

Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-"Fußabdruck" anschaulich darstellen:

"Brikett-Äquivalente" und "CO<sub>2</sub>-Würfel"

Ja, wir nutzen erneuerbare Energien, und das ist gut so.

Aber machen wir uns nichts vor:

Jahr für Jahr verbraucht Deutschland 13132 Petajoule\*, das heißt über 13000 Billionen Joule Energie.

\*) Jahr 2014, Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Arbeitsgemeinschaften Energiebilanzen (AGEB), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AEE-Stat)

Hier geht es nicht nur um unseren Energieverbrauch im Haushalt oder auf der Straße.

Grundlage der Rechnung ist der "Primärenergiebedarf" oder "-verbrauch" und der umfasst viel mehr als wir am Stromzähler oder an der Zapfsäule ablesen.

Wir haben mal nachgerechnet und diese unanschauliche Zahl in "Brikett-Äquivalente" übersetzt, wohl wissend, dass unser Energiebedarf nicht nur durch Braunkohle gedeckt wird.

- Wollen Sie wissen, wie viele "Briketts" jeder von uns täglich verbraucht?
- Und wie groß das entsprechende ausgestoßene CO<sub>2</sub>-Volumen ist?

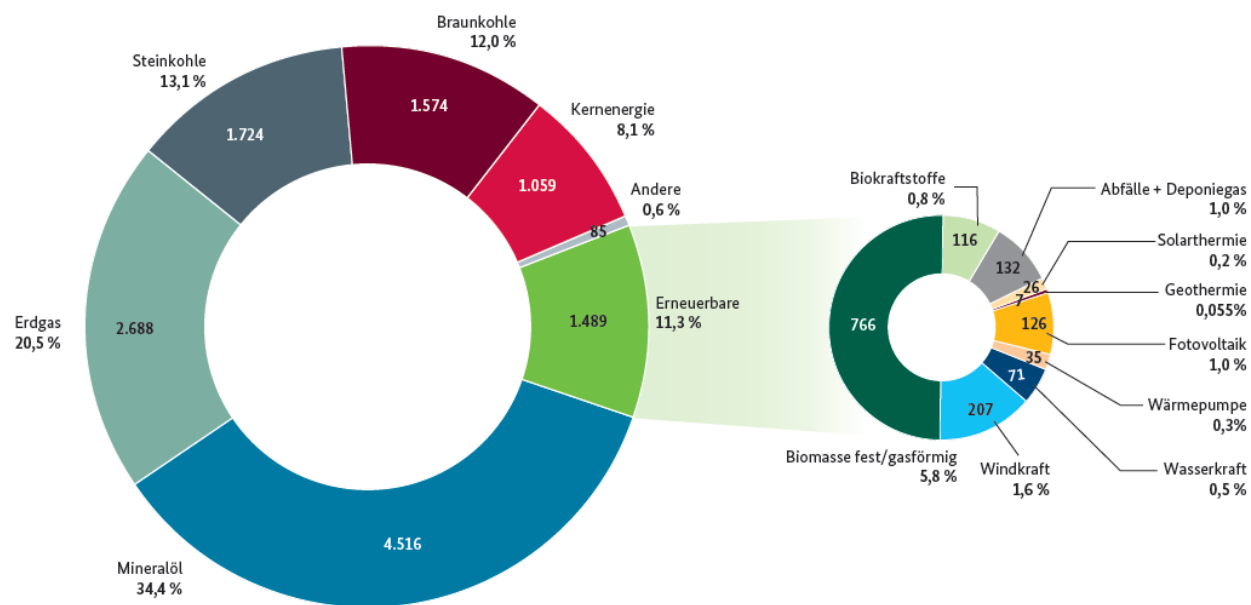
Die Antworten:

- Pro Tag und pro Person sind das 40 Briketts!
- Mit dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß könnte jeder von uns täglich einen 3 Meter großen Ballon füllen!

