfristig in Abhängigkeit von Preisen Einkommen und möglichen anderen Einflussparametern einen Gleichgewichtszustand gibt.

$$E_{\infty} = f(p_E, Y, x_i, t)$$

Mit der Gleichgewichtslage E_{∞} und den sonstigen Parametern x_i . Der einfachste Schätzansatz berücksichtigt nur die Abhängigkeit des Einkommens:

$$E_t = K \cdot Y_t^B$$

Mit der Konstanten K , dem Energieverbrauch E_t im Jahr t , dem Einkommen (z.B. BIP) Y_t und der (langfristigen) Einkommenselastizität B . Der Ansatz unter zusätzlicher Berücksichtigung des Preises lautet:

$$E_t = K \cdot p_t^A \cdot Y_t^B$$

Mit der (langfristigen) Preiselastizität A . Der Ansatz lässt sich auch in der für Regressionsanalysen bequemerem logarithmischen Form schreiben:

$$\ln E_t = C + A \ln p_t + B \ln Y_t$$

Dieser Modellansatz kann auf zwei unterschiedliche Arten von Analysen angewendet werden, nämlich die **Querschnittsanalyse** und die **Zeitreihenanalyse**.

Es wird nun die Zeitreihenanalyse genauer betrachtet. Aufgrund der Trägheit der laufenden Energienachfrage repräsentieren jedoch die jährlichen Beobachtungen keine Realisierung der

Gleichgewichtsnachfrage. Denn die Änderung der Nachfrage verlangt die langfristige Anpassung der Technologie und/oder der Verhaltens.

$$\frac{d \ln E(t)}{dt} = \frac{1}{\lambda} [\ln E_{\infty} - \ln E(t)]$$

Bei diesem Ansatz gehen wir davon aus, dass es einen Gleichgewichtszustand gibt. Wenn sich Preise und/oder Einkommen ändern, dann tritt mit einer bestimmten Geschwindigkeit λ eine Anpassung ein. Dieses λ wird i.A. von der verzögerten abhängigen Variablen ermittelt und als Koyk'scher Lag bezeichnet.

Der Schätzansatz unter Einbeziehung des Lag und des Preises lautet:

$$E_t = K \cdot p_t^{\alpha} \cdot Y_t^{\beta} \cdot E_{t-1}^{\lambda} \quad \text{bzw.} \quad \ln(E_t) = C + \alpha \ln(p_t) + \beta \ln(Y_t) + \lambda \ln(E_{t-1})$$

wobei:

$C = \ln(K)$ Konstante

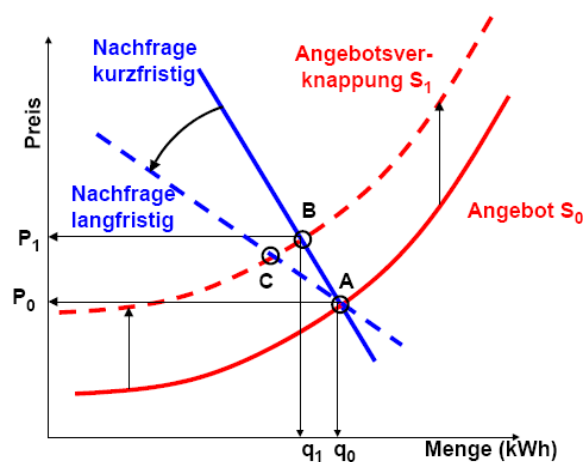
λ Lag

Der Parameter λ gibt also die zeitliche Verzögerung der Anpassung der tatsächlichen Energienachfrage an den unterstellten langfristigen Gleichgewichtszustand an.

Eine weitere Möglichkeit das Grundmodell zu verbessern, ist die Berücksichtigung eines autonomen zeitlichen Trends. Ist dieser Trend negativ, dann heißt das, dass es über die Zeit automatisch eine gewisse technische Effizienzverbesserung gibt. Das modifizierte Modell lautet dann: $\ln(E_t) = C + \alpha \ln(p_t) + \beta \ln(Y_t) + \Theta t$, Θ ...Trend

Mit Hilfe des Lag ist es nun auch möglich zwischen kurz und langfristigen Elastizitäten zu unterscheiden. Die langfristigen Elastizitäten ergeben sich aus den kurzfristigen wie folgt:

$$A = \frac{\alpha}{1-\lambda} \quad B = \frac{\beta}{1-\lambda}$$



6. Beschreiben Sie grundsätzlich, wie bei der Erstellung von ökonometrischen Modellen die Energienachfrage basierend auf Querschnittsanalysen modelliert wird. (Energiemodelle 3-15ff)

Wir verwenden dazu das Basismodell (siehe Frage 6).

$$E_t = C \cdot p_t^\alpha \cdot Y_t^\beta \dots N^\eta$$

Ein allgemeines Modell für Querschnittsanalysen mit Dummy-Variablen hat die Form:

$$E = e^{(k+aD_1+bD_2+\dots+nD_x)} A^\alpha \cdot B^\beta \dots N^\eta$$

wobei E den Energieverbrauch, k eine Konstante, $D_1 \dots D_x$ Schaltvariablen (binäre Variablen; z.B. =1 für Einfamilienhaus, =0 für Mehrfamilienhaus), $a \dots n$ die Koeffizienten dieser Variablen, A...N kontinuierliche Variablen (z.B. Wohnfläche) und $\alpha \dots \eta$ die Koeffizienten der kontinuierlichen Variablen darstellen. Der Ansatz ist in der Form der oben dargestellten Produktionsfunktion einer Lösung mittels linearer Regression nicht lösbar und wird aus diesem

Grunde wiederum logarithmiert:

$$\ln(E) = k + aD_1 + bD_2 + \dots + nD_x + \alpha \ln(A) + \beta \ln(B) + \dots + \eta \ln(N)$$

Ein Modell mit ökonomischen und Strukturparametern beschreibt folgende Gleichung:

$$E_x = k p^\alpha Y^\beta Z_{D/B}^\varepsilon A^\varphi Z_p^\mu$$

A Wohnfläche (m²)
 $Z_{D/B}$ Anzahl der Wohnungen im Gebäude
 Z_p Anzahl der Personen pro Haushalt

Das ökonomische Struktur-Dummy-Modell:

$$E = k e^{(aD_1+bD_2)} p^\alpha \cdot Y^\beta$$

P Spezifischer Energiepreis (€/kWh)
 Y Haushaltsmonatsnettoeinkommen
 D1 Dummy Einfamilienhaus=1; Mehrfamilienhaus=0
 D2 Dummy Zentralheizungssystem=1; kein Zentralheizungssystem=0;
 a, b coefficients

Das ökonomisch-technische Modell:

$$E_x = k p^\alpha Y^\beta q_0^v \eta^\pi$$

q_0 Spezifische Heizlast nach ÖNORM 8135 (W/m²K)
 η Effizienz des Heizsystems

Das ökonomische Verhaltensmodell:

$$E_x = kp^\alpha Y^\beta T_i^\lambda$$

T_i Innentemperaturniveau

(1..6; "1"≤15°C<"2"≤17,5 °C <"3"≤20 °C <"4"≤22,5 °C <"5"≤25 °C <"6")

Diese Gleichungen können nun logarithmiert und dann einer Regressionsanalyse unterzogen und die Konstante sowie alle weiteren Koeffizienten bestimmt werden.

Die Qualität von Modellen bei Querschnittsanalysen ist generell schlechter als bei Zeitreihenanalysen. (Die Störgrößen kompensieren sich weniger)

7. Welche Größen beschreiben die Qualität der statistischen Schätzung einzelner Parameter und welche die Qualität der Schätzung eines Gesamtmodells? Welche Probleme können praktisch bei solchen Schätzungen auftreten? (*Energiemodelle 3-6 bis 3-8; 3-12; 3-26*)

a) Qualität einzelner Parameter (3-6 bis 3-8; 3-12):

t-Statistik...ob ein Koeffizient signifikant unterschiedlich von 0 ist, wenn > 1,96 dann hat der einzelne Koeffizient mit 95% Wahrscheinlichkeit einen signifikanten Einfluss; F-Test, DW(Durbin Watson), Durbin h ... für Schätzungen mit Lag

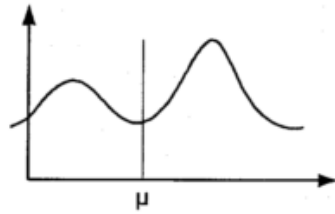
Gesamtmodell: Summe der Fehlerquadrate, Standardabweichung

b) Probleme bei Schätzungen (3-26)

• Multikollinearität

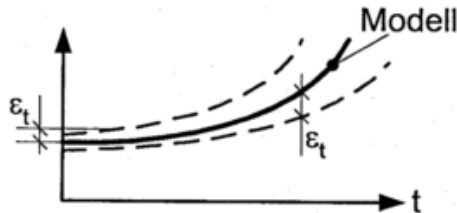
E = f(c,x,y) und y = f(x), Zufallsergebnis für x und y sowie für die zugehörigen Teststatistiken;

- Nichtnormalität

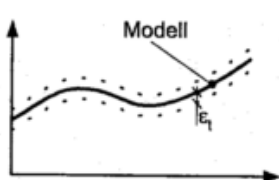


→ unterschiedliche statistische Tests, die analysieren, ob die Abweichung noch erträglich ist, oder nicht.

