

Die Bedeutung von Wasserkraftwerken für die zukünftige Energieversorgung Vietnams - Vorstellung eines Konzepts für den Schulunterricht -

Tran Ngoc Chat

Universität Siegen, Didaktik der Physik, Adolf-Reichwein-Straße, 57068 Siegen
tran@physik.uni-siegen.de

Kurzfassung

Der Artikel zeigt drei unkomplizierte Berechnungsansätze, wie sich die nutzbare Energie aus Wasserkraft eines beliebigen Flusses in erster Näherung abschätzen lässt. Während die Komplexität der Modelle ansteigt, stellt der Artikel auch die Anwendung jedes einzelnen Modells am Beispiel des Schwarzen Flusses in Vietnam vor. Außerdem wird anhand eines Beispiels präsentiert, wie sich in die nutzbare Energie aus Wasserkraft für ganz Vietnam abschätzen lässt. Das Verfahren der Erhebung wichtiger geophysikalischen Daten aus freien Datenquellen, wird in diesem Beitrag ebenfalls vorgestellt. Mit den Modellen soll ein Beitrag zur Unterstützung des fächerübergreifenden Unterrichts zum Thema Umweltphysik geleistet werden.

1. Einleitung

Dem Energiebedarf von Vietnam wird in Zukunft ein starker Anstieg vorhergesagt. Die Frage ist, wie Vietnam Energiequellen finden kann, die den großen Energiebedarf decken, während gleichzeitig fossile Brennstoffe verknappt werden und die Emission klimaschädlicher Gase vermindert werden muss. Das Land steht nun vor der Herausforderung ausreichende regenerative Energiequellen zu finden.

Das vietnamesische Gelände ist geprägt durch viele Flüsse, die sich durch das Bergland bis hin zur langen Küste erstrecken. Es eignet sich dadurch ideal zur Errichtung vieler Wasserkraftwerke. Aus diesem Grund spielt das Thema Wasserkraft in der vietnamesischen Politik gegenwärtig eine große Rolle. Die Frage ist: Wie hoch ist die nutzbare Energie, die man aus einem beliebigen Fluss gewinnen kann? Welcher Anteil des vietnamesischen Energiebedarfs kann durch die Nutzung der Wasserkraft gedeckt werden? Vietnamesische Schüler müssen diese drängenden Probleme möglichst früh begreifen, bevor sie mit dieser Problematik konfrontiert werden, wenn der Handlungsspielraum bereits eingeengt ist.

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines Ausbildungsmoduls für die Lehrerbildung in Vietnam. Im aktuellen vietnamesischen Geographieschulbuch [1] der Klasse 12 findet sich die Prognose, dass durch die Nutzung des Schwarzen Flusses in Zukunft pro Jahr 52 Milliarden kWh Strom gewonnen werden könnten. Die Situation stellt sich gegenwärtig folgendermaßen dar: Auf dem Schwarzen Fluss werden drei Wasserkraftwerke gebaut. Eines ist fertig gestellt und erzeugt bereits Strom, eines wird momentan errichtet und die Er-

richtung des dritten Kraftwerkes ist bereits beschlossen.

Die Ausgangsfragen an die Lernenden könnten nun lauten: Ist diese Information richtig? Wie kann man diese Größe abschätzen?

Zur Beantwortung dieser Fragen, werden drei Modelle mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgraden vorgestellt. Abhängigkeit von den Unterrichtsbedingungen kann die Lehrer entscheiden, welches Modell für den Unterricht am besten geeignet ist.

Im ersten Modell wird zur Abschätzung der Energie der Wasserkraft nur die potentielle Energie herangezogen. In den Modellen 2 und 3 wird die Verteilung des Wasserdurchflusses entlang des Flussverlaufs berücksichtigt, indem geophysikalischen Daten genutzt werden. Im Modell 2 wird angenommen, dass die Höhe h des Flusses abschnittsweise linear genähert werden kann, des Weiteren wird der Zufluss durch Nebenflüsse als linear angenommen. Im Modell 3 werden zusätzlich Kenntnisse in der Integralrechnung vorausgesetzt. Aufgrund der angewandten geophysikalischen und mathematischen Verfahren eignet sich das Projekt gut für den fächerübergreifenden Unterricht zum Thema Umweltphysik.

Ebenfalls vorgestellt wird eine Möglichkeit, wie die Abschätzung der nutzbaren Energie aus Wasserkraft für ganz Vietnam auch für Lernende möglich wird. Das Verfahren der Berechnung ist einfach, Aufgabe der Lernenden ist die Interpretation der Daten hinsichtlich ihrer Bedeutung für die weiteren Berechnungen. Mit dem Ergebnis kann ein Beitrag zur Beantwortung der zentralen Frage geleistet werden: Welchen Beitrag wird die Energie aus Wasserkraft bei der zukünftig Versorgung Vietnams spielen?

