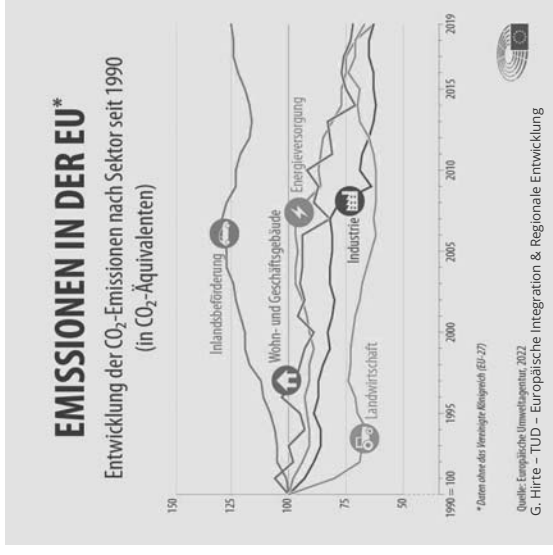


## 9 Integration und Klimawandelpolitik

Europäische Integration & Regionale Entwicklung



## Durchschnittliche Externe Kosten des Verkehrs in Europa



\* Data for aviation and maritime: rough estimations for EU28.

## Durchschnittliche Externe Kosten des Verkehrs in Europa

Figure 13 - Share of the different cost categories on total external costs 2016 for EU28

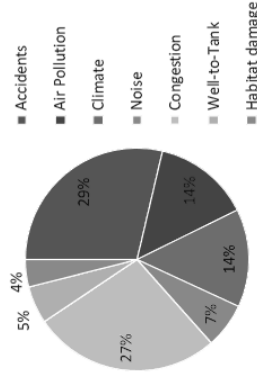
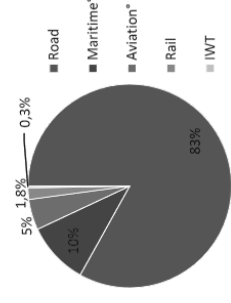


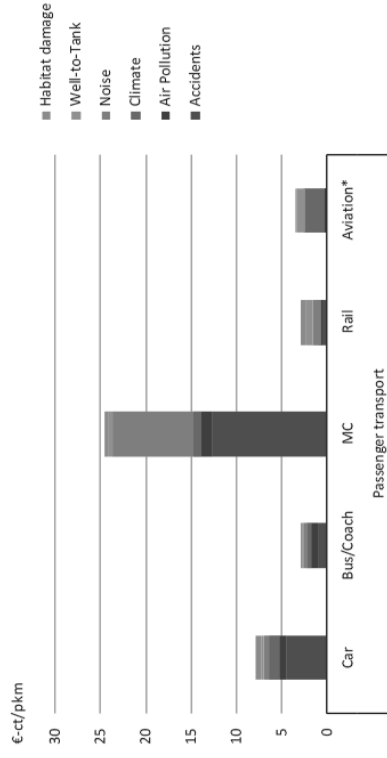
Figure 14 - Share of the different transport modes on total external costs 2016 for EU28



\* Data for aviation and maritime: rough estimations for EU28.

## Durchschnittliche Externe Kosten des Verkehrs in Europa

Figure 15 - Average external costs 2016 for EU28: passenger transport (excluding congestion)



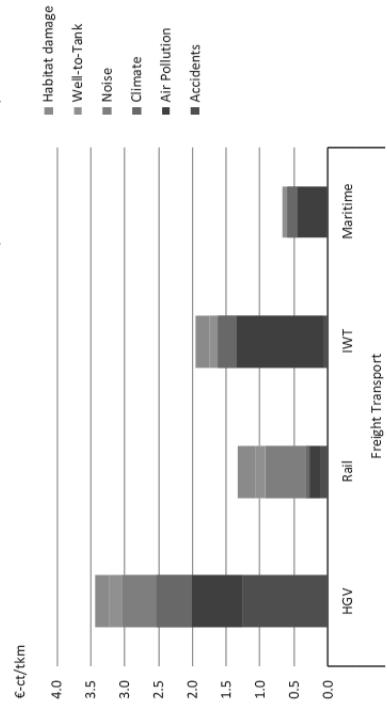
\* Aviation: average for selected EU28 airports.

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

5

## Durchschnittliche Externe Kosten des Verkehrs in Europa

Figure 16 - Average external costs 2016 for EU28: freight transport (excluding congestion)



\* Maritime: average for selected EU28 ports.

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

6



## Lernziele

- Sie kennen grundlegende Probleme der Ökonomie des Klimawandels
- Sie können fundamentale Unterschiede zwischen Mengen- und Preisregulierung, Verbote und Emissionshandel aus Effizienzrecht darstellen und bewerten
- Sie haben eine Vorstellung von Problemen bei der Ermittlung von sozialen Klimakosten
- Sie kennen den Hintergrund von steigenden Vermeidungskostenkurven

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

7



## 9.1 Grundlagen

## Nutzen, Kosten und partielles Gleichgewicht

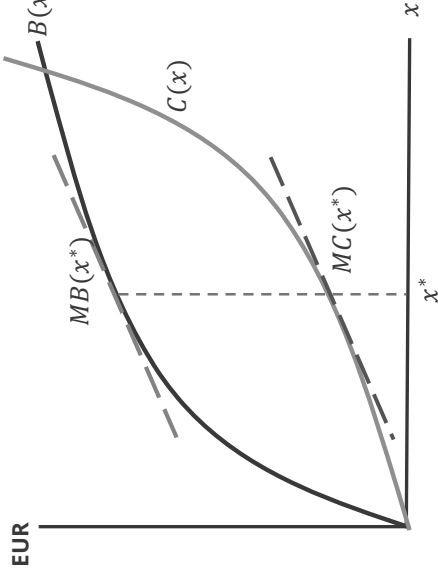
- **Partielles Gleichgewicht:** Geräumter primärer Markt (Gut, Aktivität die betrachtet wird, Annahme: keine relevanten Änderungen auf sekundären Märkten)
- **Aggregierter Nutzen** (Benefits) durch Konsum eines Gutes  $x$  (z.B., Energie, Transportleistungen, saubere Luft, Konsumgüter) wächst mit  $x$  mit einer abnehmenden Rate
 
$$B(x), B' > 0, B'' < 0$$
- Gesamte Kosten der Produktion wächst mit zunehmender Produktion  $x$ 

$$C(x), C' > 0, C'' > 0$$
- Der Nettonutzen ist maximiert, wenn aggregierter Grenznutzen gleich Grenzkosten

$$\max_x B(x) - C(x) \rightarrow B' - C' = 0 \rightarrow \mathbf{MB = MC}$$

(marginal benefits = marginal costs)

