



Lösungsansätze



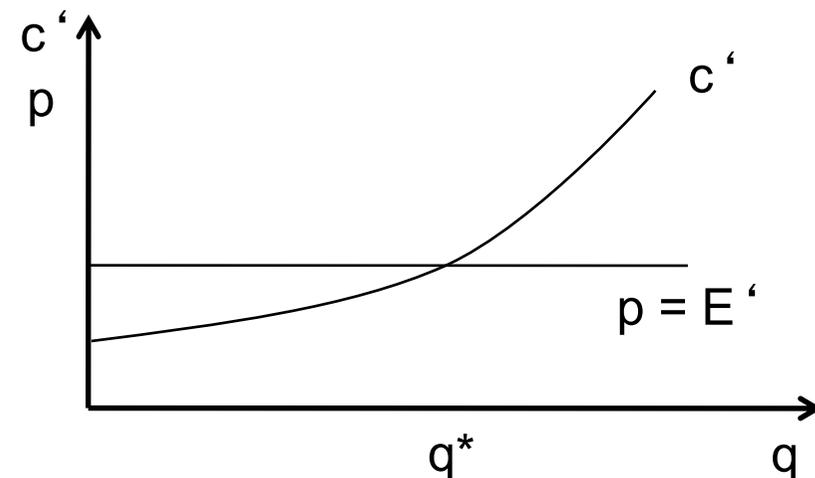
Lösungsansätze

- Prolog: Emissionen als Externalitäten
- Umweltpolitik
 - Ordnungspolitik (Ge- und Verbote)
 - Freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie
 - Steuern und Abgaben
 - Zertifikatslösungen im Verkehr
 - Das Klimapaket der Bundesregierung
- Technologischer Wandel im Verkehr
- Infrastruktur- und Verkehrspolitik

Emissionen als Externalitäten



- Wirtschaftstheoretisches Fundament
- Die Bedingungen für ein Gewinnmaximum (auf einem funktionierenden Markt) sind wie folgt:
 1. Grenzerlöse = Grenzkosten
 2. Unternehmen müssen das Preisgleichgewicht akzeptieren (d.h. sie haben keine Marktmacht und somit keinen Einfluss auf die Preisgestaltung) => Grenzerlöse = Preis
 3. Grenzkosten = Preis (Die Grenzkosten können als Angebotsfunktion interpretiert werden)

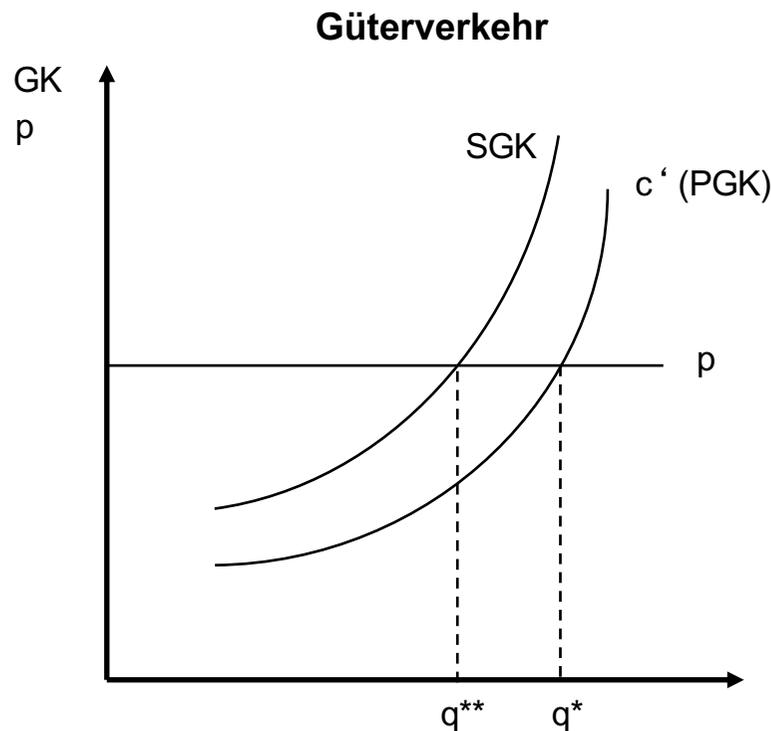


Emissionen als Externalitäten



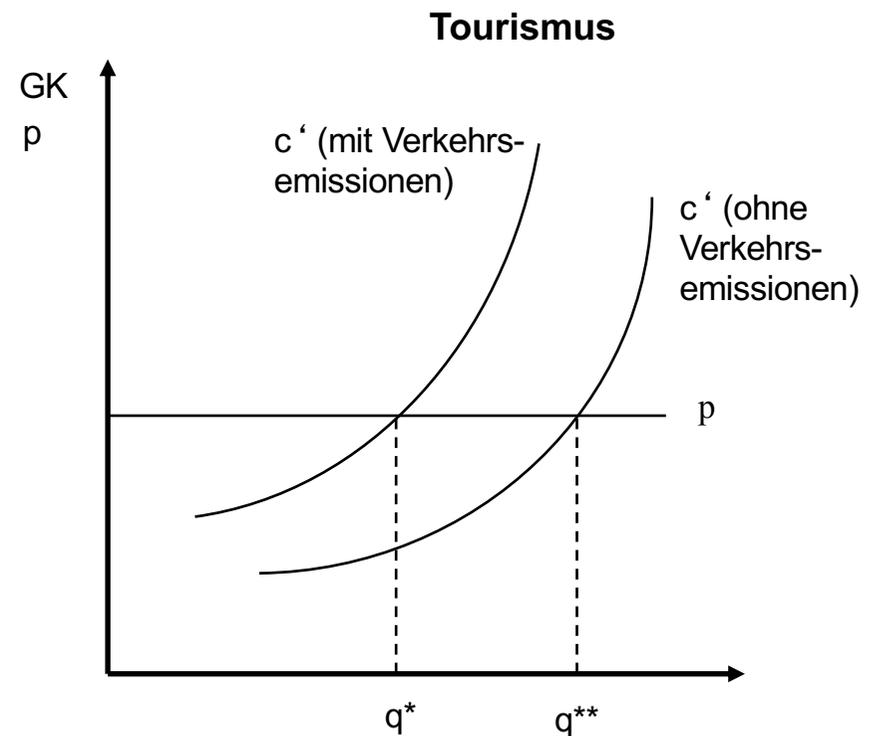
- Ein idealer Markt ist dadurch gekennzeichnet, dass jeder Akteur für die von ihm verursachten Kosten trägt.
- Ebenso erhält jeder Akteur in einem idealen Markt für die durch sein Handeln bei Dritten erzeugten Vorteile – sofern er dies will – ein Entgelt.
- Sind diese Voraussetzungen des Modells der vollständigen Konkurrenz nicht erfüllt, so liegen externe Effekte (Externalitäten) vor.
- Im Folgenden wird von dem Fall ausgegangen, dass sich durch Emissionen im Güterverkehr, das Ergebnis der Tourismusindustrie verschlechtert.

Soziale und private Grenzkosten



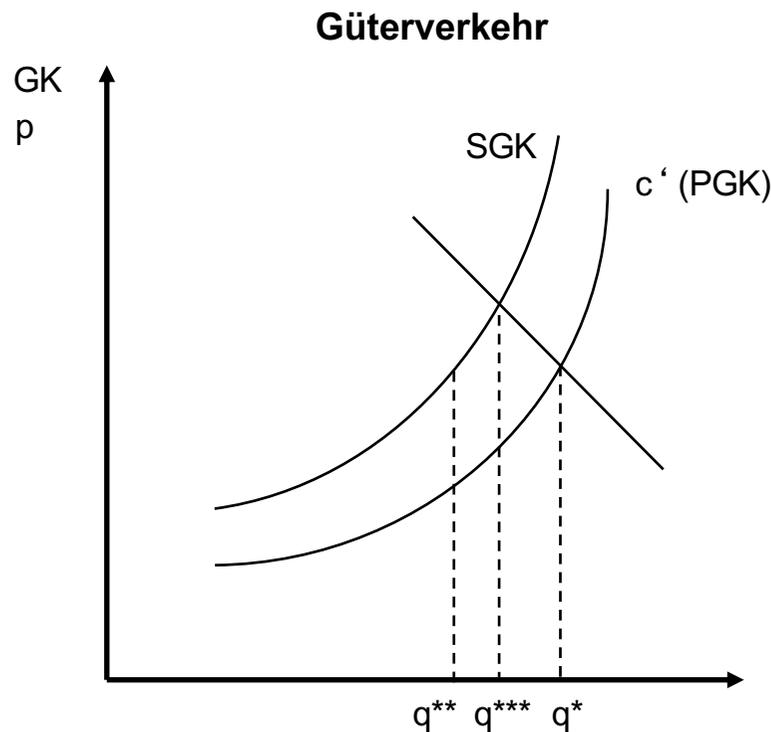
Da der Güterverkehr externe Kosten (durch Emissionen) verursacht, liegen die sozialen Grenzkosten (SGK) über den privaten Grenzkosten (PGK).

Der optimale Output fällt bei Berücksichtigung der externen Kosten von q^* auf q^{**} .

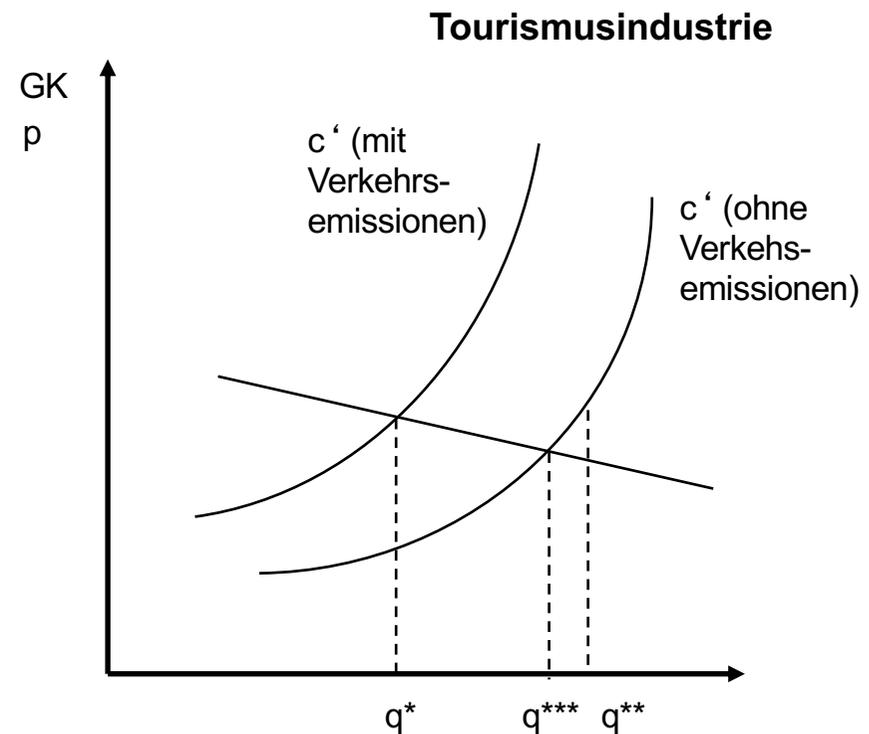


Ohne Verkehrsemissionen wären die Grenzkosten für die Tourismusindustrie geringer und ihr optimaler Output höher.

Soziale und private Grenzkosten



Betrachtet man den gesamten Markt so sind auch Preiseffekte relevant. Der aktuelle Marktpreis für Verkehrsleistung ist zu gering.
 Der optimale Output fällt bei Berücksichtigung von Preiseffekten nur auf q^{***} (und nicht q^{**}).



Ohne externe Kosten wäre touristische Leistungen günstiger.
 Der optimale Output q^{***} läge zwar über q^* aber unter q^{**} .

Emissionen als Externalitäten



- Das hier gewählte Beispiel dient der Illustration. Es zeigt beispielhaft, dass die Existenz externer Effekte zu falschen Signalen am Markt und letztlich zu Marktversagen führen kann.
- Im Folgenden soll daher auf verschiedene Strategien zur Internalisierung externer Effekte eingegangen werden.

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



■ Definition

Summe aller rechtlich-organisatorischen Maßnahmen, durch die die Träger der Wirtschaftspolitik über eine entsprechende Ausgestaltung der Wirtschaftsverfassung die längerfristigen Rahmenbedingungen für den Wirtschaftsprozess innerhalb einer Wirtschaftsordnung setzen (*Gabler Wirtschaftslexikon*).

■ Ausprägungen

- Grenzwertgesetzgebung

- Richtlinie zur Anwendung der *besten verfügbaren Techniken* (BVT) (*best available technology* BAT)

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



■ Grenzwert-Gesetzgebung

- Ziel: Definition eines Grenzwertes zum Schutz der Umwelt, Gesundheit etc.
- Mehrheitlich Festlegung spezifischer Grenzwerte
- Vorteile
 - Klare Vorgaben, Planungssicherheit
 - Keine bereichsweisen Wettbewerbsvor- oder Nachteile
 - Vermeidung von Hot Spots
- Nachteile
 - Langwieriger Prozess
 - Geringe ökonomische Effizienz
 - Möglichkeit des Staatsversagens
 - Im Regelfall keine absolute Deckelung der Emissionen

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



- Richtlinie zur Anwendung der *besten verfügbaren Techniken* (BVT)
 - Besonders umweltrelevante (Industrie-)Anlagen müssen die *besten verfügbaren Techniken* anwenden
 - *Techniken*: sowohl angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie Anlagen geplant, gebaut, gewartet oder betrieben werden.
 - *besten*: effizienteste und fortschrittlichste Methoden die besser als andere geeignet sind Emissionen zu vermeiden oder verringern.
 - *verfügbar*: Techniken, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mitgliedstaats verwendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind.

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



- Richtlinie zur Anwendung der *besten verfügbaren Techniken* (BVT)
 - Vorteile
 - Hoher Innovationsanreiz
 - Dynamische Anpassung an technologische Entwicklung
 - Nachteile
 - Hoher Bedarf an aktueller Information (geregelt durch den Sevilla Prozess (Informationen werden für die EU in Sevilla gesammelt))
 - Weiche Formulierungen erschweren die Umsetzung
 - Parallele Entwicklungen könnten erschwert werden (Gefahr des technologischen Lock-in)

Umweltpolitik - Ordnungspolitik

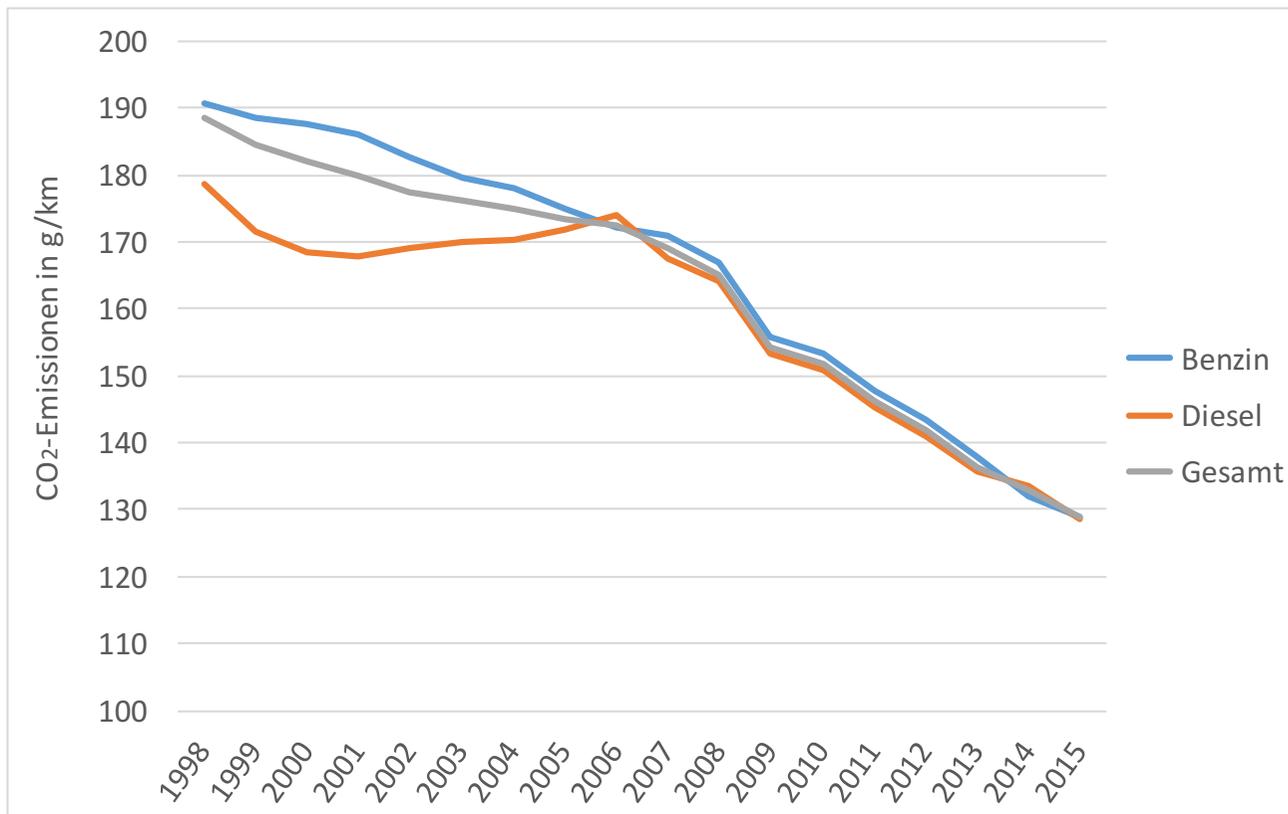


- Einordnung aus wirtschaftstheoretischer Sicht
 - Grenzwertgesetzgebung
 - Effektivität / Wirksamkeit
 - bezüglich spezifischer Emissionen ✓
 - bezüglich Deckelung der Emissionen -
 - Effizienz -
 - Wettbewerbskonformität ✓
 - Anwendung BVT
 - Effektivität / Wirksamkeit
 - bezüglich spezifischer Emissionen ✓
 - bezüglich Deckelung der Emissionen -
 - Effizienz ✓(?)
 - Wettbewerbskonformität - (?)

