

Faktencheck zum Einsatz von Kupfer in Windkraftanlagen



Scientists for Future
Ravensburg

Autor: Dipl.Verw.-Wiss. Manfred Walser, Ravensburg

Vorläufige Fassung vom 10. April 2024

Kurzfassung

Eine Windkraftanlage benötigt zu ihrer Herstellung bis zu 30 Tonnen Kupfer, wobei ca. ein Sechstel auf die Anlage selbst und fünf Sechstel auf die Zuleitungen und Transformatoren entfallen, wie sie jede Anlage zur Energieerzeugung benötigt. Für die nach dem aktuellen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bis Ende 2030 in Deutschland zu installierenden 115 Gigawatt (GW) Windenergie an Land muss mit einem Kupferinput von 110-575.000 t Kupfer gerechnet werden. Das ist etwa die Hälfte des Gesamtverbrauchs an Kupfer in Deutschland von etwa 1 Mio t im Jahr 2021.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Kupfer und den Kupferlegierungen Messing und Bronze sind vielfältig. Vor allem die Elektrotechnik- und Elektronikindustrie nutzt den Rohstoff und verantwortet 57% des Gesamtverbrauchs.

Die Energiewende verfolgt das Ziel, möglichst viele Energienutzungen (Mobilität, Heizung etc.) auf Strom umzustellen, der sich mit PV und WKA in großen Mengen regenerativ erzeugen lässt. Entsprechend ist die Energiewende neben der Digitalisierung ein großer Treiber für den Kupferverbrauch.

Die gute Recyclingfähigkeit von Kupfer führt dazu, dass in Deutschland derzeit 41% des Rohstoffbedarfs auf diesem Weg gedeckt werden können. Global liegt die Recyclingquote erst bei 17%.

Kupfer wird weltweit in vielen Ländern gewonnen, die größten Minen liegen heute in Südamerika und Afrika. Hier verursacht der Abbau von Kupfer oft massive ökologische und soziale Probleme. Die Kupfergewinnung in Ländern mit höheren Umwelt- und Sozialstandards (z.B. Kanada, Finnland) macht derzeit nur einen kleinen Anteil am Weltmarkt aus.

Schlußfolgerungen

Wie die vielfältigen Anwendungsbereiche zeigen, ist Kupfer in einer Industriegesellschaft, die auf Energie- und Datenflüssen gründet, eine unverzichtbare Grundlage für Wirtschaft und Konsum. Der steigende Einsatz der Ressource „Kupfer“ wird auch bei noch besseren Recyclingquoten weitere bergbauliche Projekte zur Kupfergewinnung weltweit verursachen.

Eine aufgrund von gesellschaftlicher Einsicht vollzogene Veränderung der Konsum- und Produktionsmuster wäre wünschenswert. Diese beträfe die Begrenzung der Kupferwirtschaft durch Einschränkung der Verbräuche (an Energie, an Elektronik usw.) genauso wie die Neuausrichtung der Wertschöpfungskette nach Kriterien der sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit. Beides ist derzeit nur schwer umzusetzen. Die aktuelle Diskussion um das Lieferkettengesetz zeigt, dass die Problematik auf der politischen Bühne zwar Beachtung findet, aber von anderen Themen und Prioritäten überlagert wird, sodass effektive Maßnahmen derzeit kaum mehrheitsfähig sind.

Aufgrund der zu erwartenden massiven Auswirkungen des Klimawandels sollten die Einsparpotentiale bei der Nutzung von Kupfer nicht zuerst im Anwendungsfeld „erneuerbare Energien“ gesucht werden.