2. Modell 1

Die Energie der Wasserkraft wird aus potenzieller Gravitationsenergie gewonnen:

$$E = MgH.$$

M: Wasserdurchfluss, ist die jährlich fließende Wassermasse

H ist Differenz zwischen maximaler Flusshöhe und Meeresniveau

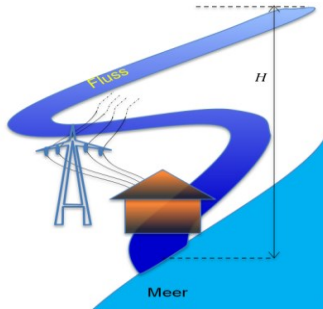


Abb. 1: Wasserkraftwerk an der Küste

Um den oberen Grenzwert für die potentielle Energie des Flusses zu erhalten, nehmen wir an, dass das Kraftwerk an der niedrigsten Stelle des Flusses gebaut wird, also in Küstennähe.

M und H können aus dem Geographieschulbuch entnommen oder in freien Datenquellen gefunden werden.

Aus den Daten [2] erhält man für den Wasserdurchfluss des Schwarzen Flusses:

$$M = 55,4 \cdot 10^{12} \text{ kg/Jahr}$$

Maximale Höhe des Flusses aus Google Earth:

$$H = 360 \text{ m}$$

Die potentielle Energie des Schwarzen Flusses beträgt damit:

$$E = MgH = 55,4 \cdot 10^{12} \cdot 10 \cdot 360 \text{ J/Jahr}$$

$$\Leftrightarrow E = 55 \text{ Milliarden kWh/Jahr.}$$

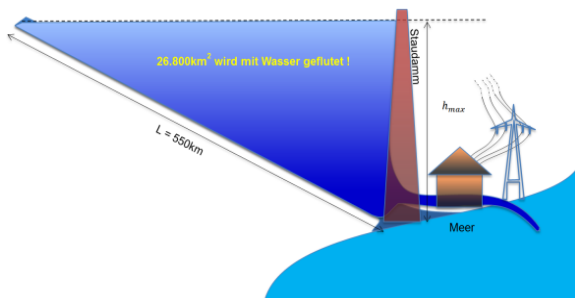


Abb. 2: Staudamm zur Ausbeutung der maximal möglichen Energie

Das Modell 1 ist eine sehr stark vereinfachte Abschätzung zur Energie und setzt wenig mathematische Kenntnisse voraus. Das wesentliche Problem dabei ist: Der Wasserdurchfluss M ist in der Realität entlang der gesamten Länge des Schwarzen Flusses von $L = 550 \text{ km}$ (Abb. 2) verteilt, während Modell

1 M an der höchsten Stelle h_{max} annimmt ($E=Mgh_{max}$) und somit eine obere Grenze liefert. Um diese Energie wirklich nutzen zu können, müsste man ein völlig unrealistisches Kraftwerk bauen, dessen Einzugsgebiet mit einer Fläche von 26.800 km^2 [2] mit Wasser geflutet wäre. Die entsprechende Oberflächenleistungsdichte würde betragen:

$$\frac{55,4 \cdot 10^{12} \cdot 10 \cdot 360 \text{ J/Jahr}}{26.800 \text{ km}^2} \approx 0,25 \text{ mW/m}^2.$$

Zum Vergleich betrachten wir ein Solarzellenfeld in Bayern: Die Oberflächenleistungsdichte liegt hier bei ca. 5 W/m^2 , obwohl in Bayern, im Vergleich mit Vietnam, nur wenig Sonnenstrahlung zur Verfügung steht. Die Energieausbeute pro Fläche wäre

$$\frac{5 \text{ W/m}^2}{0,25 \text{ mW/m}^2} \approx 20.000$$

mal größer. Aufgrund der dargestellten Probleme muss ein besseres Modell entwickelt werden.

3. Modell 2

Die Energie eines Flussteiles Δl mit dem Höhenunterschied Δh (Abb. 3) beträgt:

$$\Delta E = mg\Delta h.$$

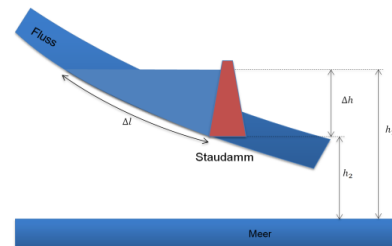


Abb. 3: Die nutzbare Energie wird abschnittsweise betrachtet

Der Wasserdurchfluss m wird gleichmäßig entlang der Flusslänge l verteilt (Abb. 4).