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



- Entwicklung der spezifischen mittleren CO₂ Emissionen neu zugelassener PKW in Deutschland bis 2015

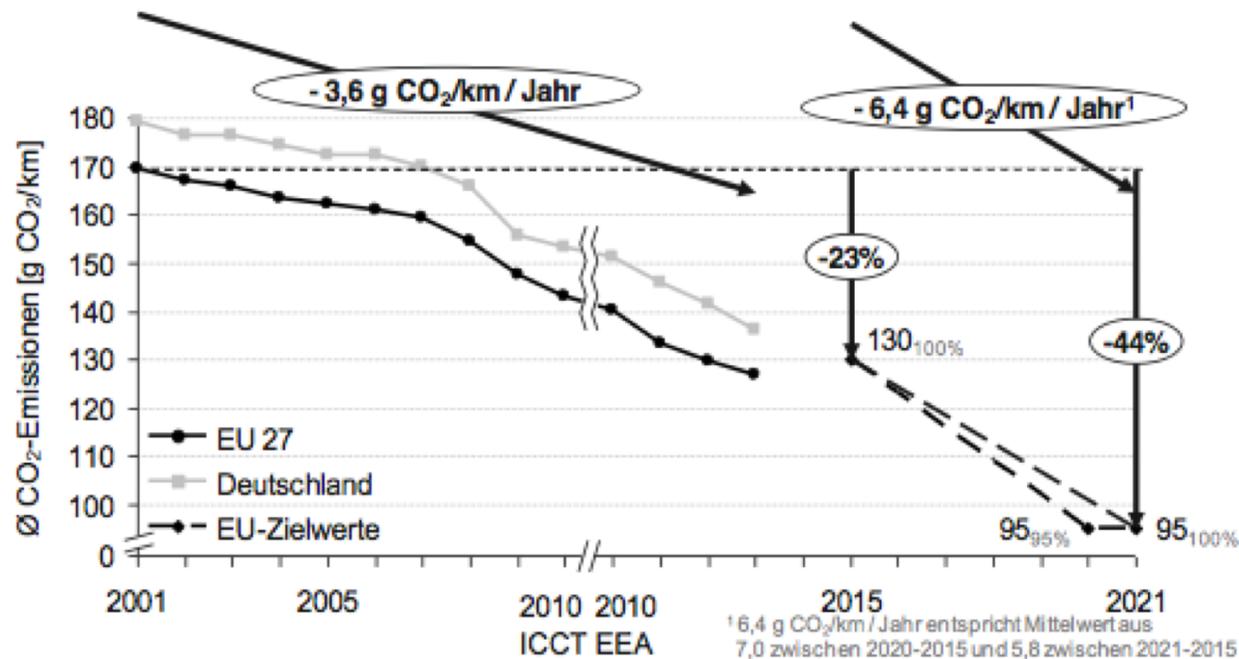


Quellen: Krafftahrtbundesamt 2015, Umweltbundesamt 2011

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



- Entwicklung der spezifischen mittleren CO₂ Emissionen neu zugelassener PKW in Deutschland bis 2020



Quelle: European Environmental Agency

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



- CO₂ Grenzwert-Gesetzgebung für Pkw
 - Ziel: Durchschnittlicher CO₂- Ausstoß von 120 g CO₂/km für Neuwagen in der EU bis 2015 (aktuell ca. 165g/km in DE, ca. 155g/km in EU, 140g/km Selbstverpflichtung der Automobilindustrie)
 - 130 g/km müssen durch Verbesserungen in der Motorentechnologie erreicht werden, wobei eine Einsparung bis zu sieben Gramm durch Offset-Maßnahmen wie Solardächer, angerechnet werden.
 - Fehlende Einsparung durch Entwicklung von Reifen, Treibstoffen, etc.
 - Gesetzgebung wird stufenweise bis 2015 eingeführt.
 - Für 2020 ist ein Grenzwert von 95g/km geplant.

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



- Minderungspotential einer CO₂ Grenzwert-Gesetzgebung für Pkw
 - Falls der Grenzwert für 2020 verbindlich festgelegt wird, besteht für Deutschland ein Minderungspotential von ca. 5,6 Mio. t CO₂ (ca. 6% Reduzierung der durch den Pkw-Verkehr erzeugten Emissionen) gegenüber dem Trendszenario.
 - Für 2030 beträgt das Einsparpotential ca. 10,8 Mio. t CO₂ (ca. 13%) gegenüber dem Trendszenario.

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



- Vorgaben der EU Kommission für 2030
 - Reduktion des CO₂-Ausstoßes von Neuwagen um 30% bis 2030 (basierend auf neuem Testverfahren)
 - Reduktion um 15% bis 2025
 - Ausgangspunkt sind 95 g/km für Pkw und 147 g/km für leichte NFZ (basierend auf altem Testverfahren)
 - Strafen: 95 Euro für jedes zu viel emittiertes Gramm (pro Auto)
 - Keine verbindliche Quote für Elektroautos aber Zielgröße liegt bei 30% der Neuwagen (Bonifikation bei Übererfüllung)

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



Neuregelung der EU Kommission für 2030

- Aktuell lassen die verfügbaren Daten keine Gesetzgebung zu
 - Leichte NFZ (<3,5 t) könnten wie PKW behandelt werden
 - Technische Probleme bei der Messung der Emissionen von schweren NFZ
 - Ermittlung von CO₂ Emissionen in g/kWh möglich
 - Streckenbezogene Berechnung schwierig, da NFZ Motoren in unterschiedlichen Fahrgestellen mit unterschiedlichen Aufbauten und Getriebeauslegungen zum Einsatz kommen
 - Normierte Hochrechnung auf Gesamtfahrzeug
 - Ziel: Standardisiertes Verfahren zur Ermittlung der realen, durch den Antrieb bedingten CO₂ Emissionen der schweren Nutzfahrzeuge bis spätestens 2012 in der EU einzuführen (noch immer auf der Agenda).
- Einsparpotential bei Einführung von CO₂ Grenzwerten gemäß vorhandener Technologie liegt bei ca. 5% der Emissionen aus dem Straßengüterverkehr.

Umweltpolitik - Ordnungspolitik



- Potentielle Anwendungen der *besten verfügbaren Techniken* (BVT) im Verkehr
 - Einsatz von Dieselpartikelfilter
 - Einsatz effizienter Motoren
 - Regelung des maximalen Spritverbrauchs in Abhängigkeit der Motorleistung
 - Entwicklung neuer Antriebstechniken

Umweltpolitik – Freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie



■ Definitionen

- FSV im weiteren Sinn: einseitige, rechtlich unverbindliche Erklärung eines Unternehmens oder eines Branchenverbandes, innerhalb einer bestimmten Zeit ein bestimmtes Ziel erreichen zu wollen (vgl. Corporate Social Responsibility)
- FSV im engeren Sinne: FSV von Verbänden, die vom Staat angeregt worden sind oder sogar das Ergebnis informeller Absprachen mit dem Staat darstellen
 - Tauschgeschäft zwischen Verband und Staat: Der rechtlich unverbindlichen Erklärung des Verbandes steht ein rechtlich unverbindlicher Verzicht des Staates (auf die Erlassung einer gesetzlichen Regelung) gegenüber.

Umweltpolitik – Freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie



- Bewertung aus wirtschaftstheoretischer Sicht
 - Wirksamkeit / Effizienz
 - Ziele der Selbstvereinbarung
 - Umweltschutz
 - Verzicht des Staates auf Gesetzgebung
 - Ziele werden erreicht, falls die Mehrheit der Unternehmen dem Verband angehört und sich zielkonform verhält.
 - Außenseiter, die sich nicht an die Vereinbarung halten, partizipieren ebenfalls an den Vorteilen der Regelung (Gesetzesverzicht). Sie haben somit einen Kostenvorteil und genießen ein *free lunch*.
 - Hoher Anreiz sich als *Trittbrettfahrer* zu positionieren deutet auf eine geringe Wirksamkeit und Effizienz der Maßnahme hin.

Umweltpolitik – Freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie



- Wettbewerbskonformität
 - Notwendigkeit der Gruppendisziplin erhöht Gefahr von
 - Abschottung des Marktes sowie von
 - Absprachen der Wettbewerber
 - Gefahr der intramodalen Wettbewerbsverzerrung
 - Liegen unterschiedliche Zielvereinbarungen für verschiedene Märkte vor, kann es zu internationalen Wettbewerbsverzerrungen kommen.
 - Bilaterale Absprachen zwischen Staat und einzelnen Verbänden widerspricht den allgemeinen ordnungspolitischen Rahmenbedingungen (vgl. Mindestlohnproblematik).

Umweltpolitik – Freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie



Bewertung aus wirtschaftstheoretischer Sicht (Zusammenfassung)

Effektivität / Wirksamkeit

bezüglich spezifischer Emissionen

—

bezüglich Deckelung der Emissionen

—

Effizienz

—

Wettbewerbskonformität

—

Umweltpolitik – Freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie



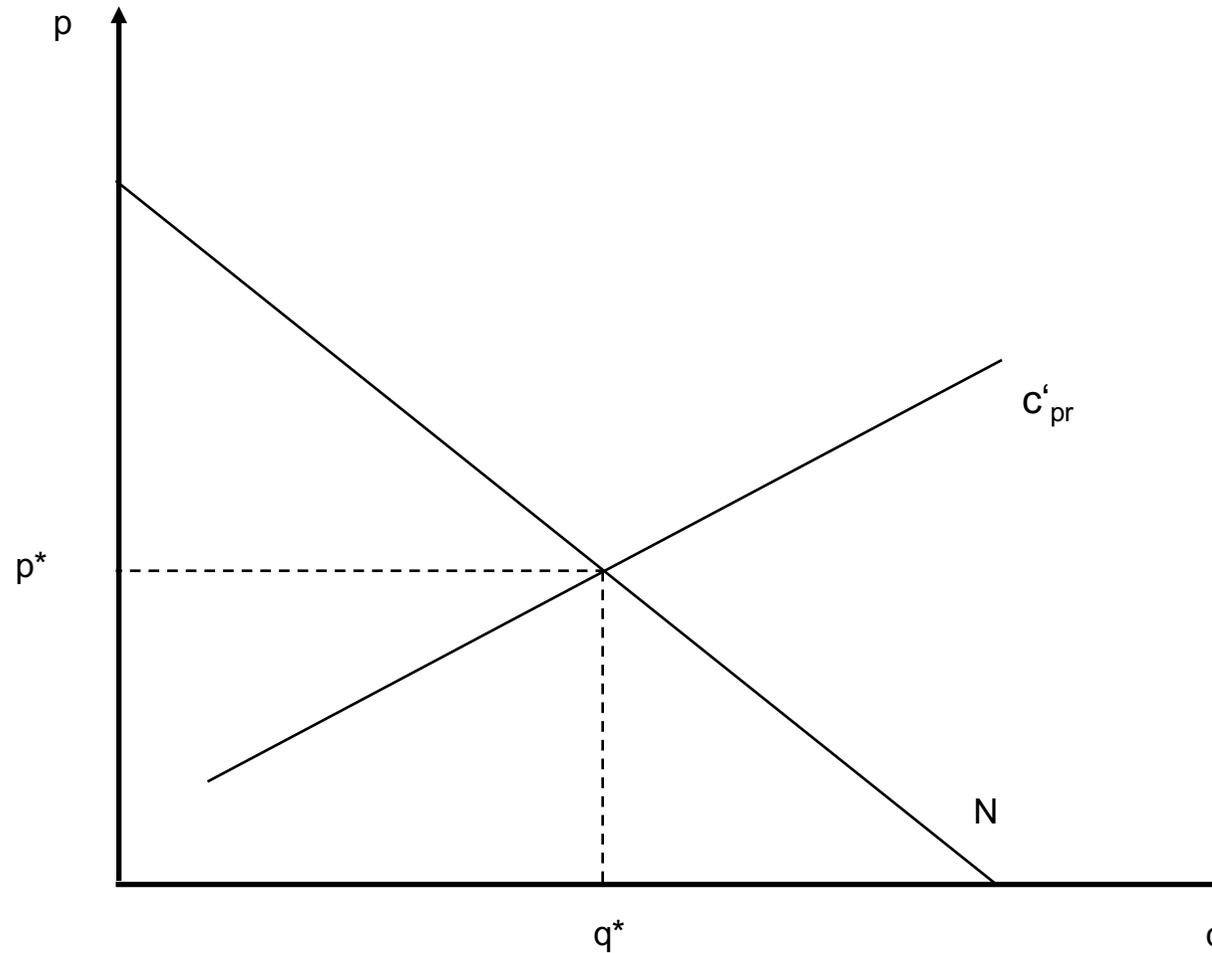
- Empirische Betrachtung
 - Vielfältige Erfolge in der Chemie-, Automobil-, Abfall- und Verpackungsindustrie
 - Schutz der Ozonschicht
 - Reduzierung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs
 - Einhaltung der Recyclingquote
 - Einhaltung der Mehrwegquote
- FSV können sich als überlegen gegenüber ordnungspolitischen Maßnahmen erweisen, falls allgemeine, verbindliche Regelungen nicht oder nur schwer zu erreichen sind. In der Regel sind sie außerdem flexibler und schneller umzusetzen.
- Umgekehrt sollte die Politik auf einen Misserfolg der FSV eingestellt sein um ordnungspolitische Maßnahmen schnell realisieren zu können.

Erhebung von Steuern

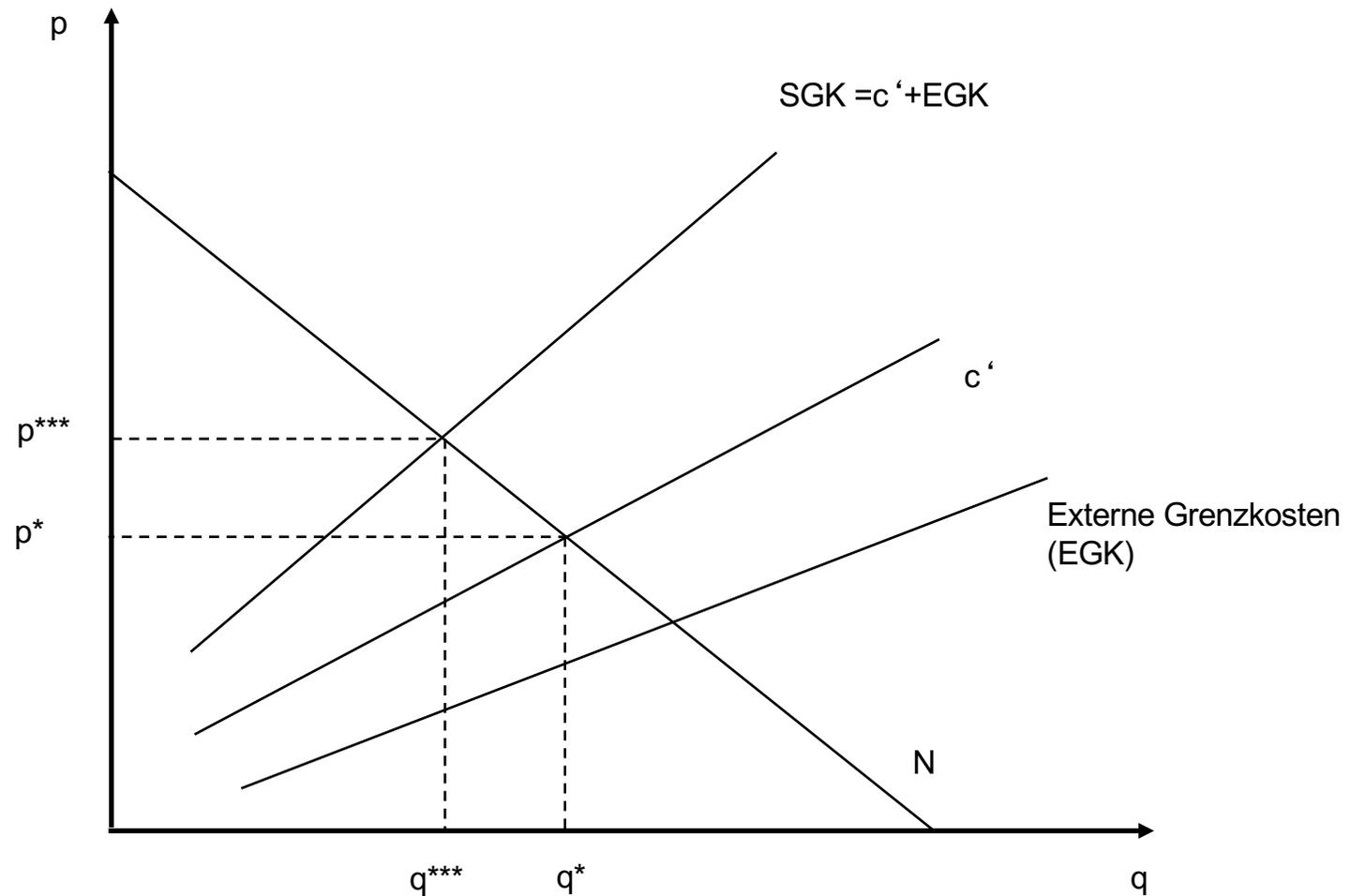


- Internalisierung externer Kosten durch Besteuerung geht auf einen Ansatz von Arthur Pigou (1877 – 1959) zurück.
- Die Idee der Pigou-Steuer (t) besteht darin, die privaten Grenzkosten durch die Erhebung einer Steuer auf das Niveau der sozialen Grenzkosten zu bringen, um so Fehlallokationen zu verhindern.
- Die angestrebte Übereinstimmung von privaten und sozialen Grenzkosten im Optimum könnte durch eine von den Produzenten zu entrichtende, proportionale Steuer pro Mengeneinheit erreicht werden.