- Heteroskedisidizität



- Serielle Korrelation



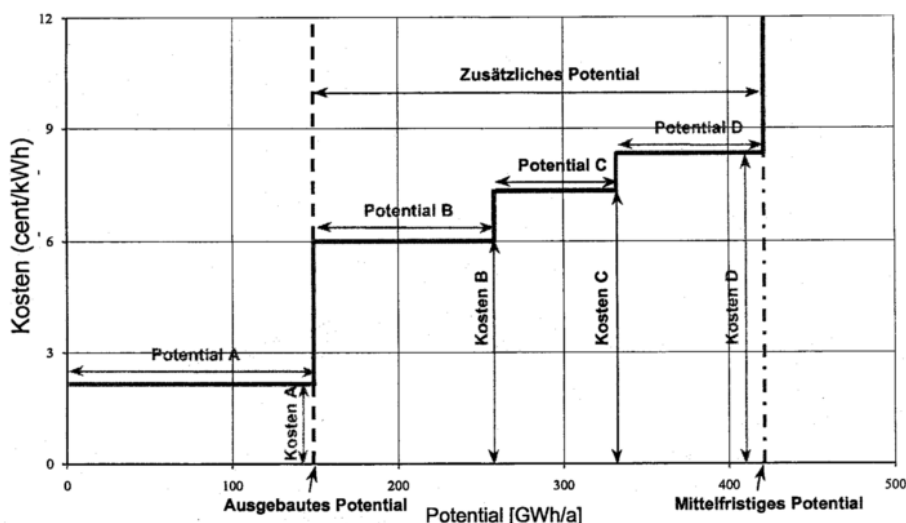
→ keine serielle Korrelation! → O.K.



→ $\epsilon_t = \rho\epsilon_{t-1}$ → serielle Korrelation vorhanden!

8. Erläutern Sie das Grundprinzip einer statischen Kostenkurve zur Bewertung der Potenziale erneuerbarer Energieträger. (Energiemodelle 5-10 bis 5-13)

a) Die statische Kostenkurve stellt den Zusammenhang der Grenzkosten der Erzeugung(euro/kWh) und der kumulierten Erzeugungsmenge eines Energieträgers pro Jahr(GWh/a) dar. Der Begriff statisch bedeutet in diesem Fall, dass die Daten auf ein bestimmtes Jahr bezogen werden(keine zeitabhängigkeit). Die Potentiale werden nach steigenden Kosten eingetragen.



Das Potential A ist gleichbedeutend mit der Erzeugung der installierten Leistung = existierende(und teilweise auch abgeschriebene) Kraftwerke, die Kosten sind hier die kurzfristigen Grenzkosten(laufenden Kosten)

Potential B-D mit Investitionskosten(da sie erst gebaut werden müssen) = langfristige Grenzkosten,

Alle zusammen = Mittelfristiges Potential, alle Kosten aus derzeitiger Sicht, keine Steuern und keine Subventionen berücksichtigt

b) Unterschied zwischen statischen und dynamischen Kostenkurven: Bei dynamischen Kostenkurven wird unter anderem die Abhängigkeit der Kosten von der bereits installierten Kapazität berücksichtigt(Learning curve). Dazu wird die aktuelle statische Kostenkurve mit der Learning curve verknüpft und es resultiert ein dynamischer Verlauf der von der installierten Leistung abhängt.

9. Beschreiben Sie warum technologisches Lernen eine wichtige Rolle bei der Energieplanung spielt. *(laut Naki steht die Frage in Zusammenhang mit MESSAGE)*

Da sich mit dem Technologischen Lernen die Kosten für die einzelnen Technologien mit der installierten Leistung(und damit auch mit der Zeit) verändern, und sich so auf die Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Technologien auswirkt, hat sie einen großen Einfluss auf die Energieplanung. Besonders bei jenen Technologien die sich noch in der Anfangsphase befinden kann mit dem Wissen über die „Learning curve“ der Verlauf der Kosten der Energieerzeugung(und der installierten Leistung) abgeschätzt werden. Die daraus gewonnene Information kann dann z.B. für die folgende Fragestellung verwendet werden: „Wie lange müsste Solarenergie gefördert werden, bis die Kosten so niedrig sind, dass sie ohne Förderung eingesetzt werden?“

10. Beschreiben Sie das Grundprinzip der Annuitätenmethode. Welche quantitative Größenordnung haben Annuitätsfaktoren? *(Energieökonomie 2-11, 2-13, 2-22; Energiemodelle 5-7ff)*

a) Aus der Barwertmethode wird die Annuitätenmethode abgeleitet. Es werden dabei die durchschnittlichen Jahreskosten ermittelt, die sich für die Nutzungsdauer der Investition unter Berücksichtigung des Kalkulationszinssfußes und der jeweiligen Preissteigerungsraten ergeben.

Abschreibung und Zinsen werden Annuität genannt und als gleichbleibende Zahlungen A angesetzt.

$$\alpha = \frac{z \cdot (1+z)^{LD}}{(1+z)^{LD} - 1}$$

z: Zinssatz [%]
LD: Lebensdauer [a]

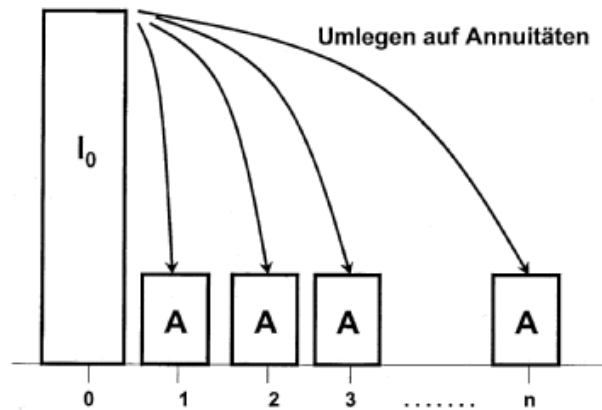
$$A = \alpha \cdot I$$

I...Investitionskosten zum Zeitpunkt 0, α = Annuitätenfaktor, A...Annuität

jährlichen Kosten $K = A + k_b + k_e$

k_bjährliche Betriebskosten, k_ejährliche Energiekosten

Die Annuitätenmethode ist für Probleme in der Energiewirtschaft bestens geeignet und hat sich vorallem dort durchgesetzt, wo größere Investitionsentscheidungen anfallen.



b) $\alpha = \text{ca. } 0,1 \dots (0,08 \text{ für } 20\text{-}50\text{Jahre und } 5\text{-}10\text{Prozent})$ für Kraftwerke (für alles andere kann er sich natürlich schon in bisschen weitere Grenzen bewegen, siehe zb. Energiesparlampe Bsp.:13)

11.

hier: Lastfaktor = Verhältnis von Einsatzstunden des Kraftwerks pro Jahr zu 8760h

fehlende Energie = $100\text{MWa} - 120\text{MW} * 0,7\text{a} = 16\text{MWa}$

erforderliche Kapazität = $16\text{MWa} * \frac{1}{0,2\text{a}} = 80\text{MW}$

Es müssten Gasturbinen mit einer Leistung von 80MW gebaut werden, da sie ja nur $\frac{1}{5}$ der Zeit genutzt werden (lt.Angabe).

bez. Lastfaktor siehe 5-9

12.

$$k = k_{fix} + k_{var}$$

$$k_{fix} = \frac{I_0 * \alpha}{\text{Volllaststunden}} = \frac{600 \frac{\text{euro}}{\text{kW}} * 0,1 * \frac{1}{\text{a}}}{6000 \frac{\text{h}}{\text{a}}} = 0,01 \frac{\text{euro}}{\text{kWh}} = 1 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}} \quad (1)$$

$$k_{var} = \frac{\text{preis}}{\text{Heizwert} * \eta} = \frac{10 \frac{\text{cent}}{\text{m}^3}}{10 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} * 0,5} = 2 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}} \quad (2)$$

$$k = 1 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}} + 2 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}} = 3 \frac{\text{cent}}{\text{kWh}}$$

13.

$$\alpha = \frac{r * (1 + r)^{LD}}{(1 + r)^{LD} - 1} = \frac{0,05 * (1 + 0,05)^{20}}{(1 + 0,05)^{20} - 1} = 0,08 \quad (3)$$

Kraftwerk:

$$k_{fix} = \frac{I_0 * \alpha}{Volllaststunden} = \frac{1400 \frac{euro}{kW} * 0,08 \frac{1}{a}}{7000 \frac{h}{a}} = 0,016 \frac{euro}{kWh} = 1,6 \frac{cent}{kWh} \quad (4)$$

$$k_{var} = \frac{preis}{Heizwert * \eta} = \frac{0,1 \frac{euro}{kg}}{7,6 \frac{kWh}{kg} * 0,38} = 0,035 \frac{euro}{kWh} = 3,5 \frac{cent}{kWh} \quad (5)$$

$$k_{kraftwerk} = 1,6 \frac{cent}{kWh} + 3,5 \frac{cent}{kWh} = 5,1 \frac{cent}{kWh} \quad (6)$$