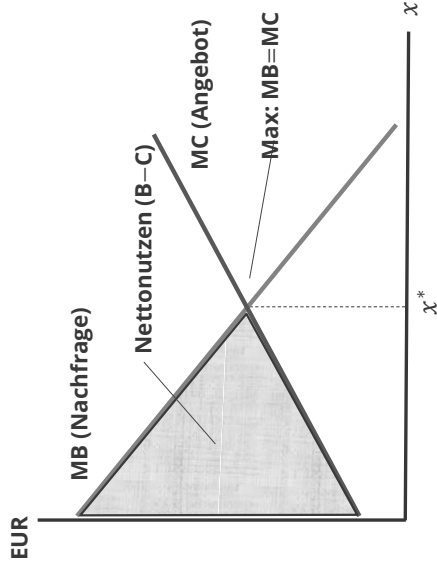
## Nutzen und Kosten



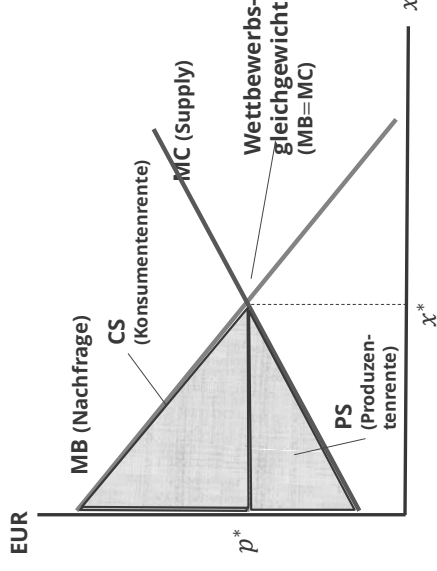
- $B$  aggregierter Nutzen durch Verwendung von  $x$
- $C$  Produktionskosten von  $x$
- $MB$  aggregierter Grenznutzen (marginale Benefits)
- $MC$  Grenzkosten

## Grenznutzen und Grenzkosten am Markt

- $x^*$  maximiert den aggregierten Nettonutzen der Verwendung von  $x$



## Markt und Renten



- $MC$  Grenzkosten (Angebot)
- $MB$  Grenznutzen = marginale Zahlungsbereitschaft (Nachfrage)

## Markt und Externalitäten

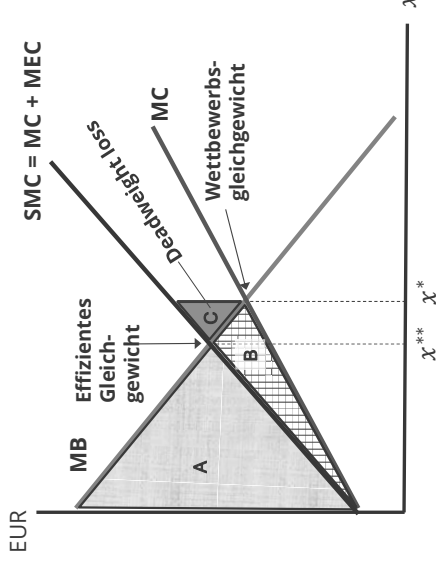
- Information über Externalität ist nicht im Marktpreis enthalten
- Beispiel: Verkehr
- Schaden für andere (Gesellschaft) durch Transportleistungen
  - Lärm → Gesundheitsschäden;
  - Luftverschmutzung (NOX, PM 2.5) → Gesundheitsschäden, Schäden bei Bauten und Natur
  - Unfälle (nicht gedeckte Unfallschäden) → Gesundheitsschäden, monetäre Kosten
  - Treibhausgasemissionen → Folgen des Klimawandel
  - Verlust von Biodiversität, Verlust offener Räume, Verlust von Privatheit (Drohnen, Kameras bei autonomen Fahren), Zerschneidungseffekte, Externalitäten in vorgelagerten Prozessen (Benzinproduktion und Lieferung, Fahrzeugproduktion)
- Externe Grenzkosten (MEC) ist der Schaden für alle anderen infolge der Nutzung einer Einheit der emittierenden Aktivität

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

13

## Externe Effekte

- SMC soziale Grenzkosten
- MC private Grenzkosten
- MEC = SMC-MC (Externe Grenzkosten) = MD (Grenzscha-den)
- $x^*$  is privates Optimum
- $x^{**}$  is soziales Optimum mit Externalitäten



Deadweight loss ist der Verlust bei  $x^*$  im Vergleich zu  $x^{**}$

14

## Markt und Externalität

### Wettbewerbsgleichgewicht

- $x^{**}$  ist das Ergebnis privater Entscheidungen im freien Markt
- Nettonutzen:  $A - C$
- Konsumenten- plus Produzentenrente ( $A + B$ ) minus MEC ( $B + C$ )

### Effizientes Gleichgewicht

- $x^*$  ist die sozial optimale Lösung (Differenz aller Nutzen und Kosten)
- Nettonutzen:  $A$

### Wohlfahrtsverlust des freien Marktgleichgewichts C (Deadweight Loss)

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

15

## Problem von externen Effekten

- **Preise geben falsche Signale**, externe Kosten sind nicht in den Preisen enthalten
- Hauptgrund sind **ungeklärte Eigentumsrechte**
  - Da Eigentumsrechte am öffentlichen Gut (saubere Luft, Klima\* etc.) nicht klar definiert sind, gibt es keinen Mechanismus, die Verursacher dazu zu bringen, die durch sie entstehenden marginalen externen Kosten in ihren Entscheidungen zu berücksichtigen
  - \*Klima ist ein globales öffentliches Gut (mehr dazu: Buchholz & Sandler, 2021)
- Lösung: **Zuweisung von Eigentumsrechten** (Coase 1960)
  - Coase (1960) zeigt, dass es für die Internalisierung externer Effekte irrelevant ist, ob die Geschädigten oder die Verursacher die Eigentumsrechte bekommen
  - Verteilungswirkungen sind unterschiedlich

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

16

## Lösung: Coase Theorem

Coase zeigt (später Coase-Theorem genannt)

- Die Ineffizienz, die durch eine Externalität entsteht, kann durch private Verhandlungen gelöst werden
  - Wenn Eigentumsrechte klar definiert sind
  - Und es keine Transaktionskosten gibt
- Die Verteilung der Eigentumsrechte spielt keine Rolle für die Effizienz, vorausgesetzt, es gibt keine Einkommenseffekte
- Teil a) ist die Grundlage für die Idee des Zertifikatshandel
- Teil b) erlaubt eine beliebige Zuteilung der Grundausstattung mit Zertifikaten

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

17

## Nachhaltige Entwicklung

Konzept der **Nachhaltigkeit**, erstmals in der Brundtland-Kommission 1987 definiert

