

# CO<sub>2</sub>-Berechnung in der Praxis – Die Tücken liegen im Detail –

Prof. Dr. Matthias Klumpp,  
FOM ild

Dipl.-Kfm. (FH) Christian Wick,  
FOM ild Research Fellow

FOM First Tuesday Logistik:  
„CO<sub>2</sub>-Berechnung in der Praxis“

Duisburg, 07.12.2010



1. Einführende Überlegungen
2. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck
3. Kalkulationsmodell zur prozessorientierten Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks
4. Fallstudie: CO<sub>2</sub>e-Emissionskalkulation in Last-Mile-Verteilerverkehren
5. Fazit und Ausblick

# 1. Einführende Überlegungen

– Marktsituation und Handlungsbedarf –

- steigende Bedeutung ‚grüner Geschäftsstrategien‘
- arbeitsteiliges Wirtschaften erfordert die Planung, Steuerung und Kontrolle wertschöpfungskettenweiter Aktivitäten und Prozesse, so auch im Rahmen der Abschätzung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen in Bezug auf die Umwelt (‚SCM‘ = Supply Chain Management)
- Produkte/Dienstleistungen (DL) resultieren aus unternehmerischem Handeln und lassen sich als Träger/Verursacher umweltschädigender Aktivitäten und Prozesse einstufen (‚PLZ‘ = Produktlebenszyklus)
- u.a. Bedarf **standardisierter** und **allgemein anerkannter** Kalkulationsmethoden von CO<sub>2</sub>-Fußabdrücken zur Abbildung Produkt-/DL-bezogener Klimabeeinflussungen
  - ➔ mathematische Richtlinien zur CO<sub>2</sub>-Fußabdruck-Berechnung (Theorie vs. Praxis)

- ➔ Wie lassen sich Umweltauswirkungen einzelner Produkte/Dienstleistungen hinsichtlich ihrer gesamten Treibhausgasemissionen (THG) **quantitativ** abbilden?
  - ➔ Entwicklung realistischer, effektiver und effizienter Kalkulationswerkzeuge

# 1. Einführende Überlegungen

– Statements CO<sub>2</sub>-Fußabdruck –

„Eine einheitliche Methodik sowie einheitliche Datenbanken, auf denen die Berechnung des CFP basieren, existieren derzeit aber noch nicht“ [1]

„Jeder berechnet die CO<sub>2</sub>-Bilanz anders, frag' ich fünf Berater, bekomme ich fünf Zahlen“ [2]

„Natürlich gibt es die Gefahr des Greenwashings“ [3]



Quellen (Stand: 01.10.2010):

[1] DQS GmbH: <https://de.dqs-ul.com/zertifizierung/umweltmanagement/cosub2sub-footprint.html>

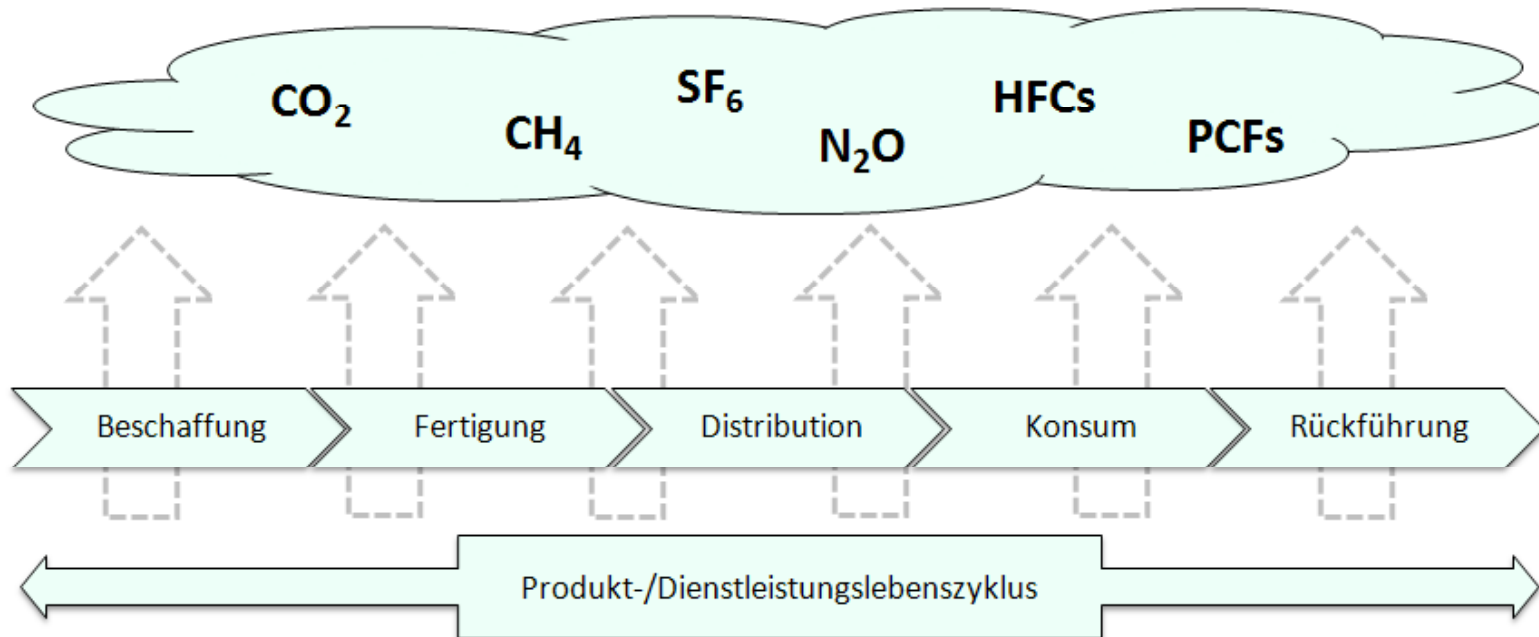
[2] Brujin, P.: <http://www.zeit.de/wirtschaft/2010-03/co2-fussabdruck>