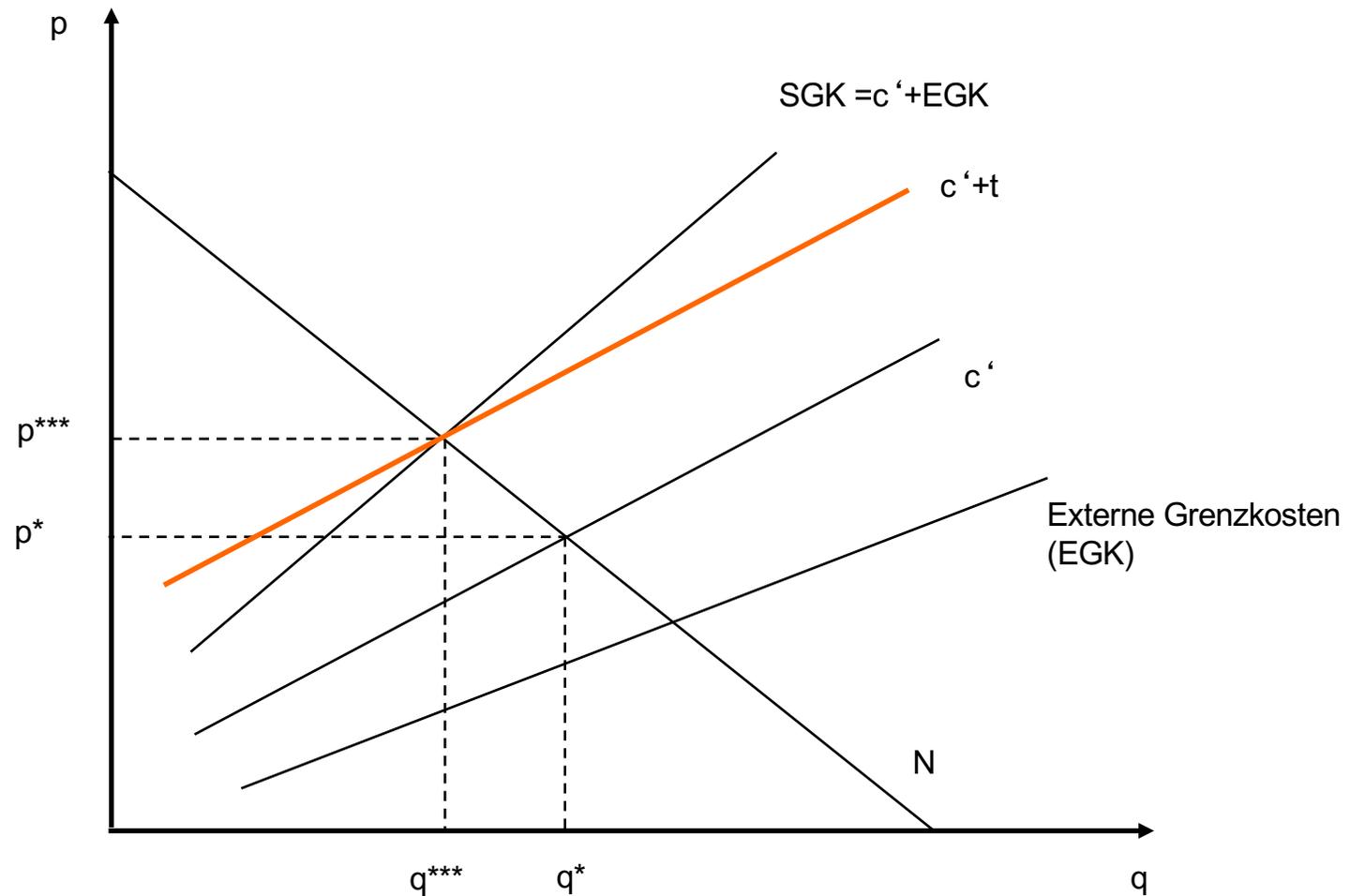
Pigou-Steuer zur Internalisierung externer Kosten



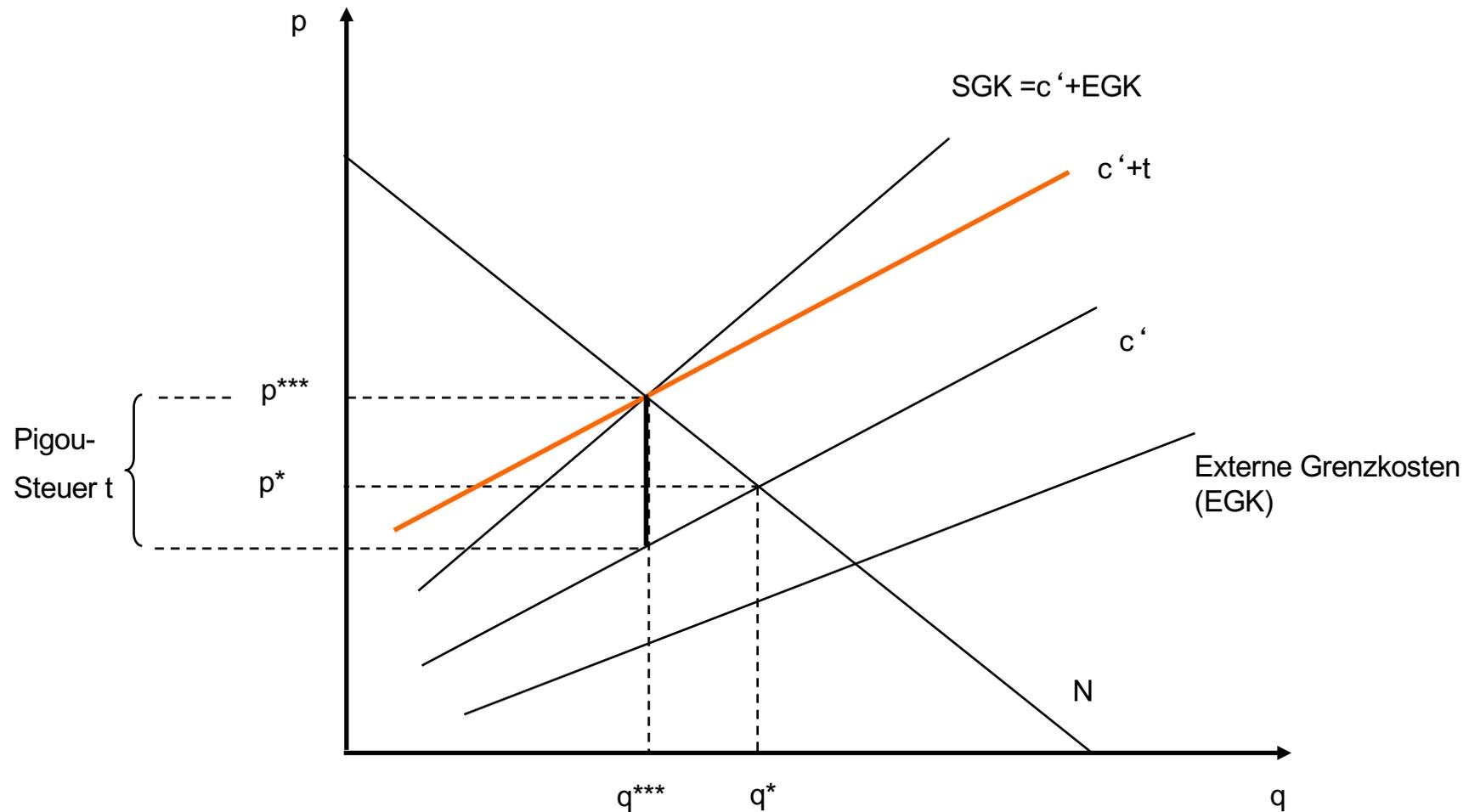
Pigou-Steuer zur Internalisierung externer Kosten



Pigou-Steuer zur Internalisierung externer Kosten



Pigou-Steuer zur Internalisierung externer Kosten



Pigou-Steuer zur Internalisierung externer Kosten



- q : Kraftstoffverbrauch in Liter
- p : Preis pro Liter
- t : Ökosteuer pro Liter

- Berechnung von t

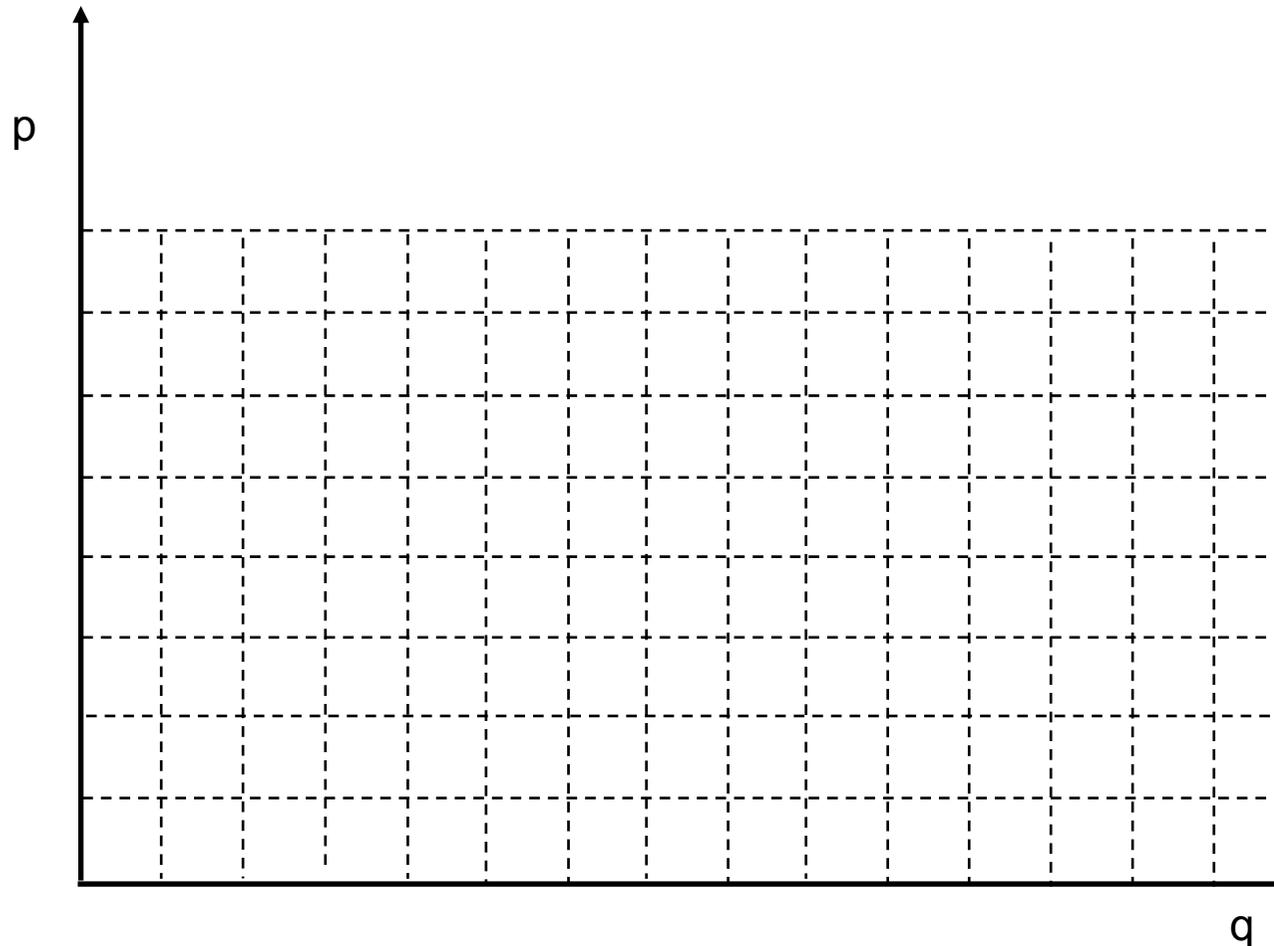
Preis-Absatzfunktion: $p = 7 - \frac{1}{4} q$

Private Kostenfunktion: $c_{pr} = 3 + \frac{1}{4} q^2$

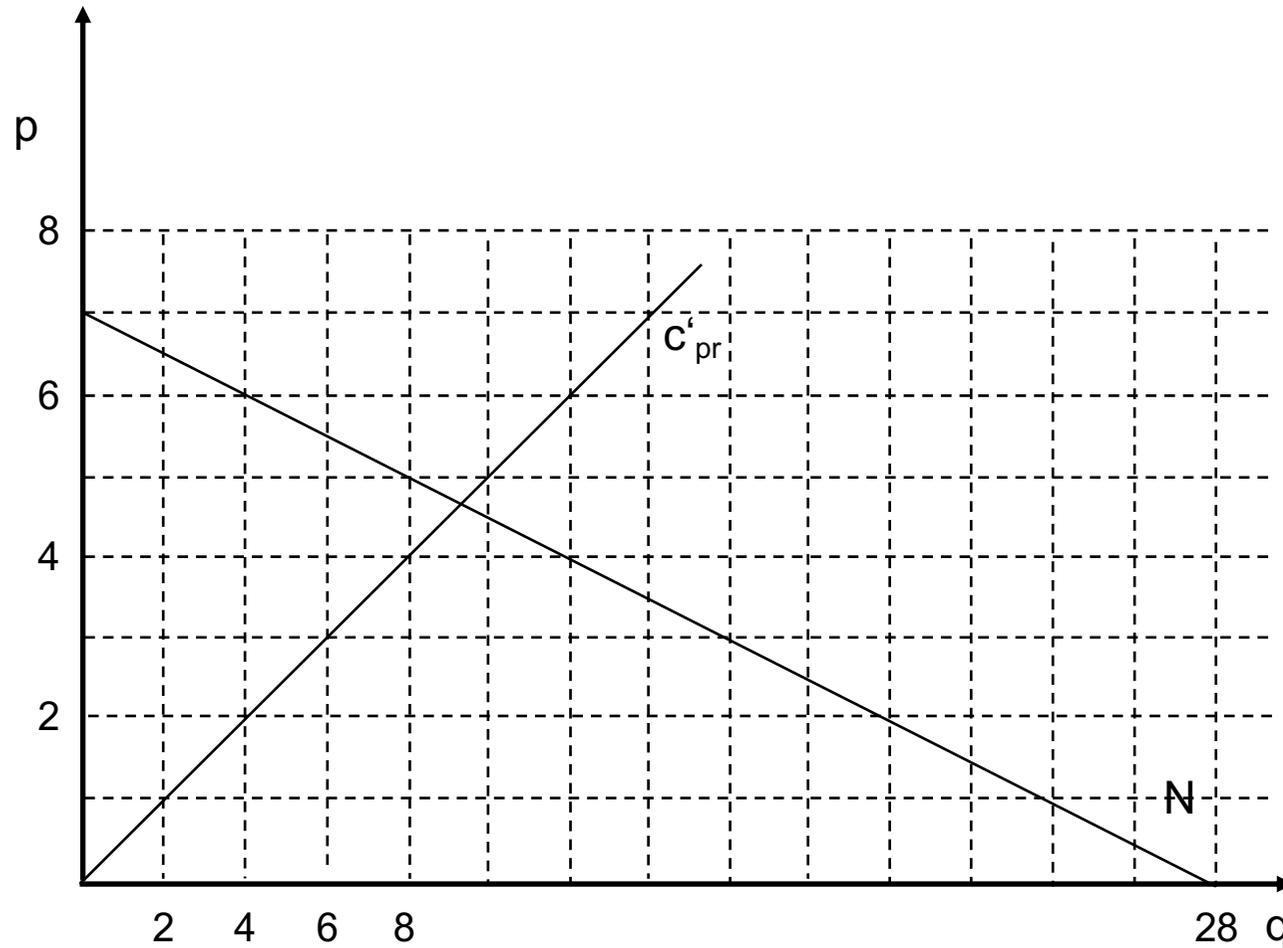
Externe Kostenfunktion: $c_{ex} = 2 + \frac{1}{2} q^2$

1. Ermitteln Sie t analytisch.
2. Bestätigen Sie Ihr Ergebnis graphisch.
3. Auf welchen wichtigen Annahmen basiert das Ergebnis?

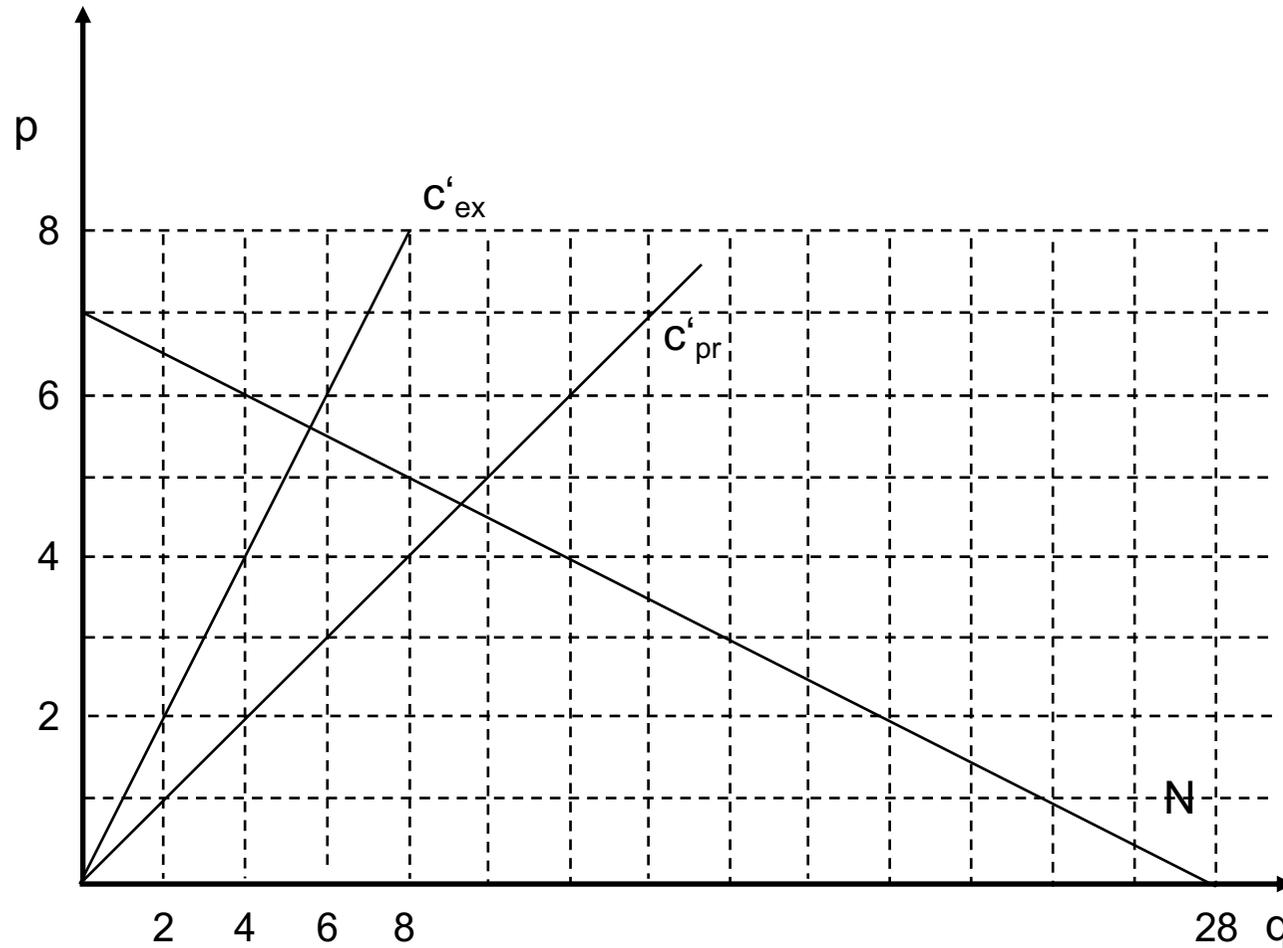
Lösung siehe Vorlesung!



