

# Wie nachhaltig sind Bitcoins?

Vierter Research Talk des WiWi Networks

19. Mai 2021

Prof. Dr. Aaron Praktiknjo  
Lehrstuhl für Energiesystemökonomik

# Aktueller Jahresstromverbrauch von Bitcoin im Kontext



## Bitcoin

**~100-150 Mrd. kWh (TWh)**

(eigene Berechnungen Mai 2021)

Marktwert: ~750 Mrd. Euro



## Nordrhein-Westfalen (NRW)

**~130 Mrd. kWh (TWh)**

~18 Mio. Einwohner

~700 Mrd. Euro BIP



## Niederlande (NL)

**~120 Mrd. kWh (TWh)**

~17 Mio. Einwohner

~800 Mrd. Euro BIP



## Aluminium

**~1.000-1.200 Mrd. kWh (TWh)**

(eigene Berechnungen)



## Potenzial US-Standby

**~60-70 Mrd. kWh (TWh)**

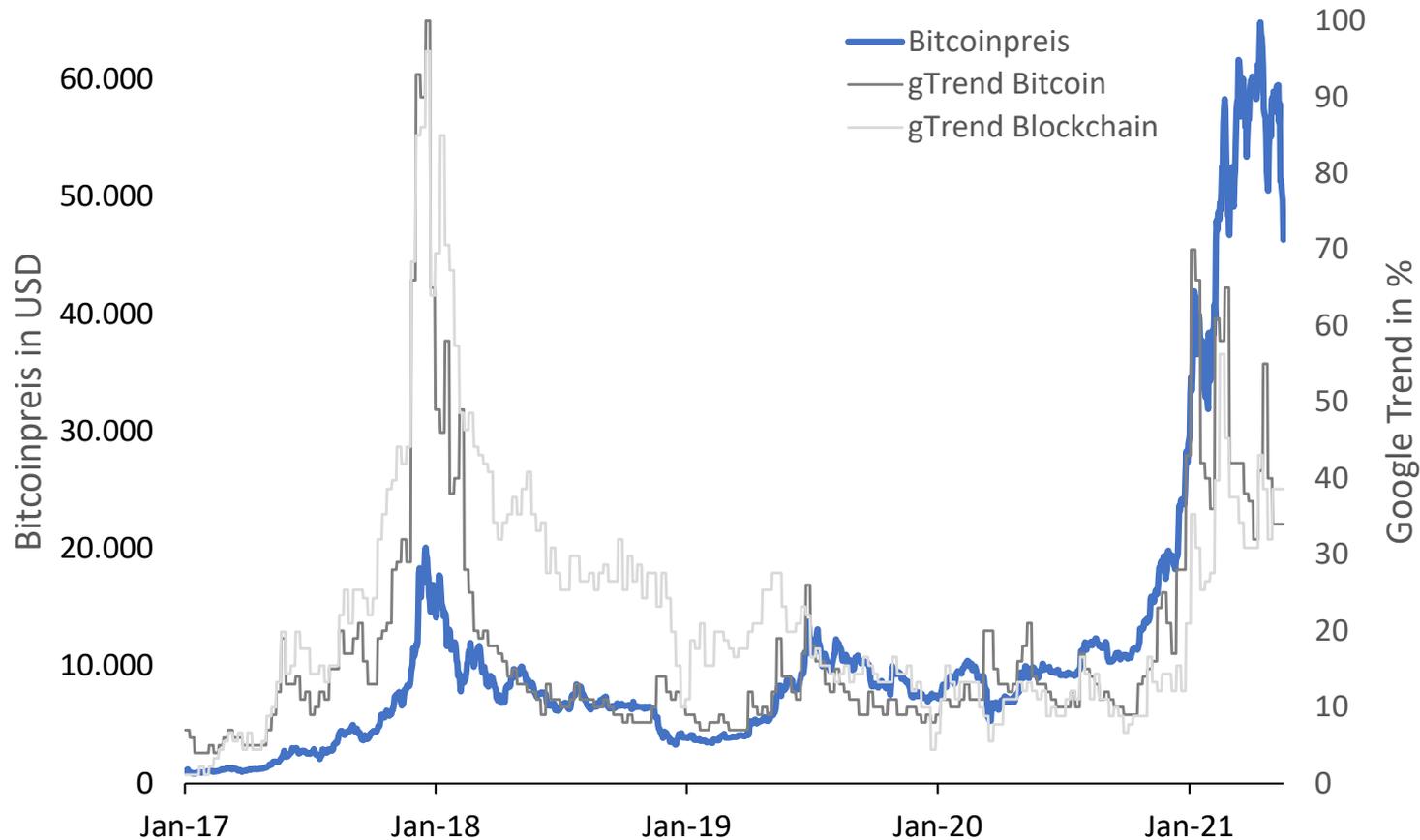
Sources: IEA (2021), NRDC (2015),  
Energieagentur NRW (2021), World Aluminium (2021)