[3] Spielmann, M.: <http://www.zeit.de/wirtschaft/2010-03/co2-fussabdruck>

- keine einheitliche Definition in Theorie und Praxis
- Instrument zur Bestimmung der THG-Emissionen entlang der gesamten Supply Chain („von der Wiege bis zur Bahre“)
- Produkt/DL-bezogener CO<sub>2</sub>-Fußabdruck als Weiterentwicklung des ursprünglich von WACKERNAGEL/REES geprägten „ökologischen Fußabdrucks“
  - ➔ Kennzahl verdeutlicht das Ausmaß der durch wirtschaftliches Handeln hervorgerufenen CO<sub>2</sub>-Emissionen je Flächenäquivalent



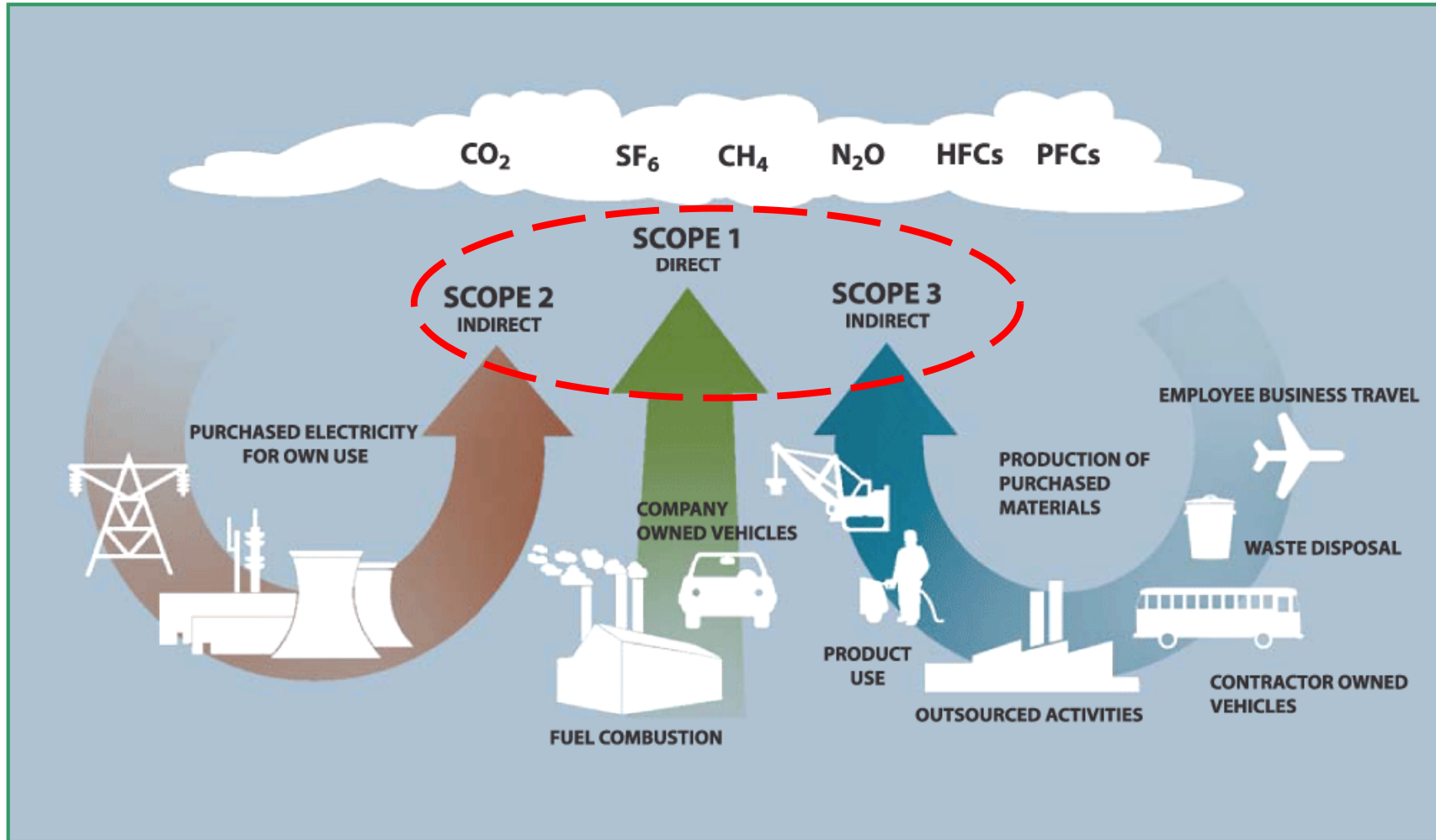
## 2. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – Merkmale und Definitionsbestimmung –