Leitung:

$$k_{uebertragung} = 5 \frac{cent}{kWh} \quad (7)$$

Lampe:

$$LD = \frac{Lebensdauer[h]}{Volllaststunden} = \frac{12000h}{2000 \frac{h}{a}} = 6a \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{r * (1 + r)^{LD}}{(1 + r)^{LD} - 1} = \frac{0,05 * (1 + 0,05)^6}{(1 + 0,05)^6 - 1} = 0,197 \quad (9)$$

$$I_0 = \frac{Anschaffungskosten}{Leistung} = \frac{10euro}{20W} = 0,5 \frac{euro}{W} \quad (10)$$

$$k_{fix} = \frac{I_0 * \alpha}{Volllaststunden} = \frac{0,5 \frac{euro}{W} * 0,197 \frac{1}{a}}{2000 \frac{h}{a}} = 49 * 10^{-6} \frac{euro}{Wh} = 4,9 \frac{cent}{kWh} \quad (11)$$

$$k_{var} = k_{kraftwerk} + k_{leitung} = 5,1 + 5 = 10,1 \frac{cent}{kWh} \quad (12)$$

$$k_{var} = k_{kraftwerk} + k_{leitung} = 5,1 + 5 = 10,1 \frac{cent}{kWh} \quad (13)$$

$$k_{ges} = k_{fix} + k_{var} = 4,9 + 10,1 = 15 \frac{cent}{kWh} \quad (14)$$

$$K_J = k_{ges} * Leistung * Volllaststunden = 15 \frac{cent}{kWh} * 20W * 2000 \frac{h}{a} = 6 \frac{euro}{a} \quad (15)$$

Die Energiedienstleistung Beleuchtung kostet $6 \frac{euro}{a}$.

14. Bestimme den Kohlepreis, bei welchem Solarstrom billiger ist als Kohlestrom.*(Energieökonomie 2-15)*

$$\alpha = \frac{q^n(q-1)}{q^n-1} = \frac{1,05^{20}(1,05-1)}{1,05^{20}-1} = 0,08$$

$$k_{\text{Solar}} = \frac{\alpha \cdot I}{T} = \frac{0,08 \cdot 4500 \text{ €/kW}}{3000 \text{ h/a}} = 12 \text{ c/kWh}$$

$$k_{\text{Solar}} = k_{\text{Kohle}} = k_F + k_V = \frac{\alpha \cdot I}{T} + k_{\text{Übertrag.}} + \frac{P_B}{\eta \cdot H_u}$$

$$= \frac{0,08 \cdot 1400 \text{ €/kW}}{7000 \text{ h/a}} + 0,05 \text{ €/kWh} + \frac{P_B}{0,38 \cdot 7,6 \text{ kWh/kg}}$$

$$\Rightarrow P_B = \left[0,12 \text{ €/kWh} - \left(\frac{0,08 \cdot 1400 \text{ €/kW}}{7000 \text{ h/a}} + 0,05 \text{ €/kWh} \right) \right] \cdot 0,38 \cdot 7,6 \text{ kWh/kg} = 0,156 \text{ €/kg}$$

15. Kosten der Energiekette für 100W Glühbirne ermitteln. *(Energiemodelle 4-4ff)*

$$\alpha_{\text{Kraftw}} = \frac{q^n(q-1)}{q^n-1} = \frac{1,07^{20}(1,07-1)}{1,07^{20}-1} = 0,094$$

$$k_{\text{Gas}} = k_F + k_V = \frac{\alpha \cdot I}{T} + k_{\text{Brennst.}} = \frac{0,094 \cdot 550 \text{ €/kW}}{6000 \text{ h/a}} + 0,072 \text{ €/kWh} = 8,1 \text{ c/kWh}$$

$$k_{\text{Glühb.}} = \frac{0,9 \text{ €}}{0,5 \text{ a} \cdot 2000 \text{ h/a} \cdot 0,1 \text{ kW}} = 0,9 \text{ c/kWh}$$

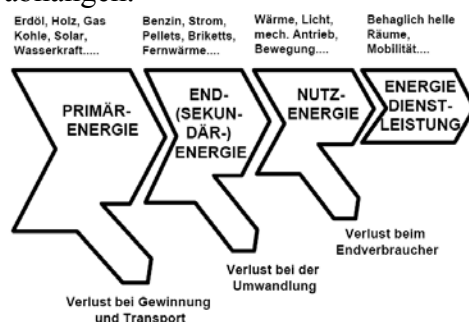
$$k_{\text{Ges.}} = k_{\text{Gas}} + k_{\text{Übertr.}} + k_{\text{Glühb.}} = 8,1 \text{ c/kWh} + 5 \text{ c/kWh} + 0,9 \text{ c/kWh} = 13 \text{ c/kWh}$$

$$K_j = k_{\text{Ges.}} \cdot \text{Leistung} \cdot \text{Vollaststunden} = 13 \text{ c/kWh} \cdot 100 \text{ W} \cdot 2000 \text{ h/a} = 26 \text{ €/a}$$

$$\eta_{\text{Ges.}} = \eta_{\text{Gas}} \cdot \eta_{\text{Übertr.}} \cdot \eta_{\text{Glühb.}} = 35\% \cdot 96\% \cdot 4\% = 1,34\%$$

16. Beschreiben Sie den Zusammenhang zwischen Energiebereitstellung und Energiedienstleistungen. *(Energiemodelle 4-1ff)*

Nur in seltenen Fällen steht Energie in transienter Form zur Verfügung, zB Wasserkraft (Wassermühlen), Wind (Segelschiff), sodass direkt mit einer Anwendungstechnologie Energiedienstleistung bereit gestellt werden kann. In den meisten Fällen kann die Primärenergie erst nach einem oder mehreren Umwandlungstechnologien genutzt werden. Dies führt zum Begriff der Energieumwandlungsketten, ausgehend von der verfügbaren Primärenergie (Öl, Gas,...) und der Nachfrage nach Endenergie, ist nun die Frage wie viel letztendlich wirklich nutzbar ist. Da in der langen Kette von der Primärenergie zur Energiedienstleistung Verluste auftreten, welche von den Effizienzen $\eta(T)$ der einzelnen Umwandlungstechnologien abhängen.

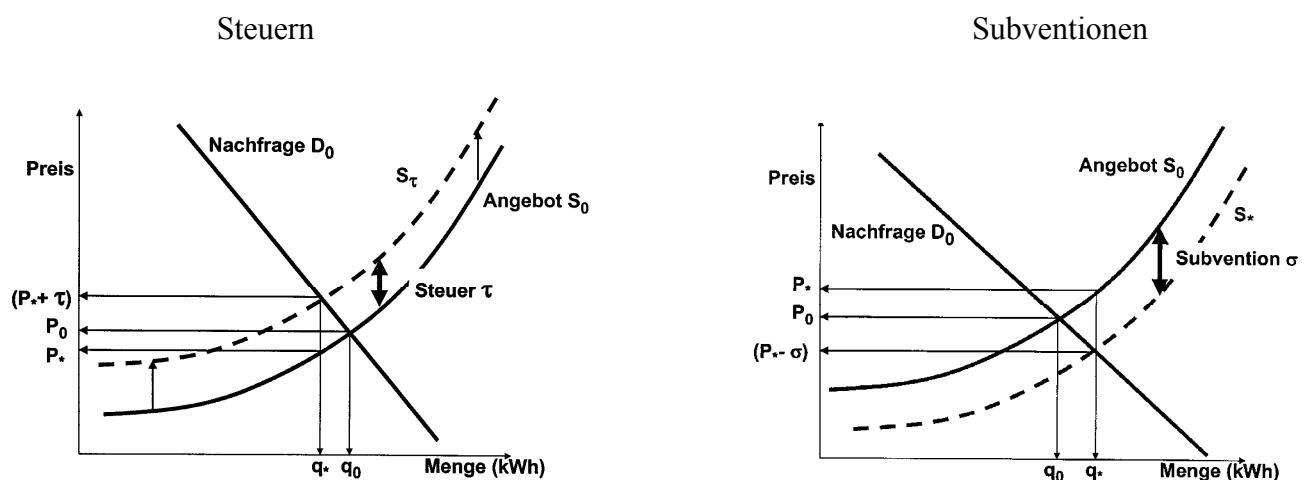


17. Welche Möglichkeiten für energiepolitische Eingriffe kennen Sie?

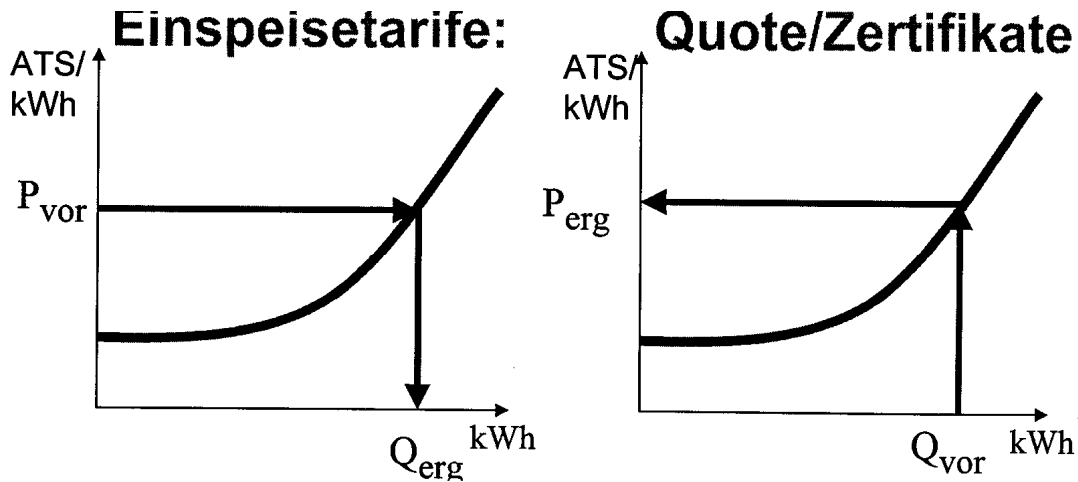
(Energiemodelle 10-2ff; Energieökonomie Frage 43)