Rechercheergebnisse

Im Raum steht die Meinung:

„Dann habe ich mich gestern noch mit dem Kupferabbau in Chile beschäftigt. Mittlerweile sind wir dort bei 1000m unter der Erde angekommen und verseuchen das ganze Trinkwasser in der Region. Die Krebsrate liegt um das rund siebenfache über der normalen. Das ist Kolonialismus des 21. Jahrhunderts. Diesmal im Namen der Energiewende. Wir haben die Frechheit und verkaufen das ganze als Energiewende, grünen Strom und saubere Energie und zerstören ganze Regionen in Chile und Peru, in Afrika und Australien. Wir verseuchen dort das Trinkwasser und feiern uns als hier Natur- und Umweltschützer. Diesen Gebieten und den Menschen dort ist der Klimawandel so etwas von egal, weil sie die nächsten 20 Jahre dort ohnehin nicht überleben. Hier werden die Ressourcen der Erde auf die gleiche Art und Weise im Raubbau abgetragen. Der Unterschied zum Abbau von fossilen Brennstoffen liegt nur noch darin, dass er uns als sauber verkauft und angepriesen wird.“

1. Kupfer als Material in WKA

In der Windenergie wird Kupfer in Windenergieanlagen in den Stator- und Rotorwicklungen des Generators, den Starkstromkabeln, den Transformatoren und der Erdungsanlage eingesetzt. Moderne Windkraftanlagen benötigen heute inklusive Infrastruktur bis zu 30 Tonnen Kupfer, um zu funktionieren. [1] Der weitaus größte Anteil (bis zu 25 der 30 t) entfällt auf die (Leitungs-)Infrastruktur. [2] Diese Anwendungsbereiche sind nicht spezifisch für WKA, sondern werden auch für andere Arten der Energieerzeugung benötigt (z.B. Kabel zum Transport von Energie und Daten oder Wicklungen von Transformatoren). Vor allem die Seekabel bei der Offshore-Windenergie benötigen sehr viel Kupfer. Die genaue Menge des für die geplanten WKA im Altdorfer Wald lässt sich daher erst berechnen, wenn der Standort der Anlagen und damit die Länge der Leitungs-Infrastruktur bekannt ist.

Rechnet man nur die WKA selbst, so beträgt der Kupferbedarf je nach Turbinentyp zwischen 950 und 5.000 t Kupfer pro Gigawatt Leistung. [3] Für die nach dem aktuellen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bis Ende 2030 in Deutschland zu installierenden 115 Gigawatt (GW) Windenergie an Land muss also mit einem Kupferinput von 110-575.000 t Kupfer gerechnet werden. Das ist etwa die Hälfte des Gesamtverbrauchs an Kupfer in Deutschland von etwa 1 Mio t im Jahr 2021.

Die einzelnen Anwendungsbereiche lassen sich folgendermaßen aufschlüsseln [4]:



Der Kupferverband e.V. schreibt dazu: „In den Ringgeneratoren großer Windräder sorgen Wicklungen aus bis zu mehreren hundert Kilometern Kupferflach- und Runddraht für eine umweltfreundliche Stromerzeugung. Die hervorragenden Materialeigenschaften von Kupfer zeigen sich dabei vor allem beim so genannten Kabel-Loop. Dieser gewährleistet, dass sich die Gondel samt Rotorblättern in die von der Windrichtung abhängige, optimale Stellung drehen kann, wobei starke Kräfte auf die Leitungen wirken. Benutzt werden dafür spezielle Kupferleitungen der Klasse 5 und 6 (feindrätige und feinstdrätige Leiter), die mit einer spezifischen Verseilung der einzelnen Litzen ausgestattet sind. Kupfer steckt ebenfalls in den Motoren, die die Rotorblätter in ihrer Längsachse drehen und dadurch die Leistung entsprechend der Windgeschwindigkeit regeln. Relativ viel Kupfer braucht auch die Wicklung des Transformators, der die Windkraftanlage mit dem Mittelspannungsnetz des Windparks verbindet. Hinzu kommen noch die Kabel und Leitungen der Datenübertragung und Nachrichtentechnik für die Steuerung und Überwachung.“ [1]