Über den Begriff "Primärenergiebedarf" lässt sich lange diskutieren. Gemeint ist der Energieverbrauch unter Einschluss aller den genutzten Energieträgern vorgelagerten Prozessketten. Beim Benzin also beispielsweise die Förderung, der Transport und die Verarbeitung des Erdöls.

Über seine lexikalische Definition hinaus ließe sich überlegen, um welche Aspekte der Begriff im Sinne einer wirklich aussagekräftigen Umweltbilanz erweitert werden müsste. Das in Bangladesh produzierte T-Shirt und der Apfel aus Neuseeland sind im "Primärenergiebedarf" nur in Anteilen enthalten. Am durch Erzeugung und Transport entstandenen CO<sub>2</sub> bin ich als Käufer trotzdem beteiligt.

### 3. Primärenergieverbrauch in Deutschland 2014 (13.132 PJ\*)



\* Vorläufig

Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

19,4% des Primärenergiebedarfs werden CO<sub>2</sub>-frei bzw. -neutral erzeugt (Kernenergie, Erneuerbare Energieträger). Sie vermindern das "Brikett-Äquivalent" bzw. die dazu gehörigen CO<sub>2</sub>-Volumina.

## Braunkohle und CO<sub>2</sub>-Emission (Lösung)

Wenn 100 Gramm Kohlenstoff (C) verbrennt, verbindet es sich mit etwa 267 Gramm Sauerstoff (O<sub>2</sub>)\*.

- Wie viel Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) entsteht bei der Verbrennung eines Braunkohlenbriketts?
- Wie groß ist das CO<sub>2</sub>-Volumen, das durch ein Brikett entsteht?
- Wie groß wäre das Volumen, wenn man es als Würfel darstellen möchte?

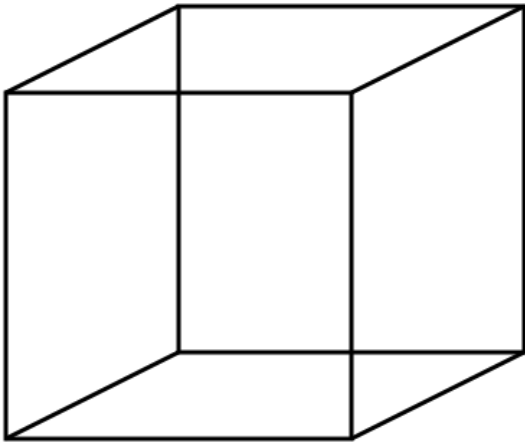
Ein Braunkohlebrikett wiegt etwa 580 g und enthält etwa 70% Kohlenstoff.

	<p><b>Braunkohlebrikett und CO<sub>2</sub></b></p> <p>Rechnung:</p> <p>580g Braunkohle x 0,7 = 406g Kohlenstoff (C)</p> <p>406g C + 406g x 2,67 O<sub>2</sub> ≈ 1490 g CO<sub>2</sub></p>
--	---

Ein Kubikmeter CO<sub>2</sub> wiegt etwa 2 Kilogramm.

Die Seitenlänge des Würfels ist die dritte Wurzel aus dem Volumen (Länge x Breite x Höhe)

Wie groß ist der zu einem Brikett passende CO<sub>2</sub>-Würfel?

	<p><b>CO<sub>2</sub>-Würfel</b></p> <p>Rechnung:</p> $\frac{1490}{2000} = 0,745\text{m}^3$ $\sqrt[3]{0,745\text{m}^3} = 0,91\text{m}$
---	---

\*) 1 Mol C = 12 g, 1 Mol O<sub>2</sub> = 32 g, 12/32 = 1/2,67

## Braunkohle und CO<sub>2</sub>-Emission

Wenn 100 Gramm Kohlenstoff (C) verbrennt, verbindet es sich mit etwa 267 Gramm Sauerstoff (O<sub>2</sub>)\*.

- Wie viel Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) entsteht bei der Verbrennung eines Braunkohlenbriketts?
- Wie groß ist das CO<sub>2</sub>-Volumen, das durch ein Brikett entsteht?
- Wie groß wäre das Volumen, wenn man es als Würfel darstellen möchte?