**Bitcoin-Stromverbrauch ist sehr hoch (~ NRW oder NL) mit einhergehenden Umweltauswirkungen und entspricht in etwa einem Neuntel der Aluminiumproduktion oder dem doppelten des Einsparpotenzials beim US-Standby-Verbrauch**

# Von Darknet zu globaler Industrie mit spektakulärer Kursentwicklung



# Öffentliches Interesse an Bitcoin und Blockchain



- Steigender **Bitcoinpreis** führte zu **öffentlichem Interesse** an der Kryptowährung und auch an der Blockchain-Technologie
- **Blockchain**-Technologie hat ihren Ursprung in **Bitcoin**

# Mora-Studie: Allein Bitcoin-Emissionen führen zum Klimawandel

64,415 views | Oct 29, 2018, 12:00pm

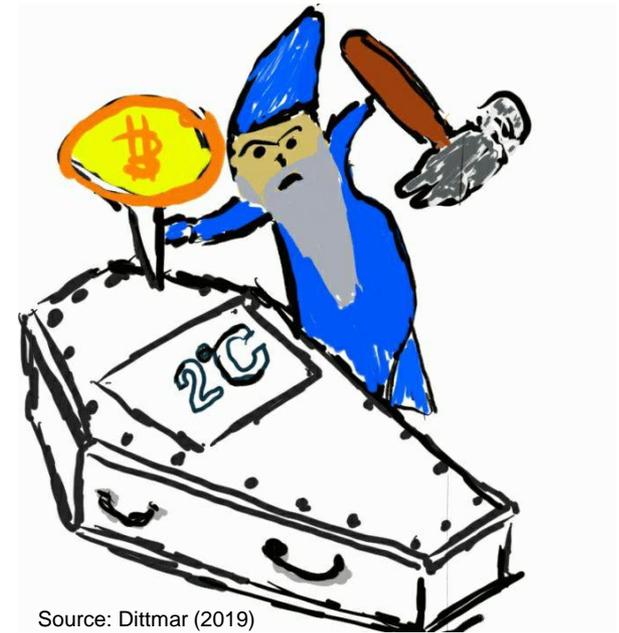
## Forbes

## Bitcoin Predicted To Be The Nail In The Coffin Of Climate Change

### Bitcoin emissions alone could push global warming above 2°C

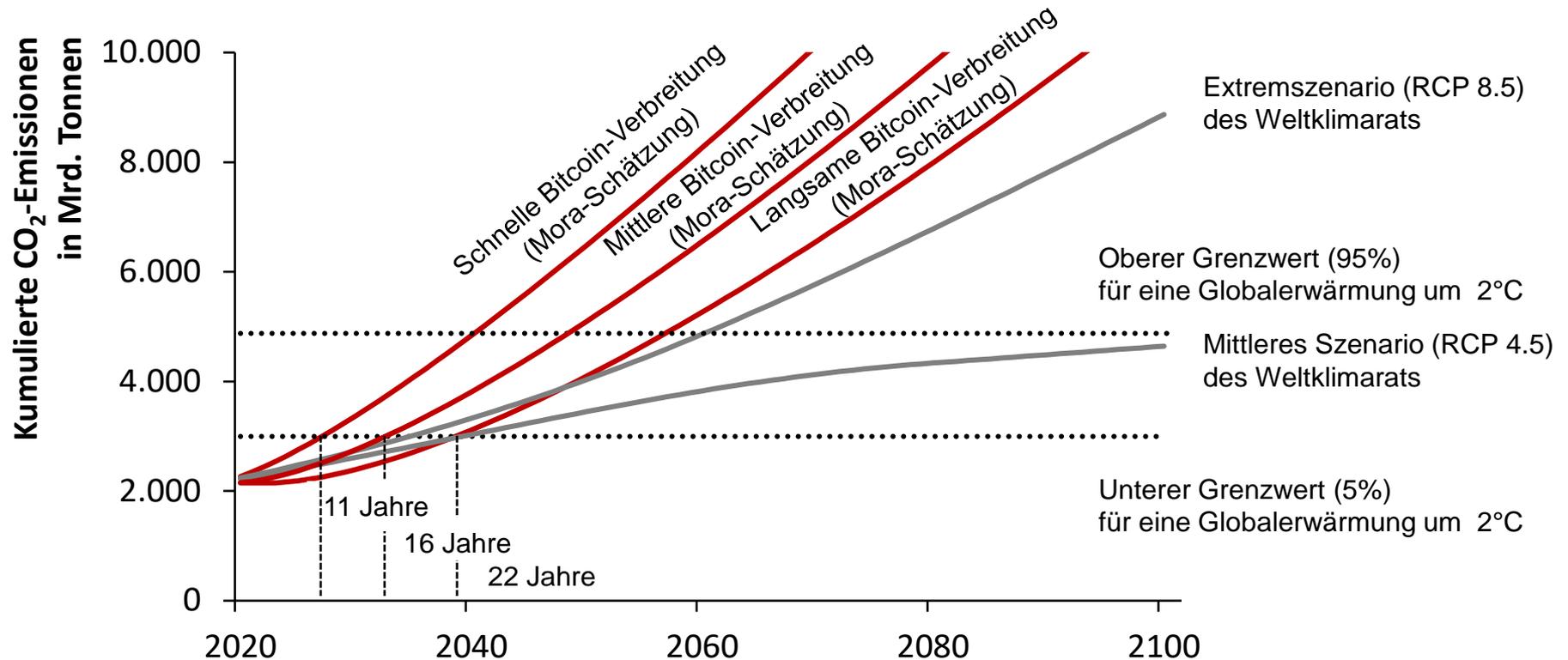