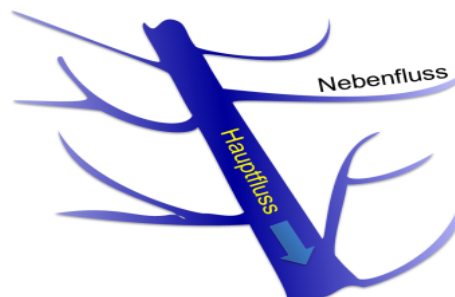


Abb. 4: Die Wassermenge ist proportional zu der Flusslänge.

In jeden Flussteil Δl wird pro Jahr von den Nebenflüssen eine Wassermenge Δm eingespeist. Vereinfachend nehmen wir an, dass die zufließende Was-

sermenge Δm proportional zur Länge des Flussabschnitts Δl ist und somit gilt:

$$\frac{\Delta m}{\Delta l} = a = \text{const.}$$

Der Wasserdurchfluss m an einer beliebigen Stelle l wird linear genähert:

$$m = m(l) = al + M_c. \quad (3.1)$$

Das Modell wird nun auf den Schwarzen Fluss übertragen (Abb. 5).

Aus freien Datenquellen [2] erhält man alle notwendigen Zahlenwerte:

Der Wasserdurchfluss aus China M_c beträgt $23,3 \cdot 10^{12} \text{ kg/Jahr}$.

$$l_1 = 0, \quad m_{l_1} = M_c = 23,3 \cdot 10^{12} \text{ kg/Jahr}$$

Der Wasserdurchfluss an der Mündung ($l_2 = L = 550 \text{ km}$ [2]) liegt bei:

$$m_{l_2} = M = 55,4 \cdot 10^{12} \text{ kg/Jahr.}$$

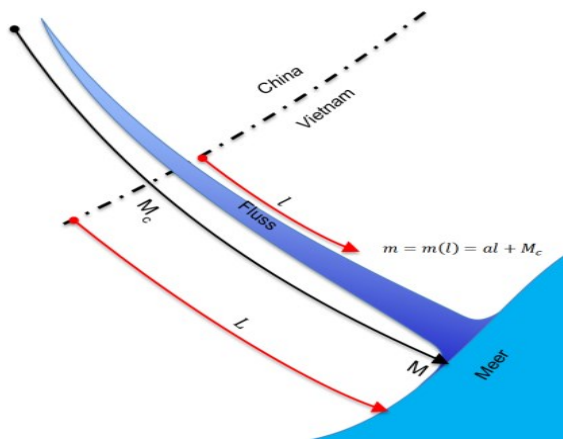


Abb. 5: Beispiel für den Schwarzen Fluss

Daraus lässt sich die Zuflussrate aus den Nebenflüssen ermitteln:

$$\begin{aligned} \Rightarrow a &= \frac{m_{l_2} - m_{l_1}}{l_2 - l_1} \\ &= 0,0583 \cdot 10^{12} \text{ (kg/km} \cdot \text{Jahr)}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

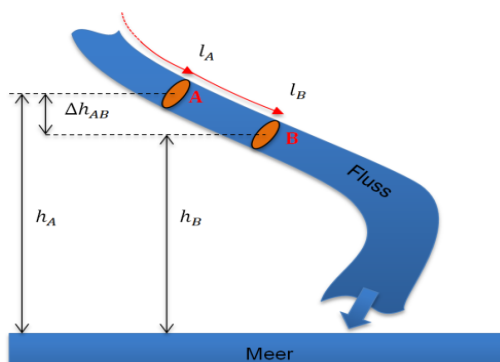


Abb. 6: Ein hinreichend kurzer Flussteil wird als gleichmäßiges Gefälle betrachtet.

Betrachten wir nun einen kurzen Flussabschnitt AB, dessen Höhe h näherungsweise linear mit seiner Länge l abnimmt (Abb. 6). Da die fließende Wassermenge zum Punkt B hin zunimmt, müssen wir die potentielle Energie dieses Flussabschnittes wie folgt berechnen:

$$E_{AB} = \frac{m_A + m_B}{2} g \Delta h_{AB}.$$

Zusammen mit Gleichung (3.1) ergibt sich:

$$E_{AB} = \left(a \frac{l_A + l_B}{2} + b \right) g \Delta h_{AB}.$$

Man teilt nun den Fluss in n Teile, so dass in jedem Teil die Höhe h proportional zur Länge l ist. Die Gesamtenergie kann durch einfache Summenbildung berechnet werden:

$$\begin{aligned} E &= \left(a \frac{l_0 + l_1}{2} + b \right) g \Delta h_1 + \left(a \frac{l_1 + l_2}{2} + b \right) g \Delta h_2 + \dots \\ &+ \left(a \frac{l_{n-1} + l_n}{2} + b \right) g \Delta h_n. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Die wichtigsten Daten für dieses Modell sind also geographische Informationen, welche das Höhenprofil des Flusses darstellen. Sie können etwa mittels Google Earth gewonnen werden.

