

8. Wasserkraft



Fig.8.1: Nanty-Moch Damm, Teil eines 55 MW Wasserkraftwerks in Wales.
Foto von Dave Newbould
www.origins-photography.co.uk

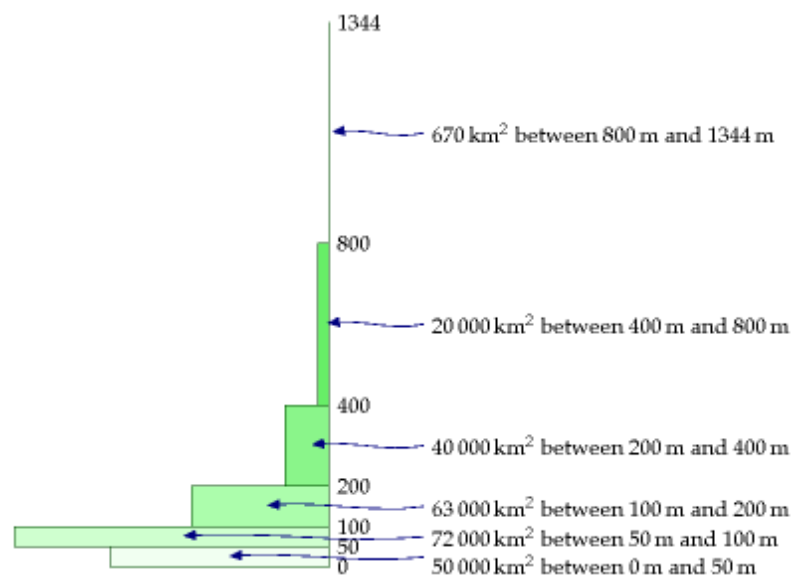


◦Um aus Wasserkraft Strom zu erzeugen, braucht man Höhe und man braucht Regen.

Wasserkraft in England (UK)

Lassen Sie uns zuerst für die britische Insel die Gesamtenergie für den gesamten Regen, der auf Meeresebene hinabfließt, abschätzen. Für diese Schätzung teile ich Großbritannien in zwei Regionen: die tiefergelegenen, trockeneren Gegenden, die sog. „Lowlands“ und die höhergelegenen, niederschlagsreichen, die „Highlands“. Ich wähle Bedford und Kinlochewe als Repräsentanten der beiden Gegenden.

Fig.8.2: Landhöhen in England. Die Rechtecke zeigen, wie viel Landfläche auf jeder Höhe liegt.



Betrachten wir zuerst die „Lowlands“. Zur Bestimmung der gravitativen Leistung von Lowlands-Regen multiplizieren wir den Regen von Bedford (584 mm pro Jahr) mit der Dichte von Wasser (1000 kg/m^3), der Erdanziehung ($g = 10 \text{ m/s}^2$) und der typischen Höhe der „Lowlands“ über Meeresspiegel, sagen wir 100 m. Pro Flächeneinheit erhalten wir so $0,02 \text{ W/m}^2$. Das ist die Leistung pro Flächeneinheit Land, auf die Regen fällt.

Wenn wir das mit der Fläche pro Person (2.700 m^2 , wenn die „Lowlands“ gleichmäßig auf alle 60 Millionen Engländer verteilt werden) vergleichen, ergibt sich eine mittlere Leistung von etwa 1 kWh pro Tag pro Person. Das ist das absolute obere Limit für

Wasserkraft, wenn jeder Fluss aufgestaut und jeder Tropfen genutzt würde. Realistischerweise würden wir natürlich nur Flüsse mit genügend Höhendifferenz aufstauen, deren Einzugsgebiet viel kleiner ist als das gesamte Land. Ein Großteil des Wassers verdunstet, bevor er eine Turbine trifft, und kein Wasserkraftwerk kann die gesamte potentielle Energie des Wassers umwandeln. Das steckt enge Grenzen für die Wasserkraft in den „Lowlands“. Die Leute mögen gerne Wasserräder betreiben und kleinere Kraftwerkskonzepte umsetzen, aber solche Anlagen werden nie mehr als 1 kWh pro Tag pro Person liefern können.