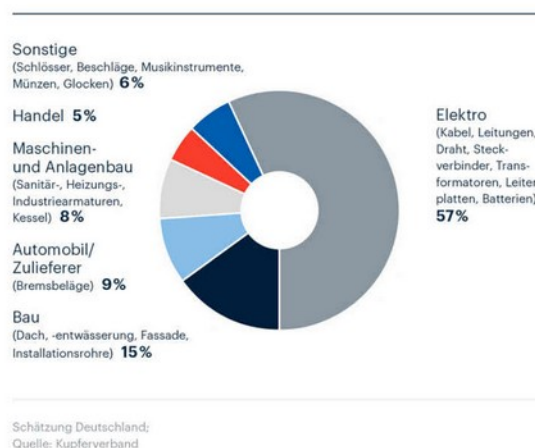
2. Der Kupferverbrauch in Deutschland

Nach Auskunft der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe nutzte Deutschland im Berichtsjahr 2021 über 1 Mio. t Kupfer und war damit der größte europäische Verbraucher und der drittgrößte der Welt hinter China (14 Mio. t) und den USA (1,7 Mio. t). Die Bundesanstalt schreibt dazu: „Das relativ weiche Metall Kupfer ist aufgrund seiner hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit sowie leichten Verarbeitbarkeit ein äußerst wichtiger Rohstoff.“ (S.44). [5]

Die Anwendungsmöglichkeiten von Kupfer sind vielfältig und gehen weit über die Verwendung als Strom- bzw. Daten-leitende Kabel hinaus: Kupfer wird eingesetzt im Münzwesen, als Dach-, Dachrinnen- und Fassadenmaterial im Bauwesen, als Kupferrohre für die Trinkwasserversorgung und für Heizungsinstallation, als Bestandteil von Messing in Maschinenteilen, Rohrleitungen, Musikinstrumenten, Türgriffen, Haltestangen und Handläufen und in Bronzegegenständen (Glocken, Kunstgegenstände). Kupfer wird in Solarkollektoren, Zügen (Oberleitungen), Schiffen und Flugzeugen (Bordelektronik) verbaut.

Mehr als die Hälfte des Kupfers finden allein in der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie Verwendung, in Kabeln, Leitungen, Drähten, Leiterplatten, Batterien und Elektrogeräten (ca. 57%), im Bauwesen sind es ca. 15%, im Automobilsektor ca. 9% und im Maschinen- und Anlagenbau ca. 8% [5, 6]:

Hauptanwendungsfelder von Kupfer

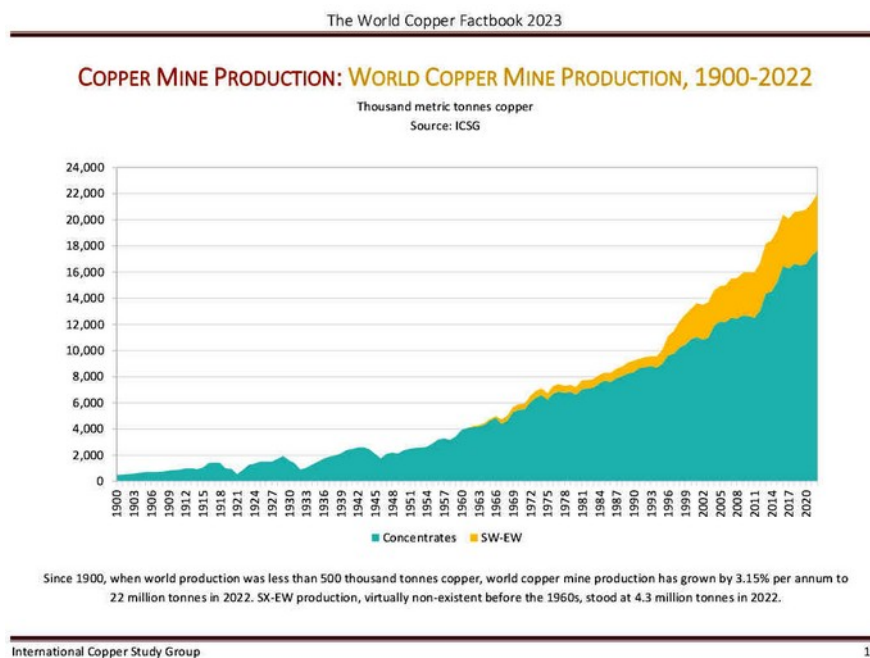


Ein modernes Mobiltelefon enthält ca. 6,61 g Kupfer [6], nach anderen Quellen auch bis zu 16 g [7]. Heute gibt es 67,6 Mio Handynutzer in Deutschland [8], die damit ein Gesamtgewicht zwischen 447 und 1.081 t Kupfer enthalten. Und darin sind die sog. „Schubladenhandys“, die sich nicht in Gebrauch befinden, noch gar nicht enthalten.

Kupfer spielt eine Schlüsselrolle bei den globalen Bestrebungen zur Dekarbonisierung. Kupfer ist unverzichtbar für isolierte elektrische Drähte und Kabel, Stromschienen und Spannungstransformatoren, die für die Reduktion von CO₂-Emissionen eine wichtige Voraussetzung sind. Der Ausbau erneuerbarer Energien und deren Nutzung in alternativen Antriebstechnologien ist auf die Verfügbarkeit von Kupfer für elektrische Leitungen angewiesen. [9, 12] Nach einem Bericht des Windkraft-Journals vom 22. Oktober 2021 werden in Windanlagen und Solaranlagen pro Megawatt Leistung zirka 8.000 Kilogramm Kupfer verbraucht. [2]

3. Kupfervorkommen und -produktion weltweit

Die Kupferproduktion nimmt weltweit um jährlich mehr als 3% zu und lag 2022 bei etwa 22 Mio t [10]:



Die weltweit größten Minenproduzenten von Kupfer waren laut der International Copper Study Group (ICSG) im Jahr 2022 Chile (ca. 5,3 Mio t), Peru (ca. 2,5 Mio t) und die D.R. Kongo (ca. 2,5 Mio t). Die vier Länder förderten zusammen knapp die Hälfte der weltweiten Kupferausbeute. In Europa sind die größten Produzenten Polen (ca. 0,4 Mio t), Serbien (ca. 0,2 Mio t) und Spanien (ca. 0,15 Mio t). [10]

Die Kupferreserven belaufen sich in den bestehenden Kupferminen weltweit auf 27 Mio t, die bekannten Reserven (d.h. mit heutiger Technologie ökonomisch abbaubar) auf 890 Mio t und die identifizierten Kupferlagestätten (Ort, Qualität und Menge bekannt) auf 2.100 Mio t, davon 6% in Europa. Die gesamten Welt-Reserven (ohne die Tiefsee) werden auf 5.600 Mio t geschätzt. [10] In Deutschland lagern unter der Lausitz bei Cottbus etwa 1,5 Mio t Kupfer, die allerdings bis in einer Tiefe von 600 - 1.400 Metern liegen und daher mittels Untertagebau gefördert werden müssen. Das Kupfererz bildete sich auf dem Grund eines flachen Meeres, das vor etwa 260 Mio. Jahren weite Teile des heutigen Europas bedeckte, und erstreckt

sich als Platte in unterschiedlicher Tiefe von Großbritannien bis nach Polen. [11] Für den Abbau dieser Lagerstätte wurde gerade ein Raumordnungsverfahren abgeschlossen. [12]

Der Vorteil des Materials Kupfer liegt in seiner Recyclingfähigkeit. „Der Werkstoff Kupfer kann aus Altmaterialien ohne Qualitätseinbußen beliebig oft recycelt werden, denn die elektrolytische Raffination ermöglicht es am Ende des Recyclingprozesses, unedle und edle Verunreinigungen aus Kupfer restlos zu entfernen.“ [13] Der Anteil an Sekundärmaterial an der gesamten Kupferraffinadeproduktion liegt global bei derzeit etwa 17 %. In Deutschland liegt dieser Anteil mit rund 41 % um einiges höher. [14]