Wenn wir die Abhängigkeit zwischen l und h kennen, können wir E berechnen.

Abbildung 7 zeigt Die Flusshöhe h in Abhängigkeit von der Flussposition l exemplarisch am Schwarzen Fluss.

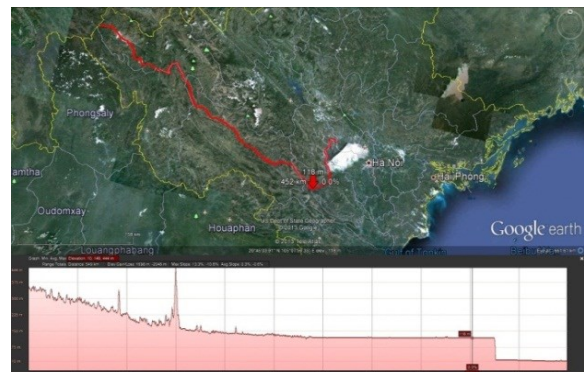


Abb. 7: Die geophysikalischen Daten werden aus Google Earth gewonnen (US Dept of State Geographer © 2013 Google © Tele Atlas).

Diese Daten enthalten offensichtlich noch Fehler: Die Flusshöhe muss in Fließrichtung stets abnehmen. Um diese Fehler auszugleichen zeichnen wir die grüne Näherungskurve ein (Abb. 8). Anhand des Profils lässt sich sogar die Position des Hoa-Binh-Staudamms erkennen.



Abb. 8: Korrektur der geophysikalische Daten (US Dept of State Geographer © 2013 Google © Tele Atlas).

Zur Vereinfachung der Rechnung teilen wir die Kurve in 7 Abschnitte auf. Die zugehörigen Werte für jeden Abschnitt sind in der Tabelle in Abbildung 9 wiedergegeben.

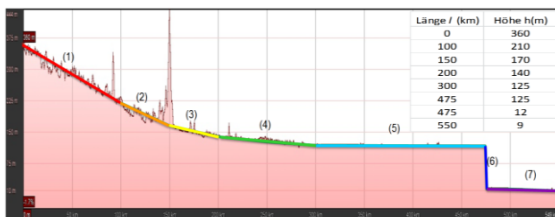


Abb. 9: Die Kurve wird durch sieben gerade Abschnitte genähert (US Dept of State Geographer © 2013 Google © Tele Atlas).

Aus Gleichung (3.3) erhält man für die Gesamtenergie des Schwarzen Flusses:

$$\begin{aligned}
 E &= \left(a \frac{l_0 + l_1}{2} + b\right) g \Delta h_1 + \left(a \frac{l_1 + l_2}{2} + b\right) g \Delta h_2 \\
 &\quad + \dots + \left(a \frac{l_6 + l_7}{2} + b\right) g \Delta h_7 \\
 &\Leftrightarrow E = E_1 + E_2 + \dots + E_7 \\
 &\Leftrightarrow E = 10,9 + 3,4 + 2,8 + 1,6 + 0 + 16 \\
 &\quad + 0,4(10^9 \text{ kWh/Jahr}) \\
 &\Leftrightarrow E = 35,2 (10^9 \text{ kWh/Jahr}).
 \end{aligned}$$

4. Modell 3

Modell 2 lässt sich weiter verbessern. Unter anderem haben wir die kinetische Energie noch nicht berücksichtigt. Modell 3 ist für Lernende der gymnasialen Oberstufe geeignet.

Die Verteilung von m entlang Flusslänge l bleibt unverändert:

$$m = f_1(l) = al + M_c. \quad (4.1)$$

Für die Verteilung der Flusshöhe h entlang der Flusslänge l suchen wir eine Funktion, die den Zusammenhang realitätsgetreuer darstellt:

$$h = f_2(l).$$

$f_1(l)$ und $f_2(l)$ können aus nationalen hydrologischen Daten oder geographischen Quellen gewonnen werden. $f_2(l)$ kann auch mit Hilfe von Google Earth ermittelt werden.

Wir betrachten das System S zwischen den Punkten A und B (Abb. 10).

