

ABKÜRZUNGEN

BHKW	Blockheizkraftwerk
CFK	Carbonfaserverstärkter / kohlestofffaserverstärkter Kunststoff
D	Rotordurchmesser
GVK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
h	Nabenhöhe
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission
KEV	Kostendeckende Einspeisevergütung
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LCA	Ökobilanz / Life Cycle Assessment / Lebenszyklusanalyse
LKW	Lastkraftwagen
NEEDS	New Energy Externalities Developments for Sustainability
PKW	Personenkraftwagen
PM2.5	Feinstaub mit einem aerodynamischer Durchmesser < 2.5 Mikrometer (2.5 µm)
UBP	Umweltbelastungspunkte
WKA	Windkraftanlage
WKK	Wärme-Kraft-Kopplung

1 EINLEITUNG

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 des Bundes soll das Schweizer Energiesystem bis ins Jahr 2050 sukzessive umgebaut werden. Der Bundesrat setzt dabei einerseits auf eine Steigerung der Energieeffizienz und andererseits auf die Ausschöpfung der erneuerbaren Energien. In diesem Sinne soll auch die Windkraft in der Schweiz ausgebaut werden. Strom aus Windkraftanlagen gilt allgemein als umweltfreundlich. Dabei sind aktuelle Ökobilanzen eine wesentliche Grundlage für den wissenschaftlichen und umfassenden Vergleich der Umweltauswirkungen verschiedener Stromerzeugungstechnologien. Sachbilanzdaten für Schweizer Windkraftanlagen, welche die Basis für eine Ökobilanzierung darstellen, stehen zwar in der internationalen ecoinvent Datenbank zur Verfügung, sind jedoch teilweise veraltet und den Verhältnissen in der Schweiz nicht genügend angepasst. Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, sowohl den heutigen als auch den zukünftigen (2035) Strommix aus Schweizer Windkraftanlagen zu bilanzieren und auszuwerten. Die Resultate der vorliegenden Studie ermöglichen damit einerseits den Vergleich der Windkraft mit anderen Stromerzeugungstechnologien. Andererseits wird ersichtlich, welche Faktoren die Umweltbelastung der Windenergie hauptsächlich beeinflussen. Durch die Berücksichtigung dieser Faktoren bei der Planung einer Windkraftanlage können die Umweltauswirkungen des Windstroms noch tiefer gehalten werden.

1.1 ÖKOBILANZIERUNG VON WINDSTROM

Eine Ökobilanz untersucht die potenziellen Umweltauswirkungen eines Produkts im Verlauf des gesamten Lebenszyklus. Der Lebenszyklus von Windstrom umfasst sowohl die Rohstoffgewinnung für den Bau der Windkraftanlage als auch die Verarbeitungs- und Montageprozesse, den Betrieb und die Entsorgung der Anlage. In einer Ökobilanz werden für jeden Prozess innerhalb der Systemgrenze die benötigten Ressourcen und die anfallenden Emissionen quantifiziert. Qualitative Aspekte wie die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes können mit der Ökobilanz-Methode nicht berücksichtigt werden. Auch fehlen bisher Ökobilanz-Methoden, um die von Windkraftanlagen verursachten Lärmemissionen und die potenzielle Gefahr der Anlagen für Vögel und Fledermäuse zu berücksichtigen.

Im internationalen Kontext bestehen bereits viele Ökobilanz-Studien zu Windkraftanlagen. Eine Übersicht über vorhandene LCA-Studien ist beispielsweise in Haapala & Prempreeda (2014) gegeben. Bisherige Studien zeigen, dass der grösste Teil der Umweltauswirkungen von Windstrom auf die Herstellung der WKA-Komponenten zurückzuführen ist (z.B. Haapala & Prempreeda (2014), Guezuraga et al. (2012), Tremeac & Meunier (2009)). Caduff et al. (2012b) haben ausserdem festgestellt, dass die Umweltbelastung von Windstrom mit zunehmender Turbinengrösse abnimmt. Für den Schweizer Kontext haben Burger & Bauer (2007) vier Anlagen bilanziert. Die untersuchten WKA weisen Nennleistungen zwischen 30 kW und 800 kW auf

Einleitung

(Burger & Bauer, 2007). Deutlich über 90% des heute in der Schweiz produzierten Windstroms stammt allerdings von Anlagen mit einer Nennleistung über 800 kW. Eine aktuelle, auf die Schweiz bezogene Ökobilanzierung von Windstrom gibt es bisher nicht. Diese Datenlücke soll mit der vorliegenden Studie geschlossen werden.

