

# The averaging bias – eine Kurzerklärung oder fragen Sie Ihren Steuerberater ...

Die Präsentation ist online verfügbar: [www.ifkm.kit.edu](http://www.ifkm.kit.edu)

Thomas Koch

Karlsruhe, November 2021

Received: 28 May 2021 | Revised: 15 June 2021 | Accepted: 21 June 2021

DOI: 10.1002/zamm.202100205

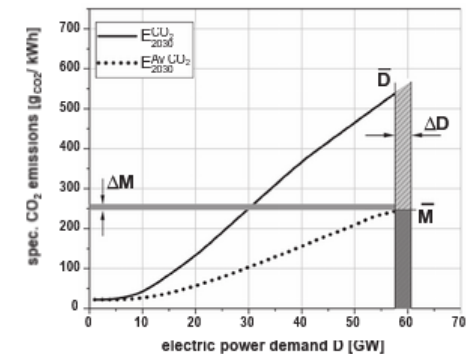
EDITOR'S CHOICE



**The averaging bias - A standard miscalculation, which  
extensively underestimates real CO<sub>2</sub> emissions**

Thomas Koch<sup>1</sup> | Thomas Böhlke<sup>2</sup>

FIGURE 6 Graphical illustration of Equations (50) and (51) Please note that the depicted areas represent  $\bar{M}(\bar{D})\Delta D$  and  $\bar{D}\Delta M(D, \Delta D)$



# Motivation (Beispiel)

Und wie viel CO<sub>2</sub> sparte das ein? Das kommt dann vor allem auf den Strommix an, mit dem man diese E-Autos lädt. Geht man davon aus, dass Elektroautos übers Jahr gesehen ungefähr den Durchschnittstrom laden, ist ihr indirekter Klimafußabdruck leicht zu errechnen: Man benötigt ihren Verbrauch (in kWh pro Kilometer), und die Menge an CO<sub>2</sub>, die im Jahresmittel mit dem deutschen Kraftwerkspark pro kWh anfällt.

Im Kraftwerkspark gibt es Wind- und Fotovoltaikanlagen sowie Wasserkraft, Atomkraft und Biogas, also CO<sub>2</sub>-arme Erzeuger, ebenso wie Öl-, Gas- und Kohlekraftwerke. 2020 entstanden im Mittel laut vorläufigen Daten des Umweltbundesamts **366 Gramm pro Kilowattstunde deutschen Stroms**, immerhin 400 Gramm oder 52 Prozent weniger als noch 1990. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch der E-Autos auf 100 Kilometer von **18 kWh** macht das rund **66 Gramm CO<sub>2</sub> je Kilometer** oder 6,6 Kilogramm auf 100 Kilometer.

Source: typical calculation with simplified approach

$$\text{Anstieg CO}_{2e} [\text{g/h}] = M \cdot \Delta D$$

$$66 [\text{g/km}] = 366 [\text{g/kWh}] \cdot 18 [\text{kWh/100km}]$$

Dieser unzulässig vereinfachte Ansatz  $M \cdot \Delta D$  unterschätzt die realen CO<sub>2e</sub> Mehremissionen deutlich. Er ist falsch.

Received: 28 May 2021 | Revised: 15 June 2021 | Accepted: 21 June 2021  
 DOI: 10.1002/zamm.202100205

EDITOR'S CHOICE



## The averaging bias - A standard miscalculation, which extensively underestimates real CO<sub>2</sub> emissions

Thomas Koch<sup>1</sup> | Thomas Böhlke<sup>2</sup>

### Vereinfachte Formel (unterschätzt reale CO<sub>2</sub>-Mehremissionen)

An example for such a simplified formula to analyze the additional CO<sub>2</sub> emissions per time interval  $\Delta F(\bar{D}, \Delta D)$  caused by additional electric power  $\Delta D$  (unit: Watt) is the direct utilization of the average CO<sub>2</sub> emission footprint  $M(\bar{D})$  (unit g·h<sup>-1</sup>/kWh) for a given average electricity demand  $\bar{D}$  of the electricity sector by the equation