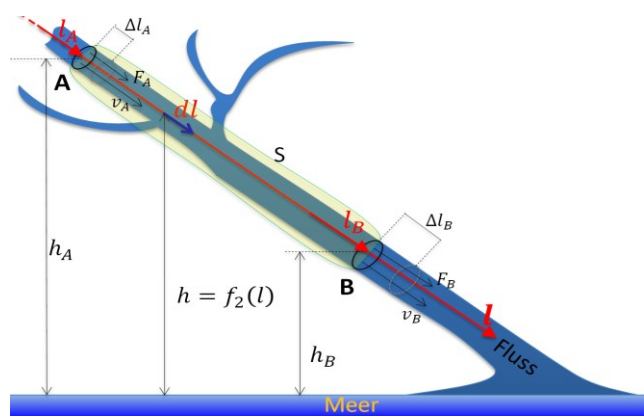


Abb. 10: Ein beliebiger Flussabschnitt AB wird analysiert.

Die im System bei l_A enthaltene Energie ist:

$$\begin{aligned}
 E_A &= m_A g h_A + m_A \frac{v_A^2}{2} + F_A \Delta l_A \\
 \Leftrightarrow E_A &= m_A g h_A + m_A \frac{v_A^2}{2} + p_A A \Delta l_A \\
 \Leftrightarrow E_A &= m_A g h_A + m_A \frac{v_A^2}{2} + p_A \Delta V_A.
 \end{aligned}$$

(m_A : die während des kleinen Zeitintervalls Δt strömende Masse)

Auf ähnlichem Weg können wir die enthaltene Energie im System S für beliebige Flussabschnitte dl bestimmen:

$$\Leftrightarrow dE_l = g h_l dm + \frac{v_l^2}{2} dm + p_l \Delta V_l.$$

Näherungsweise beträgt der äußere Luftdruck konstant: $p_l \approx p_0 = 1 \text{ bar}$. Daher lässt sich die enthaltene Gesamtenergie des Systems S berechnen zu:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= E_A + \int_{l_A}^{l_B} dE_l \\
 \Leftrightarrow E_1 &= m_A g h_A + \int_{m_A}^{m_B} g f_2(l) dm + m_A \frac{v_A^2}{2} + \\
 &\quad + \int_{l_A}^{l_B} \frac{v^2}{2} dm + p_0 \left(\Delta V_A + \sum_{l_A}^{l_B} \Delta V_l \right). \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

Die an den nachfolgenden Flussabschnitt während der Zeitspanne Δt abgegebene Energie E_2 des Systems S an l_B ist:

$$\begin{aligned}
 E_2 &= E_B = m_B g h_B + m_B \frac{v_B^2}{2} + p_B \Delta V_B \\
 \Leftrightarrow E_2 &= m_B g h_B + m_B \frac{v_B^2}{2} + p_0 \Delta V_B. \quad (4.3)
 \end{aligned}$$

Dann kann die Energie E aus dem System S entnommen werden:

$$E = E_1 - E_2. \quad (4.4)$$

Unter den Voraussetzungen, dass das Wasser inkompressibel ist und nicht im Flussbett versickert, gilt:

$$\Delta V_B = \Delta V_A + \sum_{l_A}^{l_B} \Delta V_l. \quad (4.5)$$

Durch Kombination der Gleichungen (4.2) (4.3) (4.4) und (4.5) ergibt sich die Energie des Systems S:

$$E_{AB} = m_A g h_A - m_B g h_B + \int_{m_A}^{m_B} g f_2(l) dm + \left(m_A \frac{v_A^2}{2} + \int_{m_A}^{m_B} \frac{v^2}{2} dm - m_B \frac{v_B^2}{2} \right). \quad (4.6)$$

Wir betrachten zwei Fälle, die zu einer erheblichen Vereinfachung der Situationen führen:

Das Wasserkraftwerk hat einen so großen Staudamm, dass $g\Delta h \gg v_A^2 - v_B^2$. Dann spielt die zweite Klammer in Gleichung 4.6. praktisch keine Rolle.

Das Wasserkraftwerk ist von so hoher Qualität, dass der Unterschied der Geschwindigkeiten sehr klein ist: $v \approx \text{konstant}$, damit ist der Inhalt der zweiten Klammer in der Gleichung (4.6) in dieser Situation ebenfalls vernachlässigbar.