Camilo Mora , Randi L. Rollins, Katie Taladay, Michael B. Kantar, Mason K. Chock, Mio Shimada & Erik C. Franklin

*Nature Climate Change* **8**, 931–933 (2018) | [Download Citation](#) 



Source: Dittmar (2019)

# Kernaussage der Studie von Mora et al. (2018)



**Mora et al. (2018): „Die Reduktion der Emissionen zur Begrenzung der Erderwärmung auf unter 2 °C ist angesichts der wachsenden Weltbevölkerung und des Konsums sowie mangelndem politischen Willen bereits heute sehr schwierig. Dann kam Bitcoin.“**

# Dittmar-Praktiknjo-Faktencheck: Was ist da dran?

---

## Could Bitcoin emissions push global warming above 2 °C?

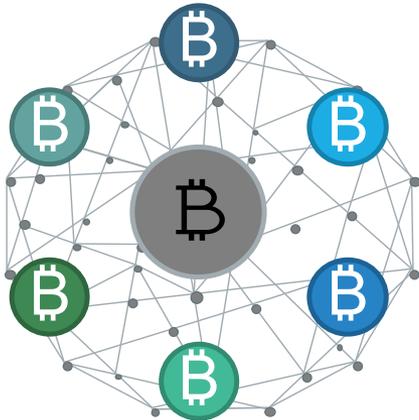
Lars Dittmar  & Aaron Praktiknjo 

*Nature Climate Change* **9**, 656–657 (2019) | [Cite this article](#)



Source: Discovery Communications

# Hintergrund: Was ist Bitcoin?

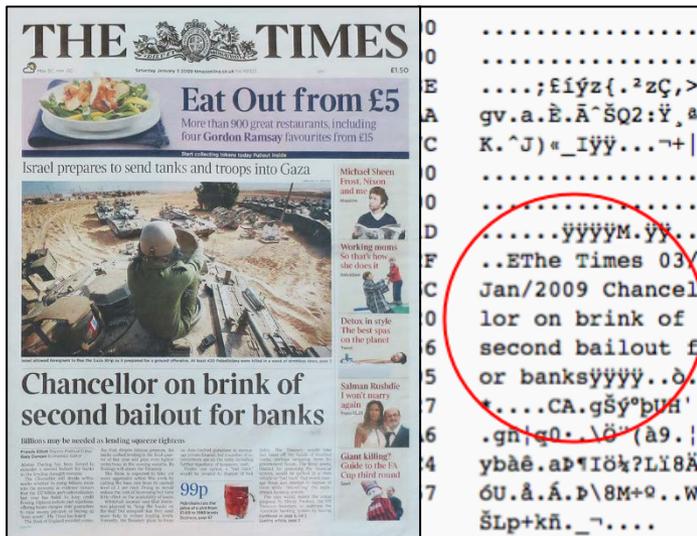


Source: Dittmar (2019)