- Nachhaltige Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Möglichkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können.
- „Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“ (Brundtland 1987, S.41)

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

18

## EU Politik in Bezug auf Klimawandel

- Green Deal 2019.
  - Ziel Klimaneutralität in 2050
  - 55% Reduktion von CO2 Emissionen bis 2030
  - 55% weniger CO2 Emissionen bei PKW bis 2030, 50% weniger LKW-Emissionen bis 2030, 0 CO2 Emissionen bei neuen PKW bis 2050
  - Ab 2026: ETSII mit Straßenverkehr und Bauten
- EU Taxonomie: Rahmen zur Klassifikation von 'grünem' und 'nachhaltigem' Wirtschaften

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

19

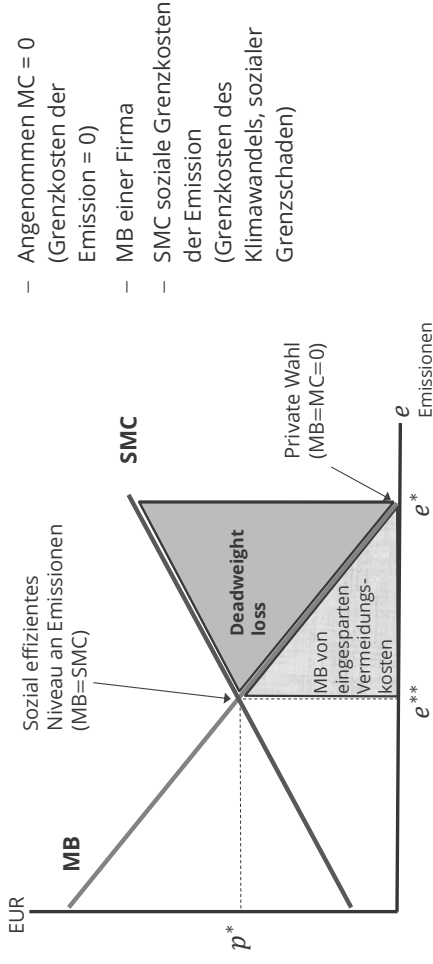




## Grenzkosten der Schäden

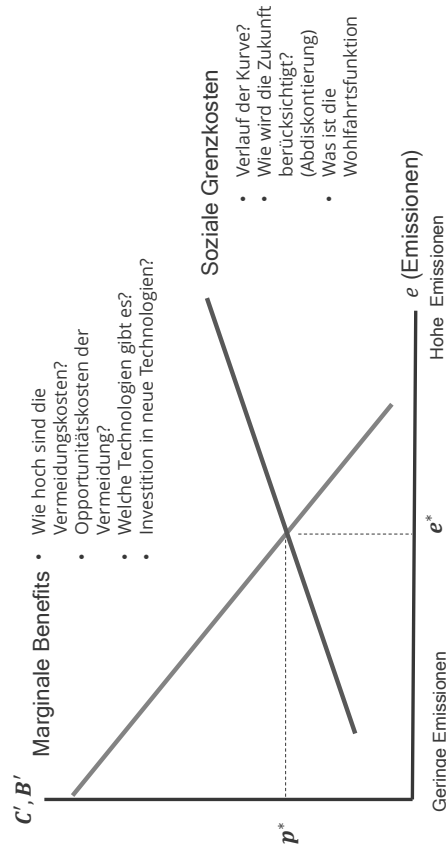
- **Marginale Schadenskosten** (soziale Kosten) = Gegenwartswert des marginalen Schadens, der durch einen kleinen Anstieg der Emissionen entsteht (Tol, 2009)
- Sozial Schadenskosten des Klimawandels steigen mit der Zeit, da spätere Emissionen zusätzliches CO2 auf einen höheren Bestand an CO2 in der Atmosphäre aufbauen (u.a., Aufhammer, 2018)

## Emissionen and Abatement Costs



- Angenommen  $MC = 0$  (Grenzkosten der Emission = 0)
- MB einer Firma
- SMC soziale Grenzkosten der Emission (Grenzkosten des Klimawandels, sozialer Grenzscha-den)

## Herausforderungen für Empirie



## Empirische Fragen

- Wie hoch sind
- **MEC** ?
    - (van Essen et al., 2021, durchschnittl. externe Kosten des Verkehrs in der EU)
    - Problem: Abdiskontierung (bestimme Gegenwartswerte)
    - Wie sollen nicht auf Märkten gehandelte Güter bepreist werden?
      - Stated preference Experimente: Nichtmarkt-güter- Experimente der diskreten Wahl (discrete choice) um die Zahlungsbereitschaft (WTP) zu bestimmen (WTP um Gesundheitsschäden zu vermeiden)
      - Revealed preference Studien: Schätzung der WTP aus beobachteten Entscheidungen (z.B., Lärmkomponente von Hauspreisen)
  - **MC** der Produktion? (häufig private Information von Firmen)
  - **MB**? (Schätzung von Nachfragekurven oder Vermeidungskostenkurven)

## Probleme bei Ermittlung von sozialen Schadenskosten

- Unsicherheit über Klimawandelfolgen (Heal, 2017)
- Unsicherheit über Zusammenhang Ökonomie und Klimawandel
  - Integrated Assessment Modelle (IAM; Nordhaus 1976 – DICE, u.a.; Aufhammer, 2018)
  - Einfluss der Ökonomie auf Emissionen
  - Rückwirkung des Klimawandels auf Ökonomie
- Entscheidung über Diskontierungsfaktor

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

29

## Intertemporale Wohlfahrt und Diskontierung

Intertemporale Wohlfahrt = Gegenwartswert der zukünftigen Nutzen der Bevölkerung (Dasgupta, 2008)

$$W_{t_0} = \sum_{t=t_0}^{\infty} \frac{U(C_t)}{(1 + \delta)^t}$$

- $U(C_t)$  ist Well-Being (Wohlfahrt) der Gesellschaft aus dem Konsum im Jahr  $t$
- $U(C_t) = C_t^{(1-\eta)} / (1 - \eta)$ ,  $\eta > 0, \eta \neq 1$ ,
- $\delta$  Zeitdiskontierungsrate: Wohlbefinden heute ist mehr wert als morgen (Ungeduld)
- $\eta$  Ungleichheitsaversion der Gesellschaft, d.h., wie wird Konsum der morgigen Generation wertgeschätzt im Vergleich zum Konsum der heutigen Generation

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

30

## Soziale Kosten der Emissionen

**Soziale Kosten von CO2-Emission** (Nordhaus, 2019)

die Änderung im Gegenwartswert des Konsums relativ zum gegenwärtigen Konsum infolge einer marginalen Änderung der Emissionen