2 ZIEL UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN

2.1 ZIEL DER STUDIE

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, den aktuellen und zukünftigen (2035) Windenergie-Strommix der Schweiz zu ökobilanzieren. Dazu werden Sachbilanzdatensätze zu heutigen und zukünftigen Windanlagentypen erstellt. Die Ökobilanzierung des zukünftigen Windstroms erfolgt anhand von Szenarien. Die Szenarien haben nicht den Anspruch, eine realistische Entwicklung abzubilden. Vielmehr werden für die Bildung der Szenarien auch extreme Annahmen getroffen, um so feststellen zu können, wie sich gewissen Trends auf die Ökobilanz der Windenergie auswirken.

2.2 FUNKTIONELLE EINHEIT

Die funktionelle Einheit für die Ökobilanzierung des Windenergie-Strommix ist **1 kWh Windstrom ab Niederspannungsnetz**. Für den Vergleich der verschiedenen Standorte wird zudem die funktionelle Einheit von **1 kWh Strom ab Windkraftanlage oder Windpark** ausgewertet.

2.3 SYSTEMBESCHREIBUNG

Die vorliegende Ökobilanzstudie untersucht die potenziellen Umweltwirkungen, welche mit der Stromproduktion in heutigen und zukünftigen (2035) Windkraftanlagen in der Schweiz verbunden sind. Dazu werden die Herstellung der einzelnen Komponenten einer Windkraftanlage, der Transport und die Montage der Komponenten sowie der Betrieb und letztendlich die Entsorgung der Anlagen berücksichtigt (Abbildung 2-1).

Windkraftanlagen sind in vielen verschiedenen Grössen und Bauarten erhältlich. Grundsätzlich besteht eine WKA aus einem **Rotor** mit flügelartigen Rotorblättern, welche an der Nabe befestigt sind, einer **Gondel**, welche unter anderem das Getriebe beinhaltet, einem **Turm**, einem **Fundament** und **elektrischen Komponenten** ausserhalb der Anlage. Der Rotor wandelt die kinetische Energie des Windes in Rotationsenergie um. Alle Anlagen, die in der vorliegenden Studie ökobilanziert werden, sind dreiflügelig und horizontalachsig.

Abbildung 2-1: Systembild für die Produktion von Windstrom ab Windkraftanlage/-park bzw. ab Niederspannungsnetz

2.3.1 Zeitliche Systemgrenze

Das Referenzjahr für die Abbildung der heutigen Situation ist 2013, für die Sachbilanzierung des zukünftigen Strommix wird das Jahr 2035 als Referenzjahr definiert. Für die Windkraftanlagen wird von einer Nutzungsdauer von 20 Jahren ausgegangen. Gemäss Wisser et al. (2011) werden moderne Windkraftanlagen, welche die IEC Standards einhalten, für eine Lebensdauer von 20 Jahren ausgelegt, wobei die effektive Lebensdauer bei den heutigen Kosten für Betrieb und Unterhalt auch 20 Jahre übersteigen kann. Oft wird allerdings nach ungefähr 20 Jahren, teilweise aber auch früher, ein Repowering (Ersatz der Anlage oder einzelner Anlagenteile) durchgeführt (Gasch & Twele, 2013, S. 534).

2.3.2 Geographische Systemgrenze

Ziel dieser Studie ist es, den Windenergie-Mix der Schweiz abzubilden. Dabei wird berücksichtigt, dass die Produktion der Anlagen im Ausland stattfindet.