- Subventionen / finanzielle Förderungen
sowohl für Investitionen als auch zur Primärenergieförderung und für energieeffiziente Technologien
- Umweltsteuern
Sollen je nach Umweltbelastung die externen Kosten, die verschiedene Energieträger verursachen, in den Energiepreisen widerspiegeln;
- Standards / Normen
Sollen bestimmte technisch mögliche Effizienzen gewährleisten, die aufgrund von niedrigen Energiepreisen nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht installiert würden.
- Regulierung
Die historisch dominierte Form der energiepolitischen Intervention ist jene der staatlichen Regulierung.
Das zentrale Motiv für staatliche Regulierung ist aber zumindest seit Ende des 19. Jh. Die Vermeidung von überhöhten oder anders ausgedrückt, die Gewährleistung sozial gerechter Preise.
- Handelbare Emissionsrechte
Sollen dazu dienen, Schadstoff- oder Treibhausgasemissionen national oder international ökonomisch möglichst effizient zu reduzieren.
- Reglementierte Einspeisetarife
Spielen vor allem zur Förderung erneuerbarer Energieträger zur Stromerzeugung eine wichtige Rolle
- Staatliche Interventionen
- Information / Beratung
- Lagerung

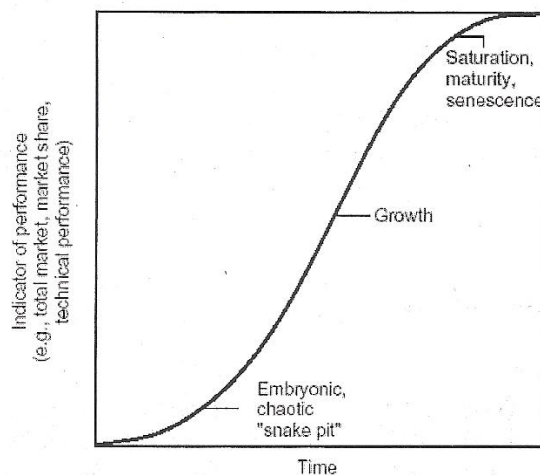
18. Erläutern Sie graphisch den prinzipiellen Unterschied der Wirkung von Steuern und Subventionen? (Energieökonomie Frage 44)



19. Beschreiben Sie graphisch den prinzipiellen Unterschied zwischen Einspeisetarifen und Quoten mit Handelbaren Zertifikaten zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energieträgern. (Energieökonomie Frage 45)



20. Beschreiben sie (zumindest) 3 Phasen der technologischen Lebenszyklen! (Energiemodelle 6-1ff; Energieökonomie Frage 11)



- Einführung:** niedriges Produktionsvolumen und Marktanteil
Viele Firmen versuchen in den Markt zu kommen.
Kosten sind nebensächlich
- Wachstum:** Lerneffekte und Verbesserungen nur aus Forschung und Entwicklung (R&D)
Reduktion des Risikos für neu Einsteiger
Fallende Kosten und Preise führen zu schnellem Marktwachstum
Anzahl der Erzeuger sinkt (kleinen Firmen gehen bankrott oder werden aufgekauft)
- Sättigung:** Wettbewerb reduziert sich auf Kostensenkung -> mechanisierung und Automatisierung!

21. Welche drei Wachstumsmodelle wurden in der Vorlesung vorgestellt? Beschreiben Sie ihre wesentlichen Eigenschaften, Unterscheidungsmerkmale, Anwendungsgebiete, und die dazugehörigen Gleichungen. (Energiemodelle 6-12ff)

1. Exponentielles Wachstum

Sehr einfaches Modell. Die Änderung der Größe über der Zeit ist proportional zu Größe.

Formulierung: $\frac{dN}{dt} = \alpha \cdot N$ **Lösung:** $N(t) = \beta \cdot e^{\alpha \cdot t}$

Problem: exponentielles Wachstum setzt unbegrenzte Ressourcen voraus, kann nicht ewig andauern wenn es sich um materielle Größen handelt. Irgendwann stößt System an Wachstumsgrenze.

2. Logistisches Wachstum

Aus exponentiellem Wachstum durch Einführung eines Feedback Terms gewonnen.

Formulierung: $\frac{dN}{dt} = \alpha \cdot N \cdot \left(1 - \frac{N}{K}\right)$ **Lösung:** $N(t) = \frac{K}{1 + e^{-\alpha \cdot (t - \beta)}}$

Für Anfangsphase ist das exponentielle Wachstum eine brauchbare Näherung.

3. Lotka-Volterra Modell

Beispiel für komplexere Wachstumsmodelle.

Mit solchen Modellen kann zB. Jäger-/Beute Populationen mit zyklischem Verhalten beschrieben werden (Feldhasen, Füchse).

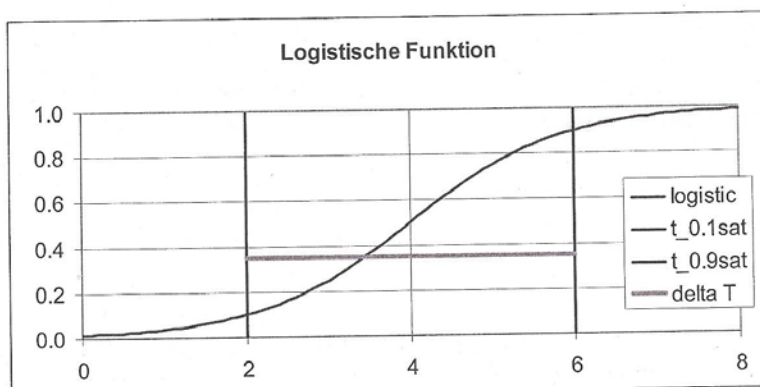
Formulierung: $\frac{dN_i}{dt} = \alpha_i \cdot N_i - \frac{1}{\gamma_i} \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} \cdot N_i \cdot N_j$

22. Beschreiben Sie die Parameter des logistischen Wachstumsmodells und welche Eigenschaften des Diffusionsprozesses diese bestimmen. Erstellen sie eine Skizze des Diffusionsprozesses unter der Annahme spezifischer Parameter? (Energiemodelle 6-13ff)

K...Sättigungswert (saturation), gibt den maximal zu erreichenden Wert an

β ... Umkehrpunkt (inflection) T_m , gibt den Zeitpunkt an, bei welchem die Tangente ihre Steigung ändert, bei 4 in Abb.

α ...Steilheit (stepness) bzw. charakteristische Zeit ΔT , gibt an wie lange es dauert, bis Kurve von 10% bis 90% wächst.



23. Was versteht man unter dem logistischen Substitutionsmodell? Beschreiben Sie die wichtigsten Eigenschaften des logistischen Substitutionsmodells und die Definition des Δt (charakteristische Zeit). (*Logistisches Substitutionsmodell, Nebojsa Nakicenovic und Peter Kolp, 14 April 2008, #42-43 (Kapitel 6; 6-15)*)

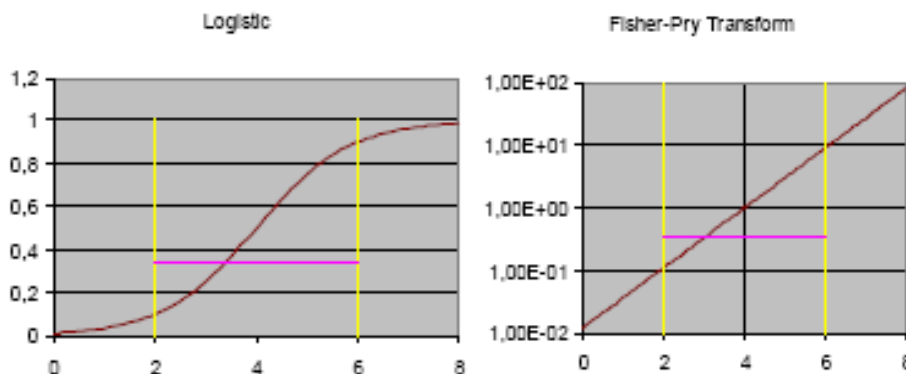
- Model beschreibt die Marktanteile von Wettbewerbern bzw. wie sich Marktanteile bei mindestens 2 Marktteilnehmern ändern.
- Neue Technologien wachsen mit logistischer Rate; zu jedem Zeitpunkt befindet sich genau eine Technologie in der Sättigungsphase
- In der Sättigungsphase folgt eine Technologie einem nicht logistischem Pfad
- Niedergang erfolgt mit logistischer Rate ohne Einfluss neuer Technologien
- der ‚Life cycle‘ eines Marktteilnehmers aus Wachstumsphase, Sättigungsphase und Niedergangsphase besteht.
- Basierend auf einer Sigmoiden (S-förmigen Funktion); d.h. progressiv steigende Kurve nach Erreichen eines Wendepunktes degressiv steigend bis Sättigung
- Das ΔT mit $\Delta T = \frac{\ln(81)}{\alpha}$ gibt an, wie lange es dauert bis die Funktion von 10% bis 90% ihres Sättigungswerts wächst.

