4. Wind

The UK has the best wind resources in Europe.
Sustainable Development Commission

Wind farms will devastate the countryside pointlessly.
James Lovelock

Wie viel Windenergie können wir tatsächlich erzeugen?

Wir können eine Abschätzung für die an Land stehenden (on-shore) Windkraftwerke treffen, indem wir die Windkraft pro Landfläche mit der pro Person zur Verfügung stehenden Landfläche multiplizieren:

Leistung pro Person = Windleistung pro Fläche x Fläche pro Person

Anhang B erklärt, wie man die Leistung einer Windfarm pro Flächeneinheit abschätzen kann. Wenn typische Windgeschwindigkeiten von 6 m/s (d.h. 22 km/h) auftreten, liefert eine Windfarm etwa 2W/m^2.

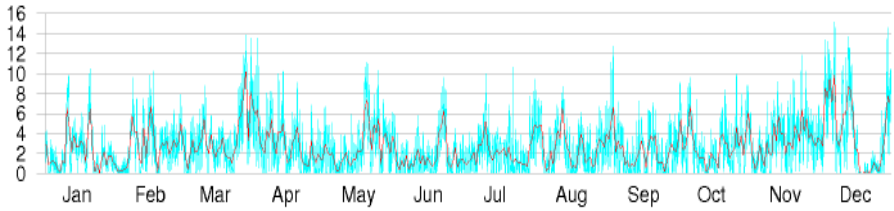

Fig.4.1: Windgeschwindigkeiten in Cambridge, in m/s, täglich (rote Linie) und halbstündlich (blau).

Das ist wahrscheinlich zu hoch gegriffen für viele Orte in England. Fig.4.1 zeigt beispielsweise die mittlere Windgeschwindigkeit in Cambridge im Jahre 2006. Das Tagesmittel erreichte 6 m/s nur an 30 Tagen im Jahr – siehe Fig.4.6 für ein Histogramm. Doch einige Stellen haben deutlich höhere Windgeschwindigkeiten als 6 m/s, beispielsweise Cairngorm in Schottland (Fig.4.2).

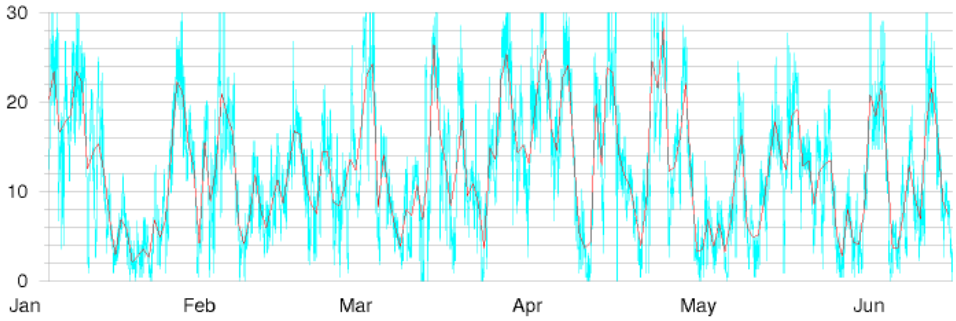

Fig.4.2: durchschnittliche Windgeschwindigkeiten in Cairngorm, in m/s, über sechs Monate des Jahres 2006.

Setzt man zudem die Bevölkerungsdichte von 250 Menschen pro Quadratkilometer oder 4000 qm pro Person ein, zeigt sich, dass Wind eine Leistung von

$$2 W/m^2 \times 4000\ m^2 \text{ pro Person} = 8000 \text{ W pro Person}$$

in Windturbinen erzeugen könnte, wenn wir das ganze Land mit ihnen überziehen würden. In unsere Lieblingseinheit umgerechnet sind das 200 kWh/d pro Person.

Aber lassen Sie uns realistisch bleiben. Wie viel Land können wir uns wirklich vorstellen, mit Windmühlen zu überziehen? Vielleicht 10%? Dann sehen wir: Wenn wir die windigsten 10 % von England mit Windmühlen überziehen (die 2 W/m^2 liefern) könnten wir 20 kWh/d pro Person erzeugen, was gerade der Hälfte dessen entspricht, was ein Durchschnittsauto für 50 km am Tag verbraucht.

Die on-shore Windenergie-Ressourcen Englands mögen „groß“ sein, doch offensichtlich nicht so groß wie unser großer Verbrauch. Den off-shore Windparks wenden wir uns später zu.

Ich sollte noch betonen, wie großzügig diese Annahmen gewählt wurden. Lassen Sie uns diese Abschätzung des englischen Windpotenzials mit der aktuell installierten weltweiten Windkraftwerksleistung in Relation setzen. Die Windmühlen, die für diese 20 kWh/d erforderlich sind, entsprechen 50 mal der Leistung der gesamten dänischen Wind-Hardware, 7 mal der aller deutschen Windfarmen und zweimal der Leistung der gesamten Flotte aller Windturbinen in der Welt.

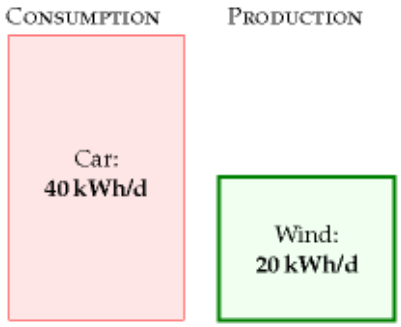

Fig.4.3: Fazit aus Kapitel 4: das realistische Maximum on-shore produzierter Windenergie in England liegt bei 20 kWh pro Tag pro Person.