$$\Delta F(\bar{D}, \Delta D) \approx M(\bar{D})\Delta D, \quad (49)$$

$$\Delta F \text{ Anstieg von CO}_{2e} [\text{g/h}] = M \cdot \Delta D$$

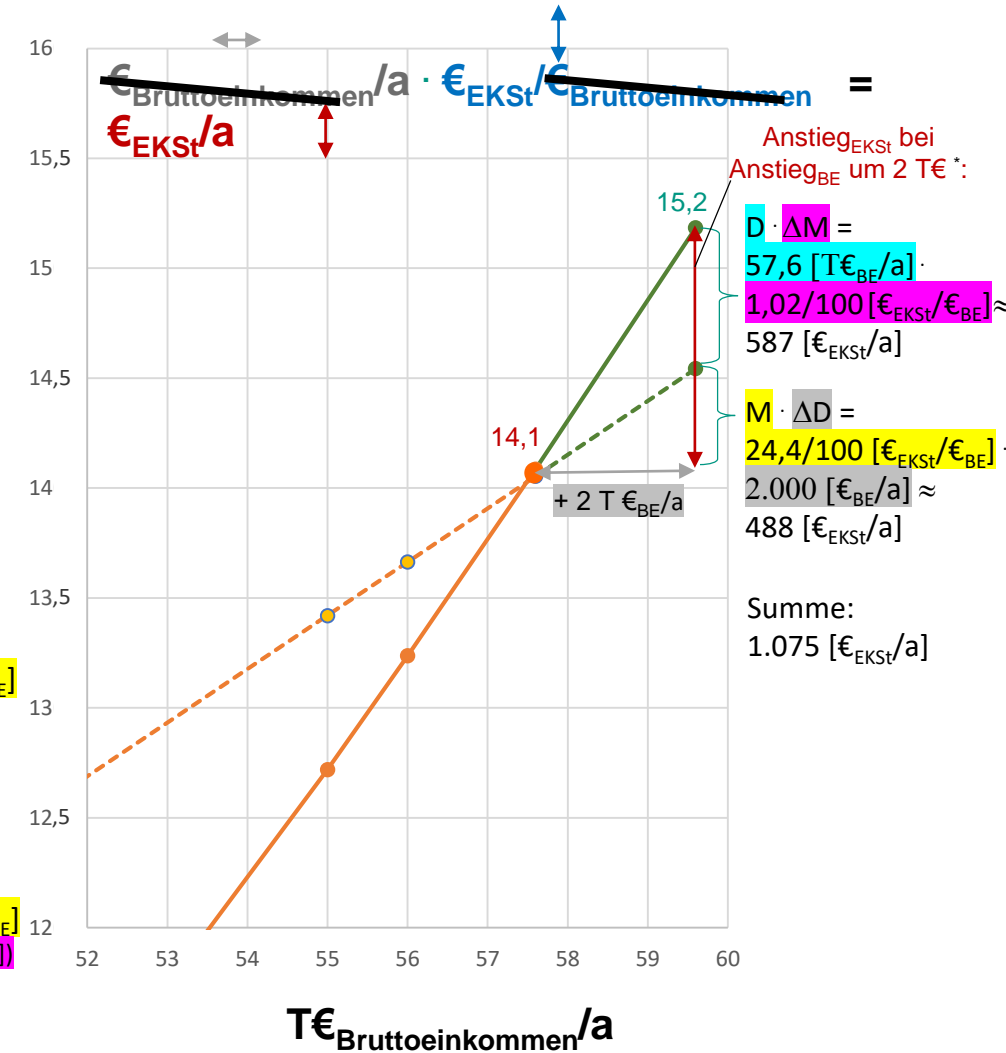
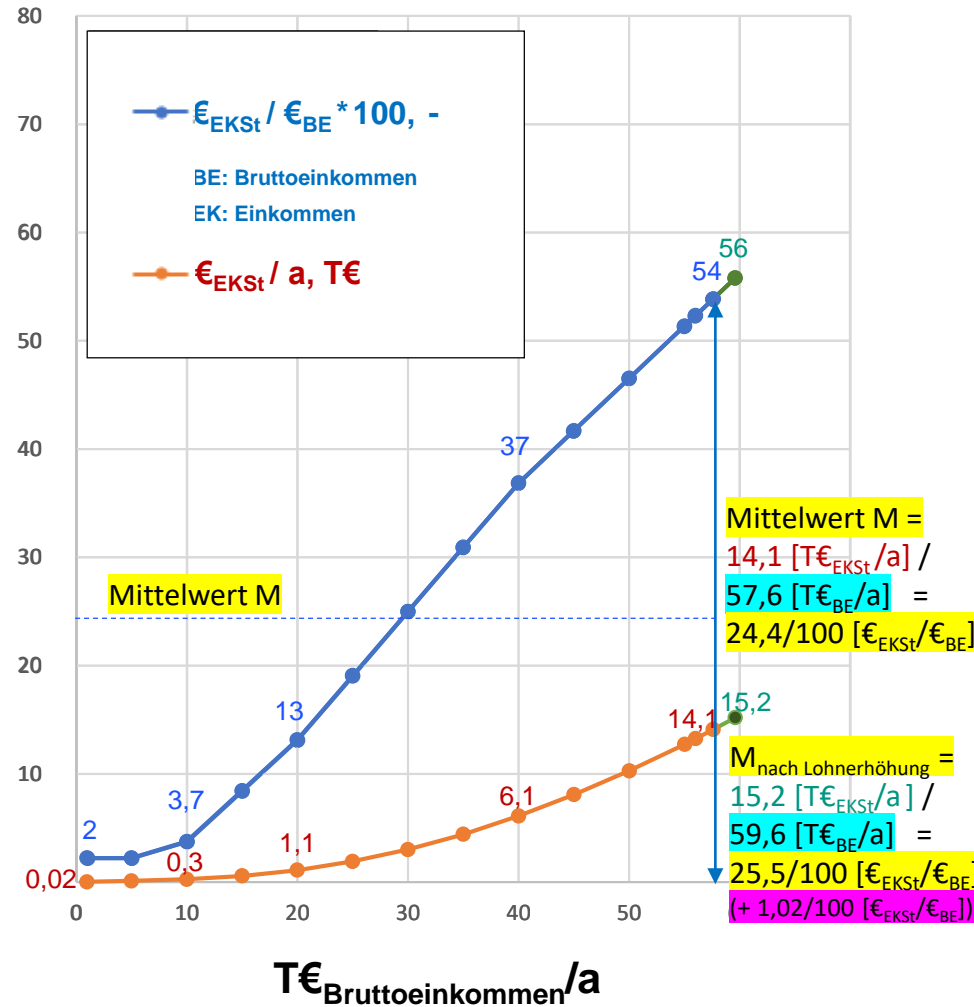
### Exakte Formel