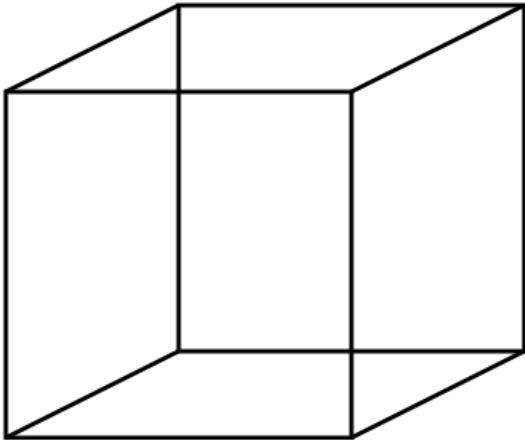
Ein Braunkohlebrikett wiegt etwa 580 g und enthält etwa 70% Kohlenstoff.

	<p>Braunkohlebrikett und CO<sub>2</sub></p> <p>Rechnung:</p>
--	--

Ein Kubikmeter CO<sub>2</sub> wiegt etwa 2 Kilogramm.

Die Seitenlänge des Würfels ist die dritte Wurzel aus dem Volumen (Länge x Breite x Höhe)

Wie groß ist der zu einem Brikett passende CO<sub>2</sub>-Würfel?

	<p>CO<sub>2</sub>-Würfel</p> <p>Rechnung:</p>
---	---

\*) 1 Mol C = 12 g, 1 Mol O<sub>2</sub> = 32 g, 12/32 = 1/2,67

Wie viele Brikett-Äquivalente verbrauchst du täglich?

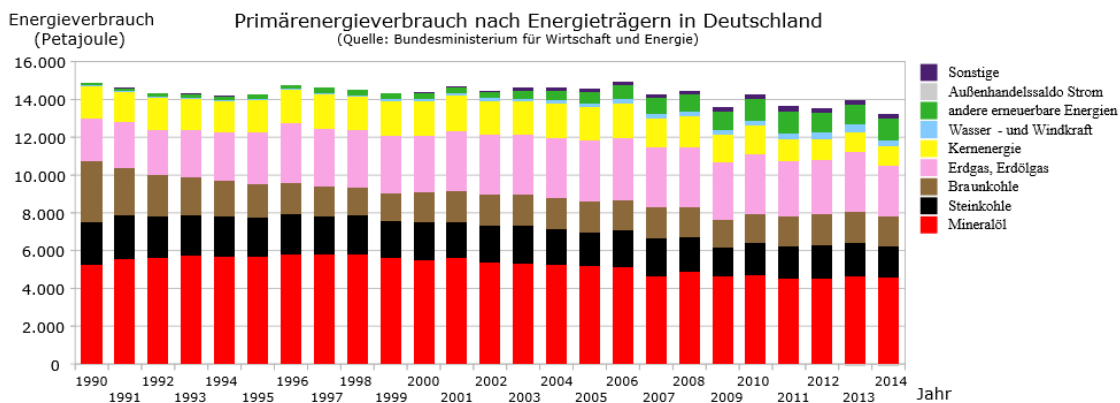


# Primärenergieverbrauch in Braunkohle-Äquivalenten

Wie viele Braunkohlebriketts decken unseren persönlichen Primärenergiebedarf?

Unter "Primärenergiebedarf" versteht man alle Energieformen und -beträge die wir in einem bestimmten Zeitraum (Jahr, Monat, Tag, Stunde...) in Anspruch nehmen.

Dazu gehören z.B. Auto-/Bahnfahren, Produktion und Transport von Waren, Heizung, Strom



Der Primärenergieverbrauch betrug in Deutschland (2014) 13132 Petajoule

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Arbeitsgemeinschaften Energiebilanzen (AGEB), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AEE-Stat)

Die Vorsilbe "Peta" bedeutet eine Billiarde ( $10^{15}$ ).