24. Erklären Sie die Fisher-Pry Transformation und was diese im logistischen Substitutionsmodell darstellt. Warum ist sie bei der Parametersuche für das logistische Substitutionsmodell anwendbar? Skizzieren Sie eine logistische Funktion in Normaldarstellung und als Fisher-Pry Transformation. (*Kapitel 6; 6-15*)

Die logistische Funktion $N(t)$ wird in 2 Schritten transformiert:

- Normieren auf 1 (Dividieren durch Sättigungswert K): $F(t) = \frac{N(t)}{K}$
- $FP(t) = \left(\frac{F(t)}{1-F(t)} \right)$
- d.h., in semi-logarithmischer Darstellung tritt logistische Funktion als Gerade auf

Weil Sättigung (K) bekannt, reduziert sich die Lösungssuche für den ‚best fit‘ auf eine lineare Regression.



25. Beschreiben Sie mindestens drei Anwendungsbereiche/-beispiele für die logistische Funktion (bzw. logistische Wachstumsprozesse). In welchen Wissenschaftsbereichen wurden/werden logistische Funktionen angewendet?

- **1:** Als Anwendungs- und Wissenschaftsbereich die Energiepolitik und Energiewirtschaft zur strategischen Entscheidungsfindung sowie zur Energiemodellierung und -analyse; zur Trend-analyse bzgl. Primärenergieträgern; zur Modellierung der Primär-, Sekundär-, End- und Energiedienstleistungsnachfrage. *(Kapitel 6)*
- **2:** Als Anwendungs- und Wissenschaftsbereich der Bereich des Verkehrs- und Transport-wesens zur Untersuchung von z.B. Verkehrswachstum, Nutzungsverhalten, Infrastruktur-veränderungen, Fahrzeugbestandsveränderungen, *(Kapitel 6)*
- **3:** Als Anwendungs- und Wissenschaftsbereich z.B. der Bereich Volks- und Betriebswirtschaft zur Modellierung von Produktlebenszyklen, Technologielebenszyklen und Nachfragelebens-zyklen; zur Analyse von Zeitserien, Marktanteilen und Trendextrapolation. *(Kapitel 6)*

Wurde angewendet im Bereich Demographie (Bevölkerungswachstum), Biologie (Pflanzen-wachstum) und Technologie. *(Kapitel 6; 6-16)*

26. Beschreiben Sie mindestens drei Anwendungsbeispiele für das logistische Substitutionsmodell.

- **Bsp.1:** Substitution von Segelschiffen (haben Markt ca. bis 1880 dominiert) durch Dampfschiffe (bis ca. 1920 90% der Handelsschiff-tonnage) und Dampfschiffe durch Motorschiffe (seit dessen Einführung um 1920 ständiges Wachstum). *(Kapitel 6; 6-9)*
- **Bsp.2:** Wettbewerb zwischen den 5 Primärenergieträgern; Sättigungsphase von Holz vor 1860; Sättigungsphase von Kohle ca. um 1920-1930; Nutzung von Erdöl seit ca. 1880 mit modellierter Sättigung um ca. 1975-1985; Nutzung von Erdgas seit ca. 1900 mit prognostizierter Sättigung um 2030; kontinuierlicher Anstieg der Kernenergienutzung seit ca. 1965 (bis auf ‚Anti-Atom Bewegung‘). *(Kapitel 6; 6-11)*
- **Bsp.3:** Substitutionen in Fahrzeugbeständen: Pferde (Sättigung vor 1900) durch das Auto-mobil mit Ablösezeitpunkt um ca. 1910; Substitution von Dampflokomotiven durch Diesel/ Elektrische Lokomotiven laut Model und Zeitreihe um ca. 1965. *(Kapitel 6; 6-8 und 6-9)*

27. Warum ist die *a priori* Bestimmung der zeitlichen Abfolge der Technologien (i.e., der einzelnen Substitutionsprozesse) bei der Anwendung der LSM-II Software wichtig?

(Logistisches Substitutionsmodell, Nebojsa Nakicenovic und Peter Kolp, 14 April 2008, #43-44)

Die *a priori* Bestimmung bzw. ein Sortieren nach Sättigungsphase ist notwendig, da sich zu jedem Zeitpunkt genau eine Technologie in der Sättigungsphase befindet (notwendige Bedingung).

28. Welche Anforderungen waren Ausgangspunkt für die Entwicklung der LSM-II Software? *(Kapitel 6; 6-20)*

Funktionale Anforderungen

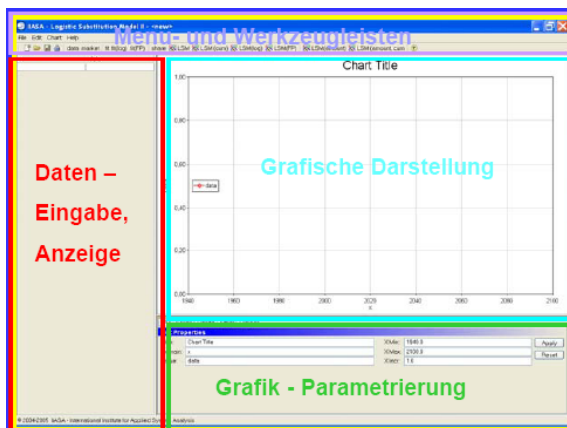
- Logistische Funktionen schätzen
- Logistische Substitutionsmodelle schätzen
- → d.h., die Analyse von Zeitreihen mit sigmoiden Trajektorien durch Parameterschätzung

Nichtfunktionale Anforderungen

- Einfach zu verwenden
- Graphische Benutzeroberfläche
- Integration in (Microsoft) Desktopumgebung
- Einfach zu Portieren

+Portierung der mathematischen Methoden von Vorgängerversion

29. Beschreiben (Skizzieren) Sie die Struktur der Benutzerschnittstelle der LSM-II Software. (Kapitel 6; 6-23)



Die Benutzerschnittstelle (GUI) besteht aus 4 Bereichen:

30. Menü und Werkzeugleiste

- Import mittels Copy/Paste-Menüs
- Auswahl der Darstellung (LSM, LSM-FP,...)
- Speichern (.wmf), Exportieren (Excel),...

31. Dateneingabe und -anzeige

32. Graphische Darstellung

33. Parametrierungsbereich

- Reihenfolge der Serien anpassen

- Optional Szenarien einfügen,...

30. Beschreiben Sie die Anwendung der LSM-II Software beim erstellen eines logistischen Substitutionsmodells und der Einbindung der Grafik in beispielsweise ein Worddokument. (vgl. Übungsaufgabe zur Vorlesung: Daten als Exceldatei, Erstellen eines LSM mit Hilfe der Software, Einbinden der Ergebnisgrafik in die Ausarbeitung). (Energiemodelle 6-23 und Folien 6-81 bis 6-85)

- Datensatz in Excel öffnen, gewünschten rechteckigen Datenbereich in die Zwischenablage kopieren. Die erste Spalte wird als x-Werte interpretiert, die übrigen Spalten als y-Werte.
- Daten aus Zwischenablage in LSMII übernehmen (edit – paste).
- Anpassen des Darstellungsbereichs – Parametrierungsbereich/Plot.
- Titel, Achsenbeschriftungen eingeben – Parametrierungsbereich/Plot.
- Eventuell Reihenfolge der Serien anpassen – Parametrierungsbereich/Series.
- Bereiche für Schätzung parametrieren – Parametrierungsbereich/Ranges.
- (Optional) Szenario – Serie(n) einfügen.
- Auswahl der Darstellung (LSM, LSM-FP, . . .) – Toolbar (oder Menü).
- Die Ergebnisse der Schätzung können bequem in die Zwischenablage exportiert werden (Menü – Edit – und dann copy Fitpar bzw. copy Lsmpar).
- Grafik als WMF speichern (Menü – File – save Chart as. . .).
- WMF in Word importieren.

31. Beschreiben Sie die allgemeine Form eines linearen Optimierungsproblems (Maximierungsproblem, d.h. Primalproblem) und die dazu gehörigen Gleichungen. (Energiemodelle 7-9)

Frage bzw. Antwort ähnlich Frage 45!

Die allgemeine Form eines linearen Optimierungsproblems (für ein Maximierungsproblem) besteht aus:

- Zielfunktion: Zusammenhang für die Größe, die maximiert werden soll, z. B. Gewinn G maximieren:

$$\text{Max } G = p_1x_1 + p_2x_2 + \dots + p_nx_n ,$$

mit Preisen p_i und (Produktions-) Mengen x_i .

- Nebenbedingungen: Zu erfüllende Ungleichungen:

$$\begin{array}{rcl} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n & \leq & b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n & \leq & b_2 \\ & \vdots & \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \cdots + a_{mn}x_n & \leq & b_m \end{array}$$

a_{ji} , p_i , b_i reell.