- **Ursprung:** Whitepaper von **Satoshi Nakamoto (2008)**: „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System“
- **Bezahlnetzwerk ohne Zentralinstanz** (z.B. Zentralbank, Kreditkartenunternehmen) zur Sicherung gegen Betrug wie Doppelterausgabe
- **Transaktionen** werden etwa alle zehn Minuten in Datenblöcken gruppiert und **über das gesamte Netzwerk verteilt** gespeichert
- **Transaktions-Datenblöcke** werden **durch „Mining“ kryptografisch** bis zum allerersten Transaktionsblock („Genesisblock“) **verlinkt**
- Verfahren schafft eine **irreversible Verkettung von Datenblöcken**: Die sogenannte **Blockchain**

# Hintergrund: Gründung der Kryptowährung Bitcoin 2009

- Bitcoin-Genesisblock enthält Referenz auf „The Times“-Titelseite vom **3. Januar 2009**
- Genesisblock wurde am 3. Januar 2009 (oder danach) erzeugt – kurz nach Einbruch der **globalen Finanzkrise**
- Vermutung: Nakamoto wollte **Kritik am aktuellen Finanzsystem** üben
- Weitere Vermutung: **Kritik an Rettung von Privatbanken durch öffentliche Gelder** in (eigentlich) liberalen Wirtschaftssystemen



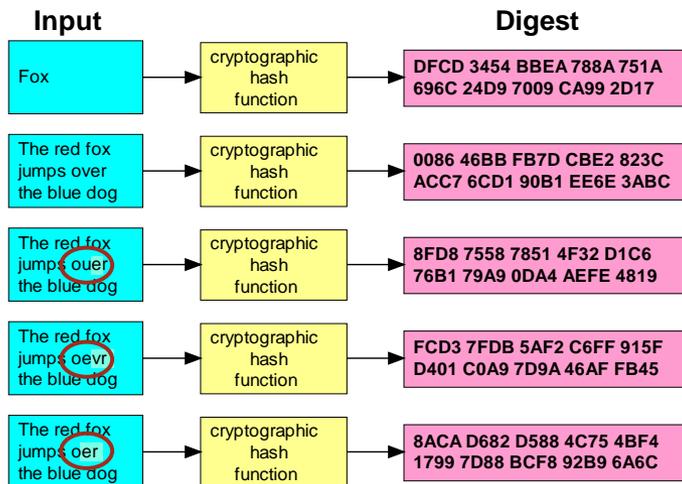
# Hintergrund: Was ist Bitcoin-Mining?

