



Dokumentation

Energieverbrauch von Kryptowährungen

Energieverbrauch von Kryptowährungen

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 043/22
Abschluss der Arbeit: 25.03.2022
Fachbereich: WD 5: Wirtschaft und Verkehr, Ernährung und Landwirtschaft

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

1.	Einleitung	4
2.	Energieverbrauch von Kryptowährungen	4
2.1.	Hintergründe zu den Energieverbräuchen bei Kryptowährungen	4
2.1.1.	Energieverbrauch von Krypto-Währungssystemen und Beleuchtung der Berechnungsmethoden	4
2.1.2.	Rolle der Konsensmechanismen beim Energieverbrauch	5
2.1.3.	Hardware und Mining Pools	6
2.2.	Bitcoin	7
2.3.	Ethereum bzw. Ether	11
2.4.	Sonstige Kryptowährungen	13
3.	Vergleiche des Energieverbrauchs mit analogen Finanzsystemen	17
3.1.	Limitationen von Systemvergleichen	17
3.2.	Vergleich des Energieverbrauchs mit dem Bankensektor	18
3.3.	Vergleich des Energieverbrauchs mit dem Zahlungsdienstleister VISA	21
4.	Energiemix für das Crypto-Mining und Reduktion des CO2-Fußabdrucks	22
5.	Quellenverzeichnis	26

1. Einleitung

Der Arbeit liegt die Frage nach dem Energieverbrauch der größten Kryptowährungen und Vergleichen mit dem Kreditkartensystem und dem Bankensektor zugrunde. Darüber hinaus werden der Energiebedarf und die Energiequellen für die Kryptowährungsnetzwerke beleuchtet.

Aktuelle Energiekonsummodelle schätzen den Stromverbrauch der am weitesten verbreiteten Kryptowährung Bitcoin im Mittel zwischen 134 und 204 TWh/Jahr. Gemessen am unteren Wert würde Bitcoin im globalen Länderranking – wäre es ein eigenes Land – den 27. Platz hinter Ägypten (149 TWh/Jahr)¹ belegen.² Schätzungen gehen davon aus, dass alle Rechenzentren weltweit 200 TWh/Jahr benötigen.³

Die Arbeit erfolgt als Dokumentation, die verschiedene Studien, Berichte und Artikel zum Thema identifiziert und kommentierend einordnet.

2. Energieverbrauch von Kryptowährungen

2.1. Hintergründe zu den Energieverbräuchen bei Kryptowährungen

2.1.1. Energieverbrauch von Krypto-Währungssystemen und Beleuchtung der Berechnungsmethoden

Die Studien und Veröffentlichungen analysieren die Verbrauchsstellen des Technologiesystems der Blockchain und diskutieren, wie die Modellberechnungen der Verbräuche einzuordnen sind. Energieintensiv ist das sogenannte Mining (in Anlehnung an das Schürfen von Bodenschätzen) in Rechenzentren (Mining-Farmen), also das Errechnen von Hashwerten (auch Hashers genannt), die Transaktionen validieren.

- Lei, N., Masanet, E., Koomey, J. (2021), Best practices for analyzing the direct energy use of blockchain technology systems: Review and policy recommendations, Energy Policy, Volume 156, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112422>.
- Gallersdörfer, U., Klaaßen, L., Stoll, C. (2020), Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin, Joule, Volume 4, Issue 9, S. 1843-1846, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.013>.
- Galaxy Digital (2021), On Bitcoin's Energy Consumption: A Quantitative Approach to a Subjective Question, <https://docsend.com/view/adwmdeeyfvqwecj2>.

1 Stand 2019

2 Country ranking, annual electricity consumption, <https://ccaf.io/cbeci/index/comparisons>.

3 <https://www.dw.com/de/energie-stromverbrauch-bitcoin-mining/a-56589030>

Gegenstimmen aus der Bitcoin-Mining-Industrie versuchen, den hohen Energieverbrauch in Relation zum Ergebnis zu setzen bzw. sehen im Energieverbrauch eine verstärkende Rolle hin zu mehr Investitionen in Erneuerbare Energien:

- <https://hbr.org/2021/05/how-much-energy-does-bitcoin-actually-consume>
- <https://sai.tech/bitcoin-energy-consumption-memorandum-bitcoin-mining-reduces-the-total-carbon-emissions-of-human-society-and-accelerates-the-realization-of-carbon-neutrality/>

2.1.2. Rolle der Konsensmechanismen beim Energieverbrauch

Neben dem Mining ist für den Energiekonsum von Kryptowährungen der zugrunde liegende **Konsensmechanismus** verantwortlich. Grund dafür ist vor allem der PoW-Ansatz (Proof-of-Work), auf denen die weit verbreiteten Kryptowährungen setzen.⁴

Erklärungen zu den **unterschiedlichen Konsensmechanismen** finden sich hier:

- Ramesohl, S., Lauten-Weiss, J., Kobiela, G. (2021), Blockchains nachhaltig gestalten - Vorschlag von nachhaltigkeitsorientierten Entscheidungskriterien und eines Verfahrenskonzepts für die Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain, Wuppertal Report Nr. 21, Wuppertal Institut, S. 26 ff.
- Bundesnetzagentur (2021), Die Blockchain-Technologie Grundlagen, Potenziale und Herausforderungen, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Digitalisierung/Blockchain/Links_Dokumente/einfuehrung_bc.pdf?blob=publicationFile&v=10.
- <https://ethereum.org/en/developers/docs/consensus-mechanisms/#types-of-consensus-mechanisms>
- <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/konsensmechanismus-54411>

Aufgrund des hohen Energieverbrauchs und des dadurch entstehenden großen CO₂-Fußabdrucks, befassen sich viele Studien mit der Diskussion alternativer Konsensmechanismen. Hier gibt es Gegenüberstellungen der verschiedenen **Konsensmechanismen und deren Energieverbräuche**:

- Eigelshoven, F., Ullrich, A., & Gronau, N. (2020). Konsens-Algorithmen von Blockchain. *Industrie 4.0 Management*, 2020 (2), 29–32. https://doi.org/10.30844/I40M_20-1_S29-32.
- Lei, N., Masanet, E., Kooimey, J. (2021), Best practices for analyzing the direct energy use of blockchain technology systems: Review and policy recommendations, *Energy Policy*, Volume 156, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112422>.

4 Jiang, S. et al. (2021)

Die **Umstellung der Konsensmechanismen** wird als ein wesentlicher Baustein bei der Reduktion des Energieverbrauchs der Blockchain gesehen. Die Umstellung an sich erfordert jedoch Eingriffe in ein laufendes System und Veränderungen in Hard- und Software, in die hohe Summen investiert wurden:

„Ein wesentlicher Grund für diesen hohen Energieverbrauch ist das Proof-of-Work-Prinzip der Erstellung neuer Blöcke in der Ethereum-Blockchain beim Mining. Da immer nur ein Computer im Wettbewerb um die Entschlüsselung des kryptografischen Rätsels zur Erschaffung des Hashwerts gewinnen kann, ist die aufgebrauchte Energie der erfolglos Beteiligten vergeblich (Hogh 2021). Eine Alternative ist das Proof-of-Stake-Prinzip, bei dem ein ausgesuchter Computer den nächsten Block in der Kette erstellen darf, wodurch Energie eingespart wird (Mantel 2021). Ethereum hat angekündigt, seine Blockchaintechnologie bis Ende 2021 auf das Proof-of-Stake-Verfahren umzustellen. Hierdurch sollen die Energiekosten um bis zu 99,95 % sinken (Beekhuizen 2021).“⁵

„Ungeachtet der unzureichenden Datenlage zeichnet sich ab, dass PoS-Ansätze und insbesondere neuere Varianten erhebliche Energieeffizienzgewinne gegenüber klassischen PoW-Verfahren versprechen. Für neue Use Cases wird daher von Beginn an immer stärker auf diese Verfahren gesetzt (vgl. Kapitel 3.2.1). Der Markt für öffentliche Blockchains wird jedoch weiterhin von den historisch etablierten PoW-basierten Ketten Bitcoin und Ethereum dominiert – die Erfolge von PoS-Varianten von neueren Blockchains in jüngster Zeit konnten daran noch wenig ändern (Abb. 3-4). Seit einiger Zeit wird deshalb diskutiert, wie etablierte Blockchains von einem PoW Algorithmus im laufenden Betrieb auf ein PoS-Verfahren umgestellt werden könnten. Das Ziel ist die Effizienz zu steigern und somit den Energieverbrauch zu verringern und die Umweltfreundlichkeit sowie die Skalierbarkeit zu verbessern. Eine solche Umstellung wird auch "hard fork" genannt, also eine harte Gabelung in der Blockchain aufgrund der veränderten Methode der Validierung (Kostal et al., 2018).“⁶

2.1.3. Hardware und Mining Pools

Ein anderer Ansatz den Energieverbrauch der Kryptowährungen zu reduzieren, ist die Effizienzsteigerung der eingesetzte **Hard- und Software für das Mining**. Es werden spezielle ASIC-Chips (application-specific integrated circuits) vorrangig beim Mining von Bitcoins eingesetzt, die mathematisch effizient die kryptografischen Rätsel lösen. Ethereum setzt auf ein anderes Verfahren (Ethash), das von Grafikkarten-Chipsätzen (GPUs) genutzt werden kann. Die Wahl der verwendeten Hardware hat ebenfalls in dem globalen Maßstab einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch der Kryptowährungen. Siehe hierzu:

- Ramesohl, S., Lauten-Weiss, J., & Kobiela, G. (2021), Blockchains nachhaltig gestalten - Vorschlag von nachhaltigkeitsorientierten Entscheidungskriterien und eines Verfahrenskonzepts

5 Kind (2022), S. 9.

6 Ramesohl et al. (2021), S. 32.

für die Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain, Wuppertal Report Nr. 21, Wuppertal Institut, S. 23 ff.