Betrachten wir nun die „Highlands“. Kinlochewe ist ein regnerischer Fleck: 2.278 mm im Jahr, viermal soviel wie in Bedford. Die Höhenunterschiede sind hier ebenfalls größer - weite Teile liegen oberhalb 300 m. Insgesamt führt das zu einer zwölffachen Leistung pro Quadratmeter, also zu 0,24 W/m². Verteilt man die Wasserkraft der „Highlands“ großzügig unter allen Engländern (zu 1.300 m² pro Person), ergibt das eine obere Schranke von 7 kWh pro Tag pro Person, wie in der „Lowland“-Betrachtung wieder ohne Berücksichtigung von Verdunstung und Verlusten.

Was schätzen wir, ist das plausible praktische Limit? Nehmen wir 20% davon – 1,4 kWh/d und runden es auf, weil ja auch in den „Lowlands“ ein gewisser Anteil möglich ist: 1,5 kWh pro Tag pro Person. Aktuell wird Wasserkraft im Umfang von 0,2 kWh/d pro Person in England genutzt, d.h. es wäre eine Versiebenfachung der Kraftwerksanlagen erforderlich, um diese 1,5 kWh/d/p zu realisieren.

Wasserkraft in Deutschland

♦Soweit die Abschätzungen für England, doch wie sieht es in Deutschland aus? Die Unterscheidung in High- und Lowlands ist hier wenig hilfreich, außerdem fließt viel Wasser von unseren Nachbarstaaten nach Deutschland, und viel Niederschlagswasser verlässt Deutschland weit über Meeresebene, z.B. die Donau bei Passau (312 m ü. NN).

In [Deutschland](#) werden mit ca. 7.800 Wasserkraftwerken jährlich 27.000 GWh Strom erzeugt, das sind ca. **1 kWh/d/p**. Nach Schätzungen des Bundesverbandes deutscher Wasserkraftwerke e.V. (BDW) hätte Deutschland Potential für weitere 15.000 GWh/a, das ökologisch vertretbar genutzt werden könnte. Mit diesem Ausbau ergeben sich auch für die deutschen Verhältnisse die oben für England abgeschätzten 1,5 kWh/d pro Person. Von diesem Gesamt-Potential werden 2/3 bereits heute in Deutschland energetisch genutzt. Wählt man einen radikaleren Ansatz als der BDW, so wie es David MacKay oben für England vorrechnete, lassen sich sicherlich weitere Standorte erschließen. Eine Versiebenfachung des aktuellen Standes, wie oben für England hergeleitet, scheint für Deutschland eher unrealistisch, aber vielleicht ist eine Verdopplung der BDW-Schätzung drin? Wir setzen **3 kWh/d pro Person** auf den grünen Stapel, das ist eine Verdreifachung der aktuell installierten Leistung.