- Nichtnegativitätsbedingungen: weitere, sinnvolle Einschränkung des Lösungsbereichs (es können z. B. keine negativen Mengen erzeugt werden!):

$$x_i \geq 0$$

Das Problem kann auch in Matrixform formuliert werden:

$$\begin{array}{rcl} \max G & = & \mathbf{p}^T \mathbf{x} , \\ \mathbf{A} \mathbf{x} & = & \mathbf{b} , \\ \mathbf{x} & \geq & \mathbf{0} , \end{array}$$

mit

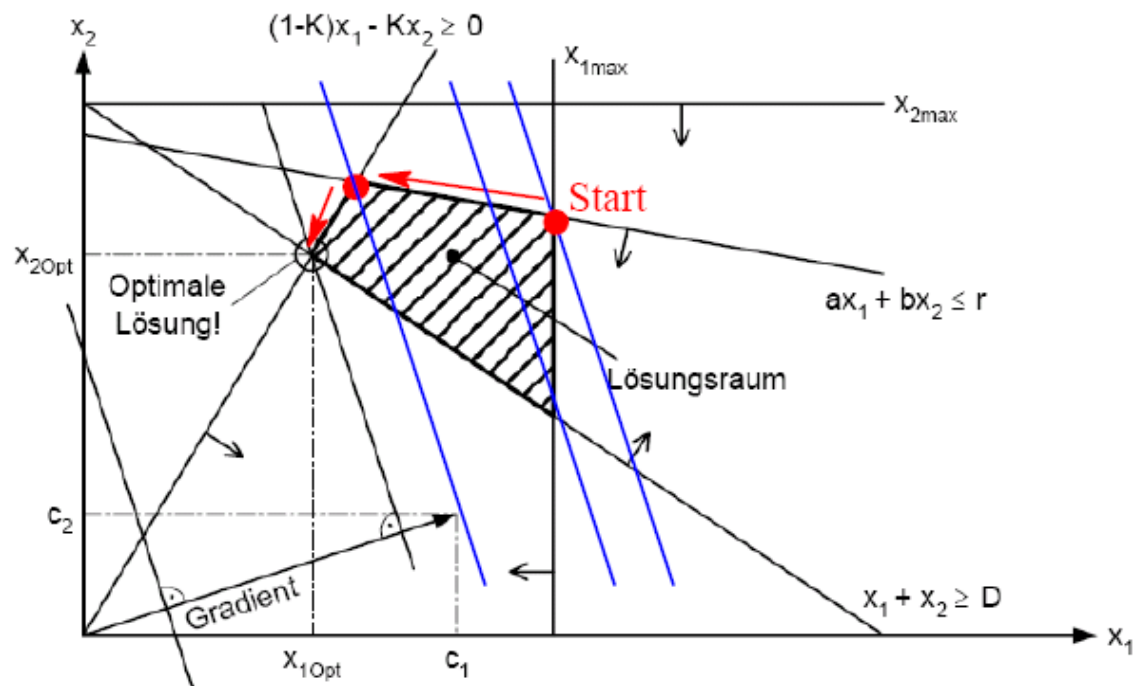
\mathbf{p}^T	Zeilenvektor der Zielfunktionskoeffizienten
\mathbf{x}	Vektor der Entscheidungsvariablen
\mathbf{A}	$m \times n$ Koeffizienten- oder Technologiematrix
\mathbf{b}	Vektor der Konstanten der rechten Seite

Ungleichungen der Form $\mathbf{A}'\mathbf{x} \leq \mathbf{b}$ können dann durch Einführung einer Schlupfvariablen \mathbf{z} mittels $\mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{z} = \mathbf{b}$ eingeführt werden.

32. Professor George Bernard Dantzig verstarb am 13.Mai 2005. Als weltweit anerkannter Mathematiker entdeckte Prof. Dantzig zwei fundamentale statistische Theorien die heute sowohl in wirtschaftlichen als auch technischen Bereichen weit verbreitet sind. Weiters entwickelte er einen Algorithmus zur Lösung von Linearen Programmen. Wie wird dieser Algorithmus genant? Beschreiben Sie dessen grundlegende Eigenschaften und die prinzipielle Methodik der Lösungssuche. Wie findet der Algorithmus die optimale Lösung im theoretisch unendlichen Lösungsraum von Linearen Programmen. Skizzieren Sie den Algorithmus anhand eines simplen Beispiels mit 2 Variablen. (Energiemodelle 7-12)

Es handelt sich um den Simplex-Algorithmus. Jede der Restriktionen (= Nebenbedingungen und Nichtnegativitätsbedingungen) stellt eine $n - 1$ -dimensionale Hyperebene dar und teilt den n -dimensionalen Lösungsraum des linearen Optimierungsproblems in Halbräume, wodurch als Lösungsraum schließlich ein Polyeder (= Vieleck) entsteht, dessen Ecken mögliche

optimale Lösungen darstellen. Der Simplex-Algorithmus geht nun von einer (beliebigen) möglichen Lösung (= Ecke) aus und vergleicht die Zielfunktionswerte (= z. B. Kosten) der angrenzenden Ecken mit der aktuellen Lösung. Es wird zur Ecke mit dem niedrigsten Wert gewechselt und dort wieder mit den angrenzenden Ecken verglichen. Dies wird solange wiederholt, bis keine angrenzende Ecke einen niedrigeren Zielfunktionswert mehr aufweist, und somit die Lösung des Problems gefunden ist. Die folgende Abbildung zeigt graphisch den Ablauf: Es wird bei einem beliebigen Punkt gestartet. Die Werte der Zielfunktion in den einzelnen Ecken sind durch die Isoquanten (blaue, parallele Linien) gegeben. Je weiter die Isoquante vom Ursprung entfernt ist, desto höher ist der Wert. Die erste Iteration führt daher zur linken der beiden benachbarten 2 Ecken des Startpunkts. Nach der zweiten Iteration ist die optimale Lösung gefunden: Die Isoquante durch den Lösungspunkt liegt am nächsten zum Ursprung.



Ein Nachteil des Verfahrens ist allerdings, dass die Anzahl der Eckpunkte des Polyeders exponentiell mit der Anzahl der Entscheidungsvariablen wächst. Im ungünstigsten Fall steigt also die Zahl der durchzuführenden Iterationen ebenso exponentiell an.

33. Lösen Sie das folgende Lineare Programm graphisch. (*Energiemodelle 7-11*)

$$\begin{aligned} \text{Max } G &= 2,5x_1 + 2x_2 \\ x_1 + 2x_2 &\leq 8000 \\ 3x_1 + 2x_2 &\leq 9000 \\ x_1 &\geq 0, \quad x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

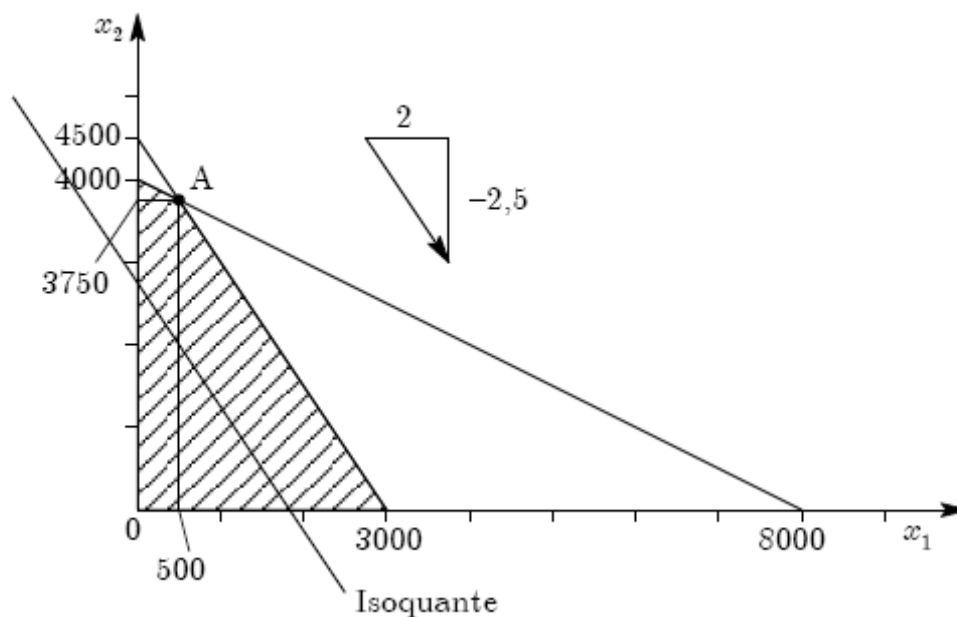
1. Die Nichtnegativitätsbedingungen ($x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$) schränken den Lösungsbereich auf den 1. Quadranten ein.
2. Weitere Einschränkung durch die zweite Gleichung. $x_{1,\max}$ erhält man durch Setzen von $x_2 = 0$ zu $x_{1,\max} = 8000$. Analog erhält man $x_{2,\max} = 8000/2 = 4000$. Gerade durch diese Punkte ergibt die Schranke für den Lösungsraum.
3. Analoges Vorgehen für die dritte Gleichung führt auf $x_{1,\max} = 9000/3 = 3000$ und $x_{2,\max} = 9000/2 = 4500$. Gerade wieder einzeichnen.

4. Damit ist der Lösungsraum (schraffiert) festgelegt.
5. Die Isoquanten erhält man aus der ersten Gleichung über

$$x_2 = \frac{-2,5}{2}x_1 + const. ,$$

die Isoquanten haben also eine Steigung von $\frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = \frac{-2,5}{2}$. In diesem Beispiel sind sie zufällig parallel der einen Begrenzungsgeraden.