- Kohli, V., Chakravarty, S., Chamola, V., Sangwan, K. S., & Zeadally, S. (2022). An Analysis of Energy Consumption and Carbon Footprints of Cryptocurrencies and Possible Solutions. *arXiv preprint arXiv:2203.03717*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.03717>.

2.2. Bitcoin

Seit längerem wird der **Energiekonsum** des Bitcoin-Netzwerks in verschiedenen Studien beleuchtet. Eine Übersicht zu unterschiedlichen Ergebnissen über die Verbräuche der Vergangenheit findet sich bei:

- Gallersdörfer, U., Klaaßen, L., Stoll, C. (2020), Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin, *Joule*, Volume 4, Issue 9, S. 1843-1846, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.013>.
- Lei, N., Masanet, E., Koomey, J. (2021), Best practices for analyzing the direct energy use of blockchain technology systems: Review and policy recommendations, *Energy Policy*, Volume 156, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112422>.

Die laut Ramesohl et al. (2021) am meisten verbreitete Energiebedarfsschätzungen von Bitcoin ist der **Bitcoin Energy Consumption Index** von de Vries, der fortlaufend aktualisiert wird (siehe Abbildung 1, Abbildung 2 und Abbildung 3):

- de Vries, A. (2022). Bitcoin Energy Consumption Index. *Digiconomist*. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>

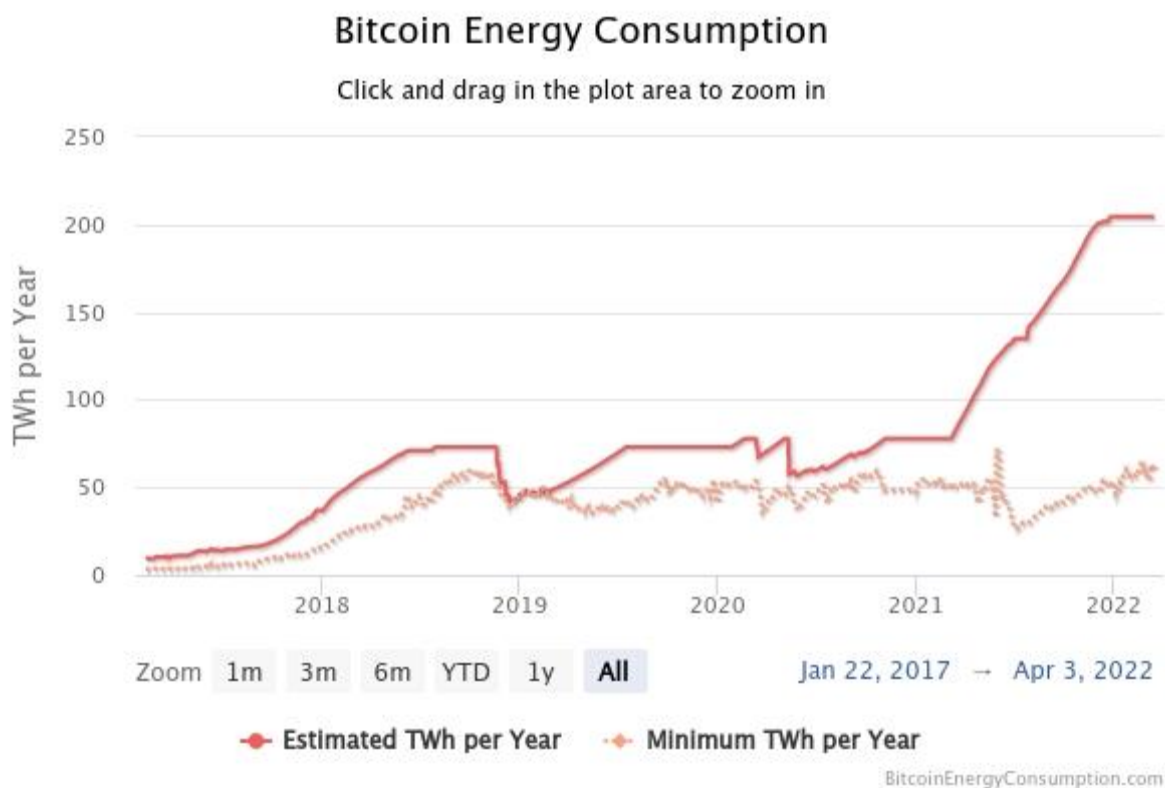


Abbildung 1: Bitcoin Energy Consumption⁷

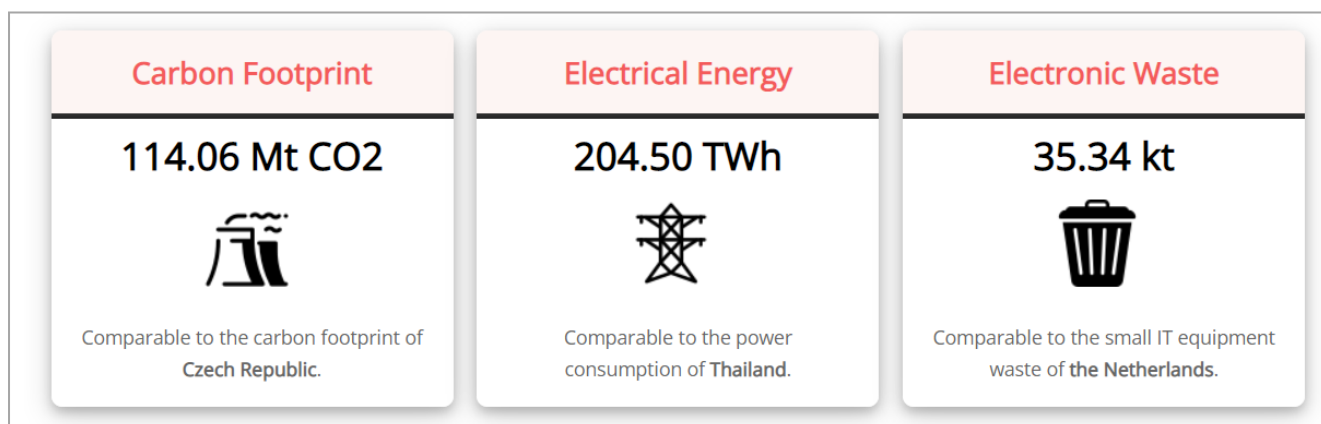


Abbildung 2: Annualized Total Bitcoin Footprints⁸

7 <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>

8 Ebd.

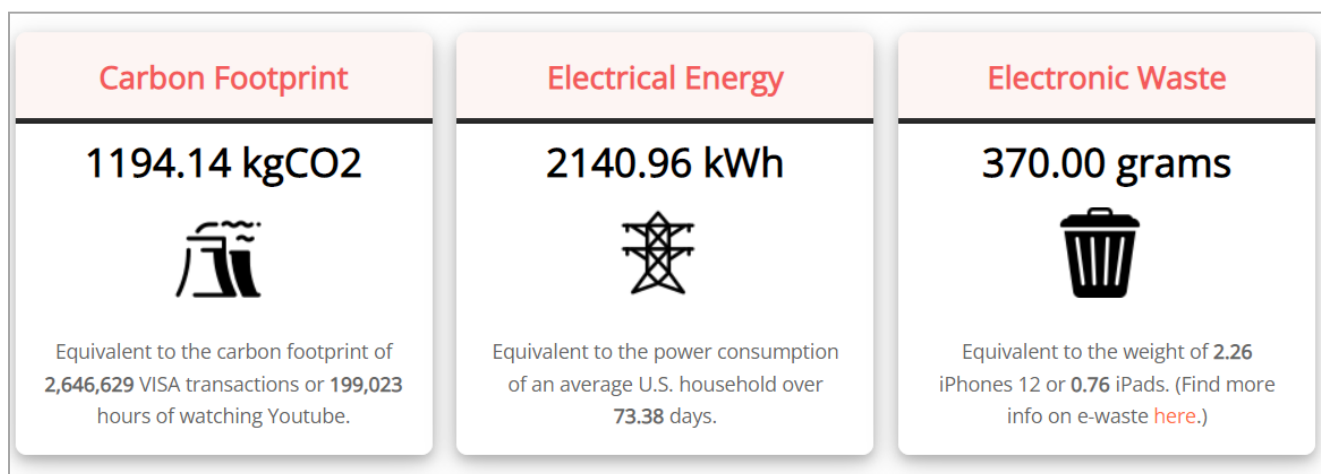


Abbildung 3: Single Bitcoin Transaction Footprints⁹

Weiterhin ist der **Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI)** ein weit verbreiteter Index zur Abschätzung des Bitcoin Energieverbrauchs:

- Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index, <https://www.cbeci.org/>