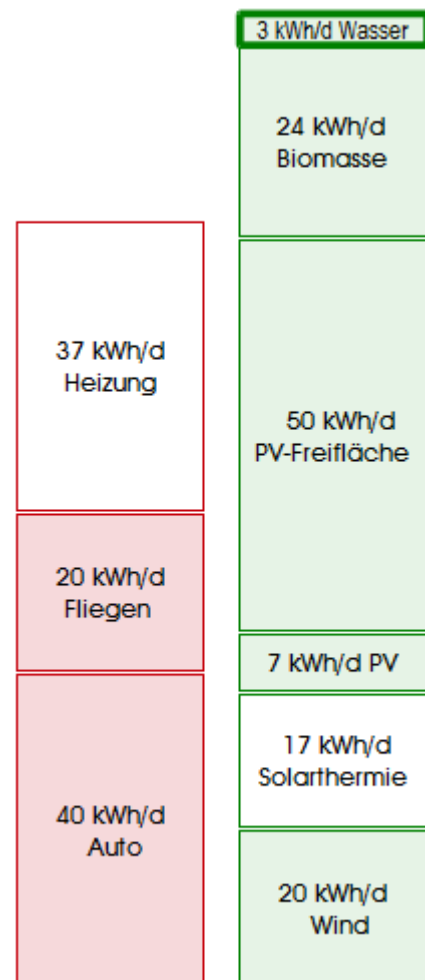


Fig.8.3: Elektrizität aus Wasserkraft

Anmerkungen und Literaturhinweise

Seite

62 Regen °Statistik vom BBC Wetterzentrum

63 **zwölffachen Leistung pro Quadratmeter, also zu 0,24 W/m²:** Das kann man mit den aktuellen Leistungsdichten des Loch Sloy Wasserkraftwerks nachprüfen (Ross, 2008). Das Einzugsgebiet von Loch Sloy ist etwa 83 km², der Regen hier liegt etwa bei 2.900 mm pro Jahr (etwas höher als die 2.278 mm/y von Kinlochewe); und der Elektrizitäts-Output im Jahr 2006 war 142 GWh im Jahr, was einer Leistungsdichte von **0,2W pro m²** Einzugsgebiet entspricht. Loch Sloy hat eine Wasserfläche von etwa 1,5 km², das Wasserkraftwerk produziert also mit einer Leistungsdichte pro Einheits-Seefläche von **11 W/m²**. Die Hänge, Aquädukte und Tunnel, die das Wasser ins Loch Sloy bringen, wirken also wie ein 55-facher Leistungsverstärker.



Fig.8.4: Ein 60 kW Wasserrad

63 **Aktuell wird Wasserkraft im Umfang von 0,2 kWh/d pro Person in England genutzt** Quelle: MacLeay et al. (2007). Im Jahr 2006 erzeugten große Wasserkraftwerke insgesamt 3.515 GWh (Kraftwerkskapazität 1.37 GW); kleine Wasserkraftwerke 212 GWh (0,01 kWh/d/p) (Kapazität 153 MW). Im Jahr 1943, als der Bau von Wasserkraftwerken voll im Gange war, schätzten Ingenieure von North of Scotland Hydroelectricity Board, dass die Schottischen Highlands 6,3 TWh pro Jahr in 102 Anlagen produzieren könnten – das wären 0,3 kWh/d pro Person in England (Ross, 2008). Glendoe, das erste neue große Wasserkraft-Projekt Großbritanniens seit 1957, wird zusätzliche Kapazität von 100 MW schaffen und 180 GWh pro Jahr liefern können. Glendoe's Einzugsgebiet umfasst 75 km², seine Leistungsdichte ergibt sich somit zu **0.27 W pro m²** Einzugsgebiet. Glendoe sollte "groß genug sein, um Glasgow zu versorgen". Verteilt man jedoch seine 180 GWh pro Jahr auf die 616 000 Einwohner von Glasgow, erhalten wir nur 0.8 kWh/d pro Person. Das sind nur 5% der benötigten mittleren Energie von 17 kWh/d pro Person. Diese 20-fache Übertreibung kommt daher, dass auf Glendoe's Spitzen-Output statt auf den 5mal kleineren Mittelwert abgestellt und über Haushalte statt Gesamtverbrauch diskutiert wurde (siehe Seite 360).

63 **die Donau bei Passau** ♦Mit einem mittleren Wasserabfluss von ca. 1500 m³/s unterhalb von Passau entspricht der Energiefluss des Donauwassers (gegenüber Meeresniveau gerechnet)

$$1.500.000 \text{ kg/s} * 9,81 \text{ N/kg} * 312 \text{ m} = 4,4 \text{ GW}$$

oder 1,3 kWh/d/p. Das ist mehr als die gesamte deutsche Wasserkraftwerksleistung. Ein Teil davon, etwa 3% oder 0,13 GW, wird im Kraftwerk Jochenstein genutzt. Weitere Anteile werden weiter donauabwärts in Elektrizität verwandelt: in 10 weiteren Kraftwerken in Österreich (zusammen 2 GW), dem slowakischen Werk Gabčíkovo (0,7 GW, 11% des slowakischen Strombedarfs) oder am „eisernen Tor“ in den Karpaten (Serbien/Rumänien, 2,5 GW), dem größten Wasserkraftwerk Europas.

63 **werden mit ca. 7.800 Wasserkraftwerken jährlich 27 GWh Strom erzeugt.** ♦Quelle: BDW, [6bfreew].