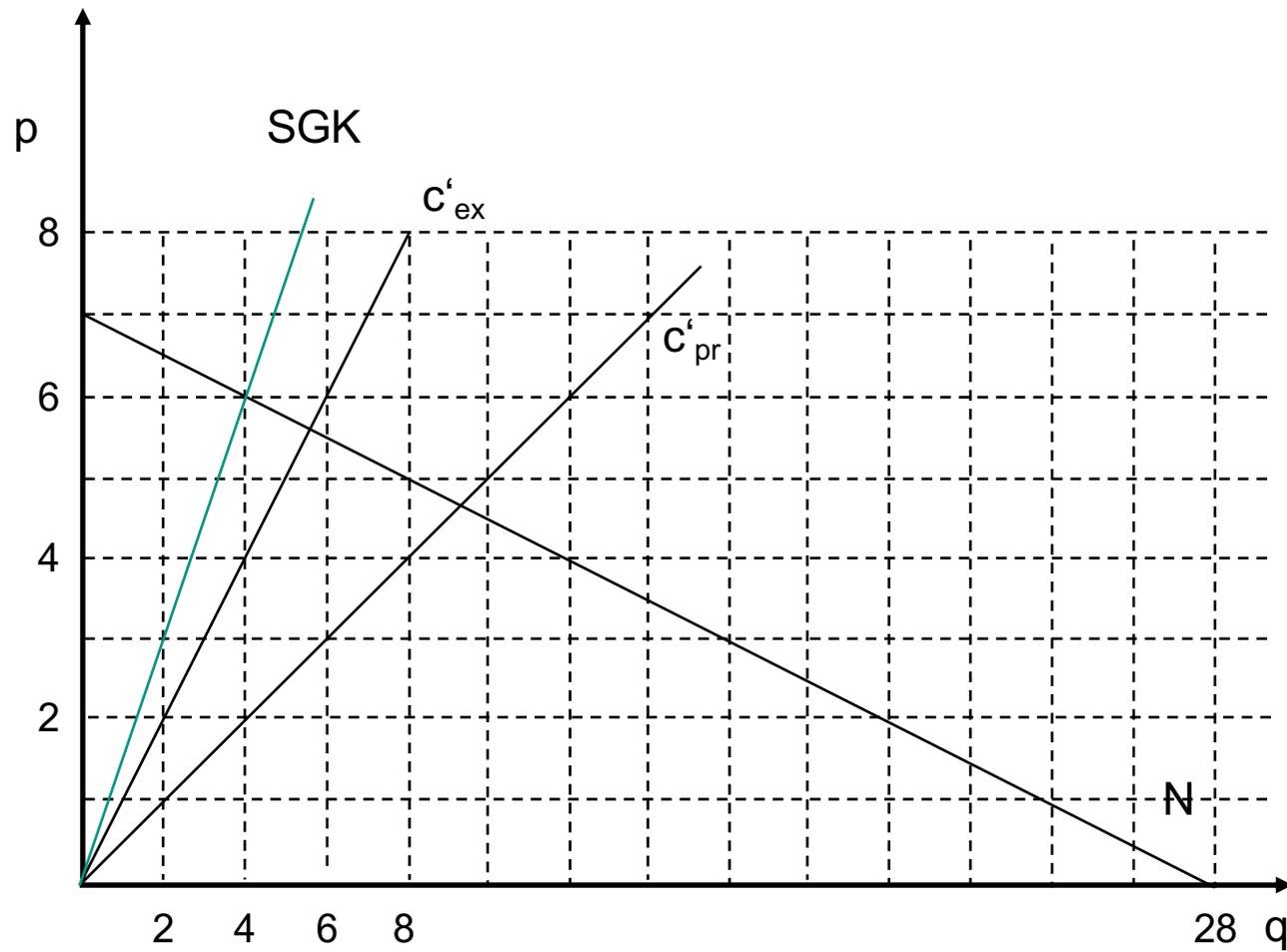
Lösung siehe Vorlesung!



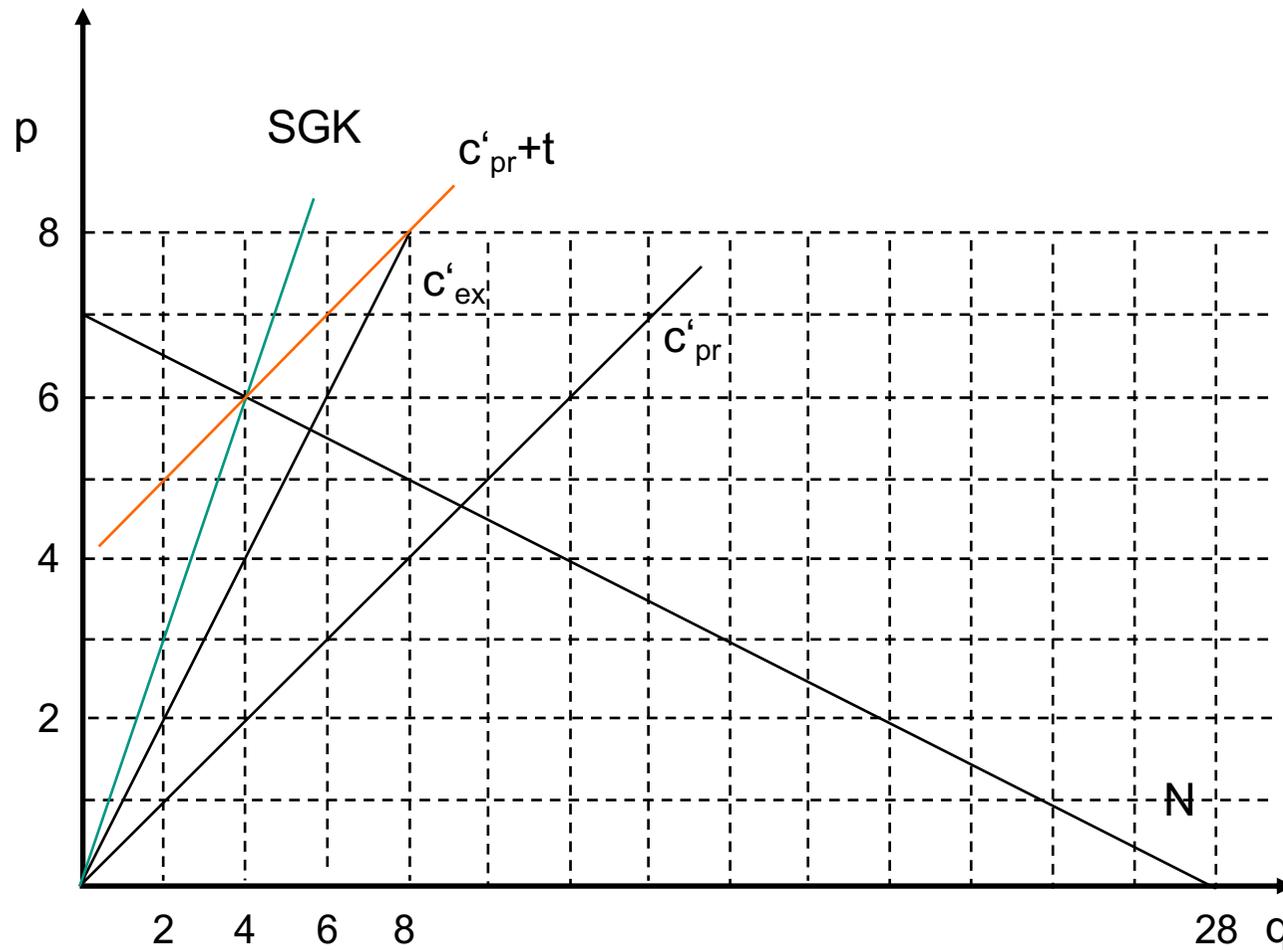
Lösung siehe Vorlesung!



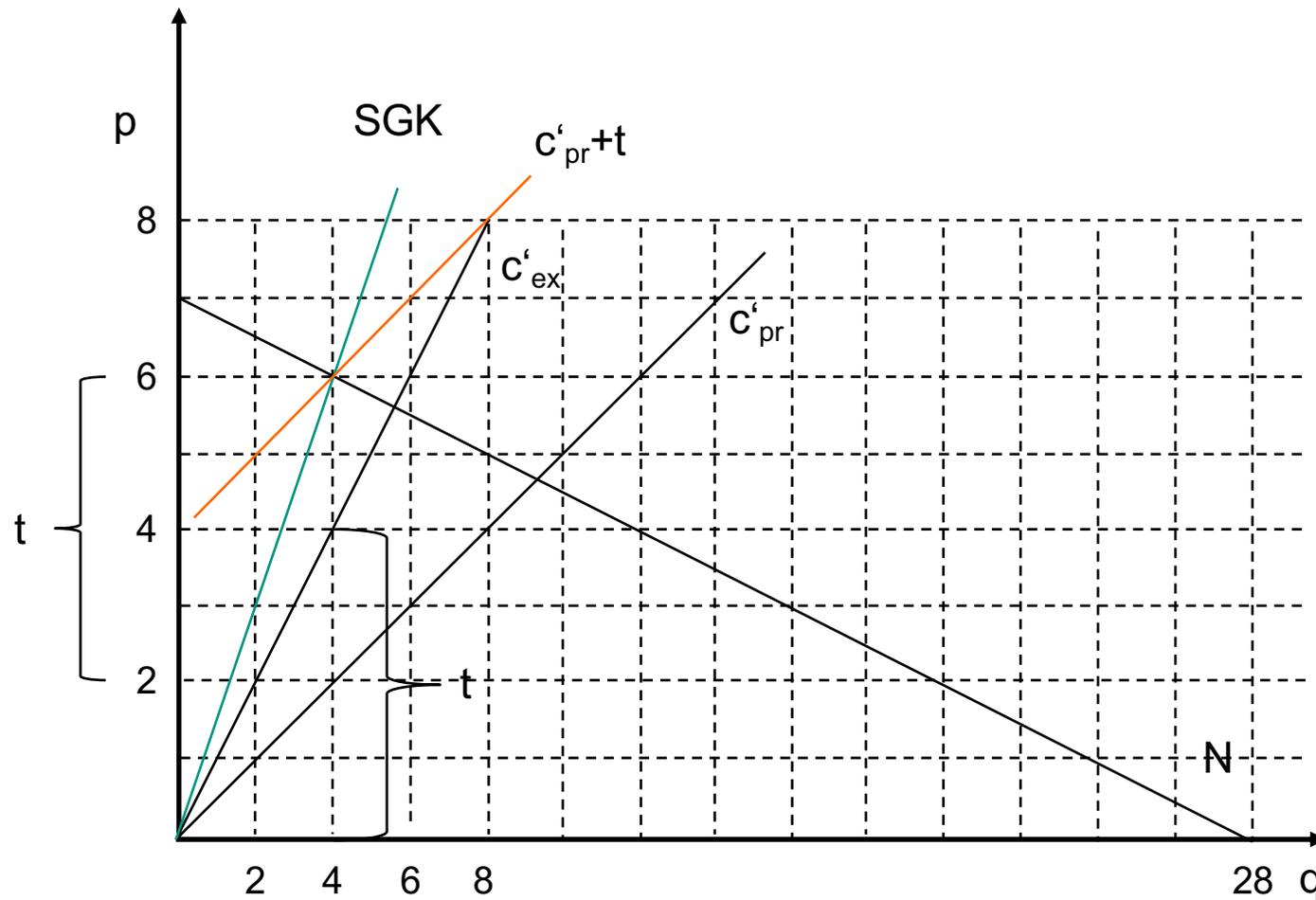
Lösung siehe Vorlesung!



Lösung siehe Vorlesung!



Lösung siehe Vorlesung!



Kritik an der Pigou-Steuer



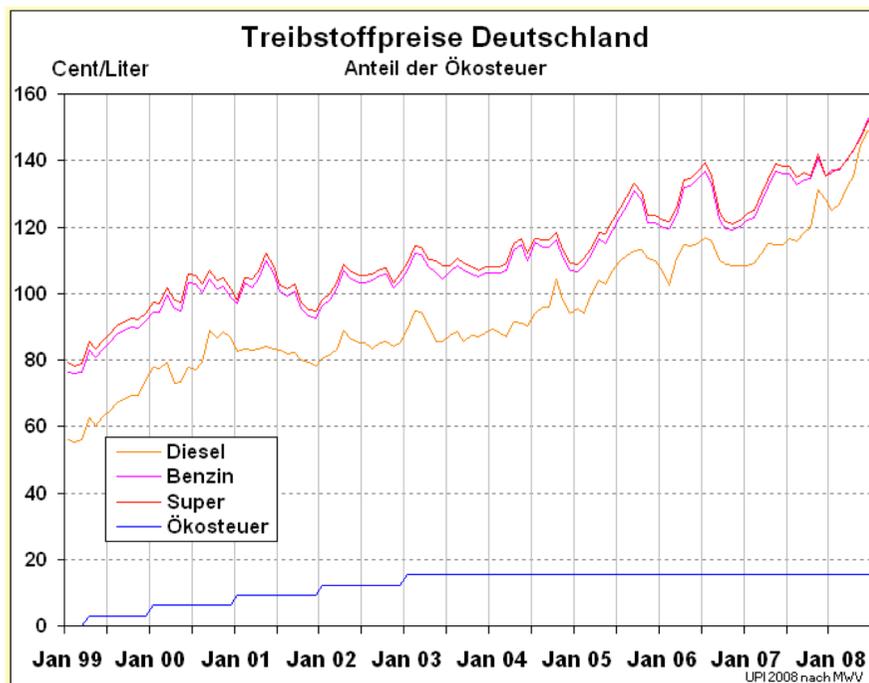
Die Erhebung der Steuer führt zwar zu einer Verminderung der externen Effekte, das Ausmaß der Reduktion ist aber in der Praxis nicht vorhersehbar und mit vielen Unwägbarkeiten verbunden (z.B. Elastizität der Nachfrage). Die Lösung ist daher nicht geeignet, um die Schadstoffmenge zu deckeln.

Zur Erhebung der originären Pigou-Steuer (die zur kompletten Internalisierung führt) ist eine exakte monetäre Quantifizierung der externen Kosten notwendig. Dies ist in der Regel nicht möglich oder mit erheblichen Anforderungen an den Informationsstand des Gesetzgebers verbunden. Daher wird in der Realität im besten Fall eine Pigou-nahe Lösung erreicht.

Emissionsvermeidungspotential durch Steuern und Abgaben im Verkehr



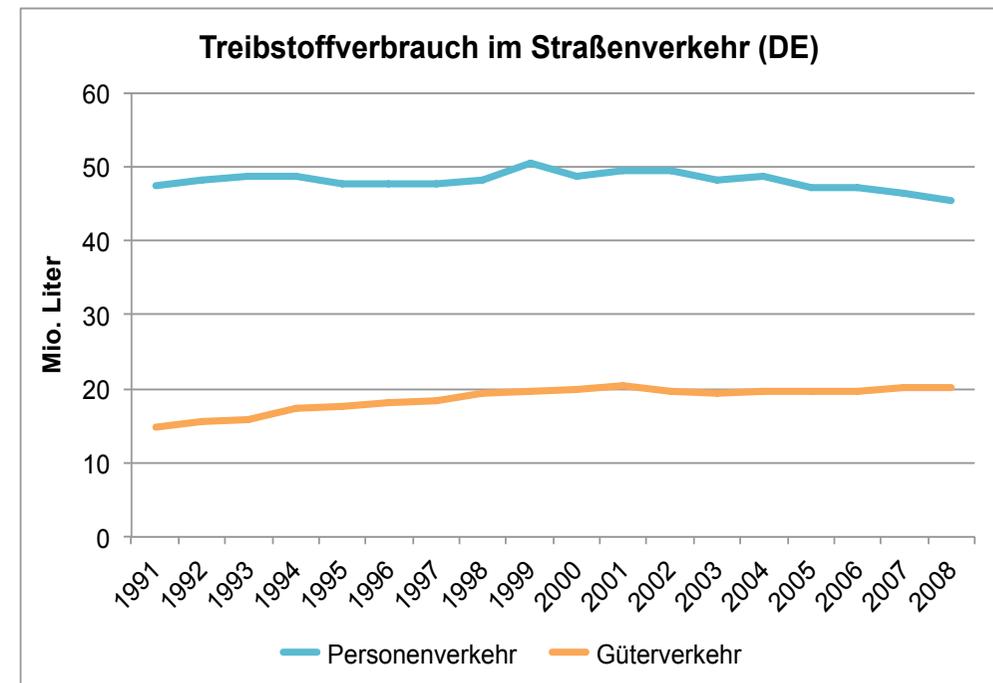
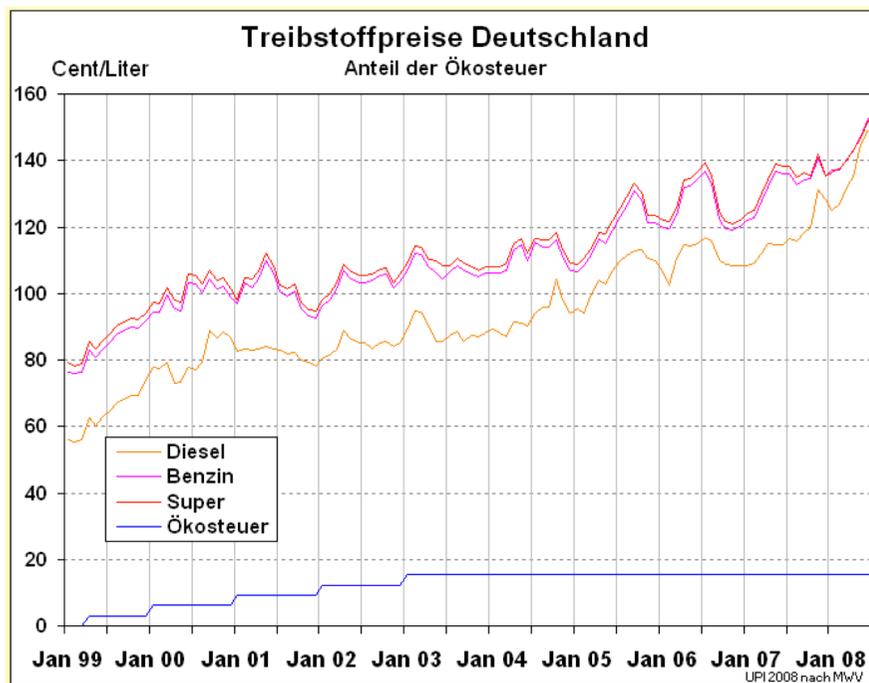
- Bisherige Entwicklung der Treibstoffpreise seit Einführung der Ökosteuer (links) und des Verbrauchs von Treibstoffen im Straßenverkehr (rechts)