By applying the fundamental theorem of differential and integral calculation of Leibniz of the 17<sup>th</sup> century, the general and exact formula can be written as follows (see Equations (36) and (38))

$$\Delta F(\bar{D}, \Delta D) = \bar{D}\Delta M(\bar{D}, \Delta D) + \Delta DM(\bar{D} + \Delta D). \quad (51)$$

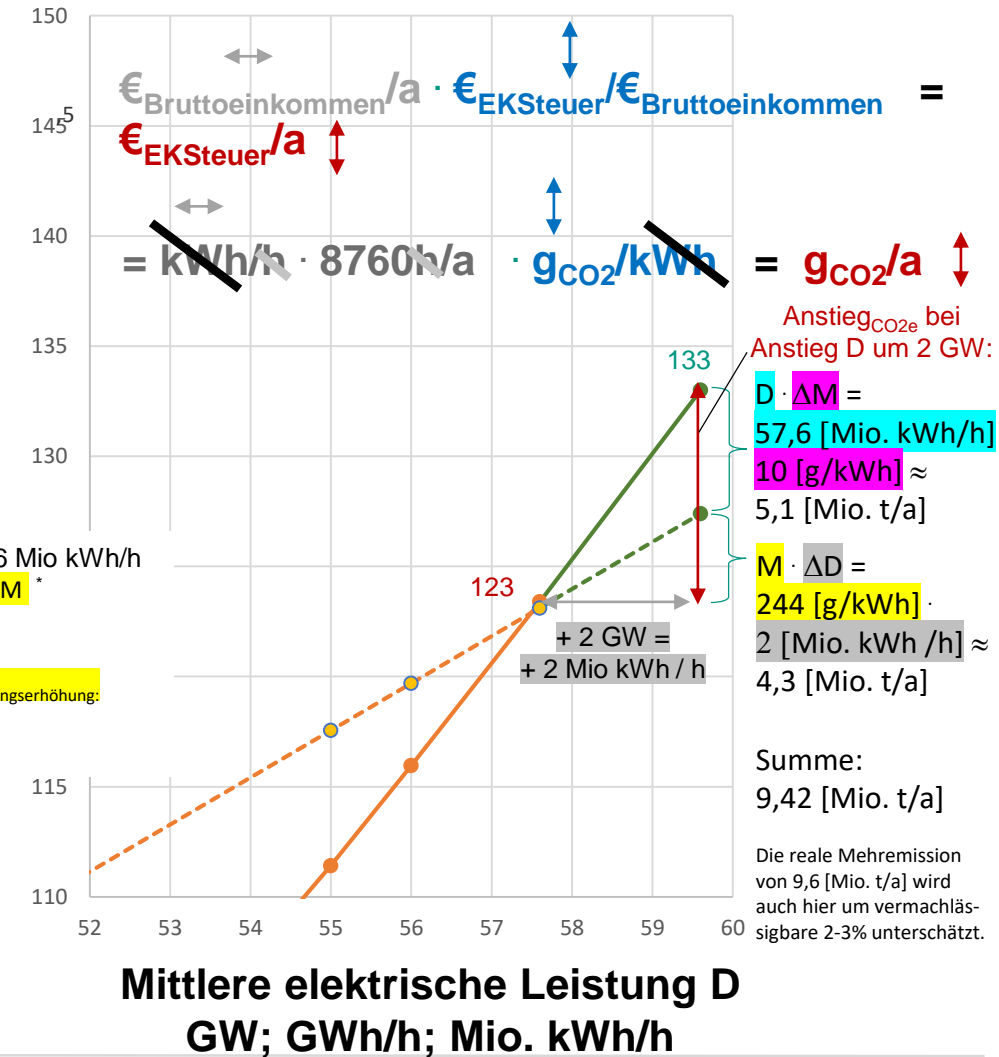
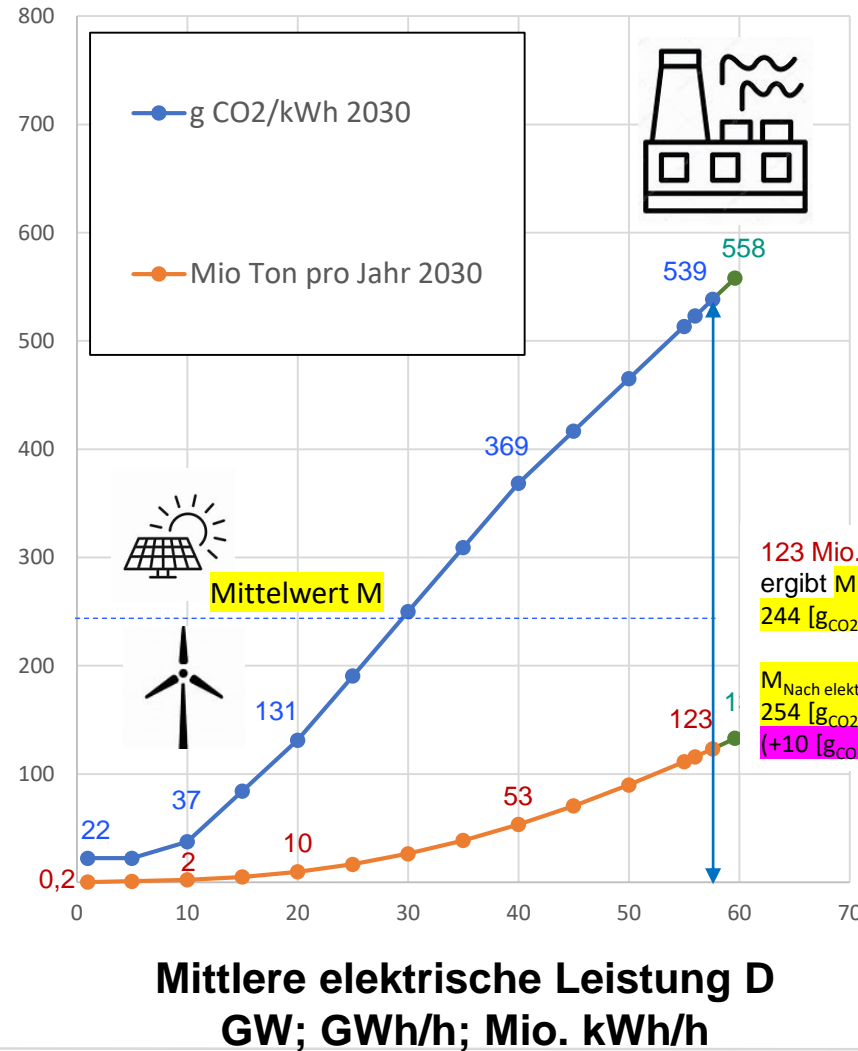
$$\Delta F \text{ Anstieg von CO}_{2e} [\text{g/h}] = \bar{D} \cdot \Delta M + M \cdot \Delta D$$

