

Energieträger aus Biomasse

Übung 1: Motivation und Potentiale

- Nennen Sie 4 Gründe, die für den Einsatz von erneuerbaren Energien sprechen.
 - *Endliche Reichweite von fossilen Energieträgern*
 - *Steigender Energiebedarf weltweit (Bevölkerungsentwicklung, wachsender Lebensstandard)*
 - *Reduktion von Treibhausgasemissionen*
 - *Importunabhängigkeit*
- Welche „Endenergien“ können aus Biomasse hergestellt werden? Welche Rohstoffe können eingesetzt werden?
 - **vgl. Übersichtsbild: „Energetische Nutzungsmöglichkeiten von Biomasse“**
 - Rohstoffe: (linke Spalte) Unterscheidung nach Feuchte und Ligninanteil
 - Endenergien: Strom ↔ Wärme, Kraftstoffe
 - Erzeugung und Nutzung von biomassestämmigen Energieträgern:

<p>flüssig Kraftstoffsektor</p> <p><u>Dieseleratz</u></p> <p>→ Ölpressen und Umesterung zu „Biodiesel“: FAME (Fettsäuremethylester), z.B. RME (Rapsölmethylester)</p> <p>→ Vergasung mit anschließender Fischer-Tropsch-Synthese</p> <p><u>Ottokraftstoffersatz</u></p> <p>→ Fermentation zu „Bioethanol“: Direkte Nutzung als Kraftstoff oder Umesterung zu ETBE</p> $ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{CH}_2 \end{array} \xrightarrow{\text{HO}-\text{C}_2\text{H}_5 / \text{H}^+} \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 \end{array} $ <p>→ Vergasung mit anschließender Fischer-Tropsch-Synthese</p>	<p>gasförmig Strom-/Wärme- und Kraftstoffsektor</p> <p><u>SNG (Substitute Natural Gas)</u></p> <p>→ Fermentation und Aufbereitung aus feuchter Biomasse und Energiepflanzen</p> <p>→ Vergasung, Synthese und Aufbereitung aus <u>ligninreicher</u> Biomasse und Energiepflanzen</p> <p><u>Wasserstoff</u></p> <p>→ Durch Vergasung</p> <p>→ Produktion durch Algen</p> <hr/> <p>fest Strom- und Wärmesektor</p> <p><u>Trockene Biomasse:</u></p> <p>Verstromung durch Verbrennung (Kohlekraftwerk)</p> <p>Vergasung mit anschließender Verstromung (BHKW)</p> <p>Vergasung, <u>Methanisierung</u> mit anschließender Verstromung</p> <p><u>Feuchte Biomasse:</u></p> <p>Fermentation und Verstromung im BHKW</p>
---	--

- Wind- und Sonnenenergie fallen unregelmäßig an. Daher muss ein Teil der dadurch erzeugten elektrischen Energie gespeichert werden. Berechnen Sie ohne Berücksichtigung von Wirkungsgraden die volumetrische Speicherdichte für

a) Pumpspeicherkraftwerke

Höhendifferenz zwischen Ober- und Unterwasser: $\Delta h = 100 \text{ m}$

Lösung:

$$\frac{E}{V} = \rho_w \cdot g \cdot \Delta h = 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100 \cdot \text{m} = 981000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2} = 981000 \cdot \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{h}}{3600\text{s}} = 272,5 \cdot \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3} \approx 0,27 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

b) Druckluftspeicher

Fall 1: bei 50 bar (kein Kissengas)

Fall 2: bei 70 bar (Kissengas: 30 bar)

Frage: Wenn das Potential an Sonnen- und Windenergie ausgeschöpft würde und 20 % dieser elektrischen Energie zwischengespeichert werden müssten, welches Volumen würde dann für Druckluftspeicher benötigt, wenn diese die einzigen Speicher wären (Fall 1).