---



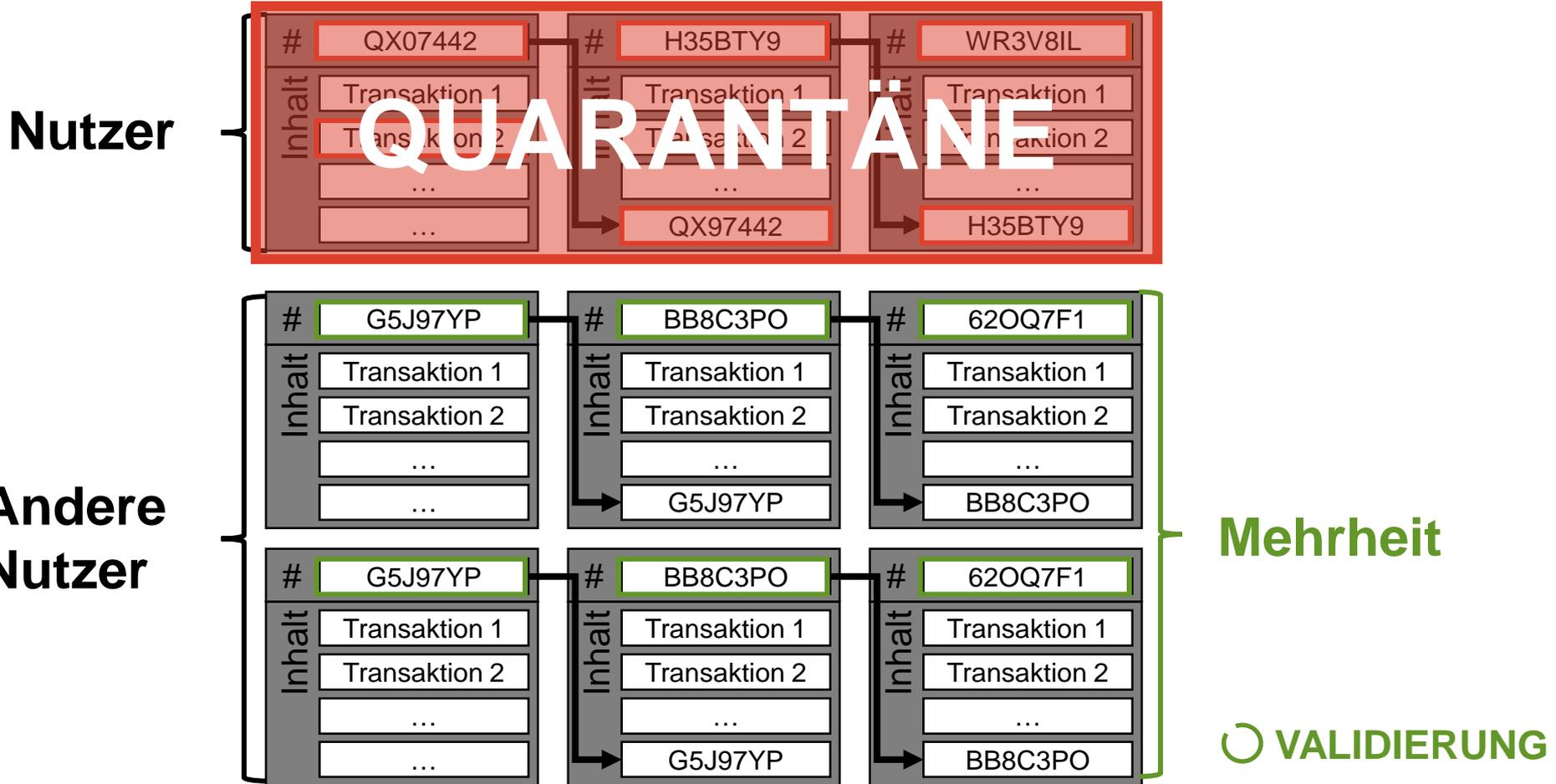
- **Mining** von Bitcoins ist eigentlich **Konsensverfahren** (sogenanntes „Proof-of-Work“) und **sichert Vertrauen** in die Kryptowährung
- Mining löst **rechenintensives Puzzle (Hashing)** und Miner konkurrieren in einem **Wettbewerb um finanzielle Anreize**
- Sämtliche **Bitcoin-Transaktionen** werden so in Blockchain durch **Miner verifiziert und digital signiert**

# Hintergrund: Wie funktioniert das Bitcoin-Puzzle (Hashing)?



- **Hash-Funktion** ist mathematisch **nicht umkehrbarer** Algorithmus (Einwegfunktion/ Verschlüsselungsfunktion)
- Inputdaten können beliebiger Länge sein, **Outputdaten** (Hash-Wert) aber sind von fester Länge und **eindeutig**
- Einzige Möglichkeit **Inputdaten** aus gegebenem Hash-Wert zu **identifizieren** ist **Erraten des Inputs** (Brute Force)
- **Erraten** der korrekten Inputdaten erfordert durchschnittlich **enorme Anzahl an Versuchen** (rechen- und energieintensiv)

# Hintergrund: Dezentrale Peer-to-Peer Blockchain



- **Mehr Miner** in einer dezentralen Blockchain bedeuten **höhere Sicherheit**
- **Höhere Sicherheit** einer (Krypto-)Währung bedeutet **höheres Nutzervertrauen**