Zur Berechnung benötigt man

- Eine Prognose des zukünftigen Konsumpfades (in Werten, z.B. mit Hilfe von IAM)
- Eine Prognose dessen Änderung infolge von Emissionen (z.B. mit Hilfe von IAM)
- Den Wert des heutigen Konsums
- Die Diskontierungsrate des Konsums

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

31

## Intertemporaler Konsum und Diskontierung

**Diskontierungsrate des Konsums** über die Zeit (Dasgupta, 2008)

$$\rho_t = \delta_t + \eta g(C_t)$$

ist die Summe aus der

- Nicht negativen **Zeitdiskontierungsrate**  $\delta$ : Ungeduld: Konsum heute ist mehr wert als Konsum morgen
- und
- Und der **relativen Wertschätzung des Konsums morgiger Generationen** im Vergleich zum Konsum heutiger Generationen. Diese hängt ab von der
  - $\eta$  **Ungleichheitsaversion** der Gesellschaft, d.h., wie wird Konsum der morgigen Generation wertgeschätzt im Vergleich zum Konsum der heutigen Generation
  - und der **Wachstumsrate des Konsums**  $g(C_t)$

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

32

## Abhängigkeit der SC von der Diskontierungsrate

TABLE 2—DISCOUNTING AND THE SOCIAL COST OF CARBON

Discount rate (%)	Social cost of carbon 2018\$ per ton of CO <sub>2</sub>			
	2015	2020	2050	2100
0.1	970	966	917	665
1.0	497	515	614	657
2.0	219	236	349	544
3.0	93	104	179	361
4.0	44	49	93	207
5.0	23	27	55	126
<b>DICE-opt</b>	<b>36</b>	<b>43</b>	<b>105</b>	<b>295</b>

– Wirkung unterschiedlicher Diskontierungsraten auf Schätzungen sozialer Kosten (Nordhaus, 2019)

## Verbote, Preiseinstrumenten, ETS

- Was sind geeignete Instrumente zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen und wie sind deren Wirkungen ökonomisch zu bewerten
- Instrumente:
  - Verbote/Gebote: strikte Mengenregulierung oder Technologiegebote mit Sanktionen
  - Preiseinstrumente: Pigou-Steuer oder CO<sub>2</sub>-Steuer,
  - Mischung: Zertifikatshandelsystem (schafft Markt)

## 9.3 Verbote, Pigousteuer, Emissionshandel

### Internalisierungsinstrumente

1. Regulierung – Verbot eine andere Menge als  $x^*$  zu produzieren, oder Gebot eine bestimmte Technologie einzuführen
2. Pigou-Steuer – eine Steuer, deren Steuersatz den MEC im Optimum (Pigou, 1920)
3. Cap-and-trade policy – Mengenrestriktion (Cap) mit Handel der Emissionsrechte auf einem Markt (trade)

Pigou-Steuer und Cap-and-trade korrigieren Preise und nutzen Märkte um ein effizientes Gleichgewicht zu erreichen. Beide erzeugen Anreize zur Reduktion von Externalitäten, da die privaten Preise korrigiert werden.

## Ge- und Verbote

- **Verbote** (Verbot einer Technologie, z.B., Abschaffung vor Neuzulassung von Verbrennerfahrzeuge in der EU bis 2035)
- Gebote (Vorschrift zur Nutzung einer bestimmten Technologie)
- Regeln
  - e.g., Flottenziele für EU KFZ Produzenten, [Regulation 2019/631](#) + [Amendment](#)
    - 2020-2024 PKW 95 gCO<sub>2</sub>/km, Van 147 gCO<sub>2</sub>/kg NEDC Verfahren
    - 2025-2029 PKW 93.6 gCO<sub>2</sub>/kg, Van 153.9 gCO<sub>2</sub>/kg WLTP Verfahren
    - 2030-2035 PKW 49.5 gCO<sub>2</sub>/kg, Van 90.6 gCO<sub>2</sub>/kg WLTP Verfahren
    - >2035 PKW 0 gCO<sub>2</sub>/kg, Van 0 gCO<sub>2</sub>/kg WLTP Verfahren

WLTP Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure [2023/1623](#)

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

37

## Ge- und Verbote - Diskussion

### Diskussion:

- ✓ Ziele können klar formuliert werden und (vermeintlich) leichter erreicht werden
- ✓ Kann verlässlichen Rahmen für Investitionen schaffen (aber: regulatorisches Risiko)
  - Anpassungskosten können sehr hoch sein
  - (Regulierung ist nicht kostenlos; Kosten sind nicht explizit, sondern sind implizit)
  - Einführung einer Regulierung ist einfach, ihre Abschaffung ist beinahe unmöglich (Tullock, 1975)
  - Reduktion von Emissionen geschieht nicht zu den geringstmöglichen Kosten (ineffizient)
  - Setzt voraus, dass die Regierungen wissen, welche Technologien verfügbar sind und relevant sein werden

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

38

## Pigou-Steuer

- Steuer auf die Aktivität (Gut, Dienstleistung)  $x$  die Emissionen  $e$  erzeugt
- Optimaler Steuersatz ist die gleich den aggregierten Grenzschäden (MEC) im sozialen Optimum ( $SMC - MC = MEC$  at  $x^{**}$  oder  $e^{**}$ )

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

39

## Pigou-Steuer - Diskussion

### Diskussion:

- ✓ Intuitiv: Steuer korrigiert den "falschen" Preis, sodass die Verschmutzer die wahren Kosten ihrer Aktivität (Kosten der Externalität) berücksichtigen (Polluters-Pay-Principle)
- ✓ Erreicht Ziel zu den geringstmöglichen Kosten (effizient)
- ✓ Zusätzlich werden Steuererinnahmen erzielt, die beispielsweise für eine Erhöhung der Akzeptanz eingesetzt werden könnten
- In der Regel besteht ein Informationsproblem. SMC und MC werden außerhalb des sozialen Optimums beobachtet. SMC und MC im sozialen Optimum sind unbekannt.
- Daher häufig eine second-best Steuer
  - z.B. London Congestion Charge, Umweltsteuer, CO<sub>2</sub>-Abgabe

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

40

## Emissionshandel (Cap-and-trade)

1. Mengenbeschränkung (Cap) für die zulässigen Gesamtemissionen (Mengenrestriktion). Festlegung der Menge von Emissionszertifikaten
2. Nutzen den Marktmechanismus (Trade): Handel der Emissionszertifikaten auf einem eigens geschaffenen und behördlich organisierten Markt (basiert auf Coase Idee der Zuteilung von Eigentumsrechten)