Damit erhält man als Annäherung der Energie aus einem beliebigen Flussteil AB:

$$E_{AB} = m_A g h_A - m_B g h_B + \int_{m_A}^{m_B} g f_2(l) dm. \quad (4.7)$$

Aus der Gleichung (4.1) und (4.7) ergibt sich:

$$E_{AB} = (a l_A + M_c) g h_A - (a l_B + M_c) g h_B + \int_{l_A}^{l_B} g f_2(l) dl \quad (4.8)$$

$$\Leftrightarrow E_{AB} = a g (h_A l_A - h_B l_B) + M_c g (h_A - h_B) + a g \int_{l_A}^{l_B} f_2(l) dl$$

$$\Leftrightarrow E_{AB} = a g (h_A l_A - h_B l_B) + M_c g (h_A - h_B) + a g A_{AB}. \quad (4.9)$$

Darin ist $A_{AB} = \int_{l_A}^{l_B} f_2(l) dl$ ist die Fläche unter der Funktion $h = f_2(l)$ (Abb. 11).

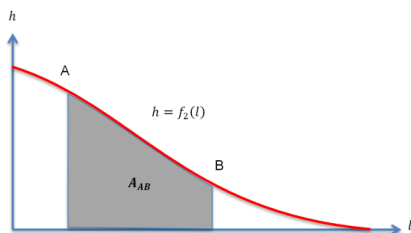


Abb. 11: Die Bedeutung des Integrals der Funktion $f_2(l)$.

Nun wenden wir Modell 3 auf den Schwarzen Fluss an. Zur einfachen Berechnung teilen wir die Fläche A in 4 Trapeze auf (Abb. 12). Wir erhalten:

$$E_{AB} = -a g h_B l_B + g M_c (h_A - h_B) + a g (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) \Leftrightarrow E = 35,6 (10^9 \text{ kWh/Jahr}).$$

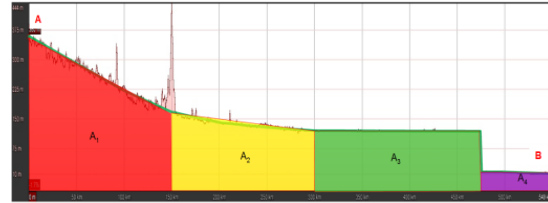


Abb. 12: Das Integral wird bestimmt, indem die Gesamtfläche in vier Trapeze aufgeteilt wird (US Dept of State Geographer © 2013 Google © Tele Atlas).

Das Ergebnis von Modell 3 ist dem von Modell 2 sehr ähnlich ($35,6 (10^9 \text{ kWh/Jahr})$ im Vergleich zu $35,2 (10^9 \text{ kWh/Jahr})$).

In Modell 3 zeigt sich, dass die Fläche A proportional zur Energie ist. Aus Gleichung (4.9.) ergibt sich:

$$E = a g A_{AB} + a g (h_A l_A - h_B l_B) + M_c g (h_A - h_B) \Leftrightarrow E = k A + C.$$

Mit: A ist die Fläche unter der Kurve der Funktion $h = f_2(l)$.

$k = a g$ und $C = a g (h_A l_A - h_B l_B) + M_c g (h_A - h_B)$ sind Konstanten, die von der Eigenschaften des Flusses abhängen.

Eine Konsequenz ist: $A' > A \Rightarrow E' > E$. Das heißt: Wenn größere Staudämme gebaut werden, können wir mehr Energie gewinnen (Abb. 13).

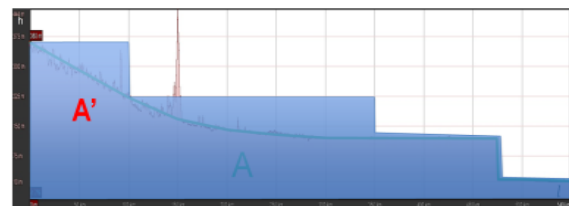


Abb. 13: Je größer die Staudämme, desto größer wird die nutzbare Energie (US Dept of State Geographer © 2013 Google © Tele Atlas)

5. Rekonstruktion für den ursprünglichen Verlauf des Flusses (ohne Staudamm)

Erste Methode: Man wählt Werte abseits des Stausees. Im Beispiel für den Schwarzen Fluss:

Die gewählten Werte sind in die Tab. 2 wiedergegeben.

Ohne Staudamm	
Länge l (km)	Höhe h (m)
0	360
100	210
150	170
200	135
550	9

Tab. 2: Daten zum Schwarzen Fluss

Damit kann man die Fläche berechnen (Abb. 14), anschließend berechnet man die Energie mit dem Verfahren, welches bereits in Modell 3 verwendet wurde.