# Hintergrund: Wie werden Miner belohnt?

---



- **Miner**, die Hash-Puzzle als Erste lösen, werden mit **Bitcoins belohnt**
- Belohnung besteht aus **Rewards (neue Bitcoins)** und **Transaktionsgebühren (alte Bitcoins bezahlt durch Absender)**
- **Bitcoin-Rewards** werden ca. alle vier Jahre halbiert, anfänglich 50 Bitcoins, seit Mai 2020 **6,25 Bitcoins**
- **Anzahl an Bitcoins** ist **endlich** (21 Millionen) und wird 2140 erreicht

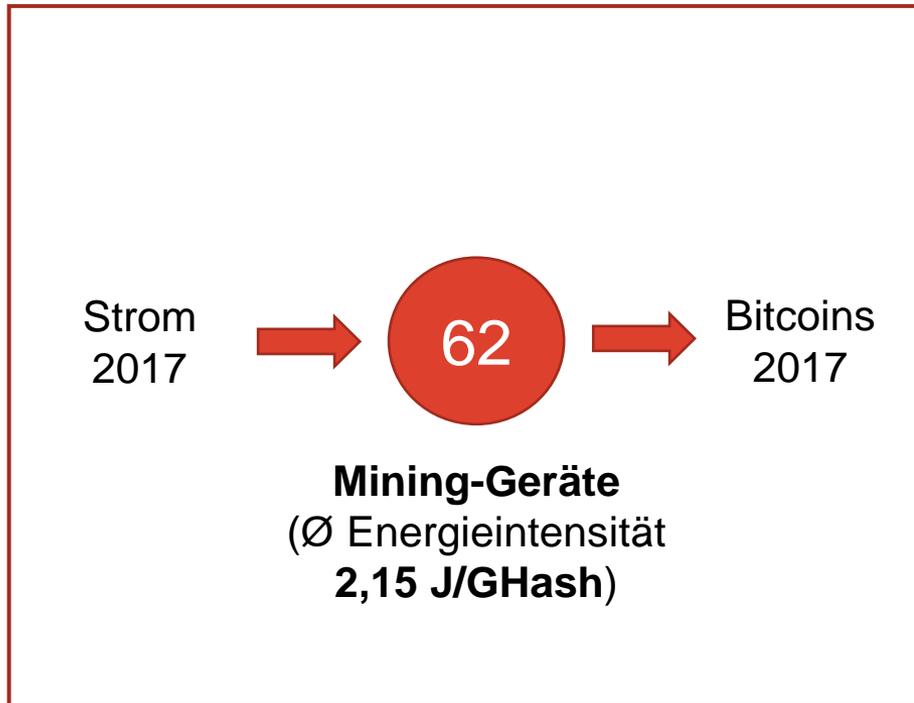
# Mora et al. (2018): Methodik der Studie

---



- 1) **Schätzung des Stromverbrauchs** von Bitcoin-Mining und Umrechnung in **CO<sub>2</sub>-Emissionen** für ein **Basisjahr (2017)**
- 2) **Projektion** der Schätzungen von **Stromverbrauch** und **CO<sub>2</sub>-Emissionen** des **Basisjahrs 2017** in die Zukunft **bis 2100**

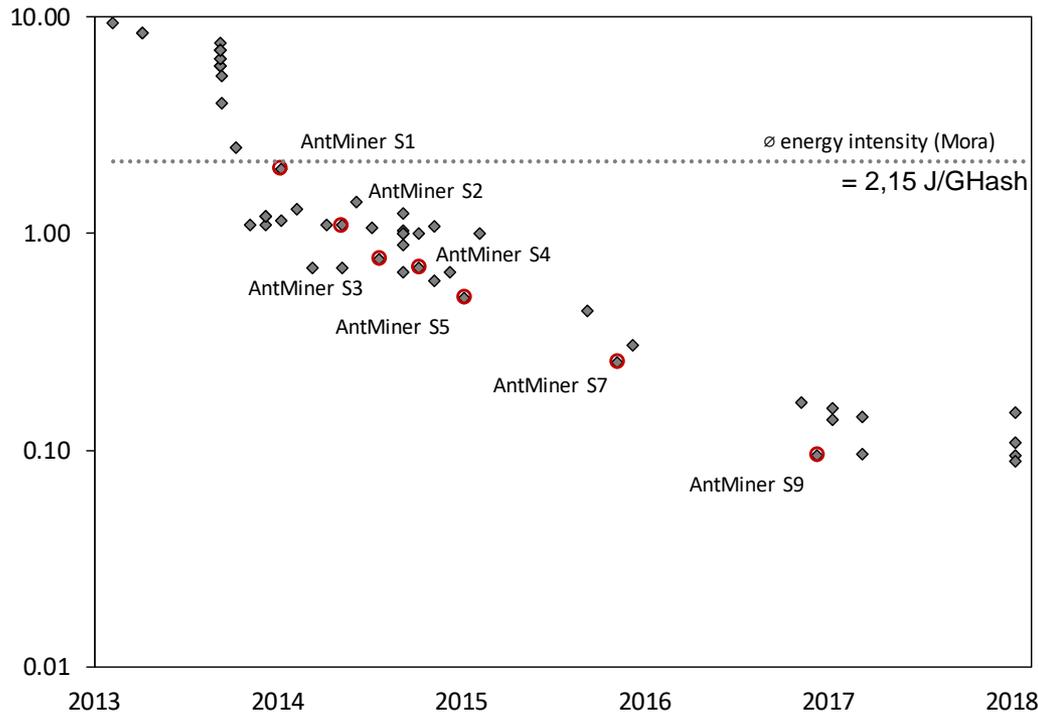
# Mora et al. (2018): Schätzung Stromverbrauch und Emissionen 2017