Geteilt durch etwa 80 Millionen Einwohner in Deutschland ergibt sich ein Primärenergieverbrauch pro Kopf der Wohnbevölkerung von

$$\frac{13132 \cdot 10^{15} \text{ J}}{80 \cdot 10^6} \approx 164 \cdot 10^9 \text{ J} = 164 \text{ Gigajoule pro Einwohner}$$

Der Heizwert eines Braunkohlebriketts beträgt etwa  $19,6 \text{ MJ/kg} = 19,6 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$

Ein Braunkohlebrikett wiegt durchschnittlich  $0,580 \text{ kg}$  und enthält damit etwa  $11,4 \text{ MJ}$  Energie.

- Wie vielen Braunkohlebriketts entspricht dein täglicher Primärenergiebedarf?

$$\frac{164 \cdot 10^9 \text{ J}}{11,4 \cdot 10^6 \cdot 365 \text{ d}} \approx 40 \text{ Briketts}$$

- Wie viel  $\text{CO}_2$  würde täglich pro Einwohner entstehen, wenn unser Energiebedarf ausschließlich aus Braunkohle gedeckt würde?

- $40 \text{ Briketts} \cdot 0,745 \text{ m}^3 \approx 29,4 \text{ m}^3$

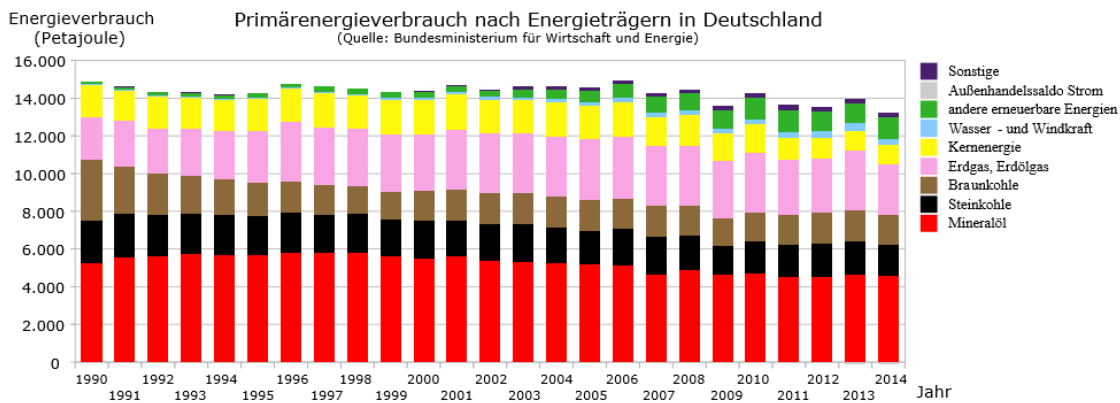
Das entspricht einem Würfel von etwa  $3,08$  Metern Seitenlänge (Kubikwurzel des Volumens)

# Primärenergieverbrauch in Braunkohle-Äquivalenten

Wie viele Braunkohlebriketts decken unseren persönlichen Primärenergiebedarf?

Unter "Primärenergiebedarf" versteht man alle Energieformen und -beträge die wir in einem bestimmten Zeitraum (Jahr, Monat, Tag, Stunde...) in Anspruch nehmen.

Dazu gehören z.B. Auto-/Bahnfahrten, Produktion und Transport von Waren, Heizung, Strom



## Der Primärenergieverbrauch betrug in Deutschland (2014) 13132 Petajoule

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Arbeitsgemeinschaften Energiebilanzen (AGEB), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AEE-Stat)

Die Vorsilbe "Peta" bedeutet eine Billiarde ( $10^{15}$ ).

Geteilt durch etwa 80 Millionen Einwohner in Deutschland ergibt sich ein Primärenergieverbrauch pro Kopf der Wohnbevölkerung von

Der Heizwert eines Braunkohlebriketts beträgt etwa  $19,6 \text{ MJ/kg} = 19,6 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$

Ein Braunkohlebrikett wiegt durchschnittlich 0,580kg und enthält damit etwa 11,4MJ Energie.

