



---

## Sachstand

---

### Zur Ökobilanz der Windenergietechnologie unter Berücksichtigung Seltener Erden

## **Zur Ökobilanz der Windenergietechnologie unter Berücksichtigung Seltener Erden**

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 010/18  
Abschluss der Arbeit: 17.01.2018  
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Ermittlung vergleichender globaler Ökobilanzen von Technologien zur Energieerzeugung durch norwegische Wissenschaftler</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Amortisationszeiten</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Seltene Erden in Windkraftanlagen</b>	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Abbau Seltener Erden und Umweltauswirkungen</b>	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>Ökobilanzen für die Seltenerdelemente</b>	<b>10</b>

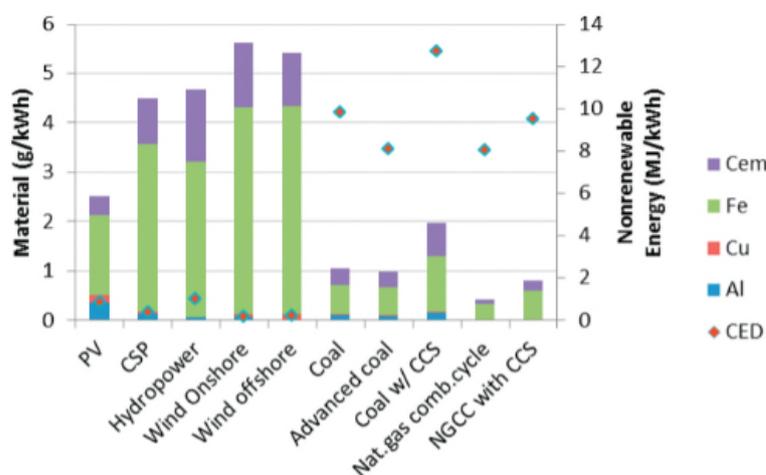
## 1. Ermittlung vergleichender globaler Ökobilanzen von Technologien zur Energieerzeugung durch norwegische Wissenschaftler

Im Juni 2014 wurde ein Konferenzbeitrag von Wissenschaftlern der norwegischen Universität Trondheim unter dem Titel „A global environmental assessment of electricity generation technologies with low greenhouse gas emissions“ veröffentlicht.<sup>1</sup>

Die Autoren kommen darin zu dem Ergebnis, dass die meisten Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Energien hinsichtlich Emissionsreduktionen erhebliche Vorteile gegenüber der Energieerzeugung aus fossilen Brennstoffen bieten, während jedoch der Mehrbedarf an Material für die Herstellung von Energieumwandlungsanlagen zwischen dem 0,1- bis 3-fachen der jährlichen globalen Produktion im Jahr 2010 liege.<sup>2</sup>

Im Rahmen von Lebenszyklusanalysen (engl.: life cycle assessment, LCA) zur ganzheitlichen Bilanzierung der eingesetzten und erwirtschafteten Energiemengen, bei der Produktion, Betriebsphase und Rückbau der Energieanlagen berücksichtigt wurden, wurde festgestellt, dass die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien einen größeren Bedarf an Schüttgut verursacht als die Erzeugung aus fossilen Brennstoffen. Sonnen- und Windkraftanlagen verbrauchten pro Kilowattstunde erzeugtem Strom die größten Mengen an Eisen, Stahl und Beton, während Photovoltaikanlagen den größten Bedarf an Kupfer und Aluminium hätten. Technologien für die Energiegewinnung mit fossilen Brennstoffen hätten den größten Bedarf an nicht-erneuerbarer Energie.

Die nachfolgende Grafik<sup>3</sup> veranschaulicht den Materialbedarf im Lebenszyklus der jeweiligen Energie-Technologien an Beton (Cem), Eisen und Stahl (Fe), Kupfer (Cu), Aluminium (Al) und nicht-erneuerbaren Energien.