Emissionsvermeidungspotential durch Steuern und Abgaben im Verkehr



- Bisherige Entwicklung der Treibstoffpreise seit Einführung der Ökosteuern (links) und des Verbrauchs von Treibstoffen im Straßenverkehr (rechts)



Emissionsvermeidungspotential durch Steuern und Abgaben im Verkehr



- Beispiel einer CO₂ bezogenen KFZ Steuer
 - CO₂ Freibetrag (Grenze 120 g CO₂/km) für besonders verbrauchsarme Pkw.
 - CO₂ Steuersatz oberhalb 120 g CO₂/km beträgt linear 2 € je g/km
 - Ab 2012 sinkt der Freibetrag auf 110 g CO₂/km und ab 2014 auf 95 g CO₂/km.
 - Einsparpotential liegt 2020 bei ca. 3% und 2030 bei ca. 5% der straßenverkehrs-bezogenen Emissionen (gegenüber dem Trendszenario)

Emissionsvermeidungspotential durch Steuern und Abgaben im Verkehr



Einordnung aus wirtschaftstheoretischer Sicht

Steuerliche Lösung

Effektivität / Wirksamkeit

bezüglich spezifischer Emissionen



bezüglich Deckelung der Emissionen



Effizienz (i.d.R. Wohlfahrtsverlust)



Wettbewerbskonformität



Ausgabe von Zertifikaten



- Die wesentliche Idee der Zertifikatelösung besteht darin, handelbare Rechte an der Verschmutzung zu vergeben. Möchte ein Marktteilnehmer mehr emittieren, so muss er die dazu benötigten Rechte von einem anderen Teilnehmer erwerben.
- Die ausgebende Institution (z.B. EU, Staat) entscheidet über die Anzahl der ausgegebenen Zertifikate sowie über die Anfangsallokation (Grandfathering, Auktionsverfahren).
- Der Handel könnte zusätzlich forciert werden, indem die Institution, die die Rechte vergibt, diese jährlich entwertet. In diesem Fall müssen Emittenten sogar Rechte kaufen, falls die Verschmutzung konstant bleiben soll.



Ausgabe von Zertifikaten

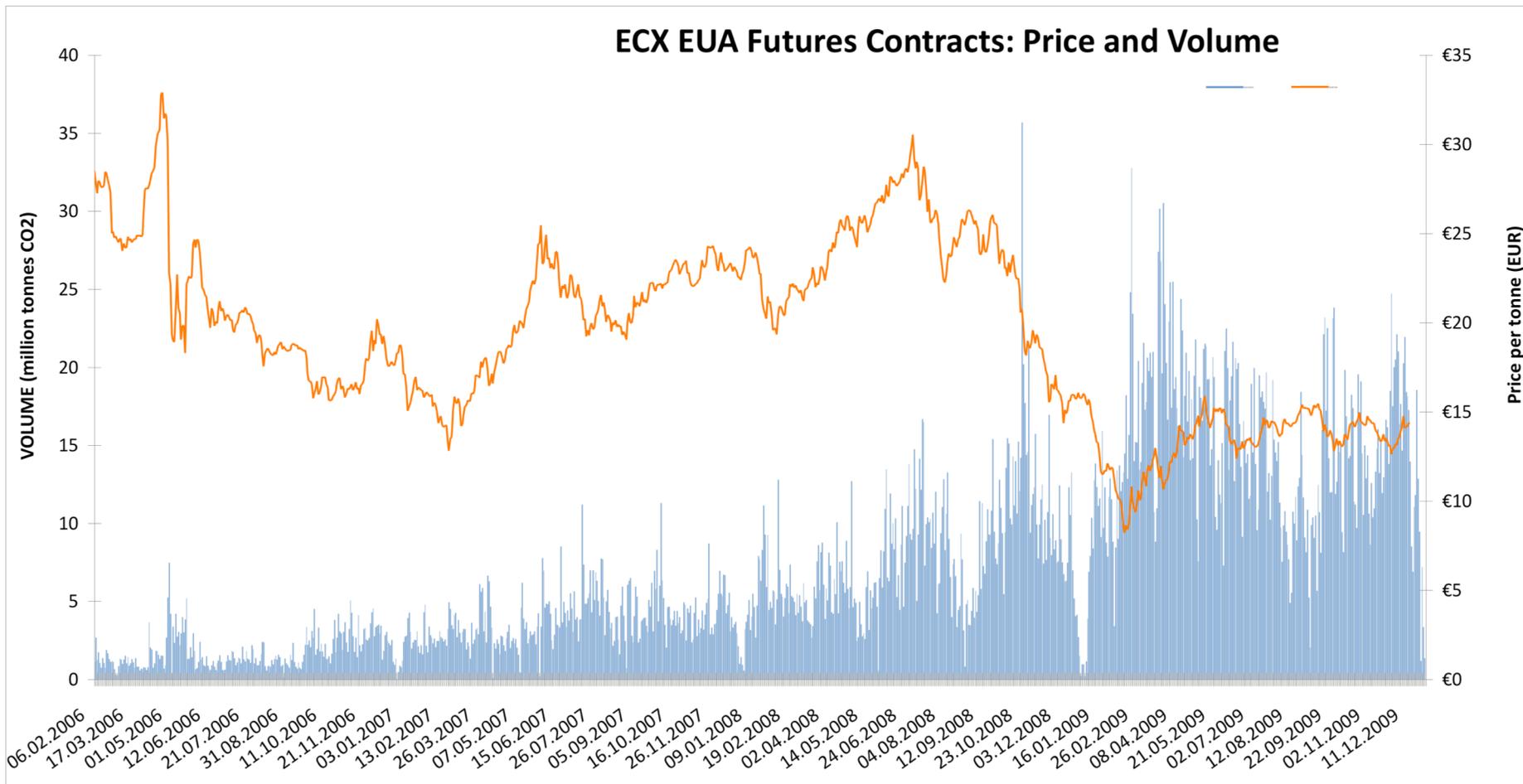
■ Vorteile:

- Die Verschmutzung kann durch die Ausgabe gedeckelt werden, d.h. die maximal zulässige Emissionsmenge kann festgelegt (und über die Zeit verändert) werden.
- Durch den Handel bildet sich ein Marktpreis, der zu einer effizienten Lösung bei der Vermeidung von Emissionen führt.

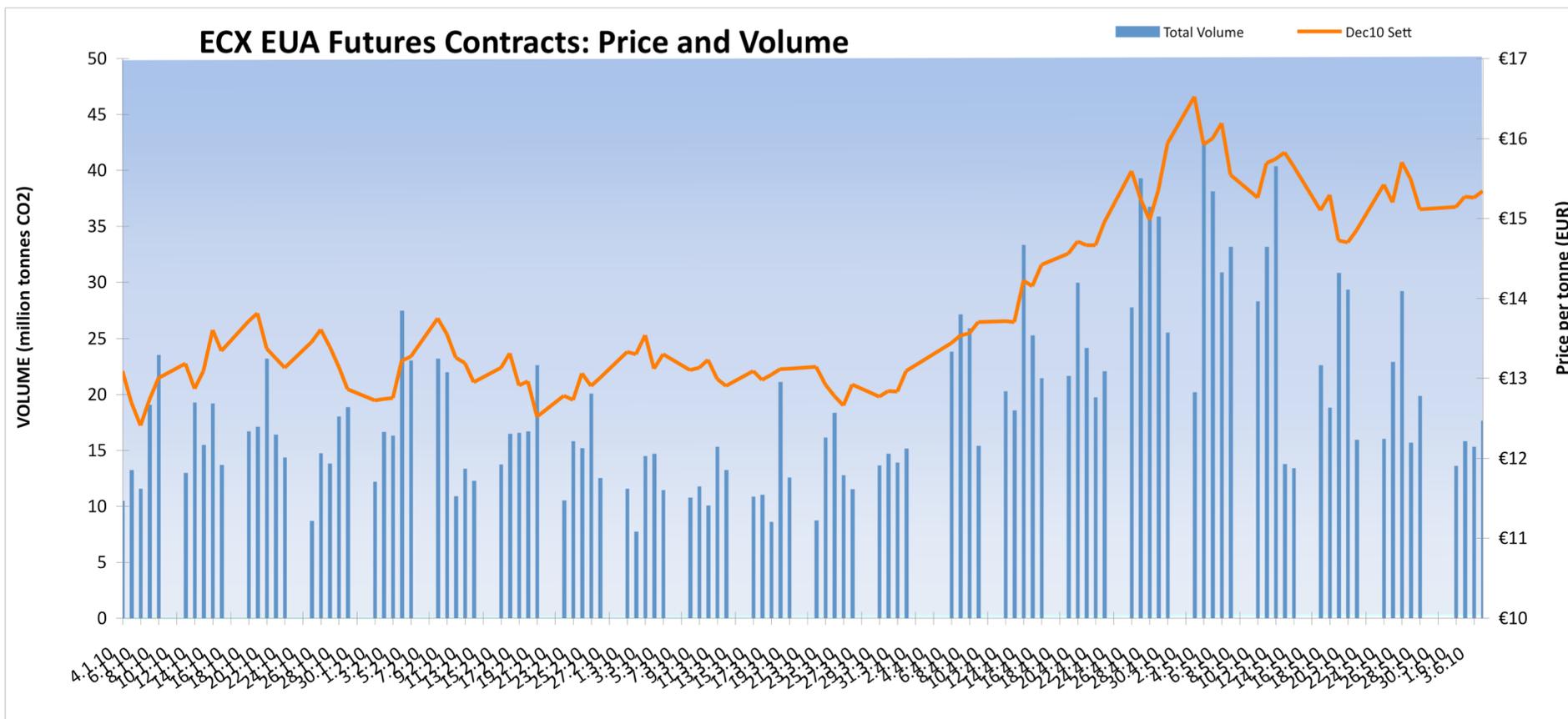
■ Nachteile:

- Je nach Art der Emission können hohe Kontrollkosten vorliegen.
- Durch frei handelbare Rechte könnte es zu einer Konzentration der Emissionen an einem Ort kommen (unerheblich bei global wirksamen Emissionen wie z.B. CO₂)
- Die Anfangsallokation der Rechte ist schwierig.
 - Grandfathering (kostenlose Verteilung der Rechte gemäß der historischen Emissionen der Unternehmen)
 - Auktion (Verkauf der Rechte an meistbietende Unternehmen)

Europäisches Emissionshandelssystem Volumen (blau) und Preise (orange) 2006-2009



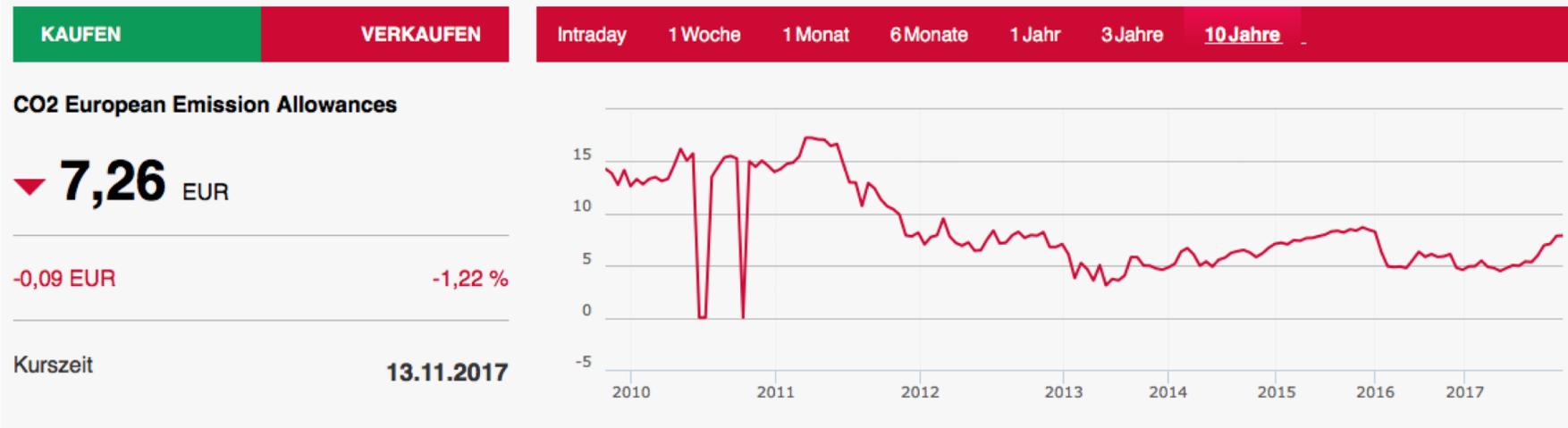
Europäisches Emissionshandelssystem Volumen (blau) und Preise (orange) 2010



Europäisches Emissionshandelssystem Preise 2010-2017



CO2 European Emission Allowances



Geplante Zertifikatslösungen im Verkehr



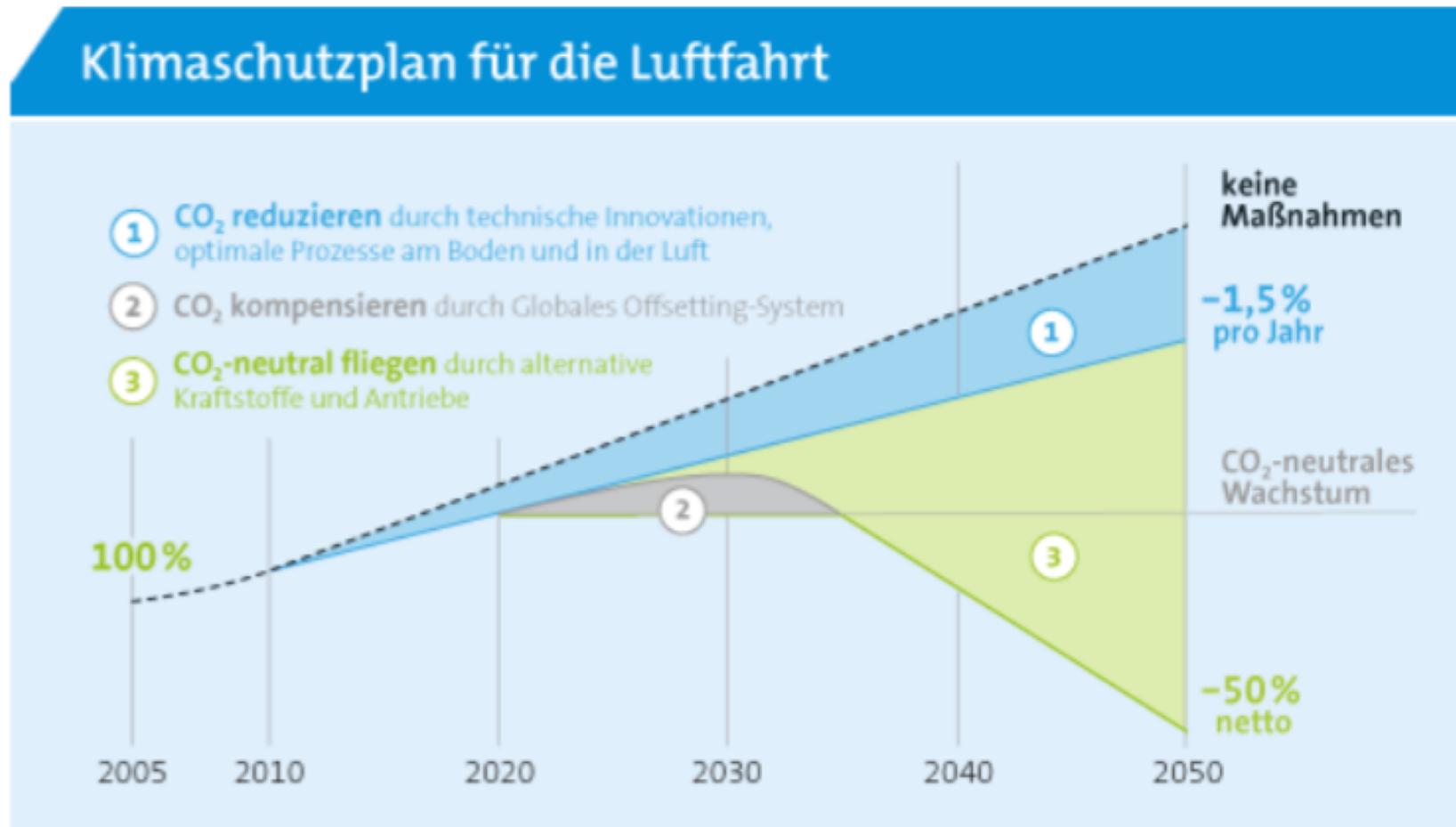
- Geplante Einbindung des Flugverkehrs in den Emissionshandel ab 2012
 - Jeder Airline steht eine Freimenge an CO₂e Emissionen zu. Für darüber hinausgehende Mengen müssen Zertifikate zugekauft werden.
 - Gültig für alle Flüge innerhalb EU sowie alle weiteren Flüge, die von einem EU Flughafen starten oder dort landen (3% der CO₂e Emissionen der EU)
 - Zertifikate sollten für den kompletten Flug entrichtet werden, worin nicht-EU Fluglinien eine Überschreitung der EU Zuständigkeit sahen (falls sich andere Regionen für das gleiche Instrument entschieden, käme dies einer Doppelung der Abgabe gleich).
 - EuGH billigte das Gesetz, so dass die Zertifikate zunächst wie geplant im Januar 2012 eingeführt wurden.
 - Anfangsallokation unter Fluggesellschaften gemäß deren durchschnittlichen Emissionen der Jahre 2004 bis 2006
 - Aussetzung der Zertifikatspflicht für Flüge mit Start oder Zielort außerhalb der EU (Kompromiss wonach nur Flugkilometer innerhalb der EU zu berücksichtigen sind, wurde von den internationalen Partnern abgelehnt). Einigung auf marktbasierende Instrumente in Absprache mit ICAO
 - Die Zertifikatspflicht für innereuropäische Flüge bleibt bestehen.