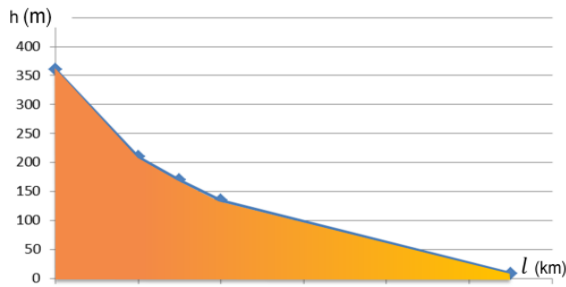


Abb. 14: Zur Energieberechnung des ursprünglichen Flussverlaufs

Zweite Methode: Die Lehrkraft kann für den Schüler ein modernes Verfahren vorstellen, um eine Näherung zur Funktion $f_2(l)$ zu finden. Den Lernenden soll nahe gebracht werden, dass diese Verfahren (Fixpunktverfahren) in der Praxis immer mit dem Computer verwirklicht werden. Im Unterricht wird nur ein vereinfachtes Verfahren vorgestellt. Man kann $h = f_2(l)$ z.B. mit Excel ermitteln (Abb. 15):

$$h = f_2(l) = 430,69 \text{ (m)} \cdot e^{-0,007(\text{km}^{-1}) \cdot l(\text{km})}$$

Die Stammfunktion $F(l)$ von $f_2(l)$ ist:

$$F(l) = \int f_2(l) dl = 61,527(\text{km}^2) \cdot e^{-0,007(\text{km}^{-1}) \cdot l(\text{km})} \quad (5.1)$$

Aus Gleichung (4.8) folgt:

$$E_{AB} = ag(h_A l_A - h_B l_B) + gM_c(h_A - h_B) + ag(F(l_B) - F(l_A)) \quad (5.2)$$

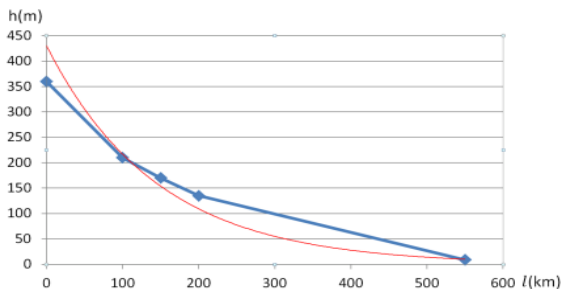


Abb. 15: Fixpunktverfahren mit Microsoft Excel

Alle Faktoren der Gleichung (5.1) und (5.2) können in der Berechnung des Modells 2 gefunden werden. Als Ergebnis erhalten wir:

$$E_{AB} = 31,7 \text{ (} 10^9 \text{ kWh/Jahr)}$$

Dieses Ergebnis zeigt, dass der Hoa-Binh-Staudamm das Energiepotenzial des Schwarzen Flusses deutlich erhöht hat (von 31,7 auf 35,6 Milliarden kWh/Jahr).

Gegenwärtige Situation: Mit den 2 größten vietnamesischen Wasserkraftwerken gewinnt man auf dem Schwarzen Fluss ca. 18 Milliarden kWh pro Jahr. Vergleich mit den gewonnenen Abschätzungen: 35,6 Milliarde kWh pro Jahr aus Modell 3 und 55 Milliarde kWh pro Jahr aus dem stark idealisierten Modell 1. Somit ergibt sich ein Wirkungsgrad von ca. 30% bei den guten Bedingungen im Schwarzen Fluss.

6. Näherungsrechnung zur Wasserkraft für ganz Vietnam

Aufgrund der Vielzahl der Flüsse in Vietnam, können die dargestellten Modelle nicht für eine Abschätzung des gesamten Wasserkraftpotentials verwendet werden. Es wird wiederum eine Näherungsrechnung verwendet. Die Energie der Wasserkraft entspricht der Gravitationsenergie:

$$E = mg\bar{h}$$

Wobei m der Wasserdurchfluss ist, also die Wassermenge, die in Vietnam jährlich durch alle Flüsse zum Meer fließt und \bar{h} der Durchschnittshöhe aller Flüsse im Bezug zum Meeresniveau ist.

Aus [3] erhält man die Werte für den Wasserdurchfluss in Vietnam ohne den Mekong (Abb. 16):

$$m_1 = 327 \cdot 10^{12} \text{ kg/Jahr}$$

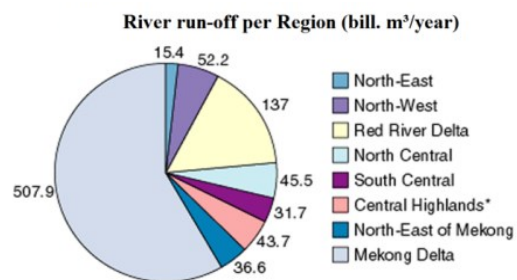


Abb. 16: Wasserdurchfluss sämtlicher Flüsse in Vietnam [3]

Für den Wasserdurchfluss des Mekong gilt:

$$m_2 = 508 \cdot 10^{12} \text{ kg/Jahr}$$

\bar{h} kann in etwa aus einer topographischen Karte bestimmt werden [4]

Man erhält als Näherungsergebnisse:

70% Fläche: h von 0 bis 500m

15% Fläche: h von 500m bis 1000m
14% Fläche: h von 1000m bis 2000m
1% Fläche: h von 2000m bis 3000m.