6. Die optimale Lösung erhält man für diese Maximierungsproblem durch parallelverschieben der Isoquante in den vom Ursprung am weitesten entfernten Eckpunkt des Lösungsraum-Polygons. Dies ist der Punkt A mit den ablesbaren Lösungskordinaten $x_1 = 500$ und $x_2 = 3750$. Der Gewinn ergibt sich damit zu $G = 2,5 \cdot 500 + 2 \cdot 3750 = 8750$.



34. Ein Energiesystem, welches aus Kohlekraftwerken (K), Gaskraftwerken (G) und Biomassekraftwerken (B) besteht. Formulieren Sie für ein LP-Problem eine Gleichung die einen Mindestanteil von 20% Erzeugung aus Biomassekraftwerken erzwingt. (Energiemodelle Kapitel 7.5.10)

Mit den Stromerzeugungsmengen x_K , x_G und x_B der einzelnen Kraftwerke erhält man:

$$\frac{x_B}{x_{\text{ges}}} = \frac{x_B}{x_B + x_K + x_G} \geq p = 0,2 .$$

Durch Umformen erhält man sofort die Nebenbedingung

$$(1 - p)x_B - px_K - px_G \geq 0 ,$$

bzw. mit Zahlenwerten

$$0,8 \cdot x_B - 0,2 \cdot x_K - 0,2 \cdot x_G \geq 0 .$$

35. Beschreibe an Hand eines praktischen Beispiels warum es notwendig ist, Lastkurven in Energiemodellen zu verwenden.

z.B. Elektrizitätserzeugung Tag/Nacht bzw. Sommer/Winter: sowohl Verbrauch als auch Erzeugung sind hier unterschiedlich! Durch das Einbinden von Lastkurven wird die Darstellung von Energieverbrauch & Ausnutzung der Kraftwerke im Modell verbessert.

36. Für welche Art von Untersuchungen ist MESSAGE geeignet? Beschreiben Sie die Typische Rolle einer Backstop-Technologie innerhalb eines LP Modells.

(Energiemodelle 7-3f und Folien Kapitel 7-38 (keine Nummer abgedruckt!))

MESSAGE ist ein Modellgenerator für Energiesystemmodelle und eignet sich für mittel- bis langfristige Modelle für das gesamte Energiesystem. Es kann für Weltmodelle bis hinunter zu kommunalen Modellen verwendet werden. Es basiert auf linearer Programmierung und eignet sich daher zur Lösung von Optimierungsaufgaben, z. B. für die Berechnung eines optimalen Kraftwerksmixes oder, allgemeiner, Energiemixes, unter verschiedenen Vorgaben (constraints), beispielsweise einer gewünschten CO₂-Reduktion oder einer maximalen Ausbaupkapazität.

MESSAGE eignet sich nicht für sehr kurzfristige Untersuchungen (z. B. Lastmanagement). Es ist auch kein Simulations- und kein Prognosemodell.

Backstop-Technologie: ???

37. Wie kann man eine Technologie im MESSAGE-Modell beschränken? Beschreiben Sie mindestens drei verschiedene Möglichkeiten. *(laut Naki)*

Die 3 wichtigsten Arten der Beschränkung in MESSAGE lauten:

- Vorgabe von Produktionsmengen als Schranken für eine Technologie, dabei sind Minimum und Maximum möglich, z.B. „bda“ – bounds on activity oder „bdi“ – bounds on total installed capacity. Es wird die produzierte Menge an Energie, die verbrauchten Ressourcen und dergleichen festgelegt.
- Durch Kosten sind weite Eingriffe zur Beschränkung möglich, auch können hier energiepolitische Maßnahmen wie Steuern oder Subventionen implementiert werden.
- Technologien können durch ein Limit für die Emissionen beschränkt werden, z.B. durch eine maximale Menge an CO₂-Emissionen. In abgewandelter Form können auch Zertifikatspreise festgelegt werden und bestimmte Technologien dadurch beeinflusst werden.

Allgemeine Beschränkungen können als „Constraints“ implementiert werden, beispielsweise wurde im Österreichmodell das Potential der Wasser- und Windkraft mit einem oberen Limit beschränkt, für die Erreichung des Kyotozieles müsste eine obere Schranke für die CO₂-Produktion eingeführt werden.

38. Beschreiben Sie die Haupt-Inputparameter zur Definition eines Modells mit MESSAGE. *(Foliensatz MESSAGE S. 50ff)*

Ein mit MESSAGE erstelltes Modell umfasst das Gesamtsystem vom Ressourcenabbau bis zum Endverbrauch, vereinfachend werden aber nur Strom, Wärme und Treibstoffe betrachtet. Der Verbrauch wird z.B. durch Lastkurven modelliert. Ein Modell besteht aus folgenden Teilen:

- Ressourcen (definiert durch verfügbare Menge, jährliche Produktionsschranken und Änderung der Abbaumenge, verbleibende Ressourcen, Kostenkategorien)
- Technologien (definiert durch installierte Leistung, Wirkungsgrad, Investitionskosten, fixe und variable Kosten, Verfügbarkeitsfaktor, Lebensdauer)
- Speicher (definiert durch minimalen/maximalen Inhalt, Speicherverluste, Speicherkosten, Zuflüsse, Abflüsse, Überlauf)
- Beschränkungen (obere/untere Schranken, Zusatzkosten)
- Nachfragen (jährliche Menge)

39. Welcher Haupt-Fragestellungen können mit einem Energiesystemmodell (MESSAGE) beantwortet werden? *(Foliensatz MESSAGE S.36ff)*

Die Energiesystemanalyse unterstützt öffentliche Entscheidungsträger und Manager bei der Auswahl der geeigneten Technologien zur Bereitstellung des zukünftigen Energiebedarfs unter Berücksichtigung von Umweltbeschränkungen und politischen Vorgaben.

Die Analyse soll helfen, die geforderten Ziele mit minimalen Kosten zu erreichen, also volkswirtschaftlich sinnvolle Entscheidungen zu treffen, somit können Profite maximiert und Konsumausgaben minimiert werden. Dabei verlangt der Energiesektor aufgrund der langfristigen Auswirkungen (z.B. Lebensdauer von Kraftwerken) und der unvermeidbaren Unsicherheiten (z.B. Ölpreis, Nachfrage, Importverfügbarkeit) besonders genaue Analysen. MESSAGE ist ein Werkzeug, mit dem solche Untersuchungen in einem mittel- bis langfristigen Modell durchgeführt werden können, MESSAGE stellt ein Optimierungsmodell für das gesamte Energiesystem dar.

40. Was unterscheidet die optimale Lösung im Simplexraum von anderen zulässigen Lösungen? *(Skriptum Energiemodelle 7-12)*

Der Simplex Algorithmus ist ein bekanntes Verfahren der linearen Programmierung. Das Optimierungsproblem wird durch eine Zielfunktion, sowie durch Restriktionen in Form von Nebenbedingungen und Nichtnegativitätsbedingungen beschrieben.

Beim Simplex Algorithmus stellt jede Restriktion/Bedingung einer Problemstellung eine Hyperebene dar und teilt den Lösungsraum in Halbräume, wodurch ein Polyeder entsteht, dessen Ecken die möglichen optimalen Lösungen sind.

-> *In Frage 33 ist die Lösung für ein zweidimensionales Problem dargestellt.*

Ausgehend von einer allgemeinen zulässigen Lösung vergleicht der Algorithmus jeweils die Zielfunktionswerte der nächstliegenden Ecken mit der aktuellen Lösung und wechselt zur Ecke mit dem niedrigsten Zielfunktionswert, die Ecke mit dem niedrigsten Wert ist die Lösung des Minimierungsproblems.

Ein Nachteil des Verfahrens ist der exponentielle Anstieg der Polyederecken und damit des Rechenaufwandes mit der Anzahl der Entscheidungsvariablen, große Problemstellungen (viele Variablen) können somit die praktische Unlösbarkeit durch dieses Verfahren zur Folge haben.

41. Beschreiben Sie verschiedene Arten von Kosten, welche bei der Modellierung in betracht gezogen werden sollten (auch jene zuzüglich zu den physischen Kosten von Kraftwerken). *(Skriptum Energieökonomie, Kapitel 2)*

Um eine Technologie zu beschreiben werden typischerweise fixe und variable Kosten betrachtet, im Detail sind dies:

- Investitionskosten (im Wesentlichen die Kapitalkosten für Bau, Inbetriebnahme und Stilllegung)
- Fixe Betriebskosten: leistungsabhängig, d.h. Kosten pro kW installierter Leistung pro Jahr (betriebsbedingt Festkosten, Reparaturkosten, Personal, Versicherungen)
- Variable Betriebskosten: arbeitsabhängig, d.h. Kosten pro erzeugter kWh (Brennstoffkosten, Betriebsmittel)

Weiters müssen bei der Modellierung eines Energiesystems auch Aspekte berücksichtigt werden, welche von außen auf die Technologie einwirken, etwa durch politische oder umweltpolitische Voraussetzungen:

- Kosten für Zertifikate, z.B. für CO₂ – Emissionen, auch im Zusammenhang mit dem Emissionshandel
- Energiepolitische Instrumente wie Steuern beziehungsweise Subventionen

42. Beschreiben Sie die Bedeutung der Diskontrate für Investitionsentscheidungen und Ihren Einfluss auf Modelllösungen. (Skriptum Energiemodelle 5-7ff sowie MESSAGE)

Die Diskontrate ist eine der wichtigsten Parameter für die Wirtschaftlichkeitsrechnung, da alle Investitionsentscheidungen unter der Annahme eines bestimmten Zinssatzes getroffen werden müssen.