Exkurs: Vermeidung von CO₂ Emissionen im internationalen Flugverkehr



- Geplante Maßnahmen zur Verringerung der CO₂ Emissionen im internationalen Luftverkehr
 - Auf der ICAO Vollversammlung im Oktober 2016 (Montreal) wurden drei marktlich orientierte Ansätze zur Vermeidung von CO₂ Emissionen diskutiert:
 - Steuern und Abgaben: Steuern können von den UN nicht erhoben werden und sind außerdem nicht zweckgebunden. Abgaben könnten zweckgebunden werden, die ICAO kann jedoch nicht zentral darüber verfügen.
 - Emissionshandel: Erfahrungen mit dem europäischen System wirkt abschreckend auf nicht-EU-Staaten. Ein geschlossenes System wäre zudem nicht besonders effizient und könnte starken politischen Eingriffen ausgesetzt sein.
 - Offsetting: Kompensation von CO₂ Emissionen durch Projekte außerhalb des Luftverkehrs (z.B. Aufforstungsprogramme). Die Reduzierung wird durch unabhängige Verifizierung und Zertifizierung abgesichert.
 - Vieles deutet daraufhin, dass sich die Mitglieder der ICAO auf eine (temporäre) Offsetting Lösung einigen werden.
 - Zusätzlich wird eine Entkoppelung der Emissionen von der Verkehrsleistung angestrebt (Innovationen in Antriebssystemen und Treibstoffen)

Exkurs: Vermeidung von CO2 Emissionen im internationalen Flugverkehr



Quelle: ICAO-Vorschlag für ein marktbasierendes Klimaschutzinstrument, BDL, 2016

Geplante Zertifikatslösungen im Verkehr



- Die Europäische Kommission hält trotz der Schwierigkeiten an dem Instrument des Zertifikatehandels fest und möchte die Abdeckung auf die privaten Haushalte (Heizemissionen) sowie den gesamten Verkehrsbereich ausdehnen.
- Im Verkehrsbereich geht es in erster Linie um die Nutzungsphase. Produktionsbezogene Emissionen spielen dagegen eine kleinere Rolle.

	Pkw	Lkw
Emissionen in der Produkt	1 - 2 t	3 - 5 t
Emissionen in der Nutzung	37,5 t (150000 km)	1500 t (1,25 Mio. km)
Relative Bedeutung der Nutzungsphase	25 (37,5 t / 1,5 t)	375 (1500 t / 4 t)

Einbindung des Straßenverkehrs in den EU Emissionshandel



- Umsetzung I
 - Down-Stream-Ansatz
 - Mid-Stream-Ansatz
 - Up-Stream-Ansatz
- Umsetzung II
 - Geschlossener Ansatz
 - Integrativer (offener) Ansatz

Umsetzung I



■ Down-Stream-Ansatz

- Implementierung auf Ebene des Emittenten (Fahrzeugnutzer)

Vorteil:

- Vorgehen analog zum bestehenden System
- Direkter Bezug zur Nutzungsphase
- Großer Anreiz zu Verhaltensänderungen beim Nutzer

Nachteil:

- Hoher institutioneller Aufwand (mit mehreren Millionen Akteuren)
(Steuer als einfacheres Instrument)

■ Mid-Stream-Ansatz

- Implementierung auf Ebene der Automobilhersteller

Vorteil:

- Großer Anreiz für technologischen Wandel
- Hoher Anreiz zu Effizienzsteigerungen in betrieblichen Abläufen
- Geringer institutioneller Aufwand

Nachteil:

- Tatsächliche Emissionen während der Nutzung nur schwer bestimmbar (Zielerreichungsgrad ungewiss)

Umsetzung I



■ Up-Stream-Ansatz

- Implementierung auf Ebene der Mineralölkonzerne (Kraftstoffproduktion)

Vorteil:

- Direkte Umrechnung von Benzin bzw. Diesel zu Emissionen möglich
- Großer Anreiz zu Änderungen der Kraftstoffzusammensetzung

Nachteil:

- Mehr Akteure als beim Mid-Stream-Ansatz
- Keine genaue Kenntnis über geplanten Verbrauch aber

exakte Verkaufsmenge an Kraftstoffen seitens der Mineralölkonzerne liegt aufgrund der Erhebung der Mineralölsteuer zeitnah vor (**Überlaufkontingente denkbar**)

Umsetzung II



■ Offener Ansatz

- Integration in den bestehenden Zertifikatehandel

Vorteil:

- Bei hohen Vermeidungskosten im Verkehr können Zertifikate aus Bereichen mit niedrigeren Vermeidungskosten zugekauft werden.
- Vorhaltung eines Systems verringert Systemkosten.

Nachteil:

- Einsparungen im Verkehrsbereich nicht sicher



■ Geschlossener Ansatz

- Zertifikate können nur zwischen den Akteuren aus dem Bereich Verkehr gehandelt werden

Vorteil:

- Gesicherte Reduktion der CO₂ Emissionen im Verkehr
(=> wahrscheinliche Reduktion anderer verkehrsbezogener Emissionen)
- Verteuerung des Kraftstoffes stellt deutlichen Anreiz für technologische Änderungen (Zusammensetzung des Kraftstoffes, Verbrauch) und Verhaltensänderungen dar.

Nachteil:

- Ökonomisch ineffizientere Lösung gegenüber dem offenen Ansatz

Beispiel



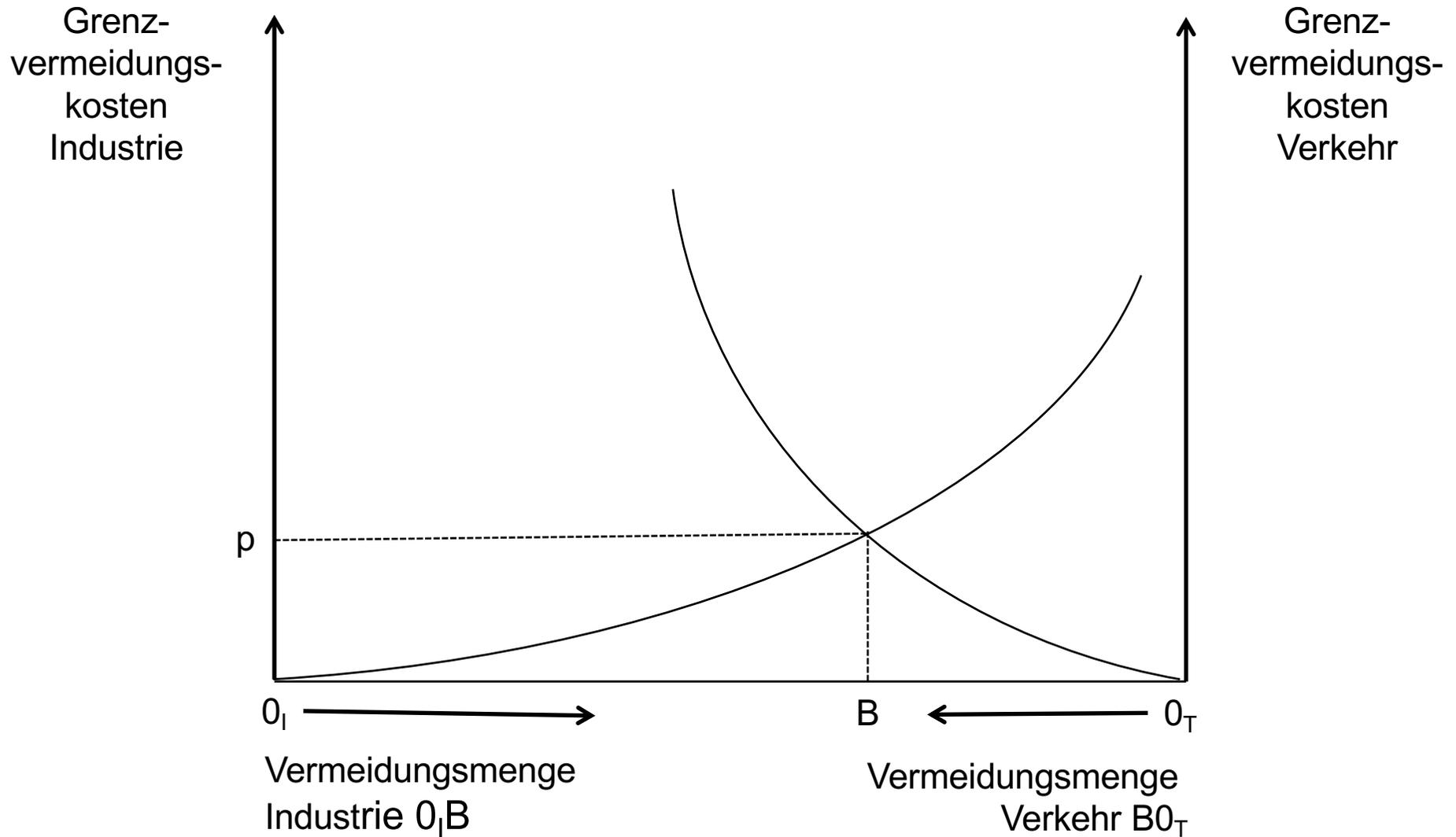
■ Annahmen

- Zwei Sektoren: Industrie, Transport
- Grenzvermeidungskosten steigen in beiden Sektoren mit zunehmender Vermeidung an
- Grenzvermeidungskurve verläuft bei Industrie flacher (Vermeidung zusätzlicher Einheit bei gleicher bereits vermiedener Menge günstiger)
- Vorgegebene Vermeidungsmenge x , im Schaubild gegeben durch Strecke $0_I 0_T$ (mit 0_K = Ursprüngl. Emissionsmenge in Sektor K)

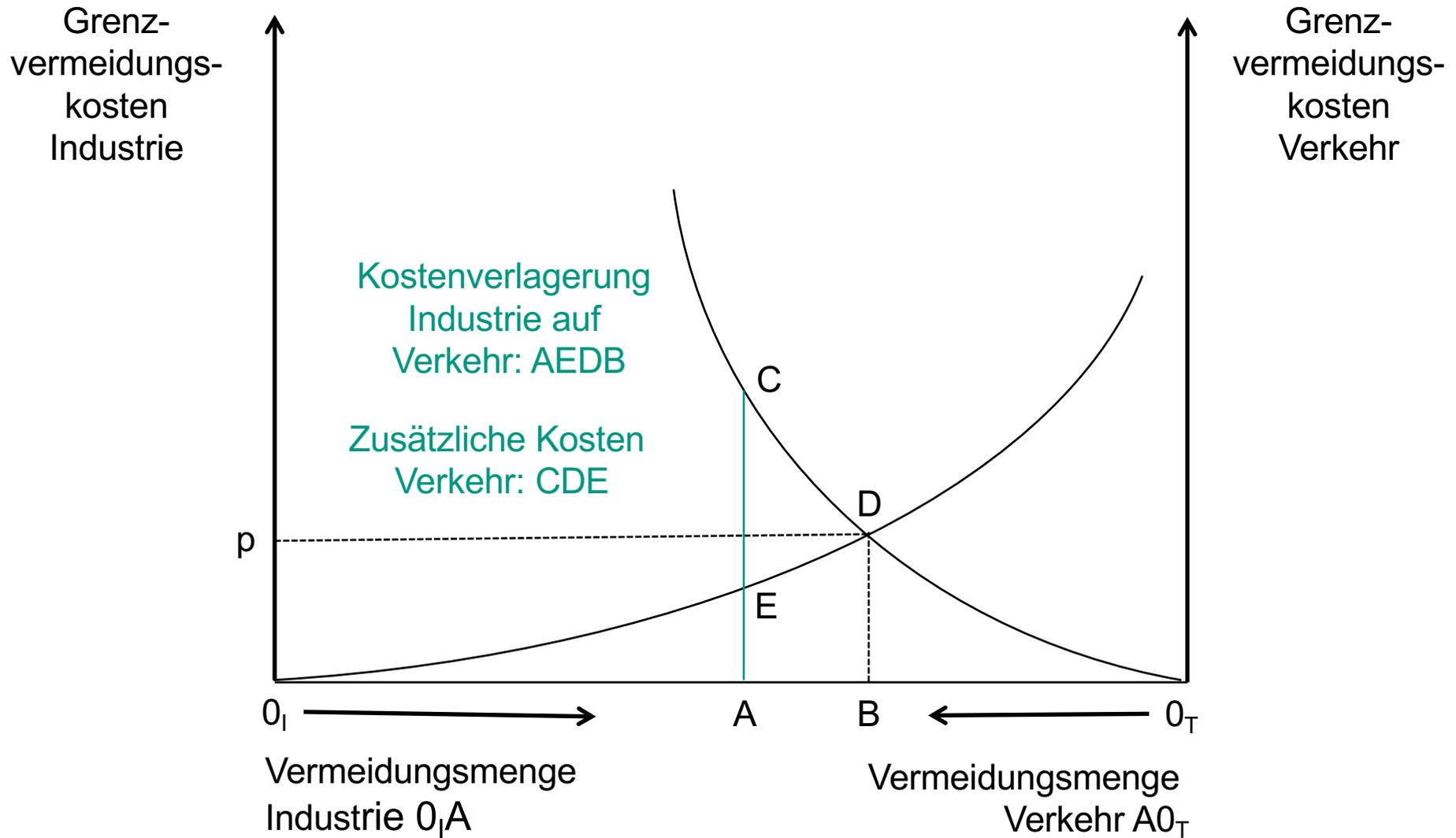
■ Gesucht

- Gesamtökonomisch effiziente Lösung

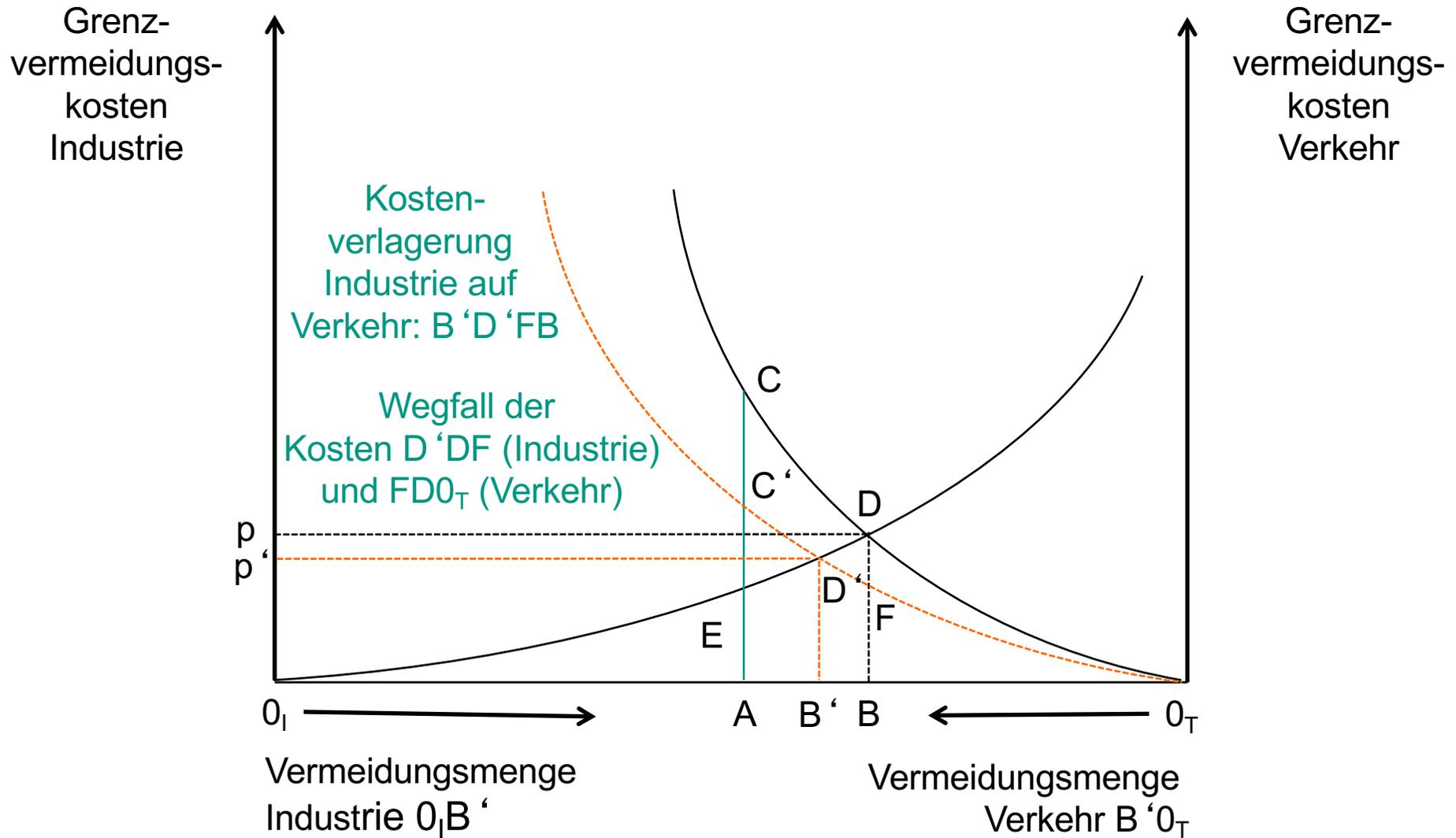
Volkswirtschaftlich effiziente Lösung



Festgeschriebener Anteil im Verkehrsbereich



Technologischer Wandel im Verkehr



Einordnung des Zertifikatehandels im Verkehr



- Geschlossenes System aus volkswirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll
- Emissionsvermeidung in der Nutzungsphase hat mehr Gewicht als Emissionen in der Fahrzeugproduktion
- Technologischer Wandel (Abflachen der Grenzkostenvermeidungskurve) wirkt sich positiv auf übrige Sektoren aus
 - Rechtfertigung für staatliche F&E Zuschüsse

Einordnung aus wirtschaftstheoretischer Sicht



- Zertifikate allgemein
 - Effektivität / Wirksamkeit
 - bezüglich Emissionen im Verkehr -
 - bezüglich Deckelung der Emissionen insgesamt ✓
 - Effizienz ✓
 - Wettbewerbskonformität ✓(?)
- Zertifikate im Verkehr
 - Effektivität / Wirksamkeit
 - bezüglich Emissionen im Verkehr ✓
 - bezüglich Deckelung der Emissionen insgesamt ✓
 - Effizienz -
 - Wettbewerbskonformität (?)