# Erläuterung des Durchschnittsfehlers



• Selbst der hier gezeigte Ansatz  $M \cdot \Delta D + D \cdot \Delta M$  unterschätzt noch die Steuer von 1097 € geringfügig. Dies wird noch genauer in der erweiterten Präsentation (<https://www.ifkm.kit.edu/152.php#block1961>, S.15 negligible error) gezeigt und hängt damit zusammen, dass Steuersatz und Einkommen weiter steigen, was bei  $M$  und  $D$  berücksichtigt werden muss. Dieses mathematische Detail ist jedoch für das generelle Verständnis des „averaging bias“ von absolut untergeordneter Bedeutung.

# Erläuterung des Durchschnittsfehlers



\* Bei der Umrechnung von 123 Mio t CO<sub>2</sub>/a auf den Mittelwert von 244 g<sub>CO2</sub>/kWh sind 8.760 h/a zu berücksichtigen.

# Zusammenfassung

## Vereinfachte Formel (unterschätzt reale CO<sub>2</sub>-Mehremissions)

An example for such a simplified formula to analyze the additional CO<sub>2</sub> emissions per time interval  $\Delta F(\bar{D}, \Delta D)$  caused by additional electric power  $\Delta D$  (unit: Watt) is the direct utilization of the average CO<sub>2</sub> emission footprint  $M(D)$  (unit: gCO<sub>2</sub>/kWh) for a given average electricity demand  $\bar{D}$  of the electricity sector by the equation

$$\Delta F(D, \Delta D) \approx M(D)\Delta D, \quad (49)$$

$$\Delta F \text{ Anstieg von CO}_{2e} \text{ [g/h]} = M \cdot \Delta D$$

## Exakte Formel

By applying the fundamental theorem of differential and integral calculation of Leibniz of the 17<sup>th</sup> century, the general and exact formula can be written as follows (see Equations (36) and (38))

$$\Delta F(D, \Delta D) = \bar{D}\Delta M(\bar{D}, \Delta D) + \Delta DM(\bar{D} + \Delta D). \quad (51)$$

$$\Delta F \text{ Anstieg von CO}_{2e} \text{ [g/h]} = \bar{D} \cdot \Delta M + M \cdot \Delta D$$

Mit der vereinfachten, häufig angewendeten Kurzbestimmung  $M \cdot \Delta D$  zur Analyse der CO<sub>2e</sub> Mehremissionen durch zusätzliche elektrische Verbraucher werden die realen CO<sub>2e</sub> Mehremissionen deutlich und fehlerhaft unterschätzt! Diese CO<sub>2e</sub> Mehremissionen sind in Deutschland circa 2,1 mal höher als mit ( $M \cdot \Delta D$ ) berechnet! Fragen Sie Ihren Steuerberater!

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Weitere Informationen unter  
<https://www.ifkm.kit.edu/152.php#block1961>

## Overview

- 1 Introduction and motivation
- 2 Averaging bias
- 3 Criticism 1: „M:ΔD is standard“
- 4 Criticism 2: „additional consumer“
- 5 Criticism 3: „modern electric systems“
- 6 Criticism 4: „energy dedicated only to electric vehicles“
- 7 Criticism 5: „energy or power“
- 8 Summary

9 November 2021 Averaging bias – eine Kurzerklärung