Potentiale:

Wind: 350 TWh/a; PV: 110 TWh/a

Lösung: (Fall 1)

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{50 \cdot \text{bar} \cdot 1 \cdot \text{m}^3}{8,314 \cdot \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293 \cdot \text{K}} = 2018 \cdot \text{mol}$$

$$\Delta E = \frac{N}{(N-1)} \cdot n \cdot R \cdot T_1 \cdot \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{(N-1)}{N}} - 1 \right] = \frac{1,3}{(0,3)} \cdot 2018 \cdot \text{mol} \cdot 8,314 \cdot \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 293 \cdot \text{K} \cdot \left[\left(\frac{50}{1} \right)^{\frac{(0,3)}{1,3}} - 1 \right] = 8,8 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

c) Chemische Speicher

Wasserstoff bei 200/800 bar, Methan bei 200 bar

Lösung: (Fall H₂, 800 bar)

$$\frac{E}{V} = H_{\text{sH}_2} \cdot \frac{p \cdot T_N}{p_N \cdot T} = 3,54 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \cdot \frac{800 \cdot \text{bar} \cdot 273 \cdot \text{K}}{1,013 \cdot \text{bar} \cdot 293 \cdot \text{K}} = 2606 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$$

Zusammenfassung (a-c):

Speichertechnologie	Energiedichte kWh/m ³
PSW ($\Delta h = 100 \text{ m}$)	0,27
CAES Fall 1 (1-50 bar)	8,8
CAES Fall 2 (30-70 bar)	1,82
Chemisch (800 bar H ₂)	2606
Chemisch (200 bar H ₂)	652
Chemisch (200 bar CH ₄)	2036

4. Laut BDEW fehlen durch das Abschalten von 7 AKW nach dem Moratorium der Bundesregierung täglich 120 GWh an elektrischer Energie. Welcher Anteil der Fläche Karlsruhes wäre nötig, um diese Energie durch PV-Energie zu ersetzen? Nehmen Sie einen sinnvollen Wirkungsgrad der PV-Anlage an.

Mittlere Einstrahlleistung: 1200 kWh/(a·m²)

Annahmen: Standort Karlsruhe; 30° Dachneigung, Südausrichtung

Verluste durch Speicherung: 25 %

Fläche Karlsruhe: 173 km²

Lösung:

$$E_{\text{AKW}} = 120 \cdot \frac{\text{GWh}}{\text{d}} = 43800 \cdot \frac{\text{GWh}}{\text{a}}$$

$$E_{\text{PV}} = 1200 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,25) = 90 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$$

$$A_{\text{PV}} = \frac{43800 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}{90 \cdot \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}} = 487 \cdot \text{km}^2$$

Somit sind 2,8 mal die Fläche von Karlsruhe nötig.

5. Deutschland soll so weit wie möglich von energiebedingten Importen unabhängig werden und dabei auf regenerative Energien setzen. Das Potential zur regenerativen Energieerzeugung soll dabei vollständig ausgenutzt werden. Als Berater des Bundesumweltministeriums sollen Sie dazu einen Leitplan aufstellen. Achten Sie auch auf eine möglichst hohe CO₂-Verminderung und auf Nachhaltigkeit Ihrer Maßnahmen. Die benötigten Zahlen sind im Anhang gegeben. Fernwärmenetze, Effizienzsteigerung und Energieeinsparpotentiale müssen nicht berücksichtigt werden.

Mögliches Szenario zur Nutzung der freien Potentiale:

Festgelegt (ohne Wind + Sonne):

40 TWh/a → Biogas

160 TWh/a → feste Brennstoffe

Landwirtschaftliche Flächen



- 1 Mio. ha: Energiepflanzen für Biogas → 45 TWh/a
- 1 Mio. ha: Pflanzen für feste Brennstoffe → 65 TWh/a
- 0,5 Mio. ha: Raps für RME → 7,6 TWh/a
- 0,5 Mio. ha: Getreide für Bioethanol → 7,5 TWh/a

Halmgutartige Brennstoffe



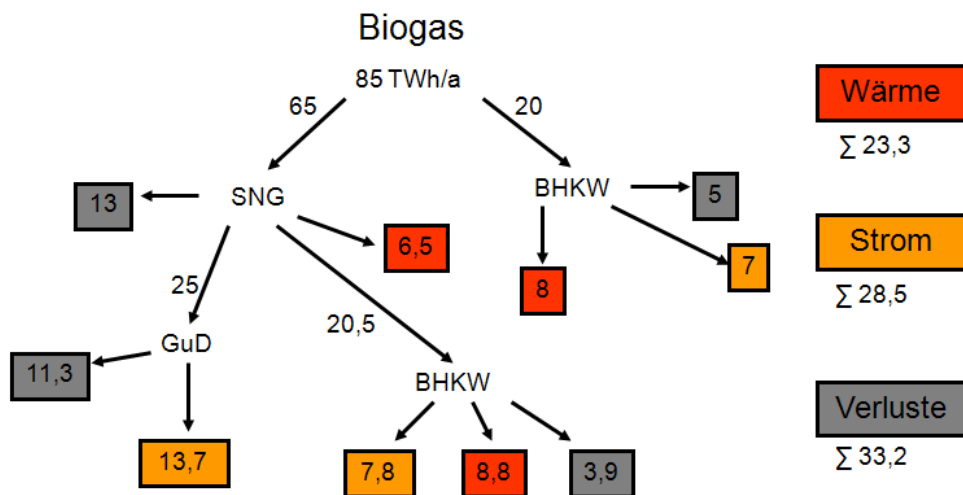
- Nutzung als fester Brennstoff → 54 TWh/a