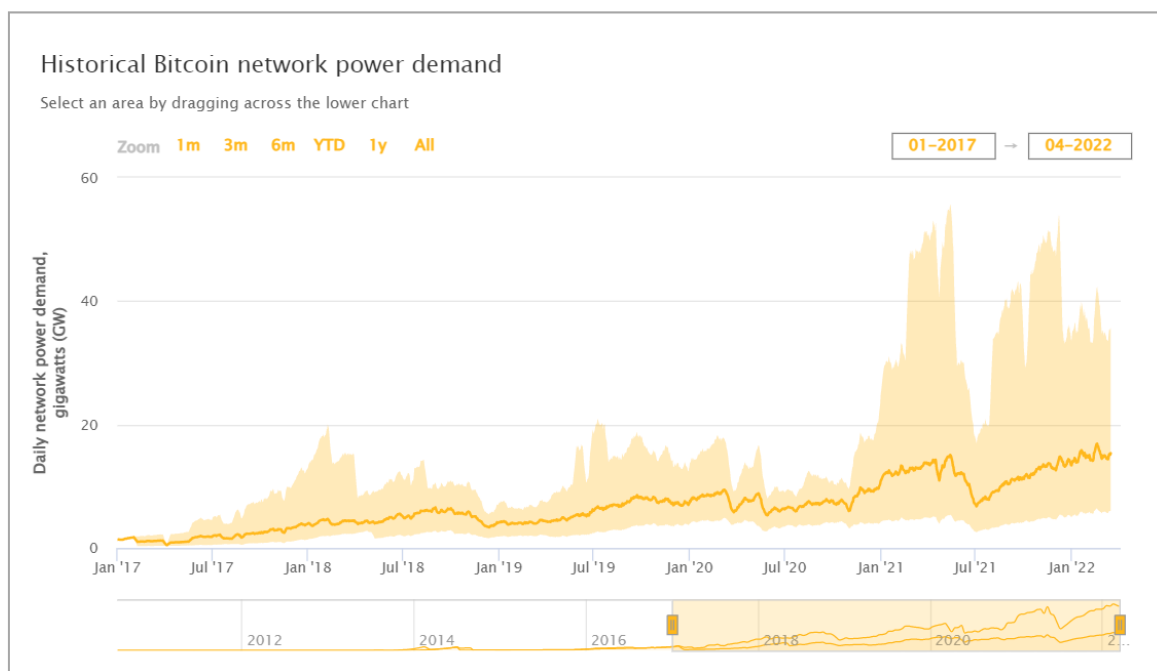


Abbildung 4: Bitcoin Electricity Consumption Index¹⁰

9 Ebd.

10 <https://www.cbeci.org/>

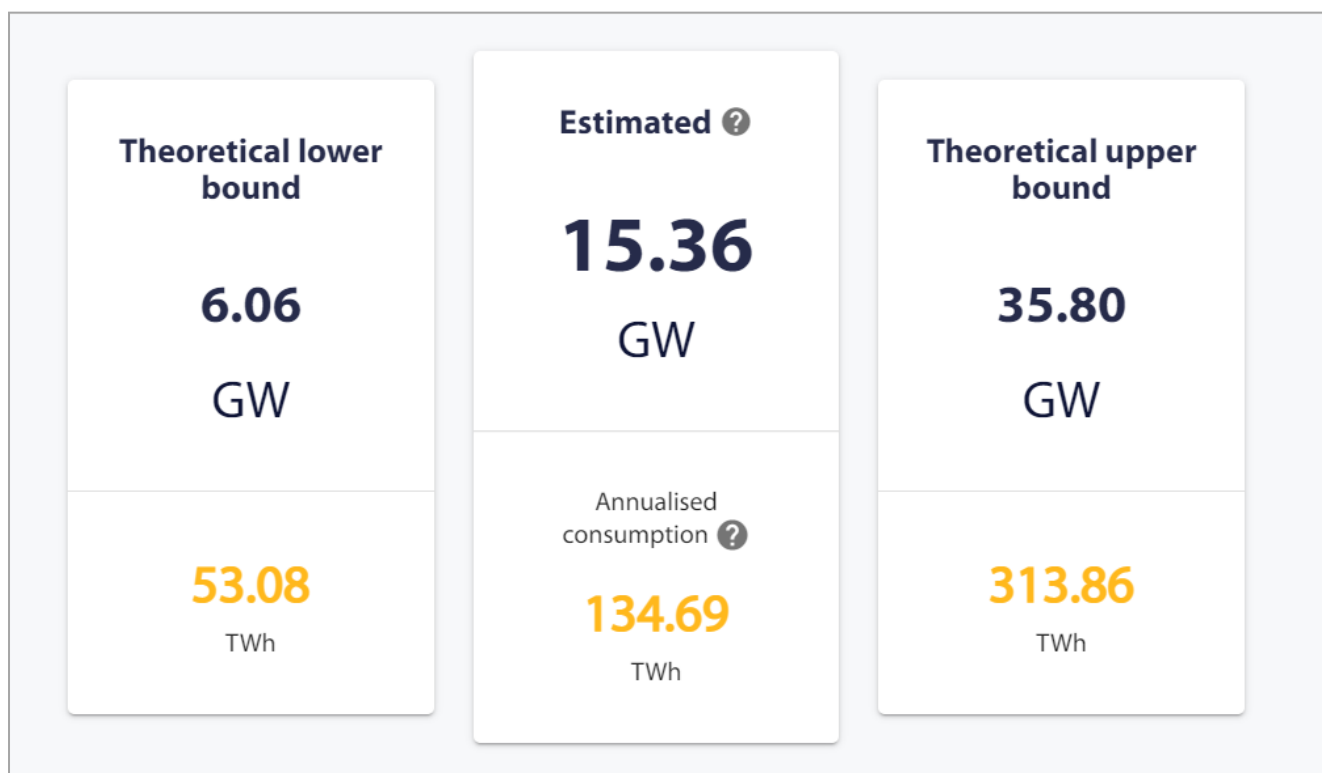


Abbildung 5: Total Power Consumption for Bitcoin¹¹

Weitere Kalkulationen kommen von der Beratungsfirma **Galaxy Digital**, die auf Investments und Finanzdienstleistungen spezialisiert ist und dem Kryptowährungsbereich zugeordnet werden kann.

- Galaxy Digital (2021), On Bitcoin's Energy Consumption: A Quantitative Approach to a Subjective Question, <https://docsend.com/view/adwmdeeyfvqwecj2>.

11 Ebd.

Annual Electricity Consumption of the Bitcoin Network					
Miner Demand (GW)	Miner Electricity Consumption (kWh/yr)	Pool Electricity Consumption (kWh/yr)	Node Electricity Consumption (kWh/yr)	Total Electricity Consumption (kWh/yr)	Total Electricity Consumption (TWh/yr)
15.87	113,880,000,000	8,609,328	5,358,089	113,893,967,417	113.89

Abbildung 6: Estimated Annual Electricity Consumption of the Bitcoin Network¹²

Der Bericht des Wuppertal Instituts zur Erarbeitung eines Prüfverfahrens für Distributed Ledger Technologien (DLT) geht detailliert auf die Ursachen für den **Ressourcenverbrauch (Energie und Computerhardware)** für Bitcoin ein.

- Ramesohl, S., Lauten-Weiss, J., & Kobiela, G. (2021). Blockchains nachhaltig gestalten - Vorschlag von nachhaltigkeitsorientierten Entscheidungskriterien und eines Verfahrenskonzepts für die Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain (Wuppertal Report Nr. 21). Wuppertal Institut.

2.3. Ethereum bzw. Ether

Für das weltweit zweitgrößte Kryptowährungssystem Ethereum und dessen Zahlungsmittel Ether¹³ liegt der Energieverbrauch in Form des **Ethereum Energy Consumption Index** vor:

- de Vries, A. (fortlaufend). Ethereum Energy Consumption Index. Digiconomist. <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>

¹² Galaxy Digital (2021), S. 4.