4. Probleme der Kupferproduktion

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe listet folgende mit der Förderung und Produktion von Kupfer verbundenen Probleme auf, die je nach Förderungsart auftreten können [14]:

- Der Hauptteil der heutigen Kupferbergwerks-Produktion geschieht im Tagebau, verbunden mit Absetzbecken und Reststoffhalden. Der relativ geringe Kupfergehalt im Erz bedingt, dass beträchtliche Mengen bergbaulicher Reststoffe bei der Gewinnung von einer Tonne Kupfer anfallen. Das führt zu einer hohen Inanspruchnahme von Landressourcen und den damit verbundenen Folgen, bspw. für die dort lebende Bevölkerung und die Biodiversität.
- Der hohe Wasserbedarf, v. a. im Bergbau und in der Aufbereitung, von bis zu 350 m³ pro Tonne Kupfer und die mögliche Beeinträchtigung der Wasserqualität führt zu einer hohen Inanspruchnahme von Wasserressourcen und den damit verbundenen Folgen.
- Für die Gewinnung von Kupfer muss Energie für das Lösen, das Laden, den Transport und die Aufbereitung des Erzes aufgewandt werden. Etwa 60 – 90 % des Energieverbrauches bei der Erzeugung einer Tonne Kupfer entfallen auf Bergbau und Aufbereitung. Der Energieverbrauch liegt derzeit im Mittel in der Größenordnung von 8.300 MJ pro Tonne Kupferkonzentrat.
- Bei der Förderung und Aufbereitung des Rohstoffs entstehen Risiko-behaftete Reststoffe und Nebenprodukte (z.B. die Bildung saurer Grubenwässer oder der Austrag von metallreichen Stäuben wie Schwefeldioxidemissionen). Gefahr für die Umwelt geht von Schwermetallen (z. B. Zink, Blei) und Metalloiden (z. B. Arsen, Antimon) aus, wobei vor allem das Wasser belastet wird.

Damit sind vielfach große Probleme für die ansässige Bevölkerung verbunden, auch wenn aufgrund der globalen Verteilung des Kupferbergbaus auf mehr als 50 Länder keine pauschalen Aussagen darüber treffen lassen. Es gibt Vorzeigeprojekte wie in Kanada oder Finnland, es gibt aber auch an vielen Orten gravierende Probleme mit zum Teil katastrophalen Auswirkungen auf die örtliche Bevölkerung. Dies belegen Recherchen in Chile [15], Peru [16] und im Kongo [17].

5. Schlussfolgerungen

Wie die vielfältigen Anwendungsbereiche zeigen, ist Kupfer in einer Industriegesellschaft, die auf Energie- und Datenflüssen gründet, eine unverzichtbare Grundlage für Wirtschaft und Konsum. Die (wie eingangs erwähnt notwendige) Energiewende hin zu erneuerbaren Energien ist ein zusätzlicher Treiber für den

Einsatz der Ressource „Kupfer“ und wird auch bei noch besseren Recyclingquoten weitere bergbauliche Projekte zur Kupfergewinnung weltweit verursachen.

Was sind die Alternativen? Ein aufgrund von gesellschaftlicher Einsicht vollzogene Veränderung der Konsum- und Produktionsmuster wäre wünschenswert. Diese beträfe die Begrenzung der Kupferwirtschaft durch Einschränkung der Verbräuche (an Energie, an Elektronik usw.) genauso wie die Neuausrichtung der Wertschöpfungskette nach Kriterien der sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit. Beides ist derzeit nicht in Sicht. Die aktuelle Diskussion um das Lieferkettengesetz zeigt, dass die Problematik auf der politischen Bühne zwar Beachtung findet, aber von anderen Themen und Prioritäten überlagert wird, sodass effektive Maßnahmen derzeit kaum mehrheitsfähig sind.

Aufgrund der zu erwartenden massiven Auswirkungen des Klimawandels [18] sollten die Einsparpotentiale bei der Nutzung von Kupfer nicht zuerst im Anwendungsfeld „erneuerbare Energien“ gesucht werden.