**CO<sub>2</sub>-Fußabdrücke** sind Instrumente zur **Kommunikation der Umweltauswirkungen** einzelner Produkte (oder Dienstleistungen) in Richtung des Kunden. Werden alle **direkten und indirekten THG-Emissionen** in Form von CO<sub>2</sub>e gemessen, so gibt der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck die gesamte umweltbelastende Emissionsmenge des betrachteten Produktes an. Dies erfordert **sämtliche Aktivitäten und Prozesse** längs der gesamten SC zu berücksichtigen, um die Auswirkungen des **gesamten Produktlebenszyklusses** ‚von der Wiege bis zur Bahre‘ abbilden zu können.

Quelle (Grafik): <http://www.pcf-projekt.de/main/background/product-carbon-footprint/>, Stand: 18.09.2010

## 2. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – Scope-Konzept nach WBCSD und WRI –



Quelle: [http://www.wri.org/image/view/11233/\\_original](http://www.wri.org/image/view/11233/_original), Stand: 04.10.2010

## 2. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck

– Problem- und Varianzaufriss, Übersicht SC –



2

- Problematik der (fehlenden) Standards für die Weitergabe der CO<sub>2</sub>-Werte in der Supply Chain
- System analog Umsatzsteuer-/Vorsteuer-Weitergabe als „Idealbild“
- Theoretische Diskrepanz von ausgewiesenen PCF- und „Company Carbon Footprint“ (CCF)-Werten

## 2. CO<sub>2</sub>-Fußabdruck – Problem- und Varianzaufriß –

3

**Route nach Europaallee 100, 47229 Duisburg**

Vorgeschlagene Routen

1. A40	27,7 km	26 Minuten
2. A52	33,1 km	36 Minuten

**Friedrichstraße 47**  
45128 Essen

- Von Friedrichstraße/B224 nach Süden Richtung Schederhofstraße starten
- Rechts halten bei Friedrichstraße (Schilder nach A40/Duisburg/Margarethenhöhe/

→ Hohe Varianz von Plan- und Realverbrauch bzw. Emission durch **Streckenabweichung**, ca. 5% (Fernverkehr) bis 25% (Nahverkehr)

4

- Abweichung realer Verbräuche von technischen Sollangaben / Herstellerangaben durch ...
  - ... Alter des Fahrzeugs
  - ... Außentemperatur (Winter)
  - ... Wetter und Wegeverhältnisse
  - ... Steigung und andere Bedingungen (Wind)
  - ... Nebenverbraucher
  - ... Fahrweise / Beschleunigung
  - ... Verkehrslage
  - ... Geschwindigkeit

→ Hohe **technische Verbrauchsvarianz** von bis zu 50%  
→ Messung der realen Verbräuche als Ausweg?

5

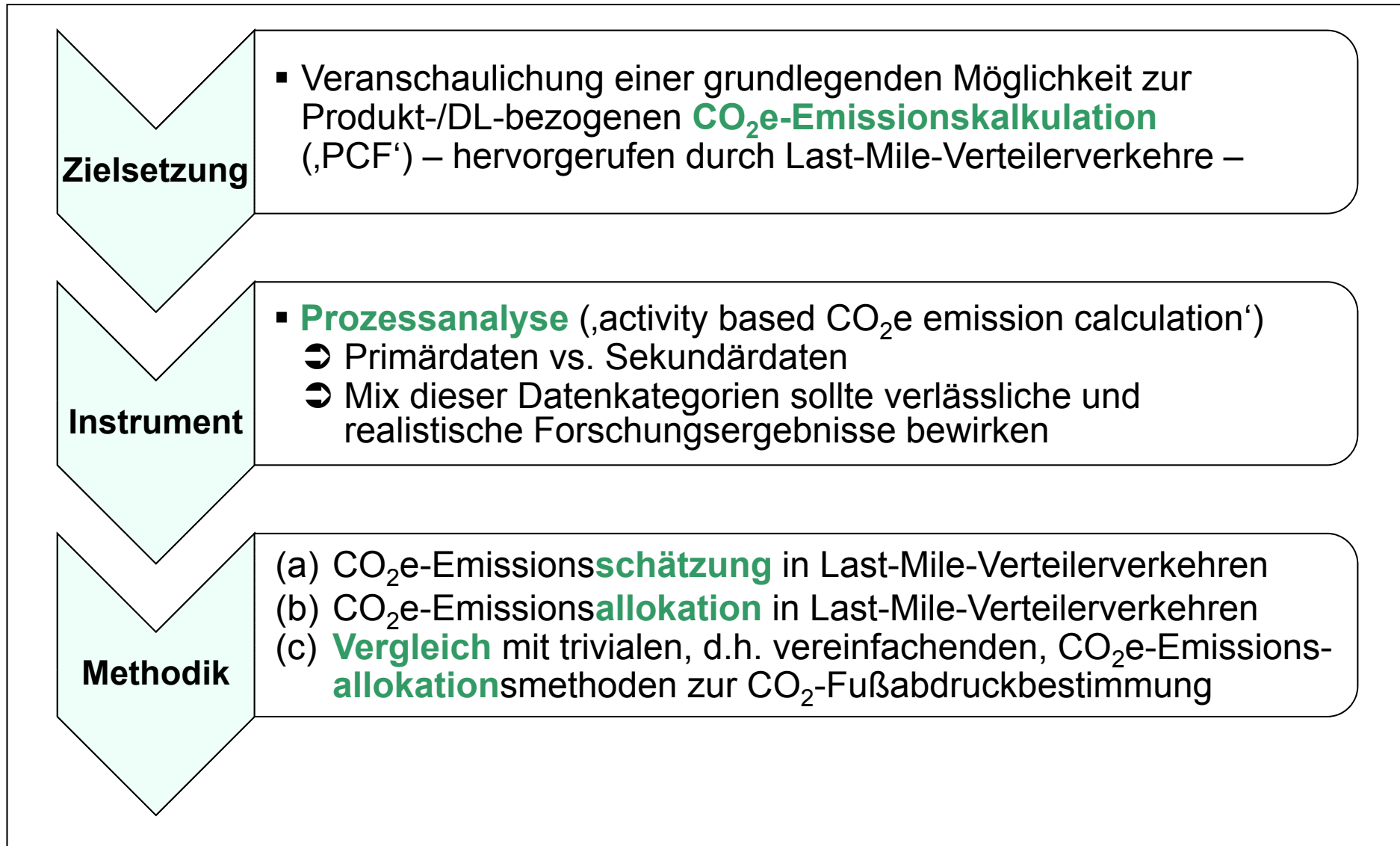
▪ Zwischenlagerung auf jeder Wertschöpfungsstufe bis dato nicht berücksichtigt und erzeugt in Abhängigkeit von der Lagerzeit ebenfalls CO<sub>2</sub>-Emissionen durch ...