- Zusammenstellung einer **Liste mit 62 Mining-Geräten inkl. Energieintensitäten** (Ø 2,15 J/GHash)
- **Annahme: Sämtliche Bitcoins** wurden **2017 auf diesen 62 Mining-Geräten** geschürft
- **Schätzung eines Stromverbrauchs** von **114 TWh** für Basisjahr **2017**
- **69 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen** geschätzt mit durchschnittlich **605 g/kWh** für Bitcoin-Strom im Basisjahr **2017**

# Dittmar & Praktijnjo (2019): Energieeffizienz der Mining-Geräte

Energieintensität in J/GHash  
(logarithmische Skala)



- Mora et al. (2018) **überschätzen Stromverbrauch** der Miner im **Basisjahr 2017**
- **Hardwareliste** von Mora enthält überwiegend **veraltete Geräte** mit **hohen Energieintensitäten** ( $\bar{\varnothing}$  2,15 J/GHash)
- Bisher **exponentielles Wachstum** der **Energieeffizienz** (AntMiner S9 nur 0,10 J/GHash)
- **114 TWh** von Mora liegen **~10x über unseren Schätzungen** für Bitcoin-Stromverbrauch 2017

# Dittmar & Praktiknjo (2019): Ökonomisch rationale Miner



- Ökonomisch rationale **Miner** wollen **Gewinne erzielen** und **Verluste vermeiden**
- **Wert** der geschürften **Bitcoins** muss dafür **Mining-Kosten übersteigen**, insbesondere **Kosten für Strom**
- Hierfür sind Miner mit gewisser **Energieeffizienz notwendig**
- **114 TWh** im Jahr 2017 würden für Miner bewusst realisierte **Verluste über 2 Mrd. USD** bedeuten
- Ökonomisch begrenzt der **Bitcoin-Kurs** den **Mining-Stromverbrauch**