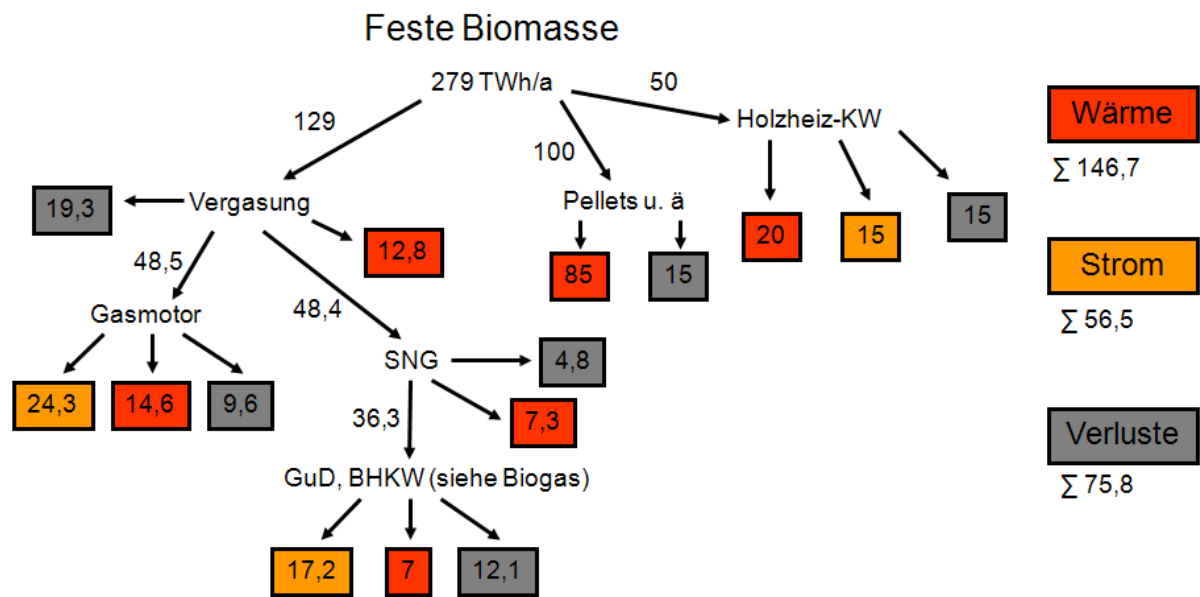
Resultierende chemische Brennstoffe

Biogas: 40 TWh/a + 45 TWh/a = 85 TWh/a

Feste BS: 160 TWh/a + 65 TWh/a + 54 TWh/a = 279 TWh/a

Kraftstoffe: 7,6 TWh/a + 7,5 TWh/a = 15,1 TWh/a





Wind und PV:

$$W_{\text{Wind}} + W_{\text{Sonne}} = 350 \cdot \frac{\text{TWh}}{\text{a}} \cdot (1 - 0,1) + 110 \cdot \frac{\text{TWh}}{\text{a}} \cdot (1 - 0,25) = 397,5 \cdot \frac{\text{TWh}}{\text{a}}$$

Zusammenfassend:

	Strom	Wärme	Kraftstoff	Summe
Sonne, Wind, Wasser	416,7	-	-	416,7
Biogas	28,5	23,3	-	51,8
Feste BM	56,5	146,7	-	203,2
RME, Ethanol	-	-	15,1	15,1
Summe	501,7	170	15,1	686,8
Bedarf	640	1310	680	2630
Anteil Erneuerbare %	78,4	13	2,2	26,1