- ... Temperaturführung (Heizung, Kühlung)
- ... Flächenverbrauch (PLZ Gebäude)
- ... Verwaltung (inkl. IT-Systeme)
- ... Handling (Verbräuche Stapler, Umlagerung, Förder- und Kommissioniersysteme)
- ... Beleuchtung
- ... ggf. Wasser / Abwasser

→ Hohe Varianz in starker Abhängigkeit von der **Lagerdauer**  
(*durchschnittlich* bis zu 20%)

### 3. Kalkulationsmodell zur prozessorientierten Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks

<p><b>[1]</b> Identifikation von <b>Kernprozessen</b> längs der gesamten SC</p>	<p><b>[2]</b> Kernprozessanalyse <u>und</u> Segmentierung in <b>Sub-Prozesse/Prozesselemente</b></p>		
	<p><b>[3]</b> Schätzung/Messung aller Sub-Prozess-/Prozesselement-bezogenen <b>THG-Emissionen pro CO<sub>2</sub>-Treiber</b> (z.B. kg CO<sub>2</sub> pro gefahrenem km)</p>	<p><b>[4]</b> Ermittlung der Anzahl benötigter CO<sub>2</sub>-Treiber <u>und</u> Kalkulation der <b>gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge je Sub-Prozess/Prozesselement</b></p>	
		<p><b>[5]</b> <b>Summierung sämtlicher THG-Emissionen</b> der während des <b>gesamten Produkt-/Dienstleistungslebenszyklusses</b> durchlaufenen Sub-Prozesse/Prozesselemente</p>	<p><b>[6]</b> <b>Division der gesamten</b> durch eine spezifische Category hervorgerufenen <b>THG-Emissionen</b> durch die <b>Gesamtzahl der angebotenen Produkte/Dienstleistungen</b></p>



## 4. Fallstudie: CO<sub>2</sub>e-Emissionskalkulation in Last-Mile-Verteilerverkehren – Rahmenbedingungen / Prämissen –

### ▪ Beispielunternehmen:

- NOWEDA eG Apothekergenossenschaft
- deutschlandweit tätiger Dienstleister auf Großhandelsebene für Arzneimittel und apothekenübliche Waren



Quelle: <http://www.noweda.de/verbraucher/>, Stand: 15.10.2010

### ▪ Tourdaten:

- Rundtour innerhalb von Essen, Nordrhein-Westfalen
- durchgeführt von einem ‚Second Party Logistics Provider‘ (‚2PL‘)
- werktäglich einmal angebotene Morgentour mit insgesamt fünf Kunden
- Gesamtstreckendistanz: ca. 11,10 km
- Gesamtzeitumfang: ca. 70 Minuten
- VW Caddy Kastenwagen (1,9-l-TDI, 55kW, DPF, Euro 4)