# Mora et al. (2018): Projektion der Emissionen bis 2100

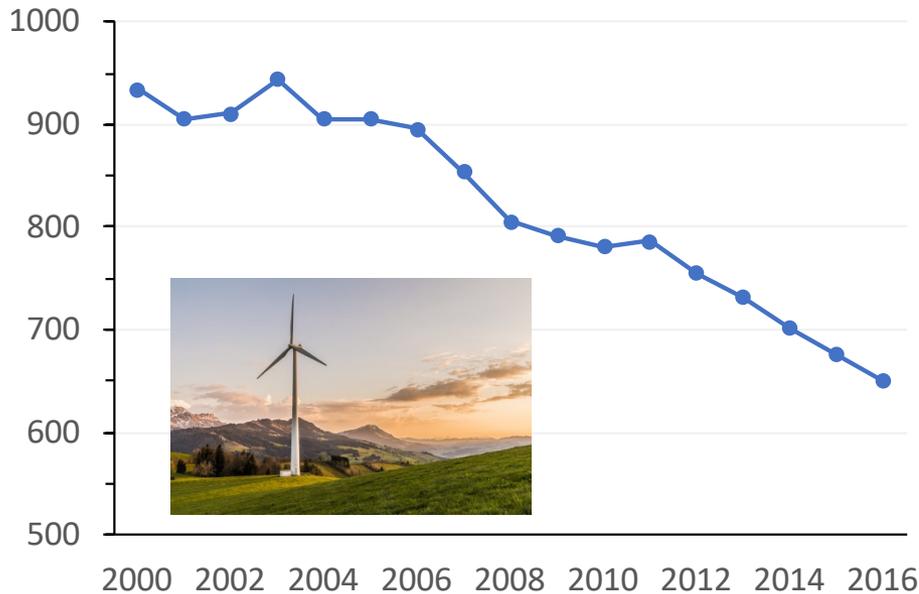
---



- **Annahme:** Bitcoin wird zukünftig **sämtliche** der heutigen **bargeldlosen Zahlungen ersetzen** (~314.2 Mrd. Transaktionen im Jahr)
- **Skalierung** der für **2017** geschätzten **Emissionen** mit angenommenem Wachstum der Bitcoin-**Transaktionen**
- **Annahme:** **Energieintensitäten** und **Emissionsfaktoren** bleiben **konstant**

# Dittmar & Praktiknjo (2019): Entwicklung Effizienz und Emissionen

CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Strom  
in China in g/kWh



- Annahme **konstanter Mining-Energieeffizienz** bis ins Jahr 2100 **unrealistisch**
- Bisher **Verdoppelung** der **Energieeffizienz** der Miner ca. **alle zehn Monate**
- Annahme **konstanter CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren** im Stromsektor bis ins Jahr 2100 ebenfalls **unrealistisch**
- Allein in China eine **Dekarbonisierung des Stromsektors** in letzten 16 Jahren um **~30 %**

# Dittmar & Praktiknjo (2019): Stromverbrauch im Mora-Szenario

---



- Mittleres **Mora-Szenario** entspricht implizitem **Bitcoin-Stromverbrauch** von **~57.800 TWh** in **fünf Jahren**
- Für **2017** lag der **weltweite Stromverbrauch** bei **~22.200 TWh** (~ Vervierfachung)
- **Vervierfachung (praktisch unmöglich)** würde zu **explodierenden Strompreisen** führen, was wiederum aber die **Nachfrage** für Bitcoin-Mining **dämpfen** würde
- **IEA (2018)** schätzt ein **Wachstum** des weltweiten Stromverbrauchs von **~60%** – aber **bis 2040**

# Dittmar & Praktijnjo (2019): Skalierung des Bitcoin-Stromverbrauchs



$$\begin{aligned} &\text{Schwierigkeit} \\ &\quad (\text{variabel}) \\ &= \\ &\text{Blockintervall} \\ &\quad (\text{konstant}) \\ &\quad \times \\ &\text{Rechenleistung} \\ &\quad (\text{variabel}) \\ &\quad \times \\ &\quad \mathbf{1/2^{32}} \\ &\quad (\text{konstant}) \end{aligned}$$

- **Bitcoin-Stromverbrauch** ist **unabhängig** von Anzahl an **Transaktionen**
- **Stromverbrauch** für Mining eines Bitcoin-Blocks hängt von **Schwierigkeit** (benötigte Anzahl an Reatevorgängen) und **Energieeffizienz** der Geräte ab
- **Schwierigkeit** vom Mining wird **automatisch** angepasst je nach aktiver **Rechenleistung** (Hashrate) im gesamten **Bitcoin-Netzwerk**
- **Rechenleistung** im Netzwerk ist wiederum abhängig von **Aussicht auf Belohnung** für das Mining und **Kosten** des Minings (**Strom**)

# Fazit



- **Bitcoin-Mining** verbraucht **sehr viel Strom**
- Allerdings: **Stromverbrauch** ist **unabhängig** von Anzahl an **Bitcoin-Transaktionen**
- Vielmehr: **Stromverbrauch** ist begrenzt durch **Bitcoin-Kurs** und Anzahl der **Rewards**
- Somit: Bitcoin-**Stromverbrauch** ist **Resultat ökonomischer Überlegungen** auf Basis von Erlösen und Kosten
- Vorschlag: **Ökonomisch effiziente** Lösung wäre **Verteuerung von fossilem Strom** in Höhe der Umweltschäden mittels einer **CO<sub>2</sub>-Bepreisung**

# Thank you for your attention!

Prof. Dr. Aaron Praktiknjo  
Lehrstuhl für Energiesystemökonomik