¹³ <https://ethereum.org/de/eth/>

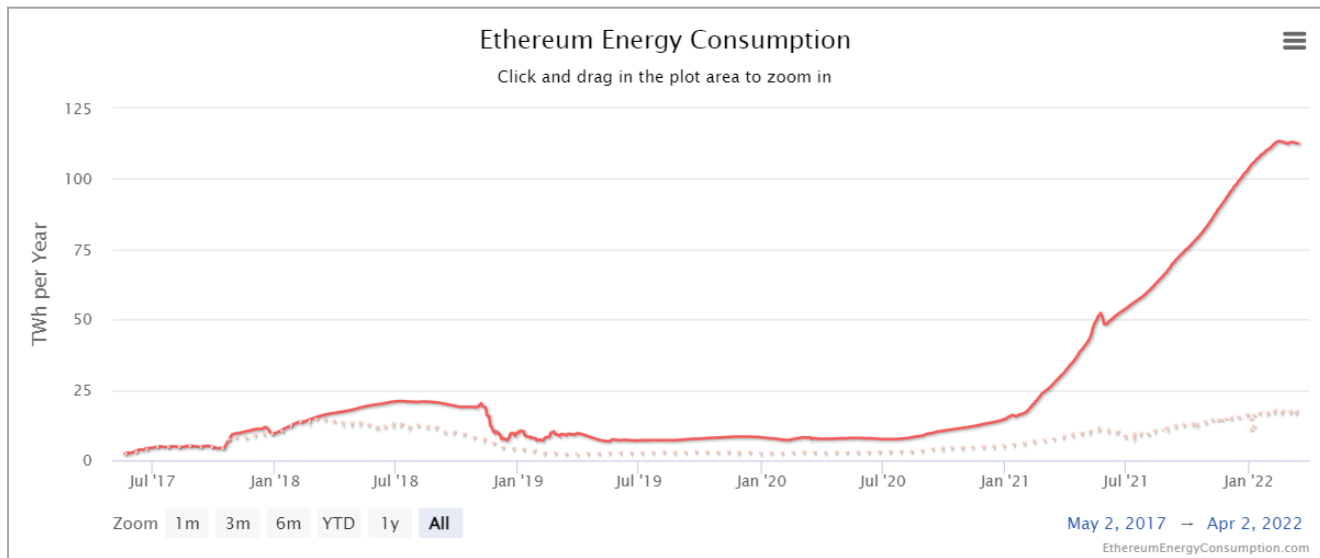
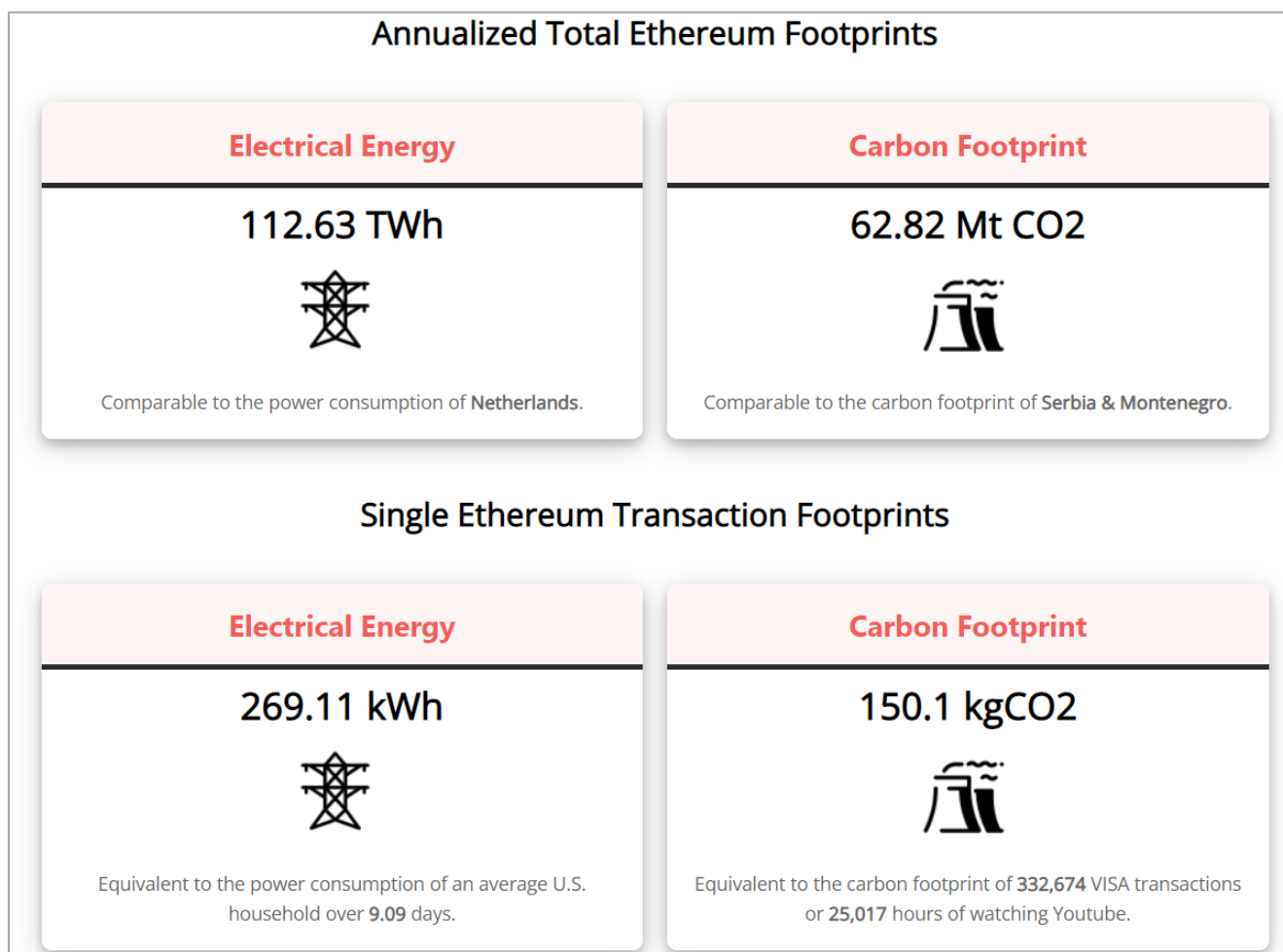


Abbildung 7: Ethereum Energy Consumption¹⁴

14 <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>

Abbildung 8: Annualized Total Ethereum Footprints and Single Ethereum Transaction Footprints¹⁵

Für Ethereum muss an dieser Stelle hervorgehoben werden, dass ein Wechsel des Konsensmechanismus von PoW (Proof-of-Work) hin zu PoS (Proof-of-Stake) stattfindet. Dieser Schritt zielt nach eigenen Angaben u.a. auf die Reduktion des Energieverbrauchs um 99,95% ab, was einem Bruchteil des Energieverbrauchs einer Bitcoin-Transaktion ausmachen soll und damit unter dem Energiebedarf bei vergleichbaren Transaktionen von Visa liegen würde (siehe Kapitel 3.3):

– <https://ethereum.org/en/energy-consumption/>

2.4. Sonstige Kryptowährungen

Eine Untersuchung zu den Energieverbräuchen von den Top 20 Kryptowährungen zeigt, dass ca. **68 Prozent der Gesamtenergie von Bitcoin** verbraucht werden, gefolgt von 11,5 Prozent von Ethereum und alle anderen Kryptowährungen zwischen 0,01 und 4 Prozent verbrauchen:

- Ulrich Gallersdörfer, U., Klaaßen, L., Stoll, C. (2020), Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin, Joule, Volume 4, Issue 9, S. 1843-1846, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.013>.

Für die Krypto-Währung Dogecoin und deren Energieverbrauch liegt ebenfalls von de Vries bzw. Digiconomist der **Dogecoin Energy Consumption Index** vor:

- de Vries, A. (fortlaufend), Dogecoin Energy Consumption Index, Digiconomist, <https://digiconomist.net/dogecoin-energy-consumption/>

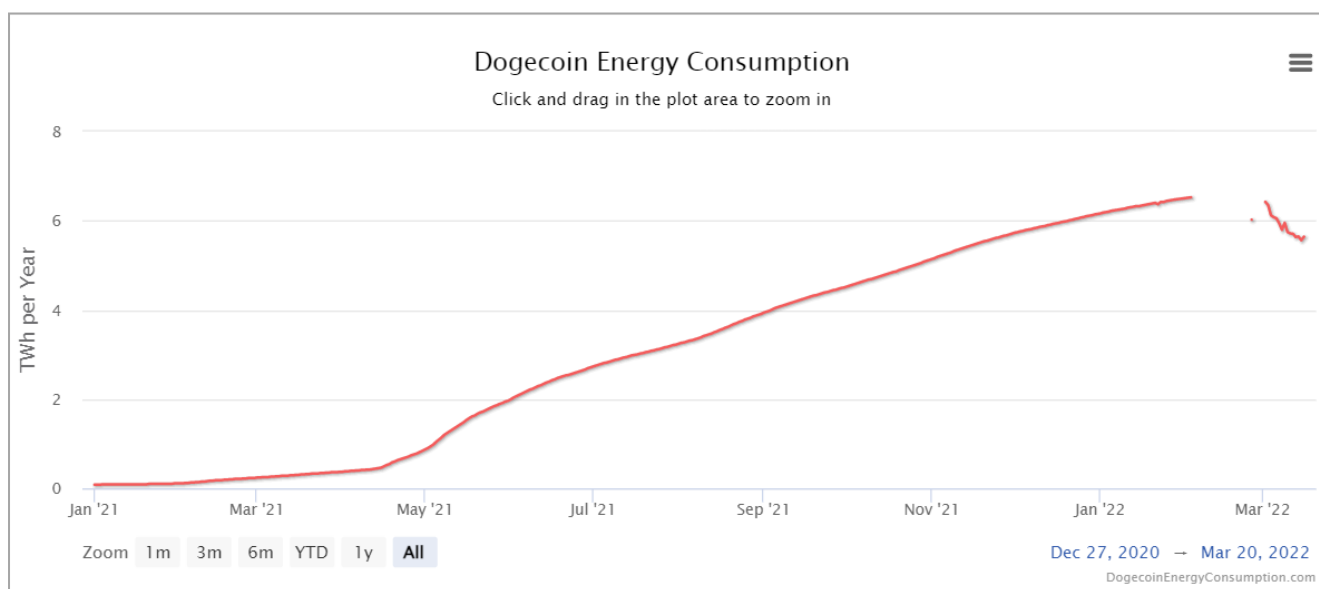


Abbildung 9: Dogecoin Energy Consumption¹⁶

¹⁶ <https://digiconomist.net/dogecoin-energy-consumption/> (Anm. d. Verf.: Brüche im Graphen sind mit nicht vorhandenen Daten im jeweiligen Zeitraum zu erklären.)