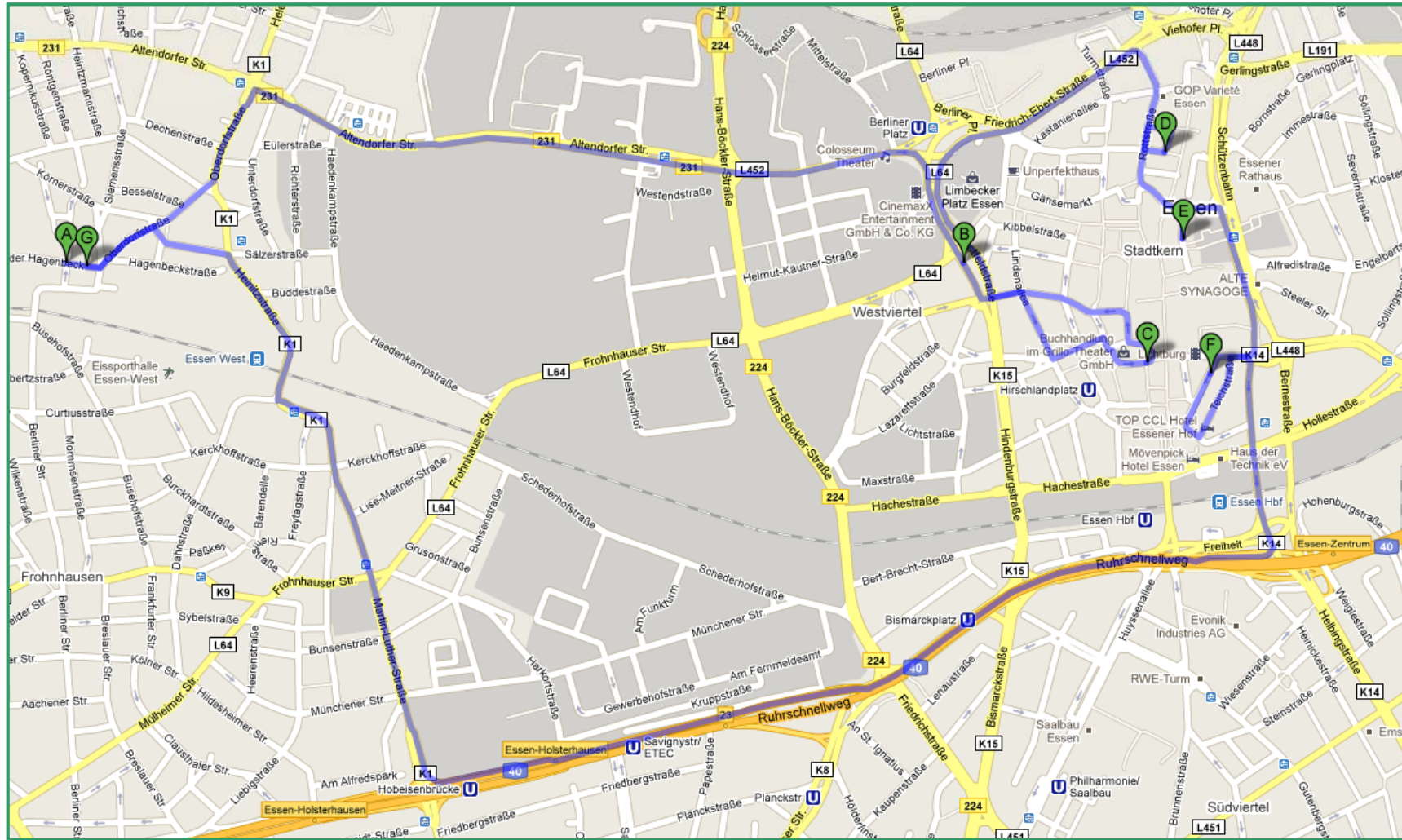
EV: Energieverbrauch  
NL: Nutzlast

	EV <sub>unbeladener Wagen</sub>	EV <sub>voll beladener Wagen</sub>	EV <sub>Abweichung</sub>	NL <sub>max.</sub>	CO <sub>2</sub> e -Emissionsfaktor
<b>Spalte</b>	A	B	C	D	E
<b>Daten/Formel</b>	Herstellerdaten	Primärdaten	B-A	Primärdaten	Sekundärdaten
<b>Einheit</b>	l/100 km	l/100 km	l/100 km	kg	kg/l
<b>Wert</b>	7,60	9,00	1,40	727,00	3,174

Tabelle 1: Fixe Inputdaten zur CO<sub>2</sub>e-Emissionskalkulation in Last-Mile-Verteilerverkehren.

→ **Hinweis:** Daten sind lediglich für *diese einzeln* analysierte und an einem Donnerstagmorgen im April 2010 von NOWEDA Essen durchgeführte Tour gültig!