## Emissionshandel (Cap-and-trade) - Diskussion

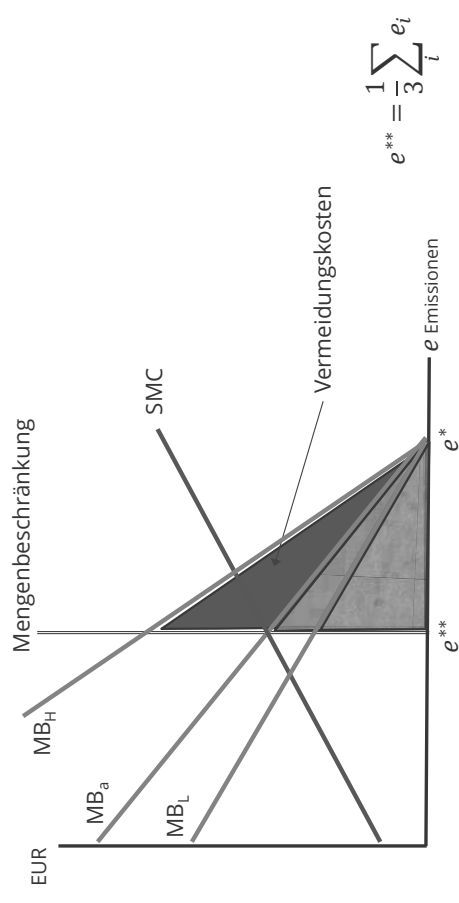
### Diskussion:

- ✓ Erreicht das Ziel zu den geringstmöglichen Vermeidungskosten (effizient)
- ✓ Werden die Zertifikate versteigert/verkauft, können Einnahmen erzielt werden, die für die Kompensation zur Erhöhung der Akzeptanz eingesetzt werden könnten
- ETS I European Emission Trading System (ETS) für energieintensive Unternehmen
- ETS II für Verkehr und Gebäude (Heizung)
- Wichtige Frage: kostenlose Zuteilung (z.B: Grandfathering) oder Versteigerung

## Ihre Aufgabe

- Wie hoch ist der CO2-Preis im EU ETS?
- Wie werden Zertifikate im EU ETS ausgeben?
  - Versteigert? Verkauft? Verschenkt?
- In welchen anderen Ländern gibt es ebenfalls Emissionshandelssysteme?

## Vermeidungskosten und Ge- und Verbote



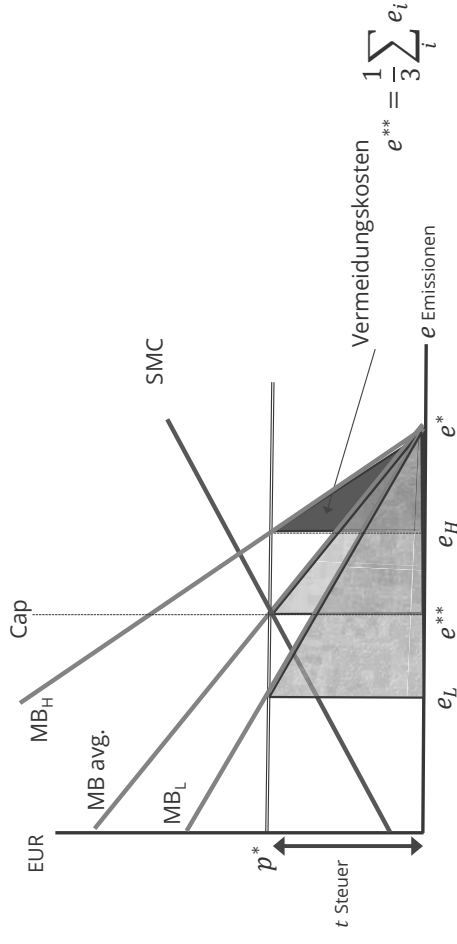
## Abb: Vermeidungskosten und Ge- und Verbote

- SMC ist die Summe der externen Grenzkosten (Social Marginal Costs), die durch die Emissionen  $e$  (via Immission) entstehen.
- Betrachtet werden drei Firmen mit unterschiedlichen Grenzvermeidungskosten (abatement costs), also unterschiedlichen Grenzbeneftkurven (MB).
  - $MB_H$  ist die durchschnittliche MB-Kurve der betrachteten Firmen.  $MB_H$  ist eine Firma mit höheren und  $MB_L$  eine Firma mit geringeren Vermeidungskosten
- Es wird eine Regulierung durchgeführt, die allen Firmen gerade Emissionen in Höhe von  $e^{**}$  erlauben (z.B. Vorschrift, einer bestimmten Technologie oder einfache Verbote von höheren Emissionen)
- Alle Firmen reduzieren dann ihre Emissionen von  $e^*$  auf  $e^{**}$ . Dadurch entstehen Vermeidungskosten und MB nimmt ab. Die Höhe der Vermeidungskosten einer Firma wird durch die Fläche unterhalb von MB zwischen  $e^*$  und  $e^{**}$  gebildet. Das Ziel  $e^{**}$  kann dann erreicht werden mit der Summe der drei Flächen als aggregierte Kosten.
- Die Kosten der Zielerreichung sind nicht minimal. Eine marginale Erhöhung der Emission durch Firma H und eine marginale Senkung der Emission durch Firma L würde bei gleicher Zielerreichung die Kosten reduzieren, da die Grenzvermeidungskosten von Firma L in der Nähe von  $e^{**}$  geringer sind als die von Firma H. Demnach ist diese Maßnahme zwar effektiv aber nicht kosteneffizient.

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

46

## Pigou-Steuer und Emissionshandel



47

## Abb: Pigou-Steuer und Emissionshandel

- SMC ist die Summe der externen Grenzkosten (Social Marginal Costs), die durch die Emissionen  $e$  (via Immission) entstehen.
- Betrachtet werden drei Firmen mit unterschiedlichen Grenzvermeidungskosten (abatement costs), also unterschiedlichen Grenzbeneftkurven (MB).
  - $MB_H$  ist die durchschnittliche MB-Kurve der betrachteten Firmen.  $MB_H$  ist eine Firma mit höheren und  $MB_L$  eine Firma mit geringeren Vermeidungskosten
- **Cap-and-Trade:** Es wird ein Cap gesetzt, der im Durchschnitt  $e^{**}$  entspricht. Die Menge  $Ne^{**}$  wird als Zertifikate ausgeben und auf einem Zertifikatsmarkt gehandelt. Am Ende entstehen Emissionen sodass die Emissionen je Firma so hoch sind, dass  $MB = \text{Preis (der Zertifikate)}$  entspricht.  $e^*$ ,  $e_H$ ,  $e_L$  sind dann die Emissionen der Firmen, die so gewählt werden, dass  $MC(p) = MB$  (Grenzvermeidungskosten) sind. Das Instrument ist effektiv und erreicht die Reduktion zu geringstmöglichen Kosten, da die Grenzvermeidungskosten für alle Firmen gleich sind und eine weitere Verschiebung von  $e$  zwischen den Firmen keine Kostenreduktion erlaubt. Daher ist das Instrument auch effizient.
- **Pigou-Steuer:** Eine Pigou-Steuer in Höhe von  $p$  (= Summe der sozialen Grenzkosten im Optimum  $e^{**}$ ) führt zum gleichen Ergebnis wie Cap-and-Trade. Sie ist daher effektiv und effizient.