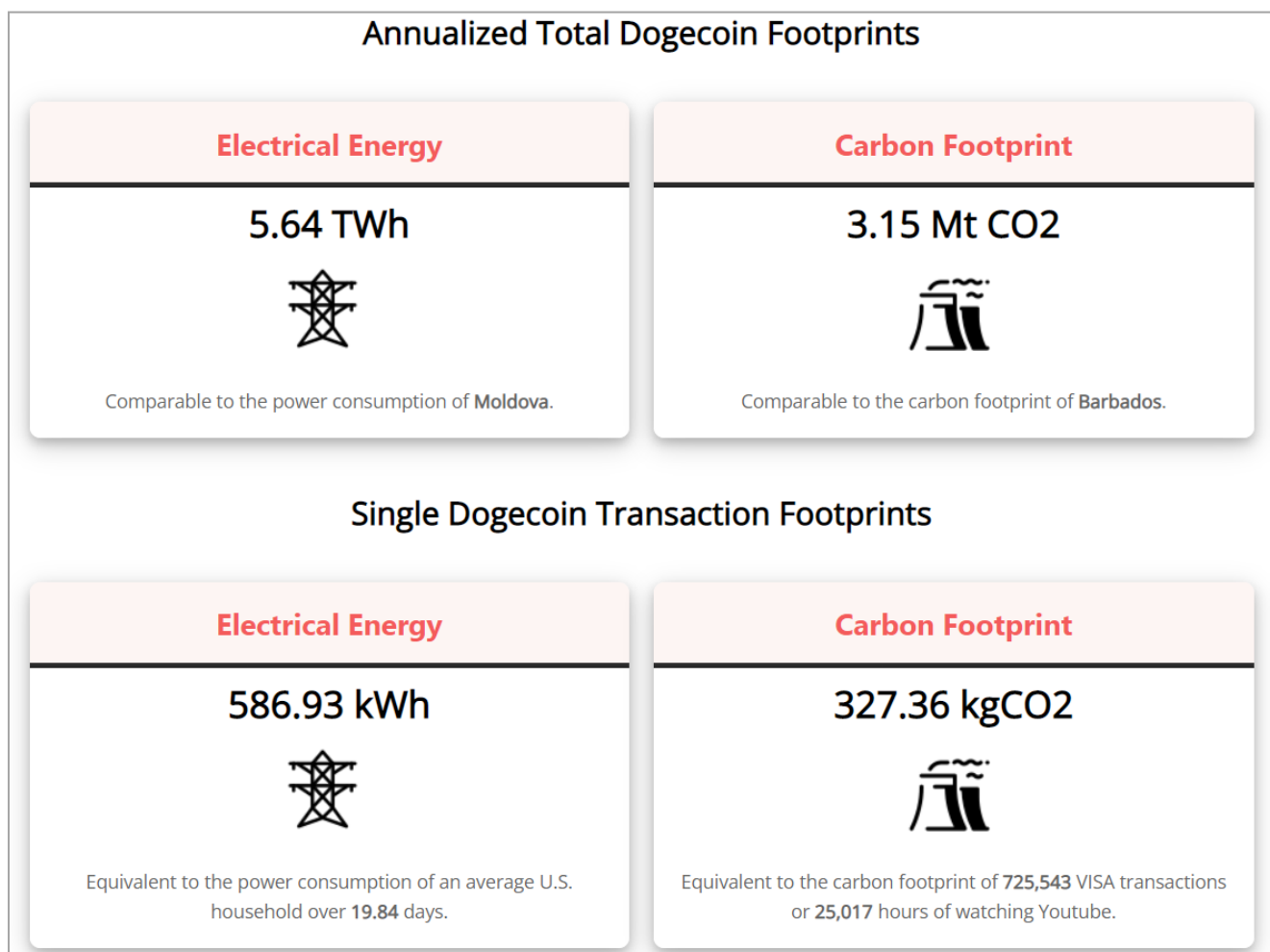










Abbildung 10: Annualized Total Dogecoin Footprints and Single Dogecoin Transaction Footprints¹⁷

Eine weitere Gegenüberstellung unterschiedlicher Kryptowährungen findet sich hier:

- <https://www.moneysupermarket.com/gas-and-electricity/features/crypto-energy-consumption/>

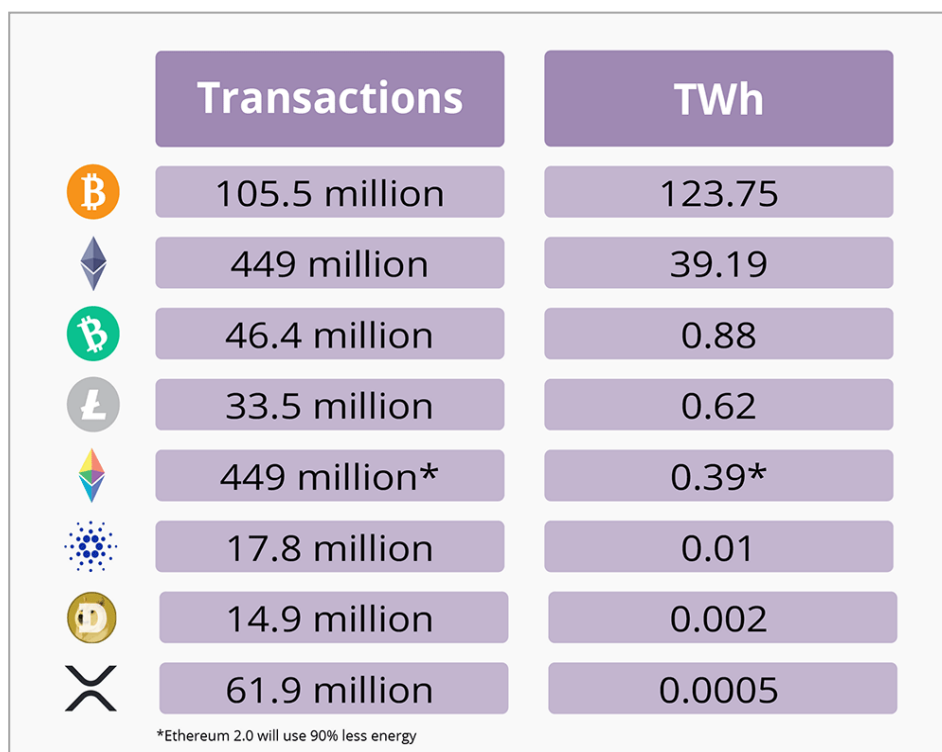
17 Ebd.

	Crypto Currency	kWh per transaction
	Bitcoin	1173
	Ethereum	87.29
	Bitcoin Cash	18.957
	Litecoin	18.522
	Ethereum 2.0*	0.8729*
	Cardano	0.547
	Dogecoin	0.12
	XRP	0.0079

*Ethereum 2.0 will use 90% less energy

Abbildung 11: Various crypto currencies kWh per Transaction¹⁸

18 <https://www.moneysupermarket.com/gas-and-electricity/features/crypto-energy-consumption/>

Abbildung 12: Annual Energy Consumption of Eight Crypto Currencies¹⁹

3. Vergleiche des Energieverbrauchs mit analogen Finanzsystemen

3.1. Limitationen von Systemvergleichen

Zur Einordnung des Energieverbrauchs von Kryptowährungen werden von Befürwortern und Kritikern oftmals die **Energieverbräuche des Bankensektors und des Kreditkartensystemanbieters VISA** hinzugezogen.

Diese Vergleiche sind jedoch in vielerlei Hinsicht mangelhaft, da hier verschiedene Systeme betrachtet werden, die sich in Funktion, Umfang und Anzahl von Akteuren und Verbrauchsstellen unterscheiden. Teilweise wird auch diskutiert, ob Bitcoin ein Währungssystem ersetzt oder ob es nicht viel mehr einem endlichen Investment wie Gold gleich komme:

„Es ist z.B. eine offene Diskussion, ob Bitcoin eher als ein Transaktionsmedium vergleichbar mit Bargeld bzw. Online-Überweisungen wie im Visa-System angesehen werden sollte, oder eher wie ein (spekulatives) Investment ähnlich wie Gold. Als Ersatz für ein Währungssystem inkl. des Bankensektors stellt sich dagegen die Frage, ob neben der Rechenleistung der Trans-

aktion auch die Infrastruktur im Hintergrund wie Zentralbanken, Druckereien, Geldtransporte, Bankfilialen etc. ersetzbar werden könnte. Damit würden sich die Bilanzierungsgrenzen und Bewertungsmethoden zugunsten von Kryptowährungen verschieben.“²⁰

Der Vergleich dient meist zwei Zielen: Einerseits der Illustration des Energiehungers und damit des CO₂-Fußabdrucks des Bitcoin und andererseits der finanzpolitischen Frage, ob eine rein digitale Kryptowährung wie Bitcoin eine teil-physische Währung ersetzen könne.²¹

Während der Energieverbrauch der Kryptowährungen relativ genau (abhängig vom jeweiligen Berechnungsmodell [siehe hierzu im Detail Kapitel 2.1.1]) anhand der digitalen und öffentlich zugänglichen Daten modelliert werden können, ist der **Energieverbrauch des Bankensektors und des Kreditkartenunternehmens VISA oftmals ein grober, annähernder Überschlag**. Ein Vergleich solider Daten ist kaum möglich.

3.2. Vergleich des Energieverbrauchs mit dem Bankensektor

Problematisch ist, dass keine vom Bitcoin-Thema unabhängigen Studien zum Energieverbrauch des Bankensektors identifiziert werden konnten. Mit anderen Worten laufen die vorliegenden Berechnungen der Verbrauchsdaten des Bankensektors immer auf einen Vergleich zu Kryptowährungen hinaus.

Eine Studie aus 2015 schätzt, dass der Bankensektor **650 TWh Energie**²² pro Jahr verbrauchen könnte:

- McCook, H. (2015). *An Order-of-Magnitude Estimate of the Relative Sustainability of the Bitcoin Network* (Working Paper 3rd Edition; S. 37). https://www.academia.edu/7666373/An_Order-of-Magnitude_Estimate_of_the_Relative_Sustainability_of_the_Bitcoin_Network_-_3rd_Edition, zit. in Ramesohl, et al. (2021)

Ein Bericht des auf Krypto-Währung spezialisierten Finanzservice-Unternehmens Galaxy Digital vergleicht den Strombedarf von Bitcoin mit dem Bankensektor und der Goldabbauindustrie. Deren Schätzung der Rechenzentren der 100 größten Banken beläuft sich auf **238,92 TWh** pro Jahr plus das Betreiben der Geldautoamten und des Kreditkartensystems (siehe Abbildung 13):

- Galaxy Digital (2021), *On Bitcoin's Energy Consumption: A Quantitative Approach to a Subjective Question*, <https://docsend.com/view/adwmdeeyfvqwecj2>.