Fazit

- Ordnungspolitische Maßnahmen insbesondere zur Senkung spezifischer Emissionen
- Freiwillige Selbstvereinbarungen, falls andere Lösungen schwierig zu verwirklichen sind (evtl. CO₂ Emissionen LKW Flotte)
- Steuern als Anreiz für Verhaltensänderungen (Lenkungssteuer); Wirksamkeit durch geringe Preiselastizität jedoch eingeschränkt
- Ausgabe von Zertifikaten als marktnahe Lösung, die Deckelung der Emissionen ermöglicht
 - Geschlossener Ansatz führt zu sicheren Reduktionen im Verkehrsbereich; aber eingeschränkte Effizienz
 - Offener (integrativer) Ansatz effiziente Lösung, Reduktionen im Verkehrsbereich können gering ausfallen

Das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung



- Vier Elemente zur konkreten CO₂-Emissionsminderung
 - CO₂-Bepreisung: Einsparungen sollen möglichst effizient umgesetzt werden. Zusätzliche Einnahmen fließen in die Förderprogramme bzw. die Entlastung der Bürger.
 - Förderprogramme und Anreize zur Senkung von CO₂-Emissionen: Reduktion soll praktisch realisierbar, sozialverträglich, wirtschaftlich und finanzierbar sein.
 - Entlastung der Bürger: Preissteigerungen sollen abgefedert werden.
 - Ordnungspolitische, regulatorische Maßnahmen: Verstärkter Einsatz, falls Ziele nicht erreicht werden

Das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung



■ CO₂-Bepreisung

- Festpreissystem, bei dem Zertifikate auf der vorgelagerten Handelsebene an die Unternehmen, die die Heiz- und Kraftstoffe in Verkehr bringen, verkauft werden (Up-Stream).
- Gleichzeitig wird eine Handelsplattform aufgebaut, die eine Auktionierung der Zertifikate und den Handel ermöglicht. Die Zertifikate werden zu folgenden Festpreisen abgegeben (gilt für Wärme und Transport)
 - 2021: 10€/t
 - 2022: 20€/t
 - 2023: 25€/t
 - 2024: 30€/t
 - 2025: 35€/t
- Werden mehr Zertifikate benötigt, als es den Emissionszuweisungen für Deutschland entspricht, so müssen Zertifikate aus anderen EU-Staaten zugekauft werden
- Alle Einnahmen werden zur Finanzierung der Klimaschutzfördermaßnahmen oder Entlastung der Bürger genutzt.

Das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung



- Klimaschutzfördermaßnahmen im Verkehr
 - Ausbau der Ladesäuleninfrastruktur: 1 Million öffentlich zugängliche Ladepunkte
 - Förderung des Umstiegs auf elektrisch angetriebene PKW
 - Entwicklung fortschrittlicher Biokraftstoffe
 - Entwicklung strombasierter Kraftstoffe
 - Erhöhung der Attraktivität des ÖPNV
 - Ausbau des Radwegenetzes
 - Investitionen in die Schieneninfrastruktur
 - Förderung CO₂-armer LKW, Ausbau der Ladeinfrastruktur für wasserstoffbetriebene Fahrzeuge
 - Modernisierung der Binnenschifffahrt, verstärkte Nutzung von Landstrom in Häfen
 - Digitalisierung des Verkehrs
 - CO₂-bezogene Kfz-Steuer
 - Flugtickets verteuern (keine Tickets unterhalb der anwendbaren Steuern, Zuschläge, Entgelte und Gebühren), Mehreinnahmen zur Reduzierung der MwSt im Bahnfernverkehr (von 17 auf 7%)

Das Klimaschutzprogramm der Bundesregierung



- Entlastung der Bevölkerung
 - Senkung der EEG-Umlage
 - Anhebung der Entfernungspauschale für Fernpendler (ab dem 21. Kilometer, bis 31.12.2026)

- Regulatorische Maßnahmen
 - Die Fördermaßnahmen werden mit der Zeit vermehrt durch regulatorische Maßnahmen flankiert. Die konkrete Ausgestaltung hängt von den Erfahrungswerten bzgl. der Fördermaßnahmen ab.
 - Heizungstausch wird gefördert, aber Ölheizungseinbau ab 2026 nicht mehr gestattet
 - Private Ladeinfrastruktur wird steuerlich gefördert, aber Vermieter müssen Errichtung der Ladeinfrastruktur dulden
 - Flugtickets dürfen nicht unterhalb der anwendbaren Steuern, Zuschläge, Entgelte und Gebühren verkauft werden.

Technologischer Wandel im Verkehr

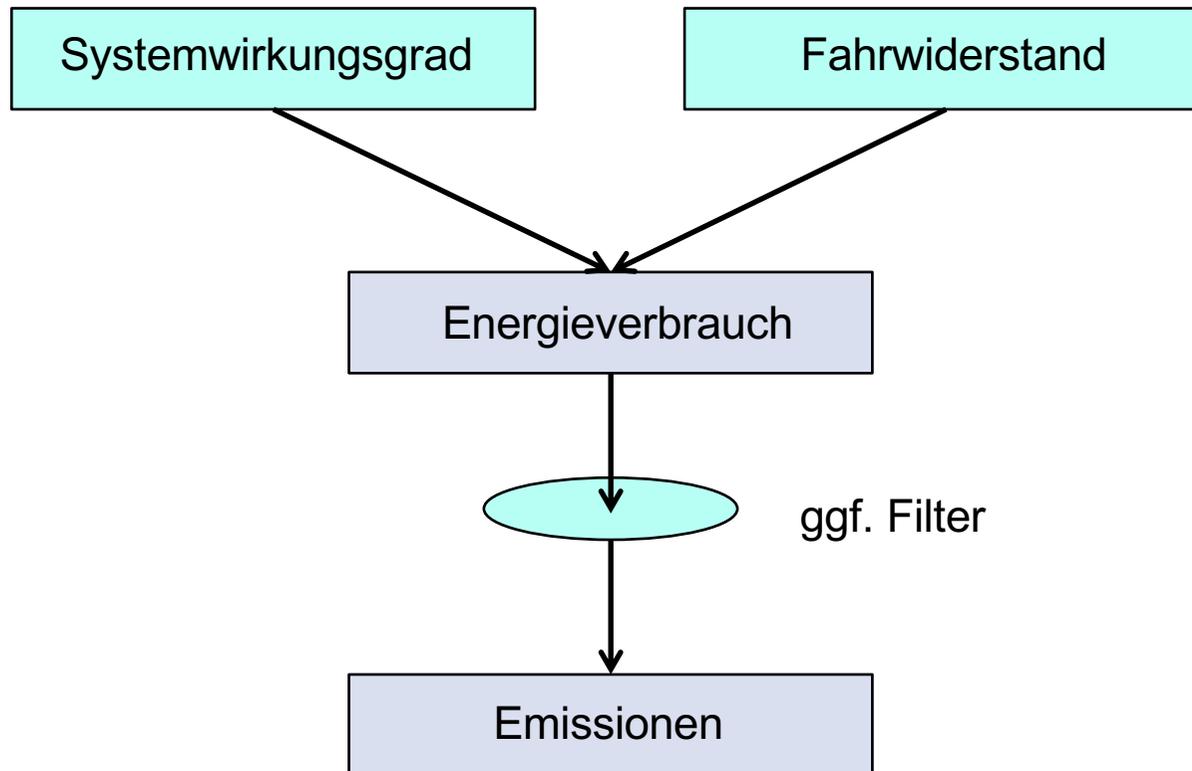


- In der Vergangenheit führte der technologische Wandel im Verkehr einerseits zu klaren Verbesserungen hinsichtlich der spezifischen Emissionen.
- Gleichzeitig trägt diese Entwicklung zu einer Erhöhung der Transportleistung bei (relative Verbilligung von Mobilität, Technikbegeisterung)
- Auch zukünftig werden die technologischen Entwicklungen eine ambivalente Rolle einnehmen.
- Ohne technologischen Wandel wird es kaum möglich sein die bestehenden Probleme zu lösen und den erreichten Lebensstandard zu halten.
- Allerdings wird der technologische Wandel alleine nicht ausreichen. Vielmehr muss er von Verhaltensänderungen der Haushalte und einer zielgerichteten Infrastruktur- und Verkehrspolitik flankiert werden.

Perspektiven eines emissionsärmeren Verkehrs - Systemwirkungsgrad und Fahrwiderstand



Einflussfaktoren auf die Emissionen eines Fahrzeuges



Systemwirkungsgrad – Variationen des Ottomotors



Variationen des Ottomotors	CO ₂ Minderungspotential	Kostenanteil am Endpreis
Downsizing mit Aufladung , höhere Effizienz in Grundlast, Aufladung für Spitzenlast	6-8%	ca. \$500
Direkteinspritzung , differenzierte Steuerung, weniger Wärmeverlust	4-9%	\$750 (PKW) - \$1500 (LKW)
Variable Ventilsteuerung , Anpassung von Öffnungszeitpunkt und -dauer an Motorlast	4-6%	\$200 (PKW) - \$750 (LKW)
Elektromagnetische/Elektrohydraulische Ventilsteuerung , Funktion vgl. oben	11-15%	\$600 (PKW) - \$1200 (LKW)
Ottomotor betrieben mit Erdgas	ca. 25%	\$2600
Ottomotor betrieben mit Wasserstoff	bis zu 100%	\$6800

Systemwirkungsgrad – Variationen des Ottomotors



- Downsizing mit Aufladung
 - Leistungsschwächere Grundauslegung führt zu höherer Effizienz
 - Aufladung für höhere Leistungsanforderung z.B. durch Turbolader

	TURBOLADER				
	PKW klein	PKW groß	Minivan	LKW klein	LKW groß
CO ₂ -Minderung (%)	6	8	6	6	n.a.
Kosten (US-Dollar) ¹	560	(210)	490 ²	(210)	n.a.

1 Genauer: Kostenanteil am Endkundenpreis des Fahrzeugs. Die Kostenabschätzung bestimmter technischer Maßnahmen ist methodisch außerordentlich schwierig. Daher sind solche Kostangaben immer mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und dienen hier v.a. illustrativen Zwecken.

Quelle: Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, 2006

Systemwirkungsgrad – Variationen des Ottomotors



■ Direkteinspritzung

- Führt zu einer differenzierteren Steuerung, weniger Wärmeverlust und somit einem geringeren spezifischen Verbrauch
- Nachteilig wirkt sich aus, dass der Prozess zu einer Erhöhung von NO_x Emissionen führt.

DIREKTEINSPRITZUNG (MAGERES GEMISCH)					
	PKW klein	PKW groß	Minivan	LKW klein	LKW groß
CO ₂ -Minderung (%)	6	9	4	5	8
Kosten (US-Dollar)	728	959	1.043	1.057	1.554

Quelle: Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, 2006

Systemwirkungsgrad – Variationen des Ottomotors



- Variable Ventilsteuerung
 - Öffnungszeitpunkt bzw. Öffnungsdauer des Zylindereinlassventils wird an die aktuelle Motorlast angepasst
 - Führt zu einem geringeren spezifischen Verbrauch

VARIABLER VENTILHUB					
	PKW klein	PKW groß	Minivan	LKW klein	LKW groß
CO ₂ -Minderung (%)	4-5	4-6	3-4	4-5	4-5
Kosten (US-Dollar)	154-308	259-581	210-773	259-581	259-911
ELEKTROMAGNETISCHE/ELEKTROHYDRAULISCHE VENTILSTEUERUNG					
	PKW klein	PKW groß	Minivan	LKW klein	LKW groß
CO ₂ -Minderung (%)	11	11-16	11	11-13	11-12
Kosten (US-Dollar)	564-676	637-764	882-1.078	637-764	1.078-1.274

Quelle: Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, 2006

Zusätze zum Kraftstoff



■ Biokraftstoffe

- E10/E85: Kraftstoffe, die einen höheren Anteil (mind. 10%/85%) an Ethanol (E) beinhalten
 - Hohe Umweltverträglichkeit
 - Bei E85 höhere Oktanzahl als bei herkömmlichen Benzin
 - Konkurrenz mit Nahrungsmittelproduktion

■ AdBlue

- Harnstofflösung zur Reduzierung von Stickoxiden in Dieselmotoren (bis zu 90%)
- Einspritzung in Abgasstrang führt zu katalytischer Reaktion
- Aus Harnstoff wird Ammoniak gewonnen; das Ammoniak führt zu einer Reduzierung von Stickstoffoxiden; am Ende des Umwandlungsprozess bleiben Stickstoff, Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid

Systemwirkungsgrad – Variationen des Ottomotors



Ottomotoren betrieben mit Wasserstoff

Wasserstoff verursacht bei der Verbrennung kein CO₂ (Reduzierung 100%) und auch geringere sonstige Emissionen

Wasserstoff eignet sich als Kraftstoff in flüssiger oder in gasförmiger Form

Speicherung erfordert Einbau von robusten Speichern (hohes Eigengewicht führt zu höherem Energieverbrauch)

Heftige Verbrennung hat insgesamt eine höhere Materialbeanspruchung zur Folge

Mehrkosten liegen bei ca. 5.500 Euro

Weitere Kosten entstehen durch den Aufbau des Tankstellennetzes

Systemwirkungsgrad – Variationen des Ottomotors



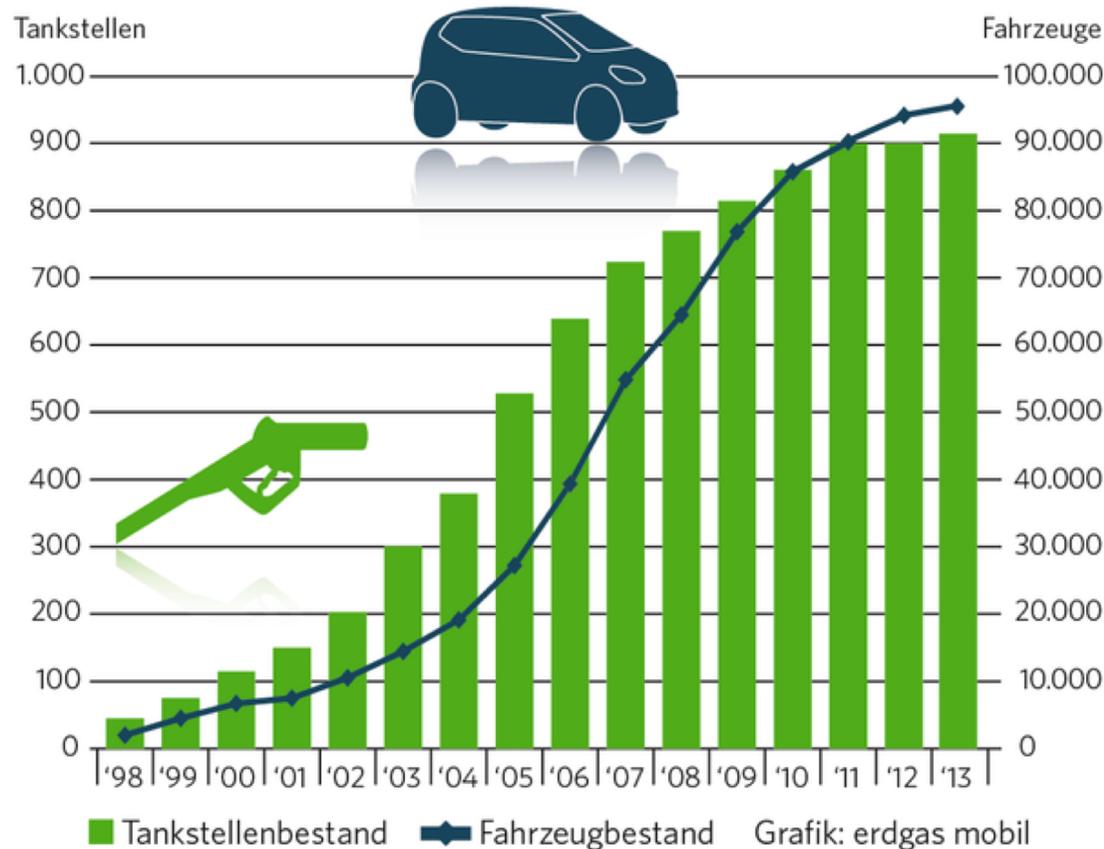
- Ottomotoren betrieben mit Erdgas
 - Aufgrund des spezifischen Kohlenstoffgehalts weist Erdgas einen um ca. 20% günstigeren spezifischen Emissionsfaktor als Benzin auf.
 - Erdgas eignet sich als Kraftstoff in in komprimierter Form (Compressed Natural Gas CNG). Es wird als H-Gas und als L-Gas angeboten. H-Gas hat einen höheren Methangehalt und somit Energiegehalt.
 - Speicherung von CNG erfordert Einbau von Stahlbehältern mit Hochdruckventilen (hohes Eigengewicht führt zu höherem Energieverbrauch)
 - Das CO₂ Einsparpotential gegenüber traditionellen Motoren (auf heutigem Stand der Technik) liegt bei ca. 20-30%, die Mehrkosten jedoch zwischen 1.200 und 2.000 Euro.
 - Weitere Kosten entstehen durch die Umrüstung des Tankstellennetzes (aktuell ca. 900 Tankstellen)

Systemwirkungsgrad – Variationen des Ottomotors



- Ottomotoren betrieben mit Erdgas

Tankstellen- und Fahrzeugbestand 1998-2013



Entwicklung der Erdgasfahrzeuge und Erdgastankstellen in Deutschland von 1998 bis 2013.