- Wie vielen Braunkohlebriketts entspricht dein täglicher Primärenergiebedarf?

- Wie viel  $\text{CO}_2$  würde täglich pro Einwohner entstehen, wenn unser Energiebedarf ausschließlich aus Braunkohle gedeckt würde?

Das entspricht einem Würfel von etwa \_\_\_\_ Metern Seitenlänge (Kubikwurzel des Volumens)

# Rechnung unter Berücksichtigung der erneuerbaren Energiequellen und der Kernenergie

11,3% des deutschen Primärenergiebedarfs wurde 2014 durch erneuerbare, also prinzipiell CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequellen gedeckt. Hinzuzufügen sind 8,1% der durch Kernkraftwerke bereitgestellten Energie.

Von den 40 "Brikett-Äquivalenten" sind daher etwa 19,4%, also etwa 8 abzuziehen. Das reduziert das CO<sub>2</sub>-Volumen auf etwa 23,7m<sup>3</sup> was einem Würfel von 2,87m oder einer Kugel von 3,56m Durchmesser entspricht.

## Stöchiometrische Rechnung:

1 mol Kohlenstoff = 12 g

Braunkohlebriketts ca. 70% Kohlenstoffgehalt

Brikett Steingewicht 0,580 kg

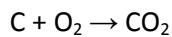
1 Brikett enthält demnach 0,580g x 0,7 ≈ 406 g C

