

6. Wirtschaftlichkeit

In der heutigen Vorlesung wollen wir die Wirtschaftlichkeit von regenerativen Energien beleuchten. Schließlich stehen sie in Konkurrenz zu konventionellen Energieträgern. Leider werden bei den Kosten von Kohle oder Kernenergie die Zahlungen der Allgemeinheit ("Versicherung des Super-Gans"), Naturkatastrophen selten mit eingerechnet. Der Investor will aber natürlich schon wissen, ob sein Kapital gewinnbringend eingesetzt wird. Die Bewohner von Schwellenländern u. der dritten Welt können sich darüber hinaus regenerative Energien als Luxus gar nicht leisten: wo Essen und Medizin knapp und teuer sind wird die Frage nach sauberer Energie zum Luxus...

6.1 Wirtschaftlichkeitsberechnungen ohne Verzinsung

Der Vergleichbarkeit wegen sind wir am Preis pro Energieinheit interessiert: Strom: $\frac{\text{€}}{\text{kWh el.}}$

Wärme: $\frac{\text{€}}{\text{kWh th.}}$

Da die Inflation zur fortlaufenden Geldentwertung führt, ist es sinnvoll, die Preise auf ein Jahr zu (folre!) normieren, z. B. $\frac{\text{€}_{2000}}{\text{kWh}}$.

Ohne Verzinsung bestehen die Kosten einer Anlage aus:

- Investitionskosten A_0 ← Jahr als Index
- Betriebskosten A_i

$$\Rightarrow \text{Gesamtkosten} \equiv k_{\text{ges}} = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i$$

bei einer Lebensdauer von "n" Jahren.

$$\Rightarrow \text{Ø Gesamtfjahreskosten} \equiv k_a = \frac{k_{\text{ges}}}{n}$$

Kennt man nun die \emptyset Energiemenge $\equiv E_a$
berechnen sich die

$$\text{Energiegestehungskosten} \equiv k_E = \frac{k_a}{E_a}.$$

6.1.1. Photovoltaik ohne Verzinsung

Anlagengröße: $\sim 5 \text{ kW}_{\text{peak}}$

(Folie!) Investitionskosten: $\sim 5000 \text{ €/kWp}$

Bsp.:

$$A_0 = 4500 \text{ €} \quad \text{f. Anlage von 1 kWp}$$

$$n = 25 \text{ Jahre}$$

$$E_a = 800 \text{ kWh}$$

$$A_{10} = 1000 \text{ €} \quad [\text{Wechselrichter tauschen}]$$

$$\Rightarrow k_{\text{ges}} = A_0 + A_{10} = 5500 \text{ €}$$

$$k_a = \frac{k_{\text{ges}}}{n} = 220 \text{ €}$$

$$k_E = \frac{k_a}{E_a} = 0.28 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

Zukunft: Verdoppelung der Gesamtinstallationsleistung
Weltweit \Rightarrow 20% günstiger

(Folie!)

6.1.2. Windkraft ohne Verzinsung

In den letzten Jahren sind immer größere Windräder im Angebot der Hersteller. Dabei liegt der Preis pro kWh Nettoleistung recht konstant bei $\sim 1000 \text{ € / kWh}$. Hinzu kommen noch $\sim 30\%$ Kosten für Planung, Fundament, Anschluss etc. Der Vorteil der größeren Anlagen liegt in der größeren Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe. Theoretisch ist $E_P \propto E_{kin} \cdot \text{Fluss}$
 $\propto v^2 \cdot v \propto v^3$

(Folie!) Praktisch $\propto v^2$. Bsp.: $V_{100m} = 7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow V_{10m} = 4.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Bsp.: • 1.5 MW Anlage, $A_0 = 1500 \cdot 1200 \text{ €}$
 $= 1'800'000 \text{ €}$

- Betriebskosten $\sim 2-3\%$: $A_i = 50'000 \text{ €}$
- Ertrag $E_a = 3.5 \cdot 10^6 \text{ kWh}$
- Lebensdauer $u = 20 \text{ Jahre}$

$$\Rightarrow K_{\text{ges}} = A_0 + 20 A_i = 2'800'000 \text{ €}$$

$$k_a = \frac{K_{\text{ges}}}{u} = 140'000 \text{ €}$$

$$k_E = \frac{k_a}{E_a} = 0.04 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

6.1.3. Solarthermie ohne Verzinsung

Flachkollektoren: $200 - 350 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$

Vakuumkollektoren: $400 - 600 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$

Wärmespeicher 300l: $700 - 1100 \text{ €}$

Insgesamt: $\frac{1}{3}$ Kollektor, $\frac{1}{3}$ Speicher, $\frac{1}{3}$ Montage

Bsp.:
(pro Jahr)