1 Gibon, Thomas; Hertwich, Edgar: A Global Environmental Assessment of Electricity Generation Technologies with Low Greenhouse Gas Emissions 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering. In: Procedia CIRP, Volume 15, 2014, Pages 3-7. Im Internet abrufbar unter DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.070> [zuletzt abgerufen am 16.01.2018]

2 Vgl. ebd., Abstract, S. 1

3 Aus: Ebd., S. 5

---

Windenergieanlagen hätten, gemessen am Platz, den jedes Windrad für sich allein benötigt, im Lebenszyklus sowohl Onshore als auch Offshore den mit Abstand niedrigsten Bedarf an Landnutzung gegenüber anderen Energietechnologien. Den höchsten Bedarf haben Technologien zur Erzeugung von Kohleenergie.

Das Land, auf dem Windparks errichtet werden, könne zwar noch als Ackerland oder Weide genutzt werden, nicht aber beispielsweise für Wohnsiedlungen. Dies werde bei der Betrachtung nicht berücksichtigt. Für einen Windpark würden jährlich ca. 200 m<sup>2</sup> Land pro Kilowattstunde benötigt, was mehr sei als bei anderen Technologien. Zudem wird darauf hingewiesen, dass vor allem Vögel und Fledermäuse durch Kollisionen mit den Rotoren von Windkraftanlagen beeinträchtigt würden.<sup>4</sup>

Der Beitrag kommt zu dem Schluss, dass im Wechsel von den Technologien für fossile zu den Technologien für erneuerbare Energie hinsichtlich der Verringerung einer Vielzahl von Umweltbelastungen klare Vorteile bestehen. Diesen Vorteilen sei der erhöhte Materialbedarf für Technologien für erneuerbare Energien gegenüberzustellen. Dieser Nachteil überwiege jedoch nicht den großen Vorteil, dass durch die Reduzierung der Verbrennung von fossilen Brennstoffen weniger Umweltverschmutzung entstehe.

Die Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Technologien hätten weniger Auswirkungen auf die Umwelt und eröffneten die Möglichkeit, Treibhausgas-Emissionen einzusparen.<sup>5</sup>

In der Vorstellung ihrer Untersuchungsergebnisse in der Fachzeitschrift „Proceedings of the National Academy of Sciences“<sup>6</sup> stellen die Wissenschaftler der Universität Trondheim heraus, dass erneuerbare Technologien mit einem höheren Materialbedarf höhere Investitionen in die Infrastruktur erfordern als auf fossilen Brennstoffen basierende Energiesysteme. In ihrer Untersuchung versuchen sie den Ausgleich von erhöhten Vorabemissionen und reduzierten Betriebsemissionen in einer vergleichenden Ökobilanz zu bewerten. Dazu werden Daten der Internationalen Energie-Agentur (IEA) herangezogen.

Die Autoren kommen zu dem Resultat, dass erneuerbare Energietechnologien in allen betrachteten Wirkungskategorien erheblich geringere verunreinigende Umweltauswirkungen pro Erzeugungseinheit aufweisen als Kohlekraftwerke auf dem neuesten Stand der Technik.

Zwar trage der Materialbedarf für die Anlagen bei den erneuerbaren Energien 20-50% der Gesamtauswirkungen bei, wobei Sonnenenergie- und Offshore-Windtechnologien die höchsten An-

---

4 Vgl. ebd., S. 4 f.

5 Vgl. ebd., S. 5

6 Edgar G. Hertwich, Thomas Gibon et al.: Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. In: PNAS 2015 112 (20), S. 6277-6282; published ahead of print October 6, 2014, [doi:10.1073/pnas.1312753111](https://doi.org/10.1073/pnas.1312753111) [zuletzt abgerufen am 16.01.2018]

teile aufwiesen. Die Umweltauswirkungen des im Vergleich höheren Materialbedarfs erneuerbarer Technologien seien im Vergleich zu den Auswirkungen der Brennstoffproduktion und der Verbrennung fossil befeuerter Kraftwerke jedoch gering.<sup>7</sup>

In die Betrachtung einbezogen wurden die Treibhausgas- und Feinstaubemissionen, die Giftbelastung für die Ökosysteme, die Überversorgung von Gewässern mit Nährstoffen (Eutrophierung) sowie der Landverbrauch.

