

# Klimazahl am Freitag Folge 4

**6.000 km**

Thomas Hagemann, 24.02.2023

# CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung

In Folge 3 haben wir gesehen, dass die Menschheit jährlich 40 Gt CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre bläst, also 5 t pro Kopf der Erdbevölkerung.

Das sind täglich immerhin fast 14 kg pro Kopf der Erdbevölkerung.

Wo kommt das alles her?

**Das meiste kommt aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe.**

# Eine Quelle: der Autoverkehr

1.2 Direct Injection Turbo, 74 kW (101  
Benzin | Automatik  
Ab 24.540 € inkl. MwSt. \*

Antrieb

**Benzin**

Getriebe

**Automatik**

Max.

Leistung

**74 kW**

CO2 Emission nach WLTP, kombiniert

**122 g/km**

Kraftstoffverbrauch nach WLTP, kombiniert

**5.4 l/100km**

> **Mehr Details...**

**Weiter**

Links die  
Emissionswerte  
eines beliebten  
deutschen  
Kleinwagens.

122 g – klingt  
wenig, oder?

# Warum pro Kilometer?

Was zunächst auffällt:

Die Emissionswerte werden pro Kilometer angegeben, während der Verbrauch pro 100 km angegeben wird.

**Wieso ist das überhaupt zulässig?**

Klarer wäre doch folgende Angabe:

CO<sub>2</sub>-Emission nach WLTP, kombiniert  
**12,2 kg/100km**

Kraftstoffverbrauch nach WLTP, kombiniert  
5.4 l/100km

## Mehr CO<sub>2</sub> als Benzin?

12,2 kg klingt nun gar nicht mehr so wenig.

Das heißt: Aus 5,4 l Benzin, die dieser Wagen nach dem normierten Messverfahren auf 100 km verbraucht, werden (unter anderem!) 12,2 kg CO<sub>2</sub>.

**Damit kommt aus dem Auspuff ja mehr heraus, als man vorher in den Benzintank eingefüllt hat!**

Wie kann das sein?

# Zusammensetzung von Motorenbenzin

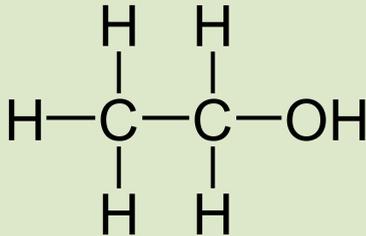
Motorenbenzin ist kein einheitlicher Stoff, sondern eine bunte Mischung verschiedener **Kohlenwasserstoffe**.

Hinzu kommen **Additive**, von der jeweiligen Marke abhängen. Sie sollen z. B. vor Korrosion oder Ablagerungen schützen.

Da Benzin kein einheitlicher Stoff ist, ist auch die Verbrennung nicht einheitlich.

Aber sehen wir uns einen Bestandteil an, den wir alle kennen: **Ethanol**. Alkohol.

# Verbrennung von Ethanol



**Ethanol** hat die  
Summenformel:  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ .

Bei der Verbrennung  
reagiert es mit dem  
**Sauerstoff**:  $\text{O}_2$ .

Als Verbrennungsprodukt entsteht  
neben  $\text{CO}_2$  noch **Wasser**:  $\text{H}_2\text{O}$ .

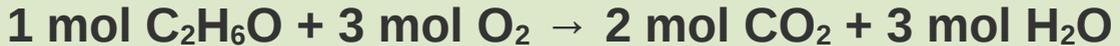
Die Reaktionsgleichung ist also:



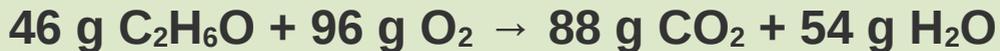
Rechnen Sie bitte nach: Links und rechts  
steht jeweils dieselbe Anzahl von Atomen.

# Verbrennung von Ethanol

Das heißt: Ein Ethanol-Molekül und drei Sauerstoff-Moleküle reagieren zu zwei Kohlendioxid-Molekülen und drei Wassermolekülen. Als Stoffmenge:



Bezogen auf die Masse:



Von den 142 g, die an der Verbrennung beteiligt sind, steuert das Ethanol also nur ein knappes Drittel bei.

# Verbrennung von Benzin

Nun besteht das Benzin nicht nur aus Ethanol. Ethanol wird zwar als **Bioethanol** beigemischt, hat aber einen Anteil von weniger als 10 %.

Wenn **Benzin** idealtypisch verbrannt wird, sieht die Mengengleichung etwa so aus:

**1 kg Benzin + 3,4 kg Sauerstoff**  
→ **3,2 kg Kohlendioxid + 1,2 kg Wasser.**

Hier entsteht also etwa 3,2 Mal so viel CO<sub>2</sub>, wie man als Benzin verbrannt hat.