Wärmebedarf: $4000 \text{ kWh}_{\text{th}}$

Solare Deckungsrate: $50\% \Rightarrow 2000 \text{ kWh}$

Wirkungsgrad der Ölheizung 85%

\Rightarrow substituierte konventionelle Wärmemenge: $2500 \text{ kWh}_{\text{th}}$

Wartung + Strom f. Pumpe: 40 €

Investitionskosten $A_0 = 3300 \text{ €}$

Nutzungsdauer: $u = 20 \text{ Jahre}$

$$\Rightarrow k_{\text{sys}} = A_0 + 20 A_1 = 3300 \text{ €} + 800 \text{ €} = 4100 \text{ €}$$

$$k_a = \frac{k_{\text{sys}}}{u} = 205 \text{ €}$$

$$k_E = \frac{k_a}{E_a} = 0.087 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_{\text{th}}}$$

(Folie!)

6.2 Wirtschaftlichkeitsberechnungen

mit Verzinsung

Beginnen möchte ich mit einer kleinen Zusatzbemerkung, von der ich glaube, daß jeder Mensch dies wissen sollte. Leider wird es nur selten erklärt. Ich spreche von Staatsanleihen.

Eine gewöhnliche Staatsanleihe funktioniert wie folgt:

- Staat verspricht, am Ende der Laufzeit 100 € zu zahlen (Bsp)
- Zusätzlich 4 € / Jahr als Kupon (Bsp)
- Bei der Emission der Anleihe wird diese vom Staat für einen Preis $P_0 = P(t=0)$ an Investoren verkauft.

Ab $t=0$ wird praktisch sekundlich die Anleihe vom Markt neu bewertet. Wenn viele Anleger in sichere Anleihen investieren wollen, so steigt $P(t)$. Da der Kupon aber fixiert bei 4 € / Jahr liegt (in unserem Bsp) sinkt der Zins.

"Zinsen und Wert von Anleihen bewegen sich gegensätzlich"

Nun muß man wissen, daß der weltweite Anleihemarket sehr sehr groß ist - weitens größer als der Aktienmarkt. Falls Ihnen nun ein (betrügerischer) Anlageberater eine "sichere" Anlage mit sagen wir "sicheren" 7% empfiehlt, wissen Sie, daß dies nicht sein kann.

Denn wäre die Anlage tatsächlich ebenso sicher wie Staatsanleihen der BRD, dann würden Investoren binnen Sekunden BRD Anleihen verkaufen \Rightarrow Preis sinkt \Rightarrow Verzinsung steigt und die "sichere" Anleihe des Beraters kaufen \Rightarrow Preis steigt \Rightarrow Verzinsung fällt.
 \Rightarrow BRD Staatsanleihenverzinsung und "sichere" Anlage würden sich vom Zinssatz angleichen.

Da der Markt dies jedoch nicht gemacht hat, können Sie sehr sicher sein, daß Ihnen jemand Geld aus der Tasche ziehen will.

Anderes gesagt: Je höher das Risiko, desto höher der Zins
Wieviel genau der Aufschlag Wert ist, hängt von den Marktteilnehmern ab.

6.2.1 Abzinsen

Wenn Ihnen heute jemand 1000 € gibt oder aber in einem Jahr 1000 €, so würden Sie sich bestimmt für die erstere Variante entscheiden. Sie könnten nämlich die 1000 € für ein Jahr zu z.B. 4 % sicher anlegen und hätten in einem Jahr 1040 € auf dem Konto – besser als die 1000 €?

Zahlungen in der Zukunft sind dennoch weniger wert, als Zahlungen heute. Man trägt diesem Umstand Rechnung, in dem man Zahlungen "abzinst".

Sei der Zinssatz (Diskontsatz genannt) den sie erhalten würden, wenn sie das Geld ^{sicher} anlegen mit "p" bezeichnet, z.B. $p = 4\%$.
_{sicher}

Eine Solaranlage ist jedoch keine "sichere" Anlage. Was ist, wenn der Modellhersteller pleite geht, bevor die Lebensdauer von 20 Jahren erreicht ist und die Module frühzeitig kaputt gehen? Das muß einen Zuschlag wert sein. Auf 20 Jahre vermutlich sogar die Differenz zum \emptyset "Zins" des Aktienmarktes, da dieser auf 20 Jahre recht sicher steigen wird. Setzen wir also, $p = 7\%$.
_{solar}

Eine Zahlung aus dem Verkauf von Solarstrom im Jahr "i" der Anlagenmontage ist also heute

$$\sum_i Z_i (1 + p_{\text{solar}})^{-i} \equiv \sum_i Z_i q_{\text{solar}}^{-i}$$

Mit $q_{\text{solar}} \equiv (1 + p_{\text{solar}})$ Wert.