Quellenangaben:

- [1] Kupferverband e.V. (2024): Erneuerbare Energien – Windturbinen. <https://kupfer.de/anwendungen/elektrotechnik-und-energie/erneuerbare-energie/>
- [2] Windkraft-Journal (2021): Windanlagen und Solaranlagen: Pro Megawatt werden zirka 8.000 Kilogramm Kupfer verbraucht. Medienmitteilung vom 22. Okt. 2021, <https://www.windkraft-journal.de/2021/10/22/windanlagen-und-solaranlagen-pro-megawatt-werden-zirka-8-000-kilogramm-kupfer-verbraucht/168089>.
- [3] Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestags (2023): Ressourcenbedarf für den Ausbau der Windenergie an Land, WD 5 - 3000 - 070/23,
- [4] Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e.V. (2016): Windenergieanlagen setzen auf zuverlässige und verfügbare Materialien. Zit. n. Windmesse, Pressemitteilung vom 17.10.2016, <https://w3.windmesse.de/windenergie/news/23183-windenergieanlagen-setzen-auf-zuverlassige-und-verfugbare-materialien>.
- [5] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2022): Deutschland – Rohstoffsituation 2021, S. 44, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/rohsit-2021.pdf.
- [6] Bookhagen Britta, Bastian Dennis (2020): Metalle in Smartphones. Commodity TopNews No. 65, hrsg von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/65_smartphones.pdf.
- [7] ISI und IZT (2009): Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Schlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie.
- [8] Tenzer F. (2024): Statistiken zur Smartphone-Nutzung in Deutschland. Statista, veröffentlicht am 11.01.2024, <https://de.statista.com/themen/6137/smartphone-nutzung-in-deutschland/#topicOverview>.
- [9] Böhler Tino (2024): Kupfer - alles, was sie darüber wissen müssen. In: „Produktion“ vom 10. März 2023, aktualisiert am 08. Apr. 2024, <https://www.produktion.de/rohstoffe/kupfer/kupfer-alles-was-sie-darueber-wissen-muessen-284.html>.
- [10] International Copper Study Group (2023): The World Copper Factbook 2023, <https://icsg.org/copper-factbook/>.

- [11] Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (ohne Jahr): Kupfererzvorkommen in der sächsisch-brandenburgischen Lausitz, <https://www.geologie.sachsen.de/kupfererzvorkommen-in-der-saechsisch-brandenburgischen-lausitz-13488.html>.
- [12] dpa (2024): Raumordnungsverfahren für Kupferabbau abgeschlossen. Mitteldeutsche Zeitung vom 28.03.2024, <https://www.mz.de/panorama/raumordnungsverfahren-fur-kupferabbau-abgeschlossen-3815266>.
- [13] Deutsches Kupferinstitut (2019): Recycling von Kupferwerkstoffen. <https://kupfer.de/wp-content/uploads/2019/10/Recycling-von-Kupferwerkstoffen-final.pdf>.
- [14] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2020): Kupfer. Informationen zur Nachhaltigkeit, https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Informationen_Nachhaltigkeit/kupfer.pdf.
- [15] NDR (2022): Schmutziges Kupfer: Die dunkle Seite der Energiewende. Sendung vom 14. 11. 2022, <https://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/ndrstory/Schmutziges-Kupfer-Die-dunkle-Seite-der-Energiewende,sendung1284160.html>.
- [16] Deutschlandfunk Kultur (): Der hohe Preis für unsere Kabel. Sendung vom 17.01.2023, <https://www.deutschlandfunkkultur.de/hoher-preis-fuer-unsere-leitungen-100.html>.
- [17] Die Zeit (2014): Rohstoffe: Das Kongo-Dilemma. ZEIT online, <https://www.zeit.de/wirtschaft/2014-06/kongo-bergbau-konfliktmineralien-dodd-frank-act>.
- [18] Vgl. Reimer Nick, Staud Toralf (2021): Deutschland 2050. Wie der Klimawandel unser Leben verändern wird. Verlag Kiepenhauer & Witsch.