20 Ramesohl et al. (2021), S. 26.

21 Z.B. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>: „Bitcoin is simply incapable of achieving any form of mainstream adoption as a global currency and/or payment system.“.

22 Ramesohl et al. (2021) rechnen den Energiebedarf in Höhe von 2,3 Mrd. GJ aus McCook, H. (2015) in 650 ThW um.

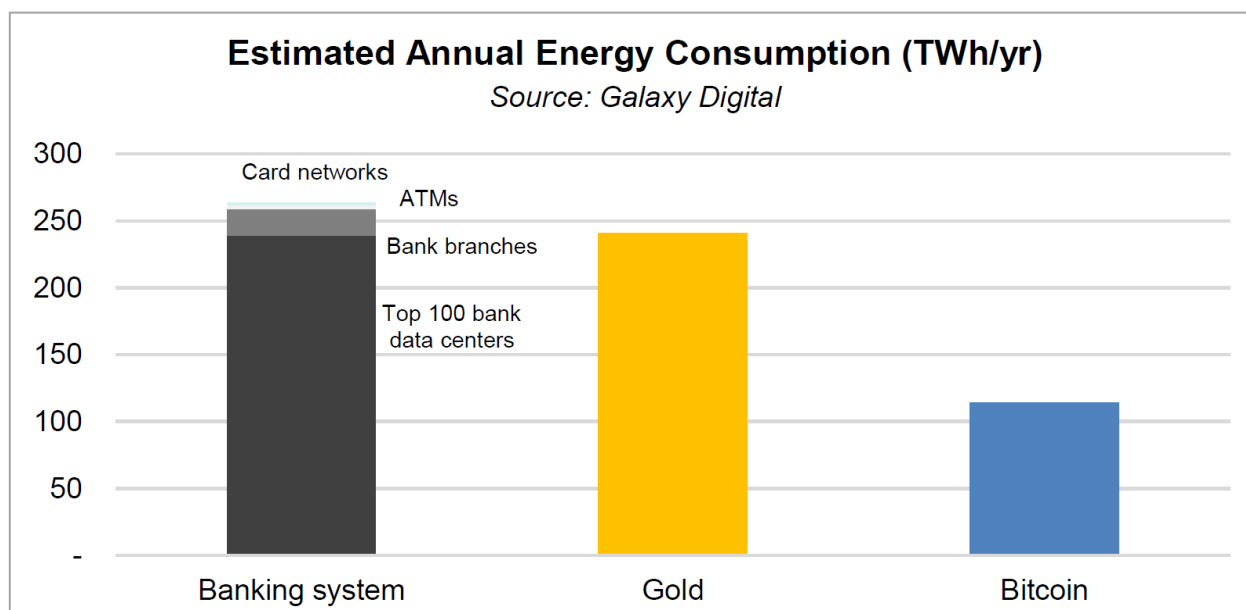


Abbildung 13: Vergleich des Energieverbrauchs von Bitcoin, Goldabbau und dem Bankensektor²³

Für weitere Vergleiche siehe eine Modellrechnung des Rechenzentrumsbetreibers SAI (siehe Abbildung 14):

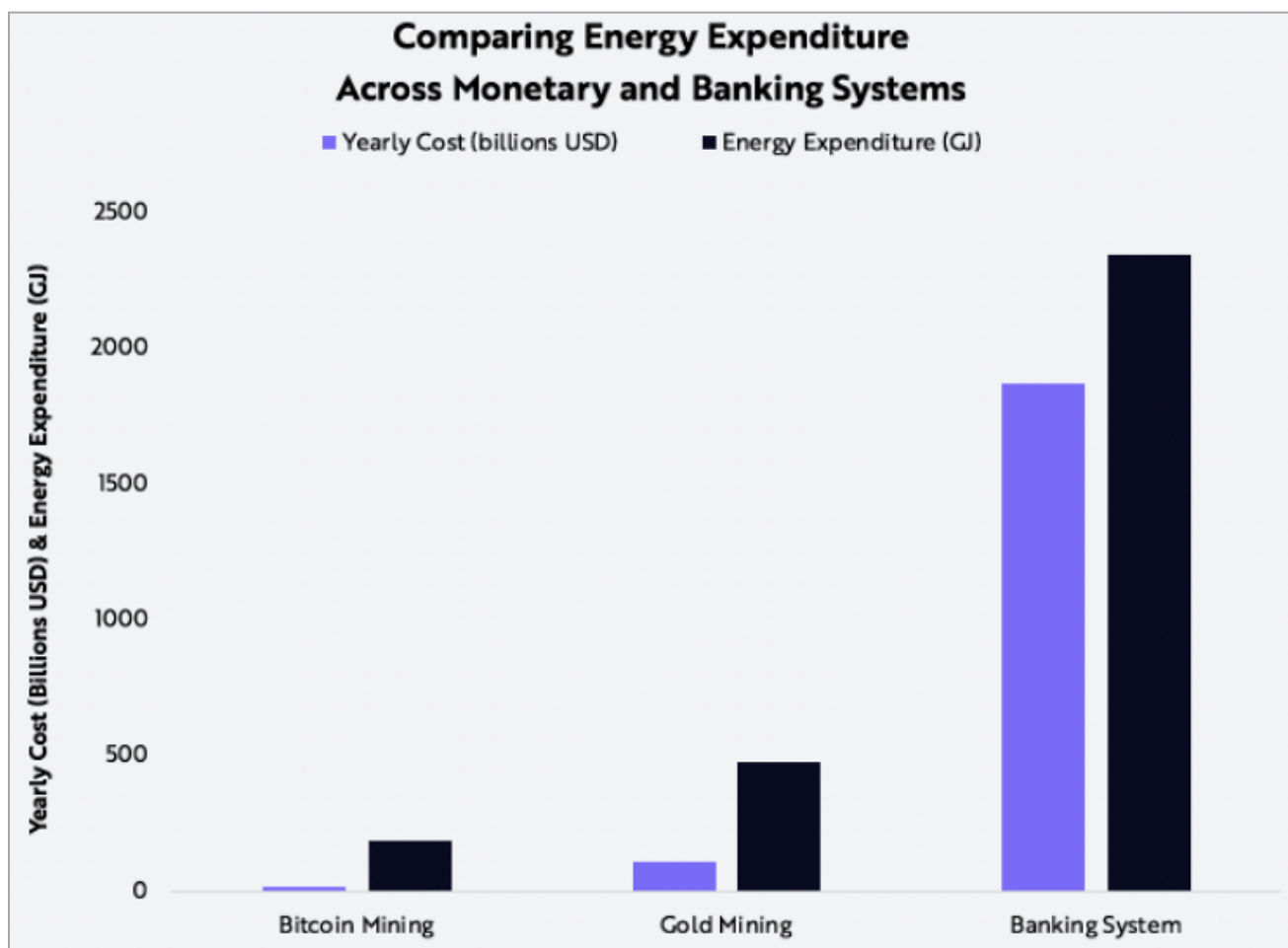


Abbildung 14: Vergleich der Energieausgaben²⁴

Im Internet gibt es weitere diverse Abschätzungen zum Energieverbrauch des Bankensektors von einer Vielzahl an Unternehmern, Tech-Journalisten oder Branchenkennern aus dem Kryptowährungsbereich.²⁵

24 <https://sai.tech/bitcoin-energy-consumption-memorandum-bitcoin-mining-reduces-the-total-carbon-emissions-of-human-society-and-accelerates-the-realization-of-carbon-neutrality/>

25 <https://hackernoon.com/the-bitcoin-vs-visa-electricity-consumption-fallacy-8cf194987a50>, <https://climatestate.com/2018/01/15/energy-consumption-bitcoin-vs-banking-system/>, <https://medium.com/@zodhya-tech/which-consumes-more-power-banks-or-bitcoins-8302750fe2bc>, <https://sonofgeektalk.wordpress.com/2021/03/27/energy-and-cryptocurrencies/>

3.3. Vergleich des Energieverbrauchs mit dem Zahlungsdienstleister VISA

Der Vergleich mit VISA erfolgt auf Basis derer globalen Unternehmensdaten, die in Quartalsberichten oder CSR-Berichten öffentlich zugänglich sind. Um eine bessere Vergleichbarkeit herzustellen, wird der **Energieverbrauch pro Transaktion** berechnet.