Bitte missverstehen Sie mich nicht. Sagte ich, wir sollten uns nicht darum kümmern, Windfarmen zu installieren? Nicht im geringsten. Ich versuche nur eine hilfreiche Tatsache beizutragen, nämlich dass Windfarmen, wenn sie tatsächlich etwas verändern wollen, eine sehr, sehr große Nutzfläche erfordern.

Diese Schlussfolgerung – dass der maximale Beitrag von on-shore Windkraft, wenn auch „groß“, so dennoch viel kleiner als unser Bedarf ist – ist wichtig, deshalb lassen Sie

uns für die „Schlüsselfigur“ darin, die angenommene Leistung pro Flächeneinheit (2W/m²), nochmals eine Gegenprobe mit einer realen englischen Windfarm machen.

Leistung pro Einheitsfläche	
Wind-Farm (Geschw. 6 m/s)	2 W/m²

Tabelle 4.4: Windfarmen

Bevölkerungsdichte in England
250 pro km² ↔ 4000 qm pro Person

Tabelle 4.5: Bevölkerungsdichte (vgl. Anhang J)

Die Whitelee Windfarm nahe Glasgow in Schottland besitzt 140 Turbinen mit einer *Spitzen*leistung von zusammen 322 MW auf einer Fläche von 55 km². Das sind 6 W/m², Spitze. Die mittlere Leistung ist geringer, weil natürlich nicht alle Turbinen die ganze Zeit mit maximalem Output arbeiten. Das Verhältnis von mittlerer Leistung zu Spitzenleistung heißt „Load Faktor“ oder „Kapazitätsfaktor“ und er variiert von Anlage zu Anlage und mit der Hardware, die auf der Anlage installiert ist; ein typischer Faktor für eine gute Anlage mit modernen Turbinen ist 30%. Wenn wir für Whitelee einen Load Faktor von 33% annehmen, dann ist die mittlere Leistung pro Flächeneinheit 2W/m² – genau der Wert, den wir in unserer Annahme über die Leistungsdichte auch verwendet hatten.

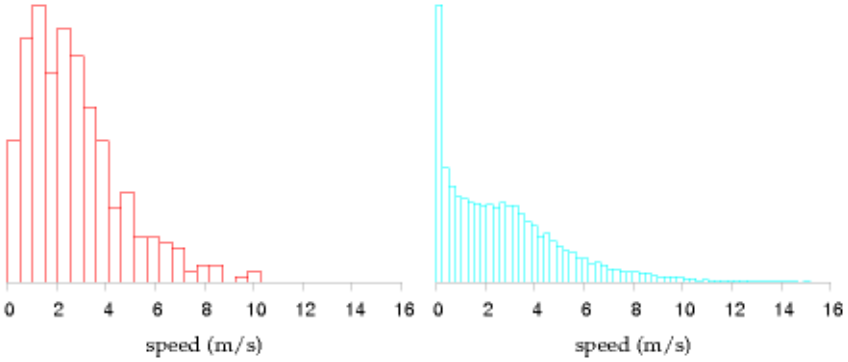

Fig.4.6: Histogramm der mittleren Windgeschwindigkeit in Cambridge in m/s: Tagesmittel (links), und halbstündliches Mittel (rechts).

Fragen

Windturbinen werden die ganze Zeit größer und größer. Können größere Turbinen die Antworten dieses Kapitels verändern?

Die Erklärung ist in Anhang B. Größere Turbinen sind finanzökonomisch günstiger, doch vergrößern sie nicht wesentlich die Leistung pro Flächeneinheit, weil größere Windmühlen mit größerem Abstand voneinander installiert werden müssen. Verdoppelt man die Höhen der Windmühlen einer Farm, kann man damit nur um die 30% mehr Leistung erhalten.

Windleistung schwankt die ganze Zeit. Das macht Wind doch sicher weniger nutzbar?

Vielleicht. Wir kommen in Kapitel 26 darauf zurück, wo wir auf die Intermittenz des Windes einen Blick werfen und verschiedene Lösungsmöglichkeiten für dieses Problem diskutieren, einschließlich Energiespeicherung und Anforderungsmanagement.

Anmerkungen und Literaturhinweise

Seite

34 Fig.4.1 und Fig.4.6: Winddaten für Cambridge von Digital Technology Group, Computer Laboratory, Cambridge [vxhhj]. Die Wetterstation ist auf dem Dach des Gates-Gebäudes, etwa 19 m hoch. Die Windgeschwindigkeiten bei 50 m sind gewöhnlich um 25 % größer. Daten für Cairngorm (Fig,4.2) von Heriot–Watt University Physics Department [tdvml].

35 50 mal der Leistung der gesamten dänischen Wind-Hardware: Bei einem angenommenen Load-Faktor von 33% benötigt der mittlere Bedarf von 20 kWh/d pro Person eine installierte Peak-Leistung von 150 GW. Ende 2006 hatte Dänemark 3,1 GW installierte Leistung, Deutschland 20,6 GW. Weltweit waren es 74 GW (wwindea.org). Übrigens lag der Load-Faktor in Dänemark im Jahr 2006 bei 22%, die gesamte Windkraft erzeugte eine mittlere Leistung von 3 kWh/d pro Person.