## Was heißt das pro Liter?

Nun messen wir Benzin üblicherweise nicht in Kilogramm, sondern in Litern.

Ein Liter entspricht ungefähr 0,75 kg.

Durch Dreisatz ergibt sich also aus der obigen Gleichung: Bei der **Verbrennung von 1 l Benzin** werden 2,5 kg Sauerstoff verbraucht und es **entstehen 2,4 kg CO<sub>2</sub>** und 0,9 kg Wasserdampf.

Das sind idealisierte Werte. Die Anzeige vorne nimmt offenbar weniger als 2,3 kg CO<sub>2</sub> pro Liter Benzin an.

# Was heißt das pro Liter?

Die Dichte von Sauerstoff beträgt  $1,4 \text{ kg/m}^3$ , die von  $\text{CO}_2$  etwa  $2,0 \text{ kg/m}^3$ .

Das heißt:

Aus **1 l Benzin** und  **$1,8 \text{ m}^3$  Sauerstoff**  
werden

knapp **1 l Wasser** und  **$1,2 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$** .

Das ist alles etwas vereinfacht. Die Dichte hängt von Temperatur und Luftdruck ab, und die Luftfeuchtigkeit haben wir komplett unberücksichtigt gelassen.

## Was heißt das für die Luft?

Nehmen wir an, dass wir ein Auto eine Stunde lang in einem **geschlossenen Raum** laufen lassen und dabei genau **ein Liter Benzin** verbrannt wird.

Der Raum hat eine Fläche von  $40 \text{ m}^2$  und eine Deckenhöhe von  $2,5 \text{ m}$ . Er enthält also  **$100 \text{ m}^3$  Luft**.



# Zusammensetzung der Luft

In diesem Raum sind somit etwa 130 kg Luft. Darin befinden sich ungefähr:

**Sauerstoff: 30 kg**

**CO<sub>2</sub>: 75 g**

Bei der Verbrennung von 1 l Benzin werden 2,5 kg Sauerstoff verbraucht und 2,4 kg CO<sub>2</sub> freigesetzt. Nach einer Stunde mit laufendem Motor sieht das Bild also wie folgt aus:

**Sauerstoff: 27,5 kg**

**CO<sub>2</sub>: 2,5 kg**

## Was heißt das für die Luft?

**Der Sauerstoffgehalt im Raum ist also (nur) um ein Zwölftel zurückgegangen, aber der CO<sub>2</sub>-Gehalt hat sich mehr als verdreißigfach!**

Auch hier wieder stark vereinfacht. Während der Motor läuft, verändert sich die Zusammensetzung der Luft, insbesondere auch die Luftfeuchtigkeit und der Luftdruck. Das alles hat Auswirkungen auf die Verbrennung.

## Eine Tonne CO<sub>2</sub>

Kommen wir zurück auf unseren Kleinwagen, der lt. Verkaufsangaben 5,4 l Benzin pro 100 km verbraucht und 122 g CO<sub>2</sub> pro Kilometer ausstößt. Das macht auf einer Strecke von 8.200 km eine Tonne CO<sub>2</sub>.

Lt. Umweltbundesamt liegt der Durchschnittsverbrauch eines Autos in Deutschland aber bei 7,4 l pro 100 km.

## Eine Tonne CO<sub>2</sub>

Mit diesem Durchschnittsverbrauch von 7,4 l pro 100 km ist die Tonne CO<sub>2</sub> bereits nach 6.000 km erreicht.

Und das ist die Klimazahl des heutigen Freitags.

Wenn Sie allerdings gerne mit Ihrem SUV mit hohem Tempo über die Autobahn fahren, schaffen Sie eine Tonne CO<sub>2</sub> vielleicht auch schon nach 2.000 km.

(Sie ahnen schon, ich bin für ein Tempolimit.)

# Andere Verbrennungsprodukte

Die Verbrennungsgleichung von oben ist allerdings ein Idealzustand.

Tatsächlich entsteht noch vieles mehr, beispielsweise Kohlenmonoxid (CO) oder verschiedene Stickoxide ( $\text{N}_2\text{O}$ , NO,  $\text{NO}_2$ ). Auch nicht verbrannte Kohlenwasserstoffe und weiterer Unrat verlassen den Auspuff.

## Nur ein Teil der Klimabilanz

Hinzu kommt, dass mit dem CO<sub>2</sub>-Ausstoß noch nicht die gesamte Klimawirkung des Autofahrens erfasst ist.

Neben CO<sub>2</sub> werden beim Autofahren weitere Treibhausgase emittiert, und auch bei der Herstellung des Benzins entstehen CO<sub>2</sub> und andere Treibhausgase.

Und schließlich müsste man auch noch die Herstellung des Autos, den Bau von Straßen und Parkplätzen etc. einrechnen.