Der am meisten verbreitete Vergleich stammt von de Vries bzw. Digiconomist (siehe Abbildung 15). Demnach benötigt eine Bitcoin-Transaktion ca. das 15-fache an Energie wie 100.000 VISA-Transaktionen:

- <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>

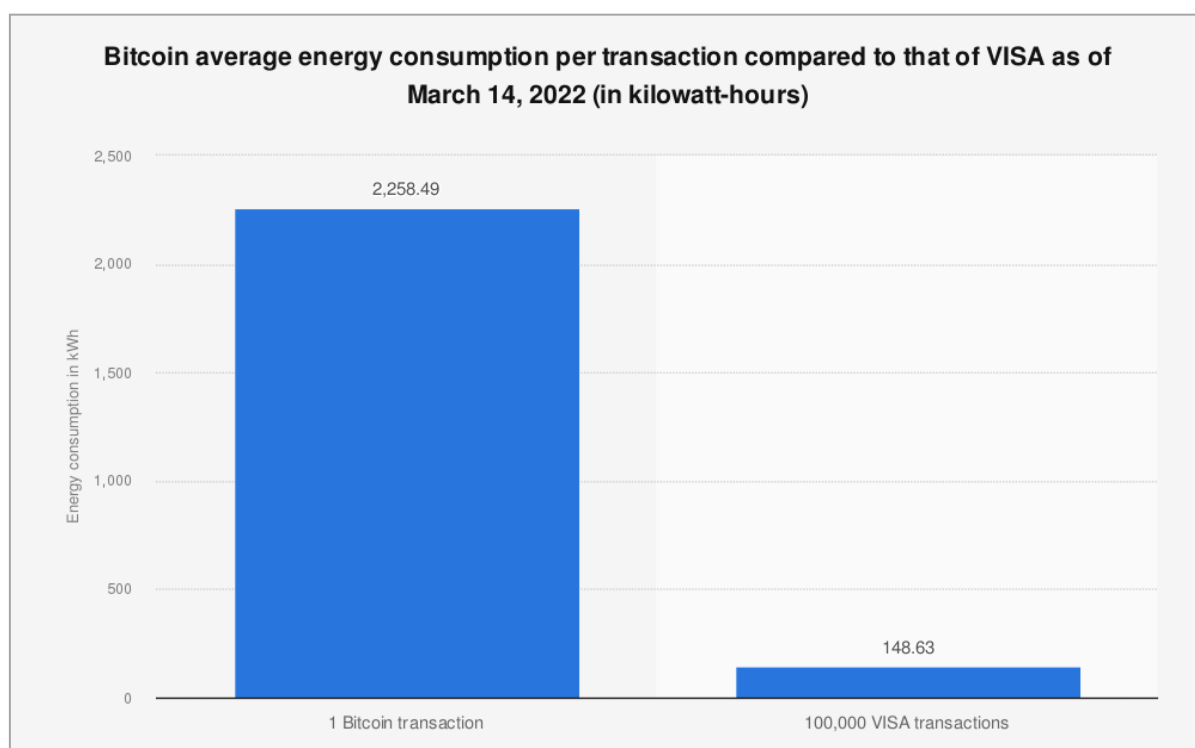


Abbildung 15: Der durchschnittliche Energieverbrauch von unterschiedlichen Transaktionsmengen von Bitcoin und VISA²⁶

Weitere Bitcoin-VISA-Vergleiche finden sich hier:

- <https://ethereum.org/en/energy-consumption/>
- Kohli, V., Chakravarty, S., Chamola, V., Sangwan, K. S., & Zeadally, S. (2022). An Analysis of Energy Consumption and Carbon Footprints of Cryptocurrencies and Possible Solutions. arXiv preprint arXiv:2203.03717, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.03717>.

26 <https://www.statista.com/statistics/881541/bitcoin-energy-consumption-transaction-comparison-visa/>

-
- Ramesohl, S., Lauten-Weiss, J., & Kobiela, G. (2021), Blockchains nachhaltig gestalten - Vorschlag von nachhaltigkeitsorientierten Entscheidungskriterien und eines Verfahrenskonzepts für die Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain, Wuppertal Report Nr. 21, Wuppertal Institut.

4. Energiemix für das Crypto-Mining und Reduktion des CO₂-Fußabdrucks

Die Wirtschaftlichkeit von Rechenzentren zum Crypto-Mining unterliegt einer relativ einfachen Berechnung:

„Die Rechenzentren der Bitcoin-Miner werden üblicherweise in Vollausslastung rund um die Uhr betrieben – der einzige bestimmende Faktor ist hierbei das Verhältnis der Energiekosten zum finanziellen Gewinn durch neu geschürfte Bitcoins. Mining-Farmen werden weltweit jeweils dort errichtet, wo die Stromversorgung hinreichend verlässlich ist und die Energiekosten gering sind. Die Energiekosten machen dabei rund zwei Drittel der Gesamtkosten des Betriebs einer Mining-Farm aus.“²⁷

Durch den hohen Energieverbrauch wird in Anbetracht von weltweiten CO₂-Reduktionszielen diskutiert, wie Rechenzentren zum Crypto-Mining möglichst nachhaltig ihren Strom beziehen.

Die Lokalisation von Crypto-Mining-Centern in bestimmten Regionen unterschiedlicher Länder ist demnach entscheidend für die Standortwahl und damit für den CO₂-Fußabdruck der Branche. Regionen mit hohem Anteil an Wasserkraft werden dabei favorisiert (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17).

Artikel zum nachhaltigen Schürfen von Bitcoins:

- <https://www.dw.com/de/bitcoin-mining-geht-der-kryptoboom-in-skandinavien-zu-ende/a-57411769>
- <https://www.nytimes.com/2022/03/22/technology/bitcoin-miners-environment-crypto.html>

Folgende Studien gehen detailliert auf den **Energiemix** an den Standorten/Regionen zum Krypto-Schürfen und dessen Veränderungen ein:

- de Vries, A., Gellersdörfer, U., Klaaßen, L., Stoll, C. (2022), Revisiting Bitcoin’s carbon footprint, Joule, Volume 6, Issue 3, 2022, 498-502, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.02.005>.
- Blandin, A., Pieters, G., Wu, Y., Eisermann, T., Dek, A., Taylor, S., Njoki, D. (2020), 3rd Global Cryptoasset Benchmarking Study, Cambridge Centre for Alternative Finance, <https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2021/01/2021-ccaf-3rd-global-cryptoasset-benchmarking-study.pdf>.

- <https://hbr.org/2021/05/how-much-energy-does-bitcoin-actually-consume>

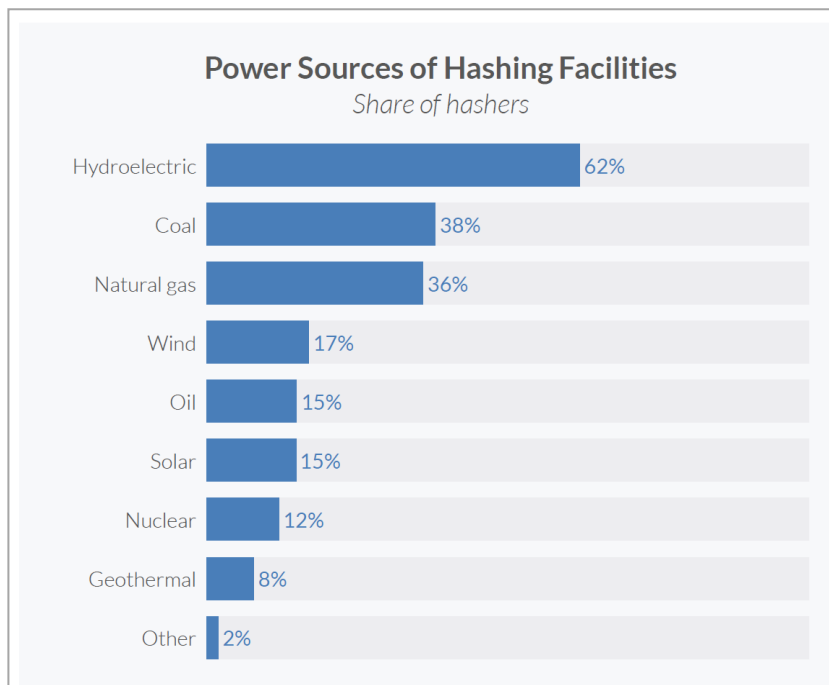
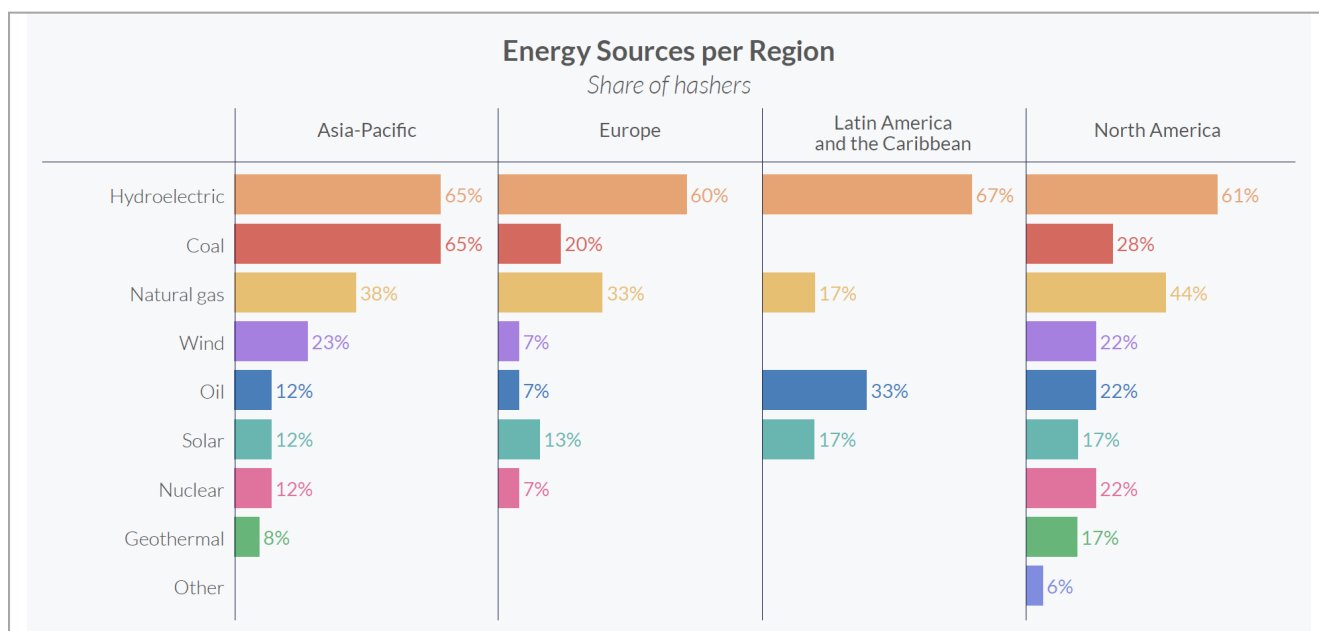