406 g C entspricht 406 g/12g ≈ 34 mol

1 mol Sauerstoff (O) = 16 g

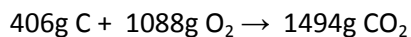
1 Mol Sauerstoff (O<sub>2</sub>) = 32 g

34 mol Sauerstoff (O<sub>2</sub>) = 1088 g



34 mol Kohlenstoff (C) = 406 g

34 mol Sauerstoff (O<sub>2</sub>) = 1088 g



Bei der Verbrennung von 1 Brikett Braunkohle entsteht etwa 1500g CO<sub>2</sub>

## CO<sub>2</sub>-Volumen als Kugel:

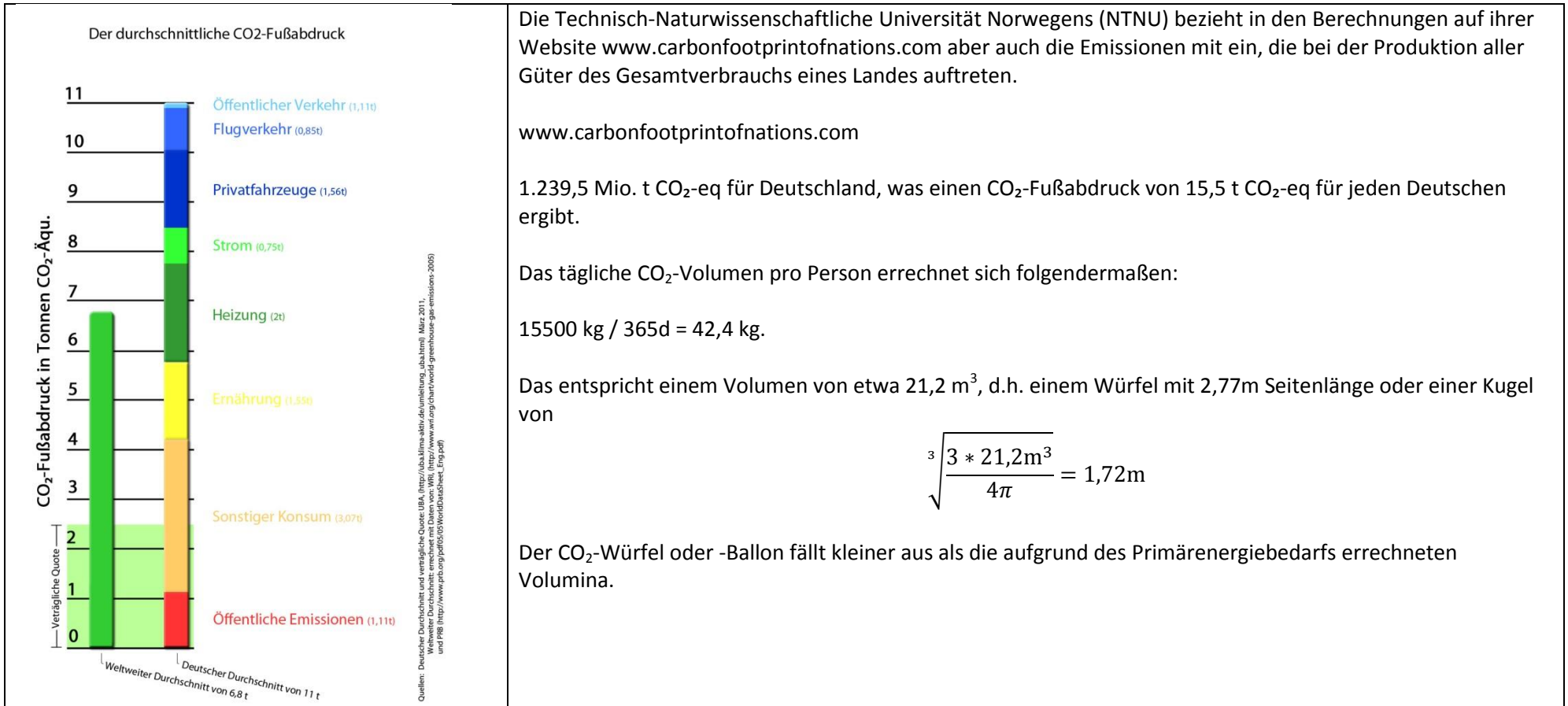
Für diejenigen, die das Volumen als Kugel (z.B. Ballon) darstellen möchten:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 29,4\text{m}^3}{4\pi}} = 1,91\text{m}$$

Der Ballon hätte also einen Durchmesser von etwa 3,83 Metern!



## CO<sub>2</sub>-Fußabdruck pro Person in Deutschland



Die Technisch-Naturwissenschaftliche Universität Norwegens (NTNU) bezieht in den Berechnungen auf ihrer Website [www.carbonfootprintofnations.com](http://www.carbonfootprintofnations.com) aber auch die Emissionen mit ein, die bei der Produktion aller Güter des Gesamtverbrauchs eines Landes auftreten.

[www.carbonfootprintofnations.com](http://www.carbonfootprintofnations.com)

1.239,5 Mio. t CO<sub>2</sub>-eq für Deutschland, was einen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von 15,5 t CO<sub>2</sub>-eq für jeden Deutschen ergibt.

Das tägliche CO<sub>2</sub>-Volumen pro Person errechnet sich folgendermaßen:

15500 kg / 365d = 42,4 kg.

Das entspricht einem Volumen von etwa 21,2 m<sup>3</sup>, d.h. einem Würfel mit 2,77m Seitenlänge oder einer Kugel von

$$\sqrt[3]{\frac{3 * 21,2\text{m}^3}{4\pi}} = 1,72\text{m}$$

Der CO<sub>2</sub>-Würfel oder -Ballon fällt kleiner aus als die aufgrund des Primärenergiebedarfs errechneten Volumina.

Im CO<sub>2</sub>-Fußabdruck jedes Einzelnen müssten, über den Primärenergiebedarf (z.B. Deutschland) hinaus, alle energieverbrauchenden Prozesse und Aktivitäten enthalten sein die außerhalb des Bezugsgebiets wirksam werden. Und natürlich muss auch hier der Primärenergieverbrauch die Basis sein.

Beispiele sind: Erzeugung/Transport importierter Nahrungsmittel/ Konsumartikel, Reisen außerhalb Deutschlands.