Auch die Einbeziehung von Schutzmaßnahmen, etwa der Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid, führte kaum zu einer Verbesserung der Ökobilanz der Kohle- und Erdgaskraftwerke, was auf den Material- und Energieverbrauch dieser Maßnahmen zurückzuführen sei.<sup>8</sup>

Die Autoren empfehlen auf der Grundlage ihrer Analyse ein Energieversorgungssystem mit einem hohen Anteil an Windenergie, Solarenergie und Wasserkraft, um Umweltbelastungen in Form von Treibhausgasemissionen, Süßwasserökotoxizität, Eutrophierung und Feinstaubausstoß zu reduzieren.

Die für diese Technologien benötigten Materialien sollten weiterhin in ausreichendem Maße vorhanden sein, müssten aber im Blick behalten werden. Einzig für Kupfer müsste ggf. langfristig ein Ersatz geschaffen werden.<sup>9</sup>

## 2. Amortisationszeiten

Die folgende Tabelle<sup>10</sup> gibt einen Überblick über die Zeiträume, über die eine Kraftwerksanlage für die unterschiedlichen Energieformen Energie erzeugen muss, um die für ihre Herstellung und Errichtung aufgewendete Energie selbst zu produzieren.<sup>11</sup>

---

7 Vgl. ebd., S. 6278

8 Vgl. Parsch, Stefan: Die Erzeugung von Ökostrom frisst viel Material. In: Die WELT online, 07.10.2017. Im Internet abrufbar unter <https://www.welt.de/wissenschaft/article133026360/Die-Erzeugung-von-Oekostrom-frisst-viel-Material.html> [zuletzt abgerufen am 16.01.2018]

9 Vgl. Edgar G. Hertwich, Thomas Gibon et al.: Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. In: PNAS 2015 112 (20), S. 6281; published ahead of print October 6, 2014, [doi:10.1073/pnas.1312753111](https://doi.org/10.1073/pnas.1312753111) [zuletzt abgerufen am 16.01.2018]

10 Aus: Brockhaus Enzyklopädie Online, Artikel „Erneuerbare Energien“. Im Intranet abrufbar unter <https://brockhaus.de/ecs/permalink/273B6356279451D6A41A4171F750F3FB.pdf> [zuletzt abgerufen am 17.01.2018].

11 Weiterführende Informationen zur energetischen Amortisationszeit finden sich in der Dokumentation des Wissenschaftlichen Dienstes WD 8 – 3000 – 057/13 mit dem Titel „Hinweise auf ökologische Folgeschäden von Windkraftanlagen“ vom 14.11.2013

**Tabelle 1: energetische Amortisationszeiten**

Energieform bzw. Kraftwerksart	Amortisationszeit
Windkraft	3–7 Monate
Wasserkraft	9–13 Monate
solarthermisches Kraftwerk in Marokko	5 Monate
Fotovoltaik in Mitteleuropa	
polykristallines Silicium, moderne Herstellungstechnologie	3–5 Jahre
Dünnschichtzellen	2–3 Jahre
Gaskraftwerk	*)
Kohlekraftwerk	*)
Kernkraftwerk	*)
Wärmeerzeugung mittels	
Sonnenkollektoren	1,5–2,5 Jahre
Geothermie (hydrothermal)	7–10 Monate
Gaskessel	*)
Ölkessel	*)
*) Amortisation nicht möglich, da während des gesamten Betriebs Energie (in Form von Brennstoffen) hineingesteckt werden muss.	