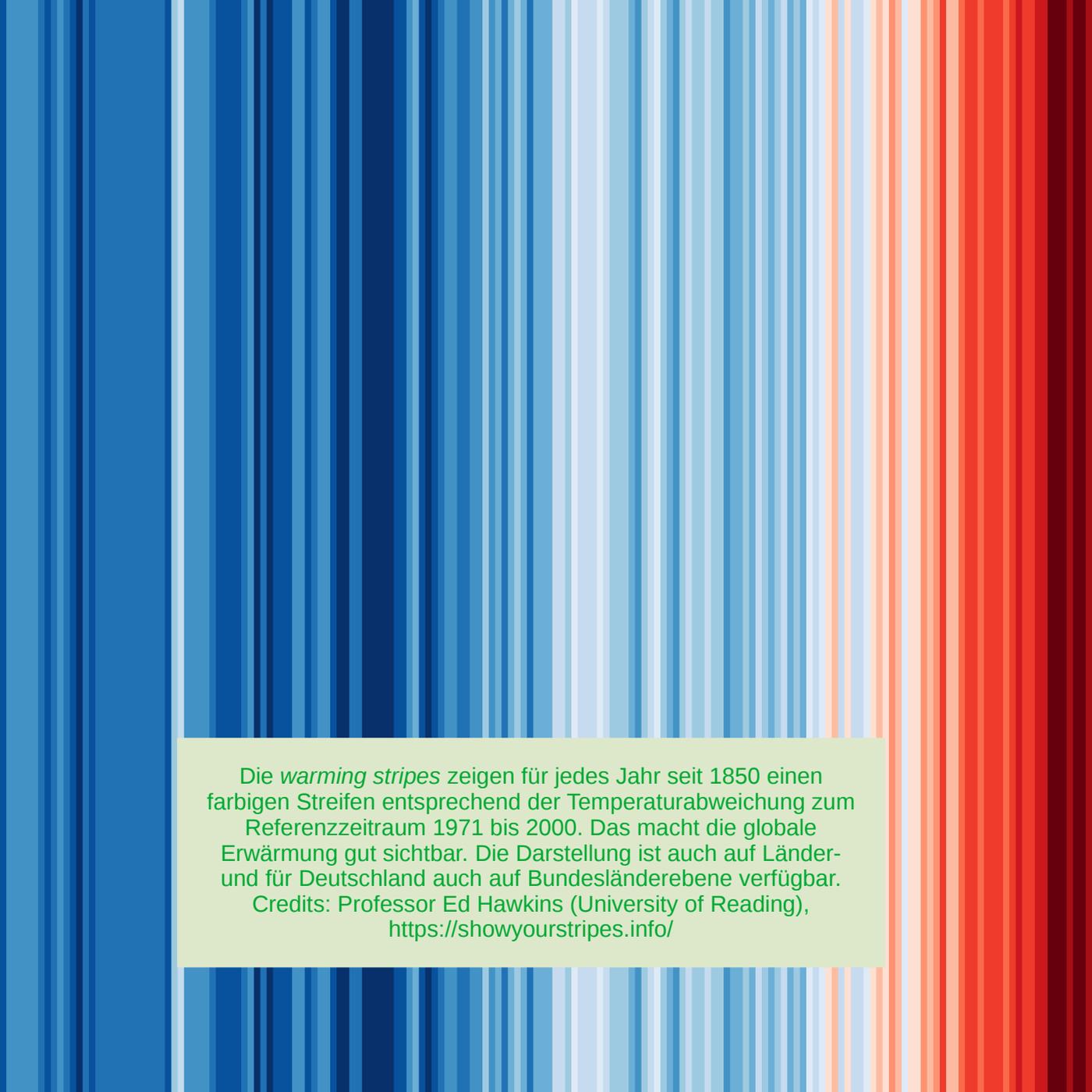
# Klimazahlen am Freitag

Das war die Folge 4 der Klimazahl am Freitag. Bisher erschienen:

Folge 1, 13.01.2023: 420 ppm  
CO<sub>2</sub>-Anteil an der Luft (= 0,042 %)

Folge 2, 27.01.2023: 3.000 Gt  
CO<sub>2</sub>-Gesamtmenge in der Erdatmosphäre (= 3.000 Mrd. t)

Folge 3, 10.02.2023: 40 Gt  
Jährliche CO<sub>2</sub>-Emission der Weltbevölkerung (= 40 Mrd. t)



Die *warming stripes* zeigen für jedes Jahr seit 1850 einen farbigen Streifen entsprechend der Temperaturabweichung zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000. Das macht die globale Erwärmung gut sichtbar. Die Darstellung ist auch auf Länder- und für Deutschland auch auf Bundesländerebene verfügbar.  
Credits: Professor Ed Hawkins (University of Reading), <https://showyourstripes.info/>