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

48

## CO2-Steuer, ETS, Verbote

- Bei vollst. Instrumente sind alle drei effektiv hinsichtlich Emissionsziel
- Preisinstrumente führen zu Kosteneffizienz (Vermeidung dort zuerst, wo sie am billigsten ist)
- Verbote sind kosteneffizient
- Zusätzlich: Steuereinnahmen bei CO2-Steuer, äquivalent zu ETS, wenn Zertifikate versteigert werden
- Mengenvorgabe (ETS) ist vorteilhaft, da so direkt Zielvorgaben umgesetzt werden können (als Zertifikatsmenge)

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

49

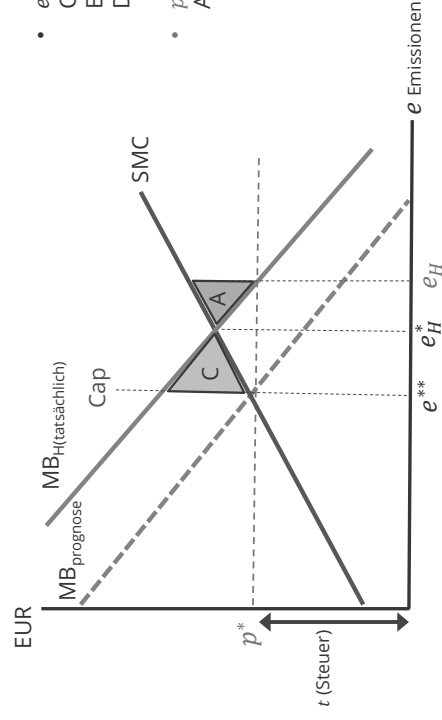
## Äquivalenz von Preis- und Mengenregulierung

- Weitzman (1974)
- Äquivalenz: Bei vollständiger Information on SMC und Vermeidungskosten (MB) sind alle drei Instrumente hinsichtlich Internalisierung gleich wirksam
- Bei unbekanntem SMC oder MB können Preis- oder Mengenregulierung besser sein. Das ist abhängig vom Verlauf der Kurven und dem Erwartungsfehler.



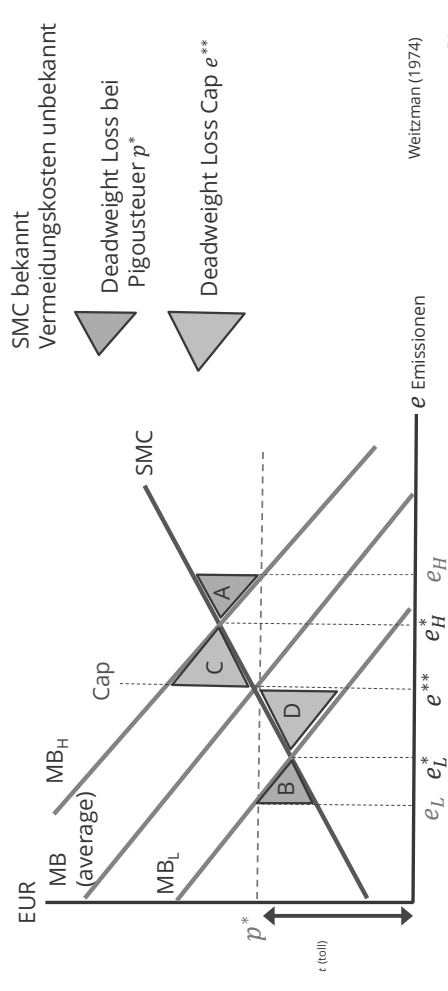
## 9.4 Instrumente bei Unsicherheit

### Hohe aber unbekannte Vermeidungskosten



- $e_H^*$  ist optimal, aber  $e_H$  ist die Emissionen (C ist Deadweight Loss)
- $p^*$  führt zu Deadweight Loss A, da zu viele Emissionen

### Eingriffe bei unbekanntem Vermeidungskosten

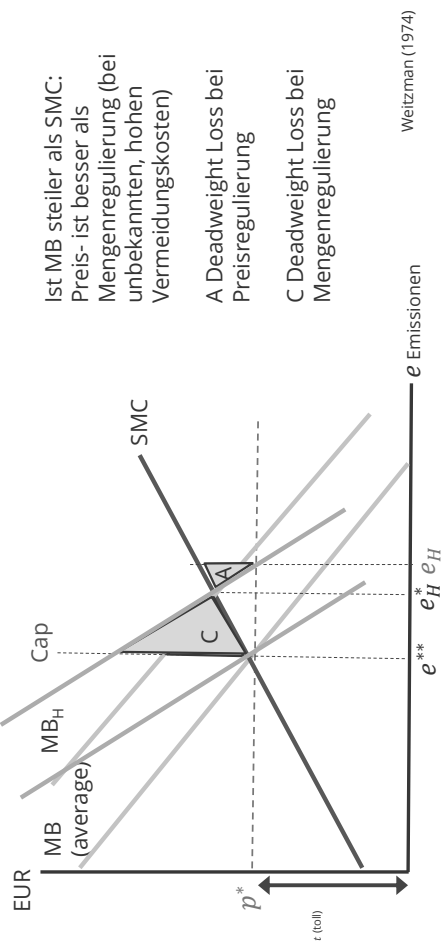


- SMC bekannt
- Vermeidungskosten unbekannt
- Deadweight Loss bei Pigousteuer  $p^*$
- Deadweight Loss Cap  $e^{**}$