### 3. Seltene Erden in Windkraftanlagen

In Windkraftanlagen werden vor allem zwei Metalle aus der Gruppe der Seltenen Erden verbaut: Neodym und Dysprosium. Sie werden neben den beiden weiteren wichtigen Elementen Eisen und Bor den tonnenschweren Magneten in den Generatoren beigemischt, wobei Dysprosium die Erhaltung der magnetischen Feldstärke des Magneten über Jahrzehnte gewährleistet.

Während noch vor wenigen Jahren die hohen Preise für diese Seltenen Erden, die zu über 90 Prozent aus China stammen, Sorge bereiteten<sup>12</sup>, überwiegt aktuell das Angebot die Nachfrage. So wurde von den 2016 auf dem Rohstoffmarkt verfügbaren 2.650 Tonnen Dysprosium nur die Hälfte gekauft, bei Neodym entsprach das Angebot von 42.000 Tonnen nahezu der Nachfrage von 41.865 Tonnen. Dies führte dazu, dass auch die vormals hohen Preise einbrachen: Der Preis für Dysprosium verlor um das Zwölffache, der Preis für Neodym um das Zehnfache.

Prognosen zufolge könnten die Preise für die offenbar nicht mehr knapp verfügbaren Seltenen Erden auch künftig auf diesem Niveau bleiben. Dennoch beschäftigten sich die Windkrafthersteller mit der Möglichkeit wieder steigender Preise und mit Technologien, die die Seltenen Erden ersetzbar machen könnten. Verschiedene Fraunhofer-Institute wie das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur und von Werkstoffen und Systemen in Halle forschen an Technologien und Recyclingkonzepten, die eine geringere Abhängigkeit der Deutschen Industrie von den Seltenen Erden ermöglichen könnten.

Da der Abbau des schweren Dysprosiums sehr kompliziert ist, konzentriert man sich vor allem auf die Entwicklung einer neuen Magnetphase ohne Dysprosium. Die Entwicklung sei vielversprechend und ihr Gelingen eine Frage der Zeit.

Dem Hersteller Siemens sei es bereits gelungen, den Dysprosium-Anteil in seinen Magneten von fünf auf unter ein Prozent zu reduzieren. Die dadurch erforderliche Kühlung des Permanentgenerators erfolge über die Konstruktion mittels Luft, wobei gleichzeitig eine Leistungssteigerung erzielt werde.

Der Hersteller Enercon benötige durch getriebelose Anlagen mit fremderregtem Ringgenerator überhaupt kein Dysprosium und Neodym mehr. Die Erzeugung des Magnetfeldes erfolge rein elektronisch, für die erforderlichen Rohstoffe Stahl und Kupfer funktionierten die Recyclingkreisläufe gut.

Durch die steigende Nachfrage für die E-Mobilitätsbranche, für deren Antriebe starke Magnete eine größere Bedeutung haben als für Windkraftanlagen, könnten die Preise für die Seltenen Erden allerdings in absehbarer Zeit wieder steigen.

Auch aus diesem Grund sei bereits mit der Entwicklung von Konzepten zur Wiederverwendung von Magneten begonnen worden.<sup>13</sup>

#### **4. Abbau Seltener Erden und Umweltauswirkungen**

Über 90 Prozent der Seltenen Erden werden in China abgebaut, die größte Mine dort ist die Bayan-Obo-Mine. Seltene Erden sind ein Nebenprodukt der Eisenerzgewinnung.

---

12 Siehe dazu Mocker, Mario; Aigner, Jonathan et al.: Technologierohstoffe für erneuerbare Energien – Verfügbarkeit und ökologische Aspekte“. In: Chemie Ingenieur Technik, 87 (2015), No. 4, S. 439-448 und Müller, Bernd: Weniger ist mehr. In: neue energie 03/2014, S. 38-41

13 Müller, Bernd: Seltene Erden – nicht mehr selten? In: neue energie 03/2017, S. 58-61.

---

Ein großes Problem seien die Mondlandschaften, die bisher durch den Abbau entstehen. Hier sei in China inzwischen ein Umdenken feststellbar.