Für die Beurteilung von Investitionen wird häufig die Annuitätsmethode angewendet. Um die durchschnittlichen Jahreskosten (Annuitäten) zu ermitteln, wird ein Annuitätenfaktor aus der Nutzungsdauer der Investition und des Diskontsatzes berechnet.

Eine hohe Diskontrate ergibt einen großen Annuitätenfaktor und somit hohe Annuitäten (jährliche Kosten) aufgrund der Kapitalkosten. Es werden bei einer hohen Diskontrate Technologien mit geringen Investitionskosten bevorzugt, da die jährlichen Kosten von kapitalintensiven Technologien überproportional steigen.

Auf ein Modell umgelegt bedeutet das, dass aufgrund der Kostenminimierungsfunktion abhängig vom Diskontsatz jeweils andere Technologien, welche sich durch ihre Kostenstruktur unterscheiden, eingesetzt werden, wenn dies nicht durch andere Beschränkungen oder Vorgaben verhindert wird.

43. Bevorzugt eine höhere Diskontrate die Investitionsentscheidung in Richtung Technologien mit höheren oder niedrigen Kapitalkosten (begründe die Antwort)? (Skriptum Energiemodelle 5-7ff sowie MESSAGE)

Eine hohe Diskontrate ergibt einen großen Annuitätenfaktor und somit hohe Annuitäten (jährliche Kosten) aufgrund der Kapitalkosten. Es werden bei einer hohen Diskontrate Technologien mit geringen Investitionskosten bevorzugt, da die jährlichen Kosten von kapitalintensiven Technologien überproportional steigen.

44. Womit beschäftigt sich die lineare Optimierung als eines der Hauptverfahren des Operations Research? (Energiemodelle Kapitel 7.1)

Es beschäftigt sich mit der Optimierung linearer Zielfunktionen über einer Menge, die durch lineare Gleichungen und Ungleichungen eingeschränkt ist. Häufig lassen sich lineare Programme (LPs) zur Lösung von Problemen einsetzen, für die keine speziell entwickelten Lösungsverfahren bekannt sind.

45. Formulieren Sie die Zielfunktion, die Nebenbedingungen (als Gleichungen oder Ungleichungen), und die Nichtnegativitätsbedingungen der allgemeinen Form eines Linearen Optimierungsproblems. (*Energiemodelle Kapitel 7.5.1*)

Zielfunktion: $\text{Max. } G = p_1x_1 + p_2x_2 + \dots + p_nx_n$

Nebenbedingung:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

:

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

Nichtnegativitätsbedingungen: $x_i \geq 0$

a_{ij} , p_j , b_j ... Reelle Zahlen

46. Wird in der primalen, allgemeinen Form eines linearen Optimierungsproblems (Standard Form) die Zielfunktion maximiert oder minimiert? (*Energiemodelle Kapitel 7.5.1*)

Die Zielfunktion wird maximiert

47. Wie nennt man das bekannteste Verfahren zur Lösung von linearen Programmen? (*Energiemodelle Kapitel 7.5.6*)

Simplex Algorithmus

48. Erläutern Sie das Grundprinzip von Bellmann zur Lösung dynamischer Optimierungsprobleme. (*Energiemodelle Kapitel 9.2*)

Ein dynamisches Optimierungsproblem beschreibt grundsätzlich einen steuerbaren wirtschaftlichen, technischen oder anderen in der Zeit ablaufenden Prozeß.

Praktisch genügt die Interpretierbarkeit als zeitlicher Prozeß.

x ... Zustand eines Systems (Lagerstand, Inhalt eines Wasserspeichers, Ressourcen, ...)

U ... Steuervariable, Entscheidung

Neuer Zustand $x_j = f(x_{j-1}, U_j)$ ist mit Kosten $g_j(x_{j-1}, U_j)$ verbunden

Optimierungsziel ist die Minimierung der Kosten $\text{Min } J = \sum g_j$, mit den Nebenbedingungen

$$x_j = f(x_{j-1}, U_j)$$

Optimalitätsprinzip von Bellmann: Es gibt eine optimale Politik (Entscheidungen $U_j \dots U_n$) eines auf der Stufe j eines n – stufigen Prozesses beginnenden Teilprozesses P_j , die nur vom Wert x_{j-1} zu Beginn der Stufe j und nicht explizit von den vorherigen Entscheidungen abhängig ist.

49. Lösen Sie das Problem der „Speicheroptimierung“ mit Hilfe des „Dynamic Programming“- Prinzips von Bellmann. (Kapitel 9.3 auf Seite 9-5)

Angabe:

Füllstand in %	November		Dezember		Jänner		Februar	
	Φ0	Erlös	Φ1	Erlös	Φ2	Erlös	Φ3	Erlös
0		0		0		0		0
20		35		25		30		20
40		65		45		60		40
60		90		65		85		60
80		110		80		105		80
100		125		90		120		95

Vorgangswise ist von rechts nach links! Für das aktuelle Φ_n werden immer nur der Erlös im selben Monat und das Φ_{n+1} betrachtet.

Im Februar muss der gesamte Speicher geleert werden, darum gibt es keine alternativen Entleerungsstrategien und alles was noch übrig ist muss weg.

Füllstand in %	November		Dezember		Jänner		Februar	
	Φ0	Erlös	Φ1	Erlös	Φ2	Erlös	Φ3	Erlös
0		0		0		0	0	0
20		35		25		30	20	20
40		65		45		60	40	40
60		90		65		85	60	60
80		110		80		105	80	80
100		125		90		120	95	95

Im Jänner gibt es verschiedene Möglichkeiten den Tank zu leeren. Bei einem Füllstand von z.B. 100% kann man z.B. 60% jetzt und 40% im Februar leeren. Mit den unterschiedlichen Entleerungsstrategie ergeben sich auch die unterschiedliche Erlöse. Der optimale Erlös für 100% ergibt sich z.B. zu 105+20=125 (80% im Jänner und 20% im Februar) usw

Füllstand in %	November		Dezember		Jänner			Februar		
	Φ0	Erlös	Φ1	Erlös	Φ2		Erlös	Φ3	Erlös	
0		0		0	<i>max(0;0)=0</i>			0	0	0
20		35		25	<i>max(30+0;0+20)=30</i>			30	20	20
40		65		45	<i>max(60+0;30+20;0+40)=60</i>			60	40	40
60		90		65	<i>max(85+0;60+20;30+40;0+60)=85</i>			85	60	60
80		110		80	<i>max(105+0;85+20;60+40;30+60;0+80)=105</i>			105	80	80
100		125		90	<i>max(120+0;105+20;85+40;60+60;30+80;0+95)=125</i>			120	95	95

Füllstand in %	November		Dezember			Jänner		Februar	
	Φ0	Erlös	Φ1		Erlös	Φ2	Erlös	Φ3	Erlös
0		0	<i>max(0;0)=0</i>			0	0	0	0
20		35	<i>max(25+0;0+30)=30</i>			25	30	30	20
40		65	<i>max(45+0;25+30;0+60)=60</i>			45	60	60	40
60		90	<i>max(65+0;45+30;25+60;0+85)=85</i>			65	85	85	60

80		110	$\max(80+0;65+30;45+60;25+85;0+105)=110$	80	105	105	80	80
100		125	$\max(90+0;80+30;65+60;45+85;25+105;0+125)=130$	90	125	120	95	95

Im November ist der Tank voll:

Füllstand in %	November		Dezember		Jänner		Februar	
	$\Phi 0$	Erlös	$\Phi 1$	Erlös	$\Phi 2$	Erlös	$\Phi 3$	Erlös
0	/	0	0	0	0	0	0	0
20	/	35	30	25	30	30	20	20
40	/	65	60	45	60	60	40	40
60	/	90	85	65	85	85	60	60
80	/	110	110	80	105	105	80	80
100	$\max(125+0;110+30;90+60;65+85;35+110;0+130)=150$		130	90	125	120	95	95

Ergebnis:

Füllstand in %	November		Dezember		Jänner		Februar	
	$\Phi 0$	Erlös	$\Phi 1$	Erlös	$\Phi 2$	Erlös	$\Phi 3$	Erlös
0	/	0	0	0	0	0	0	0
20	/	35	30	25	30	30	20	20
40	/	65	60	45	60	60	40	40
60	/	90	85	65	85	85	60	60
80	/	110	110	80	105	105	80	80
100	150	125	130	90	125	120	95	95

$$\text{Erlös} = 150 = 65 + 25 + 60$$

Füllstand im November: 100% und Entleerung um 40%

Füllstand im Dezember: 60% und Entleerung um 20%

Füllstand im Jänner: 40% und Entleerung um 40%

Füllstand im Februar: 0% und Entleerung um 0%

50. Zusätzliche Übungsaufgabe, welche in der Prüfung nicht vorkommen wird.

(Nicht ausgearbeitet)