Abbildung 16: Power Sources of Hashing Facilities²⁸

28 Blandin et al. (2020), S. 27.

Abbildung 17: Energy Sources per Region²⁹

Länder mit instabilen Stromnetzen haben bereits das Schürfen von Bitcoins untersagt. Andere Länder mit stetig hohem „Erneuerbare Energien“-Anteil, wie Island, die skandinavischen Länder, Paraguay oder El Salvador werben um Krypto-Investoren:

- <https://www.euronews.com/next/2021/06/22/is-paraguay-set-to-become-the-second-country-to-make-bitcoin-legal-tender-after-el-salvado>
- <https://www.dw.com/de/energie-stromverbrauch-bitcoin-mining/a-56589030>

Längst haben auch die Betreiber von Krypto-Rechenzentren die Diskussion des extrem hohen Energieverbrauchs als **Image- und Akzeptanzproblem für Kryptowährungen** erkannt. Aufgrund des hohen Energieverbrauchs wird oft die Parallele zur Aluminium-Industrie gezogen. Schmelzwerke wurden dort gebaut, wo ausreichend Energie vorhanden ist. Durch industrielle Verlagerungen und das Auflösen von Schwerindustrie werden in einigen Regionen Kapazitäten frei, die von Krypto-Rechenzentren genutzt werden.³⁰

Es gibt verschiedene Stellhebel, wie die Betreiber versuchen können, den CO₂-Fußabdruck des Crypto-Mining zu reduzieren. Einerseits wird von Betreiberverbänden auf den **Bezug von Erneuerbaren Energien** verwiesen (siehe Abbildung 18).

²⁹ Ebd.

³⁰ <https://hbr.org/2021/05/how-much-energy-does-bitcoin-actually-consume>

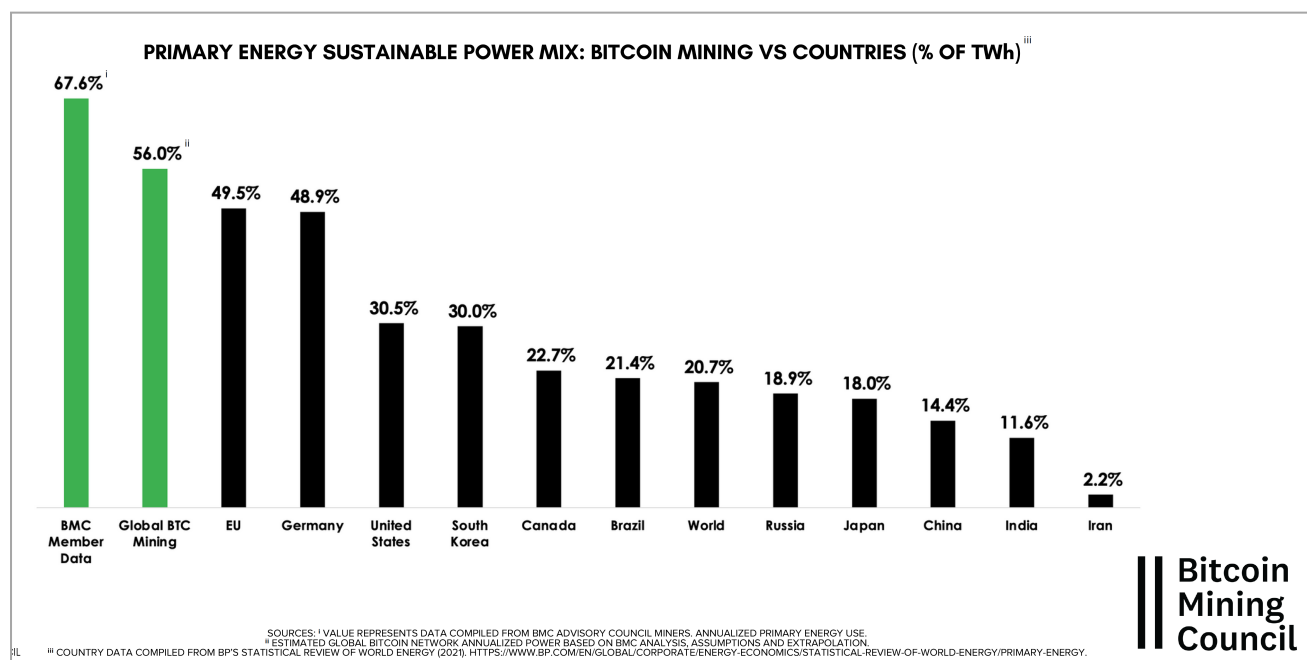


Abbildung 18: Primary Energy Sustainable Power Mix: Bitcom Mining vs. Countries (% of TWh)³¹

Andererseits wird auf Praktiken verwiesen, wie **Überschussenergie** zur Energiegewinnung gewonnen wird; z.B. durch Verbrennen von Gas, das bei der Extraktion von Öl ohnehin entsteht und bisher ungenutzt verbrennt. In anderen Fällen geht es darum, überschüssigen Strom aus Wasserkraftwerken aufzufangen und Kraftwerken zu helfen, mit **optimaler Effizienz** zu arbeiten. Weiterhin kann erwärmtes Wasser, das zum Kühlen der Hardware in den Rechenzentren eingesetzt wird, **zum Heizen** von Gewächshäusern genutzt werden:

- Galaxy Digital (2021), On Bitcoin's Energy Consumption: A Quantitative Approach to a Subjective Question, <https://docsend.com/view/adwmddeeyfvqwecej2>.
- <https://hbr.org/2021/05/how-much-energy-does-bitcoin-actually-consume>
- <https://sai.tech/bitcoin-energy-consumption-memorandum-bitcoin-mining-reduces-the-total-carbon-emissions-of-human-society-and-accelerates-the-realization-of-carbon-neutrality/>
- <https://hbr.org/2018/11/making-cryptocurrency-more-environmentally-sustainable?ab=at> art art 1x1

Allerdings basieren die meisten Ansätze auf anekdotischen Einzelfällen. Im Rahmen der Recherche konnte keine Studie identifiziert werden, die beispielsweise konkrete Daten zur Zweitverwertung von Energie aus Bitcoin-Rechenzentren untersucht. Dies hat möglicherweise auch den

31 Bitcoin Mining Council (2021), S. 6.

Grund, dass Mining-Farmen teilweise inoffiziell errichtet werden und Standorte geheim gehalten werden.³²

5. Quellenverzeichnis

Bitcoin Mining Council (2021), GLOBAL BITCOIN MINING DATA REVIEW Q2 2021, <https://bitcoinminingcouncil.com/wp-content/uploads/2021/07/2021.07.01-BMC-Q2-2021-Materials.pdf>.

Blandin, A., Pieters, G., Wu, Y., Eisermann, T., Dek, A., Taylor, S., Njoki, D. (2020), 3rd Global Cryptoasset Benchmarking Study, Cambridge Centre for Alternative Finance, <https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2021/01/2021-ccaf-3rd-global-cryptoasset-benchmarking-study.pdf>.

Bundesnetzagentur (2021), Die Blockchain-Technologie Grundlagen, Potenziale und Herausforderungen, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Digitalisierung/Blockchain/Links_Dokumente/einfuehrung_bc.pdf?blob=publicationFile&v=10.

de Vries, A. (2022), Bitcoin Energy Consumption Index. Digiconomist. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/>

Eigelshoven, F., Ullrich, A., & Gronau, N. (2020), Konsens-Algorithmen von Blockchain. *Industrie 4.0 Management*, 2020 (2), S. 29–32, <https://library.gito.de/wp-content/uploads/2021/08/eigelshoven-IM2020-1.pdf>.

Galaxy Digital (2021), On Bitcoin's Energy Consumption: A Quantitative Approach to a Subjective Question, <https://docsend.com/view/adwmdeeyfvqwecj2>.

Gallersdörfer, U., Klaaßen, L., Stoll, C. (2020), Energy Consumption of Cryptocurrencies Beyond Bitcoin, *Joule*, Volume 4, Issue 9, S. 1843-1846, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.07.013>.

Jiang, S., Li, Y., Lu, Q. et al. (2021), Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nat Commun* **12**, 1938. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22256-3>.

Kind, S. (2022), Non-fungible Tokens (NFTs), Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Themenkurzprofil 54, DOI: 10.5445/IR/1000143464.

Kohli, V., Chakravarty, S., Chamola, V., Sangwan, K. S., & Zeadally, S. (2022), An Analysis of Energy Consumption and Carbon Footprints of Cryptocurrencies and Possible Solutions, arXiv preprint arXiv:2203.03717, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.03717>.

32 <https://www.dw.com/de/energie-stromverbrauch-bitcoin-mining/a-56589030>

Lei, N., Masanet, E., Koomey, J. (2021), Best practices for analyzing the direct energy use of blockchain technology systems: Review and policy recommendations, Energy Policy, Volume 156, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112422>.

McCook, H. (2015), An Order-of-Magnitude Estimate of the Relative Sustainability of the Bitcoin Network (Working Paper 3rd Edition; S. 37). https://www.academia.edu/7666373/An_Order-of-Magnitude_Estimate_of_the_Relative_Sustainability_of_the_Bitcoin_Network_-_3rd_Edition.

Ramesohl, S., Lauten-Weiss, J., & Kobiela, G. (2021), Blockchains nachhaltig gestalten - Vorschlag von nachhaltigkeitsorientierten Entscheidungskriterien und eines Verfahrenskonzepts für die Umsetzung staatlich geförderter oder initiiertes Projekte im Bereich Blockchain, Wuppertal Report Nr. 21, Wuppertal Institut.