Somit gilt:

$$\bar{h} \approx \frac{3000 + 2000}{2} 1\% + \frac{2000 + 1000}{2} 14\% + \frac{1000 + 500}{2} 15\% + \frac{500}{2} 70\%$$

$$\bar{h} \approx 500\text{m.}$$

Das ideale Energiepotential der Wasserkraft (ohne den Mekong) ergibt sich damit zu:

$$E_1 = gm_1\bar{h} \approx 460 \cdot 10^9 \text{kWh/Jahr.}$$

Daran sieht man, dass der Mekong bei der Wasserkraft nur eine untergeordnete Rolle spielt, weil der Anteil der vom Ausland zufließenden Wassermenge sehr groß ist (89%) [3], und weiterhin die Höhe des Flusses an der Grenze zu niedrig (kleiner als 10 m) ist (Abb. 17). Daher kann hier kein Wasserkraftwerk errichtet werden.

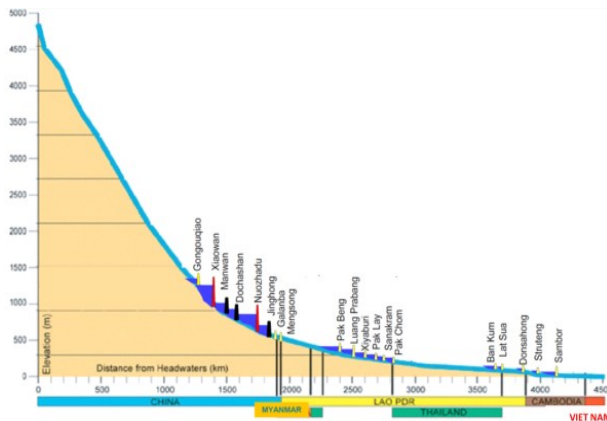


Abb. 17: Höhenprofil des Mekong [5]

Nur der Anteil der im Inland verfügbaren Wassermenge (11%) trägt zur Erzeugung elektrischen Stroms bei.

Die ideale Energie des Mekong ist damit:

$$E_2 = g(m_2 \cdot 11\%)\bar{h} \approx 80 \cdot 10^9 \text{kWh/Jahr.}$$

Damit ergibt sich idealisiert eine Gesamtenergie in Vietnam von:

$$E = E_1 + E_2 = 540 \cdot 10^9 \text{kWh/Jahr.}$$

Bei einem realistischen Wirkungsgrad von 15% (die Hälfte des Wirkungsgrades bei den guten Bedingungen im Schwarzen Fluss) ist die zukünftig nutzbare Energie:

$$E_{\text{Realität}} = 540 \cdot 10^{12} \cdot 15\% = 81 \cdot 10^9 \text{kWh/Jahr.}$$

Der vietnamesischen Bevölkerung wird ein Wachstum bis zu einer Einwohnerzahl von 90 Millionen Menschen im Jahr 2014 vorhergesagt. Verteilt man das Wasserkraftpotential auf die Einwohnerzahl erhält man 2,5 kWh pro Kopf pro Tag. Der Primärenergieverbrauch in England liegt bei ca. 195 kWh pro Kopf pro Tag[6]. Dies bedeutet: Zukünftig wird

die Wasserkraft in Vietnam bei der Energieversorgung nur eine untergeordnete Rolle zukommen.

7. Literatur

- [1] Vietnamesisches Geographieschulbuch für 12. Klasse: "Đĩa Lý 12".
- [2] VNCOLD: "Vietnam national committee on large dams and water resources development": http://www.vncold.vn/modules/cms/upload/10/TuLieu/B2_LeKimTruyen_190509/Bai2_p.pdf.
- [3] WEPA: "Water Environment Partnership in Asia": <http://www.wepa-db.net/policies/state/vietnam/surface.htm>
- [4] Mapsof: http://mapsof.net/uploads/static-maps/vietnam_topography.png.
- [5] ICEM - The International Centre for Environmental Management: http://www.icem.com.au/documents/envassess ment/mrc_sea_hp/SEA_Final_Report_Oct_2010.pdf.
- [6] David JC MacKay; Sustainable Energy — without the hot air: <http://www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/book/tex/sewtha.pdf>.