Dasselbe gilt für Aufwendungen zur Wartung etc. in der Zukunft. Eine Aufwendung A_i ist heute ebenfalls

$$A_i q_{\text{solar}}^{-i}$$

Wert. Beispielweise betragen sich die Gesamtkosten der Anlage heute zu

$$k_0 = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i q_{\text{solar}}^{-i}$$

denn Sie müssten z.B. $A_{20} q_{\text{solar}}^{-20}$ Euro heute zu q_{solar} Zinsen anlegen, um in 20 Jahren A_{20} zur Verfügung zu haben.

Der Kapitalwert in der Gegenwart ist

$$\begin{aligned} K &\equiv -A_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Z_i - A_i}{q^i} = -A_0 - \sum \frac{A_i}{q^i} + \sum \frac{Z_i}{q^i} \\ &= -k_0 + \sum Z_i q^{-i} \end{aligned}$$

Wsp > 0 sein, um in der Gewinnzone zu bleiben.

Nehmen wir im Folgenden an, daß $Z_i = \text{const} = Z$.
 Diese jährlichen Renditerendungen (d.h. Stromverkäufe)
 müssen mindestens

$$K = 0 = -k_0 Z \sum q^{-i} = -k_0 + Z \frac{q^u - 1}{(q-1)q^u}$$

$$\equiv -k_0 + Z a^{-1} \quad \Rightarrow \quad \underline{Z = k_0 a} \quad [\text{mindestens}]$$

mit dem Annuitätsfaktor

(Folie)
$$a \equiv \frac{q^u (q-1)}{q^u - 1} = \frac{q-1}{1-q^{-u}} = \frac{p}{1-q^{-u}} \quad ;$$

Die Erwartungstehungskosten sind dann:

$$k_E \equiv \frac{Z}{E_a} = \frac{k_0 a}{E_a}$$

6.2.2 Photovoltaik mit Verzinsung

Bsp.:

$$A_0 = 4500 \text{ €}$$

$$A_{10} = 1000 \text{ €}$$

$$p = 0.06 \quad ; \quad q = 1.06$$

$$u = 25$$

$$E_a = 800 \text{ kWh/er}$$

$$\Rightarrow k_0 = 4500 \text{ €} + 1000 \text{ €} \cdot 1.06^{-10} = 5'058 \text{ €}$$

$$a = \frac{0.06}{1 - 1.06^{-25}} = 0.0782$$

$$Z = 5'058 \text{ €} \cdot 0.0782 = 396 \text{ €}$$

$$k_E = \frac{396 \text{ €}}{800 \text{ kWh}_{\text{el}}} = 0.49 \frac{\text{€}}{\text{kWh}_{\text{el}}}$$

Vgl. die $0.28 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$ von der Rechnung ohne Zus.

6.3. Vergleich mit konventioneller Energie

Bis vor wenigen Jahren wurden regenerative Energien fast nicht subventioniert oder durch Forschungsgelder gefördert. Sie müssen jedoch mit den Stromgestehungskosten von Großkraftwerken

Kohle: 4.5 - 7 Cent/kWh

GU: 3 - 6 Cent/kWh

konkurrieren.

6.3.1. Subventionen u. F+E für konventionelle Systeme:

- Deutsche Steinkohle: $\sum_{\text{alle Jahre}} = 80 \text{ Mrd } \text{€}$

⇒ ausreichend für $\sim 70 \text{ GW}$ Windanlagen
≙ $\frac{1}{3}$ Strombedarfs!

- F+E der Kernenergie: $\sum_{\text{alle Jahre}} \approx 25 \text{ Mrd } \text{€}$

6.3.2 GAU's, Naturkatastrophen

Ein GAU von z.B. Biblis würde FR, MA, LU, HD stark betreffen. Die Kosten (falls überhaupt in Geld zu bezahlen) sind $\sim 5000 \text{ Mrd } \text{€}$.

Versicherung: $\sim \bullet \frac{1}{2} \text{ Mrd } \text{€}$.

Eine Versicherung des Restes von ca. 5000 Mrd €
wäre extrem teuer und Kernenergie damit
unwirtschaftlich.

Naturkatastrophen und der Trüblauseffekt
werden auch immer teurer, was die Versicherer
zur Erhöhung der Prämien zwingt.

6.3.3. Die gesamten externen Kosten

Insgesamt ist eine Quantifizierung der externen
Kosten konventioneller Energieträger schwierig u.
die genauen Werte je nach Betrachteter unstritten.

- Kernenergie: $\approx 0.36 \frac{\text{€}_{1982}}{\text{kWh}}$
- \emptyset aller konventionellen Systeme zur Stromerzeugung: $\approx 0.026 \frac{\text{€}_{1982}}{\text{kWh}} - 0.133 \frac{\text{€}_{1982}}{\text{kWh}}$

Um diesen Betrag müssten die konventionellen
Energieträger verrechnet werden, um ~~at~~ einen fairen
Vgl. zu ermöglichen.