# 4. Fallstudie: CO<sub>2</sub>e-Emissionskalkulation in Last-Mile-Verteilerverkehren – Karte/Routing –



## 4. Fallstudie: CO<sub>2</sub>e-Emissionskalkulation in Last-Mile-Verteilerverkehren – iterative CO<sub>2</sub>e-Emissionsschätzung –

### (1) Halt<sub>i</sub>-bezogener **Energieverbrauch**:

$$EV_{Halt_i} = EV_{unbeladener\ Wagen} + (EV_{voll\ beladener\ Wagen} - EV_{unbeladener\ Wagen}) \cdot \frac{NL_{Halt_i}}{NL_{max.}} \quad \forall i \in IN^+$$

EV: Energieverbrauch  
NL: Nutzlast

### (2) Halt<sub>i</sub>-bezogene **CO<sub>2</sub>e-Emissionen**:

$$CO_2e - Emissionen_{Halt_i} = EV_{Halt_i} \cdot CO_2e - Emissionsfaktor \quad \forall i \in IN^+$$

### (3) Halt<sub>i</sub>-bezogene **CO<sub>2</sub>e-Emissionen kumuliert** (Gesamtbetrag):

$$\Delta CO_2e - Emissionen_{Halt_i} = CO_2e - Emissionen_{Halt_i} \cdot \Delta km (Halt_{i+1} - Halt_i) \quad \forall i \in IN^+$$

	NL <sub>Halt i</sub>	NL <sub>Ratio</sub>	EV <sub>Halt i</sub>	CO <sub>2</sub> e-Emissionen <sub>Halt i</sub>	Entfernung (Δ Halt <sub>i+1</sub> - Halt <sub>i</sub> )	Δ CO <sub>2</sub> e-Emissionen <sub>Halt i</sub>
<b>Spalte</b>	F	G	H	I	J	K
<b>Daten/Formel</b>	Primärdaten	$\frac{F}{D}$	(1)	(2)	Primärdaten	(3)
<b>Einheit</b>	kg	kg	l/100 km	kg/100 km	km	kg
<b>Halt 1</b>	12,02	0,017	7,623	24,196	3,00	0,7259
<b>Halt 2</b>	10,52	0,014	7,620	24,187	0,80	0,1935
<b>Halt 3</b>	7,38	0,010	7,614	24,168	1,20	0,2900
<b>Halt 4</b>	6,69	0,009	7,613	24,163	1,20	0,2900
<b>Halt 5</b>	5,76	0,008	7,611	24,158	0,80	0,1933
<b>Rückfahrt</b>	4,00	0,006	7,608	24,147	4,10	0,9900
<b>Summe</b>	-	-	-	-	11,10	2,6826

Tabelle 2: Variable Inputdaten und CO<sub>2</sub>e-Emissionskalkulation in Last-Mile-Verteilerverkehren.

I. Verrechnung basierend auf der Anzahl ausgelieferter Produkte je Halt<sub>i</sub>:

(4) kumulierte CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Produkt (∑ CO<sub>2</sub>e-Emissionen<sub>Prod.</sub>):

$$\sum CO_{2e} - Emissionen_{Prod.} = \left( \sum_{Halt_{i=1}}^{Halt_i} \frac{\Delta CO_{2e} - Emissionen_{Halt_i}}{geladene\ Produkte_{Halt_i}} \right) + \frac{\Delta CO_{2e} - Emissionen_{Rückfahrt}}{geladene\ Produkte_{Halt_1}} \quad \forall i \in IN^+$$

(5) kumulierte CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Lieferung (∑ CO<sub>2</sub>e-Emissionen<sub>Lief.</sub>):

$$\sum CO_{2e} - Emissionen_{Lief.} = \sum CO_{2e} - Emissionen_{Prod.} \cdot gelieferte\ Produkte_{Halt_i} \quad \forall i \in IN^+$$

	geladene Produkte <sub>Halt i</sub>	∑ CO <sub>2</sub> e-Emissionen <sub>Prod.</sub>	gelieferte Produkte <sub>Halt i</sub>	∑ CO <sub>2</sub> e-Emissionen <sub>Lief.</sub>
<b>Spalte</b>	L	M	N	O
<b>Daten/Formel</b>	Primärdaten	(4)	L <sub>i</sub> -L <sub>i+1</sub>	(5)
<b>Einheit</b>	Stück	kg/Stück	Stück	kg/Lieferung
<b>Halt 1</b>	93	0,0185	19	0,3506
<b>Halt 2</b>	74	0,0211	21	0,4424
<b>Halt 3</b>	53	0,0265	19	0,5042
<b>Halt 4</b>	34	0,0351	14	0,4909
<b>Halt 5</b>	20	0,0447	20	0,8946
<b>Rückfahrt</b>	0	-	-	-
<b>Summe</b>	-	-	93	2,6826

Tabelle 3: Iterative (Halt<sub>i</sub>-bezogene) CO<sub>2</sub>e-Emissionsallokation basierend auf der Anzahl ausgelieferter Produkte.

II. Verrechnung basierend auf dem Gewicht der Lieferung je Halt<sub>i</sub>:

(6) Allokationsschlüssel (CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro kg Nettoladegewicht und Halt<sub>i</sub>):

$$CO_{2e} - Emissionen_{NL_{netto\ Halt_i}} = \frac{\Delta CO_{2e} - Emissionen_{Halt_i}}{NL_{netto\ Halt_i}} \quad \forall i \in IN^+$$

(7) kumulierte CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Lieferung (∑ CO<sub>2</sub>e-Emissionen<sub>Lief.</sub>):

$$\sum CO_{2e} - Emissionen_{Lief.} = \left( \sum_{Halt_{i=1}}^{Halt_i} CO_{2e} - Emissionen_{NL_{netto\ Halt_i}} + CO_{2e} - Emissionen_{NL_{netto\ Rückfahrt}} \right) \cdot LG_{Lief.} \quad \forall i \in IN^+$$