## Abb: Eingriffe bei unbekanntem Vermeidungskosten

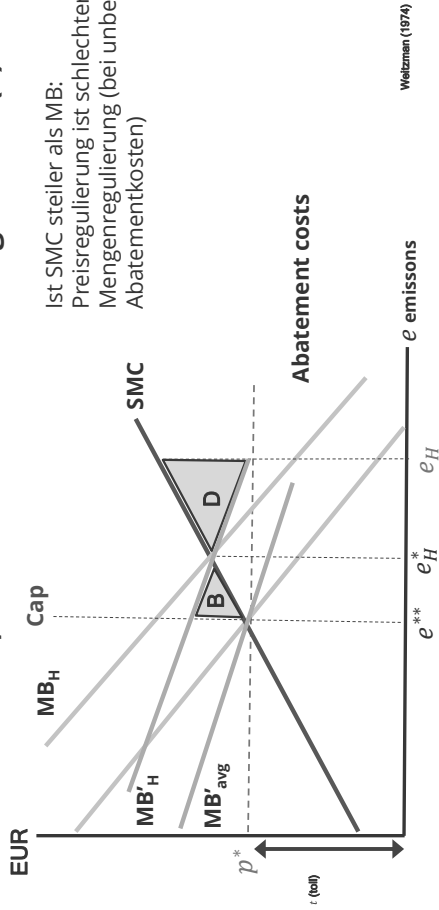
- Angenommen die sozialen Grenzkosten (SMC) sind bekannt, aber die Höhe der Vermeidungskosten (MB) ist unbekannt
- Angenommen, bei der Wahl der Instrumente wird MB (forecast) unterstellt und die Pigousteuer auf  $p^*$  oder alternativ die Menge der Zertifikate auf Cap festgelegt. Die anvisierte Menge wäre  $e^{**}$
- Wenn aber  $MB_H$  die tatsächlichen Vermeidungskosten abbildet dann ist  $e_H$  die sozial optimale Emissionsmenge.  $e^{**}$  ist dann zu niedrig. C ist dann der Wohlfahrtsverlust wegen der zu restriktiven Cap in Höhe von  $e^{**}$  und A der Wohlfahrtsverlust bei der dann zu geringen Pigousteuer, da dann  $e_H$  gewählt wird.
- Wenn aber  $MB_L$  die tatsächlichen Vermeidungskosten abbildet dann ist  $e_L$  die sozial optimale Emissionsmenge.  $e^{**}$  ist dann zu hoch. D ist dann der Wohlfahrtsverlust wegen der zu lockeren Cap (bei  $e^{**}$ ) und B der Wohlfahrtsverlust bei der zu hohen Pigousteuer, da dann  $e_L$  gewählt wird.

## Hohe aber unbekanntes Vermeidungskosten

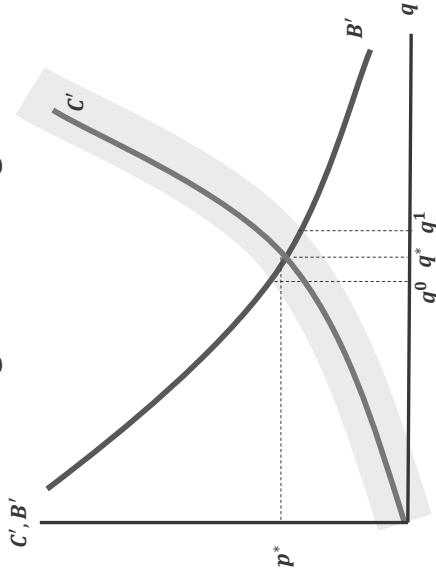


## Hohe, unbekanntes Vermeidungskosten (2)

- Angenommen die sozialen Grenzkosten (SMC) sind bekannt, aber die Höhe der Vermeidungskosten (MB) ist unbekannt. Angenommen, bei der Wahl der Instrumente wird MB (average) unterstellt und die Pigousteuer auf  $p^*$  oder alternativ die Menge der Zertifikate auf Cap festgelegt. Die anvisierte Menge wäre  $e^{**}$ .
- Angenommen die tatsächliche Grenzvermeidungskostenkurve ist im relevanten Bereich sehr steil und noch dazu durch hohe Vermeidungskosten gekennzeichnet  $MB_H$ .
  - Wenn aber  $MB_H$  die tatsächlichen Vermeidungskosten abbildet dann ist  $e_H$  die sozial optimale Emissionsmenge.  $e^{**}$  ist dann zu niedrig. C ist dann der Wohlfahrtsverlust wegen der restriktiven Cap und A der Wohlfahrtsverlust bei einer Pigousteuer.
- Angenommen die Grenzvermeidungskostenkurve ist im relevanten Bereich flach, dann gilt bei unerwartet hohen Vermeidungskosten (Bild (2))
  - Wenn aber  $MB_H$  die tatsächlichen Vermeidungskosten abbildet dann ist  $e_H$  die sozial optimale Emissionsmenge.  $e^{**}$  ist dann zu niedrig. B ist dann der Wohlfahrtsverlust wegen der restriktiven Cap und D der Wohlfahrtsverlust bei einer Pigousteuer.
  - Der Deadweight-Loss D der zu geringen Pigousteuer ist höher als der bei einer zu restriktiven Cap (Fläche D).

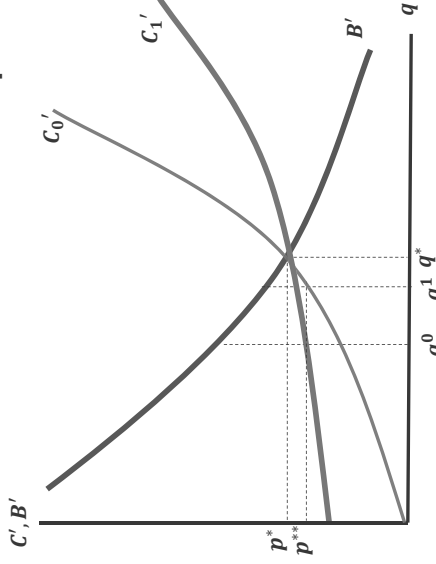


### Preis- vs. Mengensteuerung (3) - Informationsprobleme



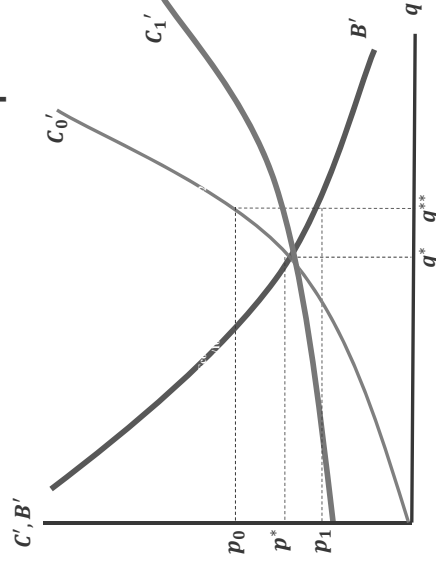
- Unsicherheit über Kostenverlauf (unvollst. Information)
- Je flacher die MC-Kurve ist, umso größer sind Ineffizienzen durch Preisinstrument
- Je steiler die MC-Kurve, desto größer Ineffizienzen bei Mengeninstrument

### Ineffizienzen durch suboptimale Preise



- Unsicherheit über Kostenverlauf (unvollst. Information)
- Je flacher die MC-Kurve umso größer sind Ineffizienzen durch Preisinstrument

### Ineffizienzen durch suboptimale Preise (2)



- Unsicherheit über Kostenverlauf (unvollst. Information)
- Je steiler die MC-Kurve umso größer sind Ineffizienzen durch Mengeninstrument