Darüber hinaus würden Abwässer, die durch die Abtrennung der Seltenen Erden aus Eisenerz mit Säuren entstehen, häufig nicht fachgerecht entsorgt.

Ein weiteres Problem beim Abbau seltener Erde stellten die Gesundheitsrisiken dar. Bei der Erzverarbeitung entsteht Staub, der radioaktive Isotope anderer Elemente enthält.

Die Einhaltung internationaler Arbeitsschutz- und Umweltstandards sei mit hohen Kosten verbunden.<sup>14</sup>

In der vom Umweltbundesamt beauftragten „Fallstudie zu den Umwelt- und Sozialauswirkungen der Gewinnung Seltener Erden in Bayan Obo, China“<sup>15</sup> aus dem Jahr 2014 wurden unter anderem die Umweltauswirkungen durch den Abbau der dortigen Seltenen Erden untersucht.

Genannt werden Luft-, Wasser- und Grundwasserverschmutzung, wobei die Luftverschmutzung durch giftige Abgase verursacht werde, die bei der Verhüttung und Raffination von sulfidischen Erzen und Konzentraten entstünden.

Zudem lagerten im Umfeld der Mine ca. 160 Millionen t Rückstände und 17,5 Millionen m<sup>3</sup> Abwasser. Diese Abfälle, die radioaktives Thorium aus Monazit und Chemikalien wie Schwefelsäure und Flusssäure enthielten, stellten eine große Verschmutzungs- und Gefahrenquelle für die Umgebung dar. Die Arbeiter seien einer erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt.

Darüber hinaus schreite die Wüstenausbreitung im Grasland der Inneren Mongolei, in dessen Grenzgebiet die Mine Bayan Obo liegt, stetig voran, was unter anderem auf den Verbrauch großer Wassermengen bei der Erzgewinnung zurückzuführen sei.

Durch die unsachgemäße Entsorgung der Abwässer sei eine Kontaminierung der gesamten umliegenden Wassersysteme feststellbar, wodurch Trinkwasser und landwirtschaftlich genutztes Wasser entsprechend belastet seien. Gesundheitliche Schäden der Menschen seien die Folge.

Die Luftverschmutzung durch giftige Abgase führe zu saurem Regen, der die Zerstörung ganzer Landstriche zur Folge haben könnte.<sup>16</sup>

---

14 Vgl. ebd., S. 61.

15 Rüttinger et al. (2014): Fallstudie zu den Umwelt- und Sozialauswirkungen der Gewinnung Seltener Erden in Bayan Obo, China. Berlin: adelphi.

16 Vgl. ebd., S. 6-8

## 5. Ökobilanzen für die Seltenerdelemente

Für die Erstellung von Ökobilanzen für die Seltenerdelemente seien die Datengrundlagen unzureichend, da Seltene Erden in Koppelproduktion oder als Nebenprodukt bei der Förderung anderer Rohstoffe abgebaut werden.

Es lägen Einzelwerte für die Produktion Neodymoxid vor, die einen niedrigen Wert bei den Treibhausgasemissionen auswiesen. Zu beachten sei hier aber die noch erforderliche Legierung von Neodym für die Verwendung als Magnetwerkstoff. Dieser Reduktionsschritt sei energieintensiv.

Dysprosium oder seine Verbindungen seien in den einschlägigen Ökobilanz-Datenbanken hingegen nicht einzeln aufgeführt.<sup>17</sup>

\*\*\*

---

17 Vgl. Mocker, Mario; Aigner, Jonathan et al.: Technologierohstoffe für erneuerbare Energien – Verfügbarkeit und ökologische Aspekte“. In: Chemie Ingenieur Technik, 87 (2015), No. 4, S. 445 f.