(8) kumulierte CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Produkt (∑ CO<sub>2</sub>e-Emissionen<sub>Prod.</sub>):

$$\sum CO_{2e} - Emissionen_{Prod.} = \frac{\sum CO_{2e} - Emissionen_{Lief.}}{gelieferte\ Produkte_{Halt_i}} \quad \forall i \in IN^+$$

EV: Energieverbrauch  
LG: Ladegewicht  
NL: Nutzlast

	NL <sub>netto Halt i</sub>	CO <sub>2</sub> e-Emissionen <sub>NL netto Halt i</sub>	LG <sub>Lief.</sub>	∑ CO <sub>2</sub> e-Emissionen <sub>Lief.</sub>	∑ CO <sub>2</sub> e-Emissionen <sub>Prod.</sub>
Spalte	P	Q	R	S	T
Daten/Formel	F <sub>i</sub> -F <sub>Rückfahrt</sub>	(6)	P <sub>i</sub> -P <sub>i+1</sub>	(7)	(8)
Einheit	kg	kg CO <sub>2</sub> e/kg NL <sub>netto Halt i</sub>	kg	kg/Lieferung	kg/Stück
Halt 1	8,02	0,0905	1,50	0,3216	0,0169
Halt 2	6,52	0,0297	3,14	0,7641	0,0364
Halt 3	3,38	0,0858	0,69	0,2266	0,0119
Halt 4	2,69	0,1077	0,94	0,4100	0,0293
Halt 5	1,76	0,1101	1,76	0,9604	0,0480
Rückfahrt	0,00	0,1234	-	-	-
Summe	-	-	8,02	2,6826	-

Tabelle 4: Iterative (Halt<sub>i</sub>-bezogene) CO<sub>2</sub>e-Emissionsallokation basierend auf dem Gesamtgewicht der Lieferung.

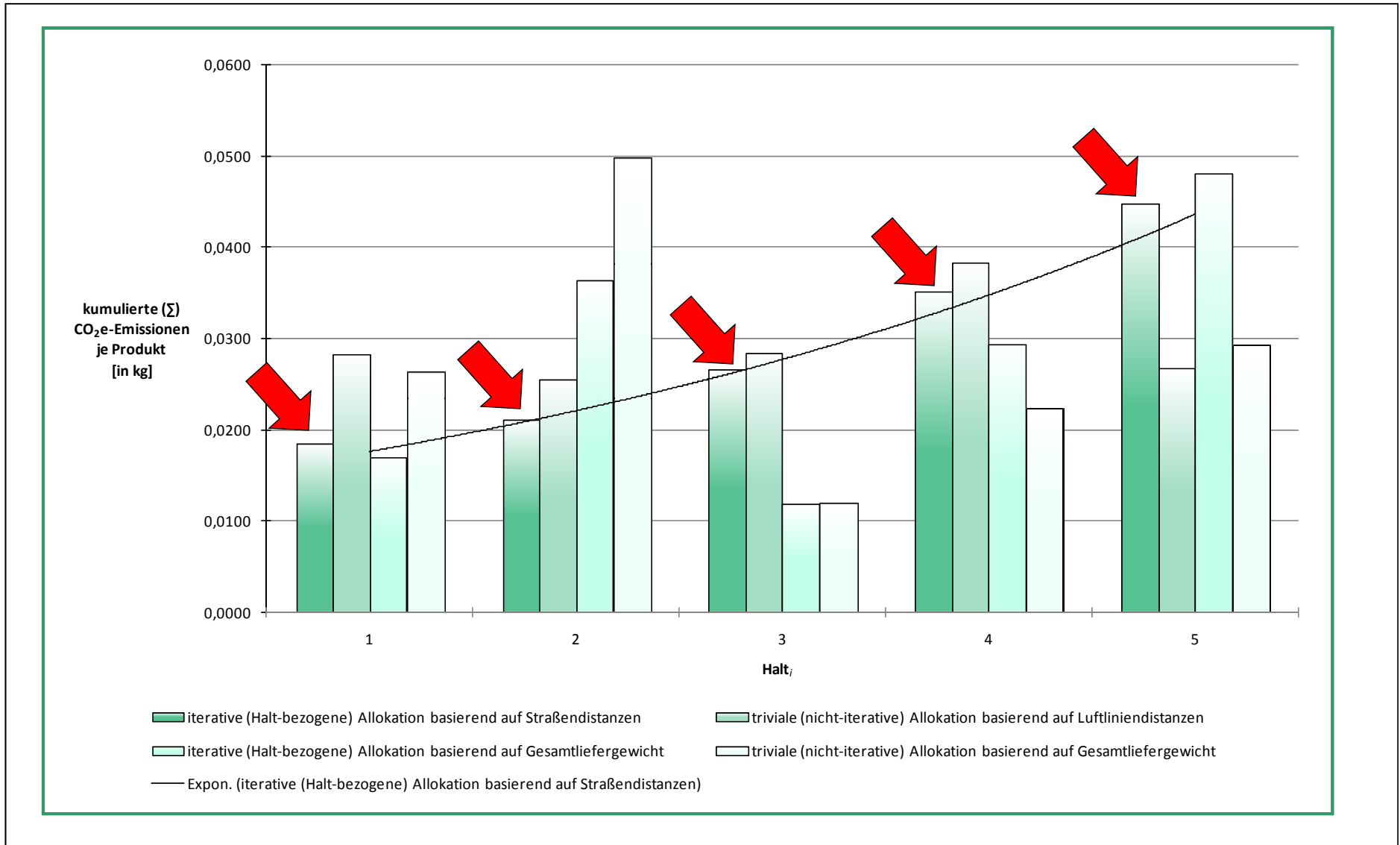
- Verrechnung basierend auf **linearen** CO<sub>2</sub>e-Emissionsallokationsschlüssel:

(a) tatsächliche Luftliniendistanzen      (b) tatsächliche Nettoladegewichte

		(a) Luftliniendistanz-basierte Allokation		(b) Ladegewicht-basierte Allokation	
	Luftliniendistanz	$\sum \text{CO}_2\text{e-Emissionen}_{\text{Lief.}}$	$\sum \text{CO}_2\text{e-Emissionen}_{\text{Prod.}}$	$\sum \text{CO}_2\text{e-Emissionen}_{\text{Lief.}}$	$\sum \text{CO}_2\text{e-Emissionen}_{\text{Prod.}}$
<b>Spalte</b>	U	V	W	X	Y
<b>Daten/Formel</b>	Primärdaten	$\frac{K_{\text{gesamt}}}{U_{\text{gesamt}}} \cdot U_{\text{Halt}_i}$	$\frac{V}{N}$	$\frac{K_{\text{gesamt}}}{R_{\text{gesamt}}} \cdot R_{\text{Halt}_i}$	$\frac{X}{N}$
<b>Einheit</b>	km	kg/Lieferung	kg/Stück	kg/Lieferung	kg/Stück
<b>Halt 1</b>	2,49	0,5357	0,0282	0,5027	0,0265
<b>Halt 2</b>	2,49	0,5357	0,0255	1,0490	0,0500
<b>Halt 3</b>	2,51	0,5400	0,0284	0,2301	0,0121
<b>Halt 4</b>	2,49	0,5357	0,0383	0,3138	0,0224
<b>Halt 5</b>	2,49	0,5357	0,0268	0,5870	0,0294
<b>Summe</b>	12,47	2,6826	-	2,6826	-

Tabelle 5: Triviale CO<sub>2</sub>e-Emissionsallokationsmethoden basierend auf Luftliniendistanzen und Ladegewichten.

# 4. Fallstudie: CO<sub>2</sub>e-Emissionskalkulation in Last-Mile-Verteilerverkehren – Forschungsergebnisse (I/II) –



- Neuartigkeit der Nutzung **iterativer Rechenschemata** zum Zwecke einer realistischen Bestimmung Produkt- bzw. DL-bezogener CO<sub>2</sub>e-Emissionen („PCF“)
- iterative CO<sub>2</sub>e-Emissions**schätzung**:
  - ➔ positive – abfallende – inkrementelle CO<sub>2</sub>e-Emissionsabweichungen
  - ➔ überdurchschnittliche CO<sub>2</sub>e-Emissionsbelastung zum Ende der Tour hin ausgelieferter Produkte („Spätsünder“) – verglichen mit bereits zuvor ausgelieferten Produkten
- iterative CO<sub>2</sub>e-Emissions**allokation**:
  - ➔ Beziehung zwischen kumulierten CO<sub>2</sub>e-Emissionen pro Produkt und jedem Halt<sub>*j*</sub> wird vermutlich von einer *progressiv steigenden Skala* charakterisiert
- triviale CO<sub>2</sub>e-Emissions**allokation**:
  - ➔ Vernachlässigung komplexer Aspekte (z.B. Halt<sub>*j*</sub>-bezogene Nutzlast)
  - ➔ Vereinfachung aufgrund Nutzung konstanter, d.h. linearer, Allokationsschlüssel
  - ➔ oftmals inkonsistente Nutzung von CO<sub>2</sub>e-Emissionsallokationsschlüsseln

- Notwendigkeit internationaler und interorganisationaler **Standards** in der CO<sub>2</sub>-Ermittlung und „Weitergabe“
- **Zurückhaltende Kommunikation** angesichts der hohen Varianz aktueller Berechnungen;  
Bewusstseinsbildung für die Komplexität und Varianz
- Innerbetrieblich Verständnis der CO<sub>2</sub>-Ermittlungen als „**Näherungs- und Optimierungsprozess**“
- Weiterer **Forschungsbedarf** hinsichtlich **Realitätsannäherung** der CO<sub>2</sub>-Bestimmung, Bsp. G.LAB des ild zum GPS-Strecken-Logging (Projekt SECOTRACK)



# CO<sub>2</sub>-Berechnung in der Praxis – Die Tücken liegen im Detail –

Prof. Dr. Matthias Klumpp,  
FOM ild

Dipl.-Kfm. (FH) Christian Wick,  
FOM ild Research Fellow

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.**

FOM First Tuesday Logistik:  
„CO<sub>2</sub>-Berechnung in der Praxis“

Duisburg, 07.12.2010