### 9.5 Externe Kosten -- Berechnung

- Ein optimales Preisinstrument: Pigousteuer = marginale externe Kosten
- Für die Bestimmung von Preisinstrumenten müssten die marginalen externen Kosten bekannt sein.
- Wie werden marginale externe Kosten von CO2- Emissionen ermittelt werden?
- Beispiel: EU für CO2-Emissionen im Verkehr
- Annahme: EU setzt Ziel so, dass  $MB = MC$ . Daher könne im Optimum marginale externe Kosten über marginale Vermeidungskosten (C) bestimmt werden.
  - CE Delft (2019)
  - Problem: Wie wird die optimale Emissionsmenge bestimmt?
  - Im Emissionshandel ergibt sich der Preis auch über die Vermeidungskosten

## Marginale externe Kosten im Verkehr (EU)

Table 24 - Climate change avoidance costs in €/tCO<sub>2</sub> equivalent (€<sub>2016</sub>)

	Low	Central	High
Short-and-medium-run (up to 2030)	60	100	189
Long run (from 2040 to 2060)	156	269	498

Table 26 – Total and average climate costs for aviation for selected 33 EU airports

Type of flight	Billion €	€-cent/pkkm	€-cent/pax*
Short haul (< 1,500 km)	2.14	2.39	1,315
Medium haul (1,500-5,000 km)	5.50	1.85	3,341
Long haul (> 5,000 km)	14.37	2.24	17,629
Total	22.01	2.14	5,383

\* Costs per pax are including the complete flight (not only the half-way principle).

– Quelle: CE Delft (2019)

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

Table 25 - Total and average climate change costs for land-based modes for the EU28

	Total costs EU28		Average costs	
	Billion €	€-cent per pkkm	€-cent per tkm	€-cent per vkm
Passenger transport				
Passenger car	55.56	1.18		1.90
Passenger car – petrol	32.02	1.22		1.97
Passenger car – diesel	23.54	1.12		1.80
Motorcycle	1.47	0.89		0.94
Bus	0.84	0.47		8.83
Coach	1.61	0.44		8.66
Total passenger road	59.49			
Passenger train diesel	0.22	0.34		20.1
Total passenger transport	59.71			
Freight transport				
LCV	13.17	3.98		2.75
LCV – petrol	0.71	3.76		2.56
LCV – diesel	12.45	3.99		2.77
HGV	9.65	0.53		6.48
Total freight road	22.79			
Freight train diesel	0.24	0.25		112.4
G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung				

## externe Kosten im Verkehr (EU)

Table 25 - Total and average climate change costs for land-based modes for the EU28

	Total costs EU28		Average costs	
	Billion €	€-cent per pkkm	€-cent per tkm	€-cent per vkm
Passenger transport				
Passenger car	55.56	1.18		1.90
Passenger car – petrol	32.02	1.22		1.97
Passenger car – diesel	23.54	1.12		1.80
Motorcycle	1.47	0.89		0.94
Bus	0.84	0.47		8.83
Coach	1.61	0.44		8.66
Total passenger road	59.49			
Passenger train diesel	0.22	0.34		20.1
Total passenger transport	59.71			
Freight transport				
LCV	13.17	3.98		2.75
LCV – petrol	0.71	3.76		2.56
LCV – diesel	12.45	3.99		2.77
G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung				

– Quelle: CE Delft (2019)

## Marginale externe Kosten im Verkehr (EU)

– Quelle: CE Delft (2019)

## Marginale externe Kosten von CO<sub>2</sub>-Emissionen

– Vermeidungskosten nur im ökonomischen Optimum gleich den marginalen externen Kosten!

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

## 9.6 Klimaneutralität als Ziel - Diskussion

- Ziel der Klimaneutralität bedeutet Emission in der Summe gleich Null
  - Exorbitante Kosten, da Kosten quadratisch steigen
    - Wohnungskosten steigen, Transportkosten steigen, Güter werden teurer oder vom Markt genommen...
  - Trade-off mit anderen gesellschaftlichen Zielen (Verteilung, Teilhabe, Lebensqualität)
- Ungeklärte Fragen:**
- Wer soll auf was verzichten?
  - Wer soll das finanzieren?
  - Was passiert in der Welt?
  - Optimaler Instrumentenmix, Synergieeffekte mit anderen Externalitäten

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

66

## Takeaway

- Externe Effekte und fehlende Eigentumsrechte als umweltökonomisches Grundproblem aus ökonomischer Sicht
- Vermeidungskostenkurve ist quadratisch
- Berechnung von Grenzschäden variieren stark wegen Unsicherheit und Diskontierungsfaktor
- Grenzschadenskurve verschiebt sich mit der Zeit nach oben
- Ökonomische optimale Emissionsmenge bei  $MB = SMC$  (Social Marginal Costs)
- Preisinstrumente (CO2 Steuer, Zertifikatshandel) sind besser als Verbote

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

67

## Literatur

- Aufhammer, M., 2018. Quantifying economic damages from climate change. *Journal of Economic Perspectives* 32 (4), 33-52.
- Buchholz, W., Sandler, T., 2021. Global public goods: A survey. *Journal of Economic Literature* 59 (2), 488-545.
- Duschka, V., Fleiter, T., Rehfeldt, M., Sensfuss, F., 2022. Vermeidungskostenstruktur für das Europäische Emissionshandelsystem (EU ETS). Abschlussbericht. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
- Gillingham, K., Stock, J.H., 2018. The cost of reducing greenhouse gas emissions. *Journal of Economic Perspectives* 32 (4), 53-72.
- Heal, G., 2017. The economics of the climate. *Journal of Economic Literature* 55 (3), 1046-1063.
- Kesicki, F., 2013. What are the key drivers of MAC curves? A partial-equilibrium modelling approach for the UK. *Energy Policy* 58, 142-151.
- Hsian, S., Kopp, R.E., 2018. An Economist's guide to climate change science. *Journal of Economic Perspectives* 32 (4), 3-32.

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

68

## Literatur (2)

- Nordhaus, W., 2019. Climate Change: The ultimate challenge for economics. *American Economic Review* 109 (6), 1992-2014.
- Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, 1987 (Brundtland-Kommission)
- Van Essen, H., Fiorello, D., El Bayrouy, K., Bieler, C., von Wijngaarden, L., Schrotten, A., Parolin, R., Brambilla, M., Sutter, D., Maffii, S., Fermi, F., 2019. Handbook on the external costs of transport. Version 2019 – 1.1. (CE Delft, 2019)
- Weitzman, M.L., 1974. Prices vs. Quantities. *The Review of Economic Studies* 41 (4), 477-491.

G. Hirte – TUD – Europäische Integration & Regionale Entwicklung

69