<http://www.erdgas-mobil.de/tankstellenbetreiber/erdgas-als-kraftstoff/>

Systemwirkungsgrad – Variationen des Ottomotors



- Ottomotoren betrieben mit Erdgas

ERDGASFAHRZEUG- UND TANKSTELLENBESTAND 2001–2017



<http://www.erdgas-mobil.de/tankstellenbetreiber/erdgas-als-kraftstoff/>

Exkurs Adaption und Diffusion von Innovationen

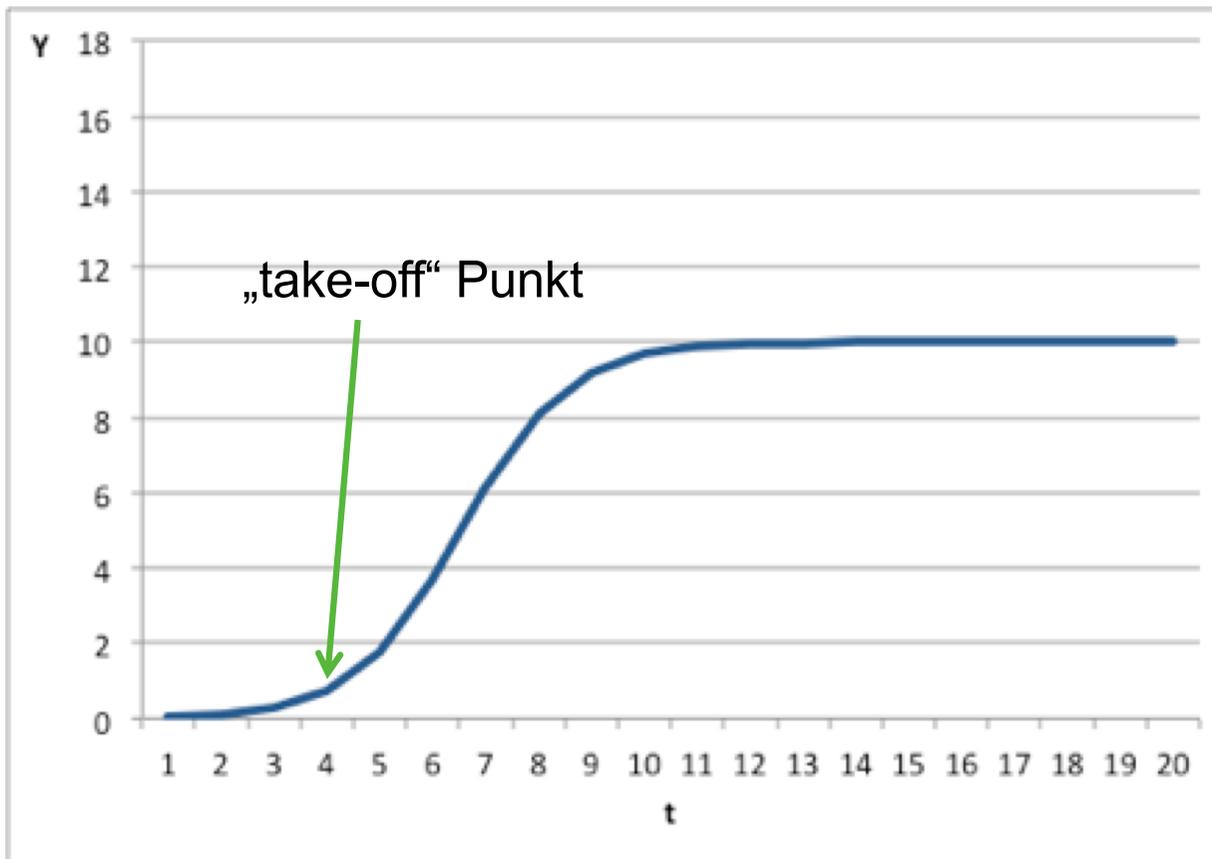


- Adoption von Innovationen
 - Ein neues Produkt wird zunächst von den Pionieren (early adopter) angenommen.
 - Sind die Erfahrungen positiv folgt eine große Gruppe interessierter Anwender (early majority).
 - Im Anschluss setzt sich das Produkt auch bei der Gruppe der neutral eingestellten Anwender durch (late majority).
 - Die Sättigung erfolgt wenn sich das Produkt auch unter den zunächst skeptischen Anwendern durchsetzt.
 - Nach Rogers resultiert dies in einem s-förmigen Diffusionsverlauf über die Zeit.

Exkurs Adaption und Diffusion von Innovationen



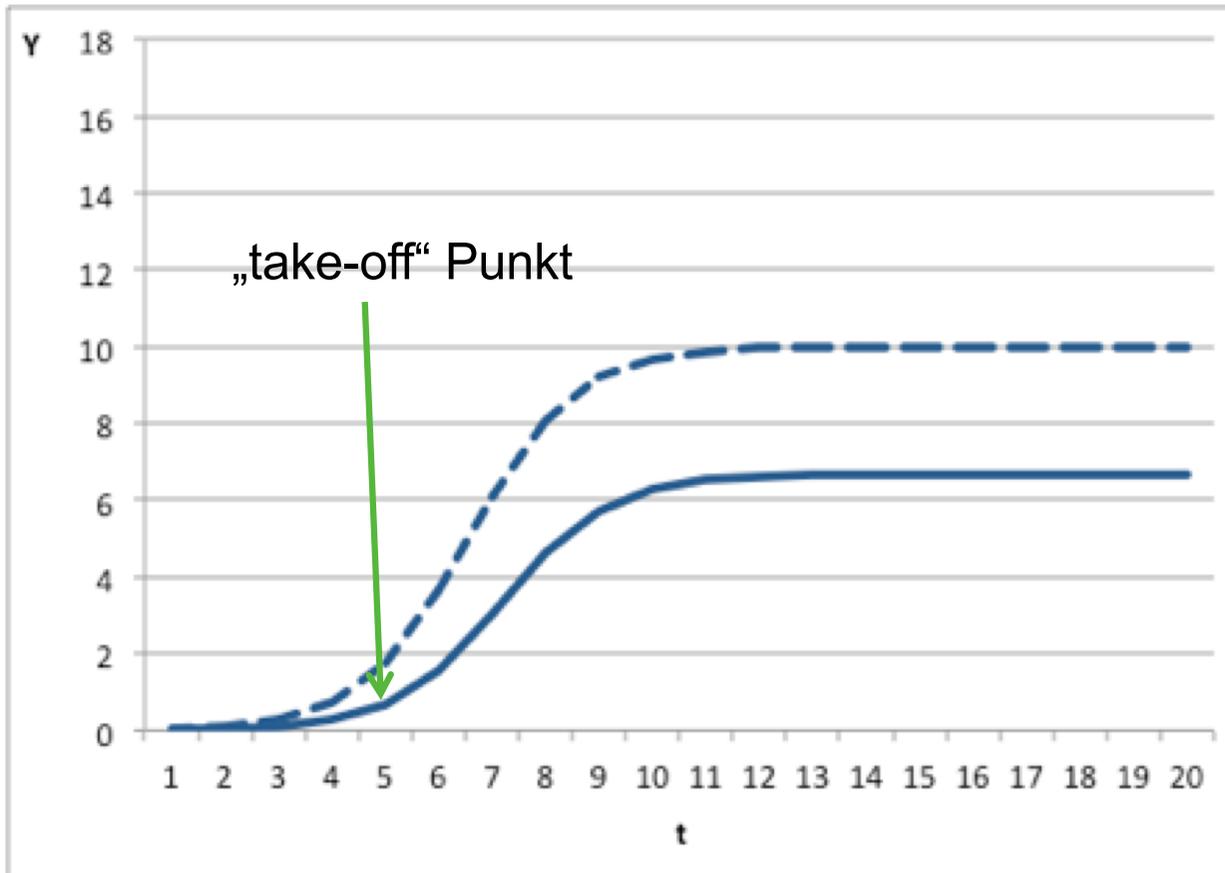
- Diffusionsverlauf



Exkurs Adaption und Diffusion von Innovationen



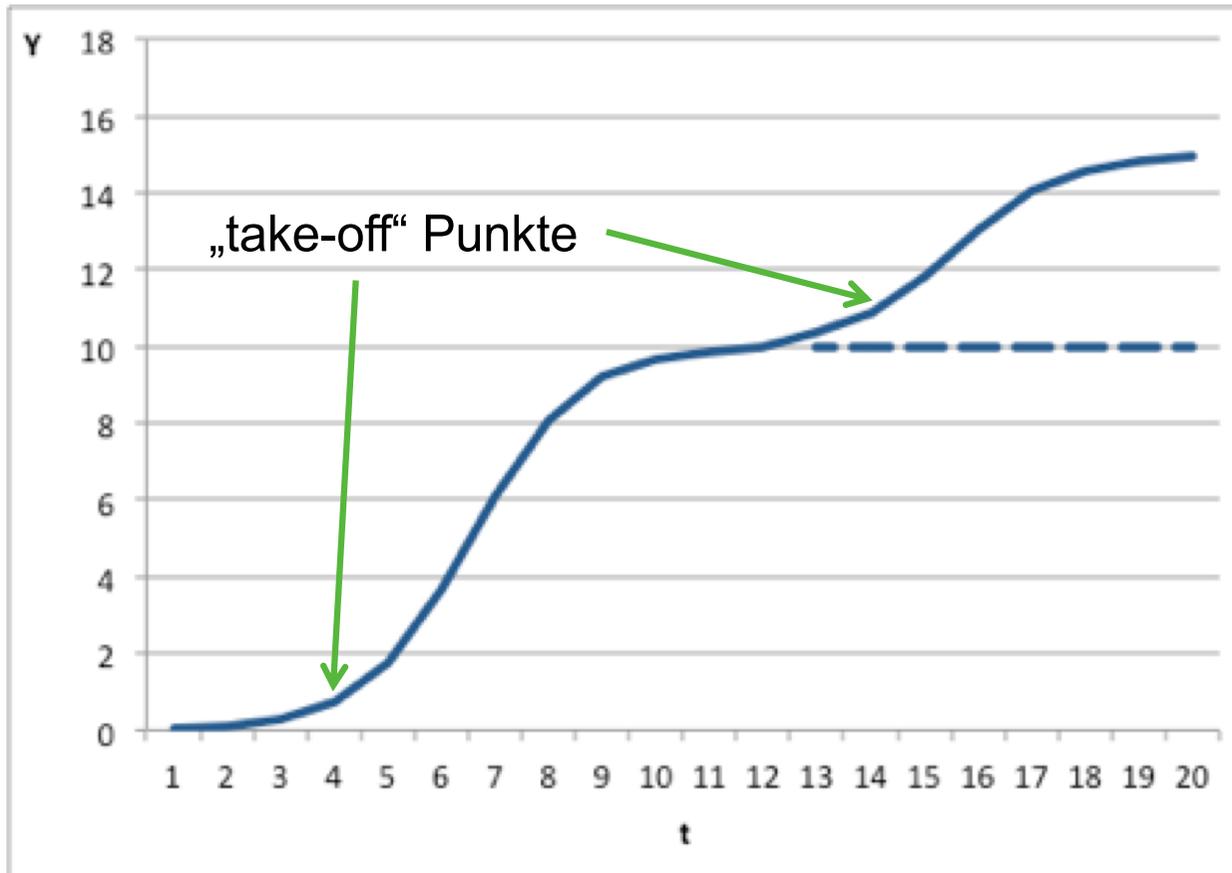
- Späterer take-off führt zu geringerer Marktdurchdringung



Exkurs Adaption und Diffusion von Innovationen



- Zweiter Innovationszyklus (Weiterentwicklung der Technologie)



Neue Antriebstechnologie – Hybridantrieb



- Kombination mehrerer Energiewandler und Speichersysteme im Antriebsstrang (z.B. Verbrennungs- und Elektromotor bzw. Tank und Batterie)
 - Parallelhybride: Verbrennungs- und Elektromotoren können gleichzeitig oder einzeln für den Antrieb genutzt werden (z.B. Honda Civic Hybrid)
 - Serielle Hybride: Antrieb nur über Elektromotor, Verbrennungskraftmaschine (VKM) dient dem Aufladen der Batterie (noch kein Serienmodell)
 - Mischhybride: VKM kann gleichzeitig Räder antreiben und via Generator Batterie aufladen (z.B. Toyota Prius)
- Grad der Hybridisierung anhand der Nennleistung des Elektromotors an Gesamtleistung
 - mild < 23%
 - semi [23% - 38%]
 - voll > 38%

Hybridantrieb



- Verbrauchsminderung gegenüber konventionellen Fahrzeugen
 - Rekuperation: teilweise Rückgewinnung der Bremsenergie und Einspeisung in die Batterie (auch in milden Hybridkonzepten)
 - Optimaler Betriebsbereich der Verbrennungsmotoren: vorwiegende Nutzung im mittleren bis oberen Lastenbereich (Erhöhung des Wirkungsgrades), Antrieb im unteren Lastbereich durch Elektromotor
 - Downsizing: kleinere Auslegung des Verbrennungsmotors (im oberen Lastenbereich kann Elektromotor zugeschaltet werden)
 - Vollständig emissionsfreie Fahrt in stark belasteten Gebieten möglich (abhängig von der Batterieleistung)
 - Erweiterung klassischer Konzepte um Plug-in-Hybrid Konzepte. In diesem Fall kann die Batterie auch exogen aufgeladen und eine teilweise Substitution von Benzin oder Diesel durch Elektrizität möglich werden. Dies ist insbesondere vorteilhaft, falls die Elektrizität aus regenerativen Energiequellen gewonnen wird.

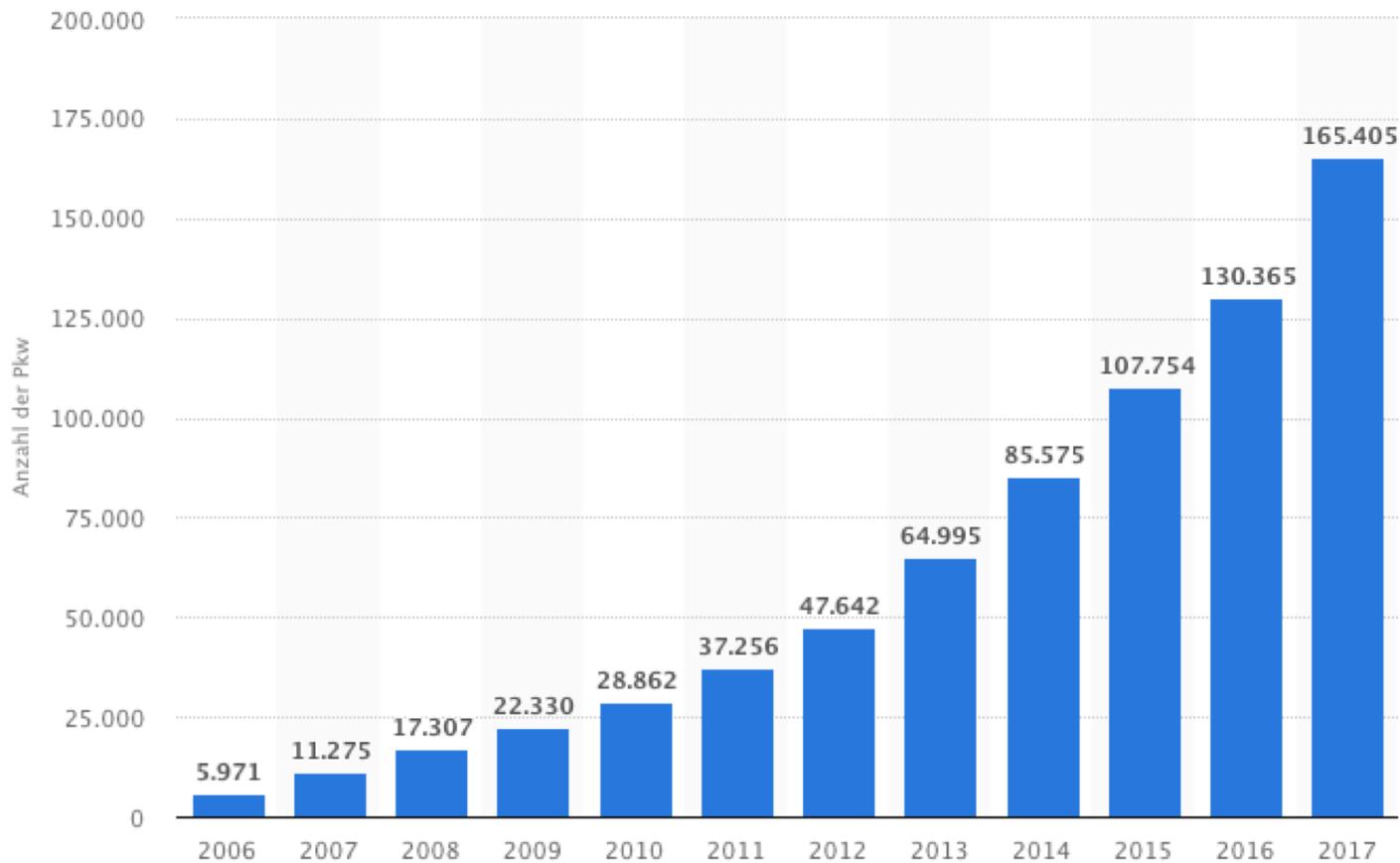


- Schwachstellen des Hybridkonzeptes
 - Komplexität I: höhere Kosten in der Anschaffung und Wartung durch komplexere Technik
 - Komplexität II: zusätzliche Energieumwandlungen und höheres Gewicht reduzieren Verbrauchsminderungen
 - Starke Abhängigkeit vom Fahrprofil: Klare Verbrauchseinsparungen im städtischen Verkehr, außerorts kann der Verbrauch aber aufgrund der Gewichtszunahme sogar stärker ausfallen als bei konventionellen Motoren
- Emissionseinsparpotential
 - Aufgrund der unterschiedlichen Techniken und der Abhängigkeit vom Fahrprofil, ist ein Einsparpotential kaum robust berechenbar
 - Im städtischen Verkehr kann von einer Reduzierung des Verbrauchs um ca. 50% ausgegangen werden. Außerorts liegt die wahrscheinliche Reduktion zwischen -10% und 10%.

Hybridantrieb



Anzahl der Hybridautos in Deutschland von 2006 bis 2017



Elektrisch betriebene Fahrzeuge

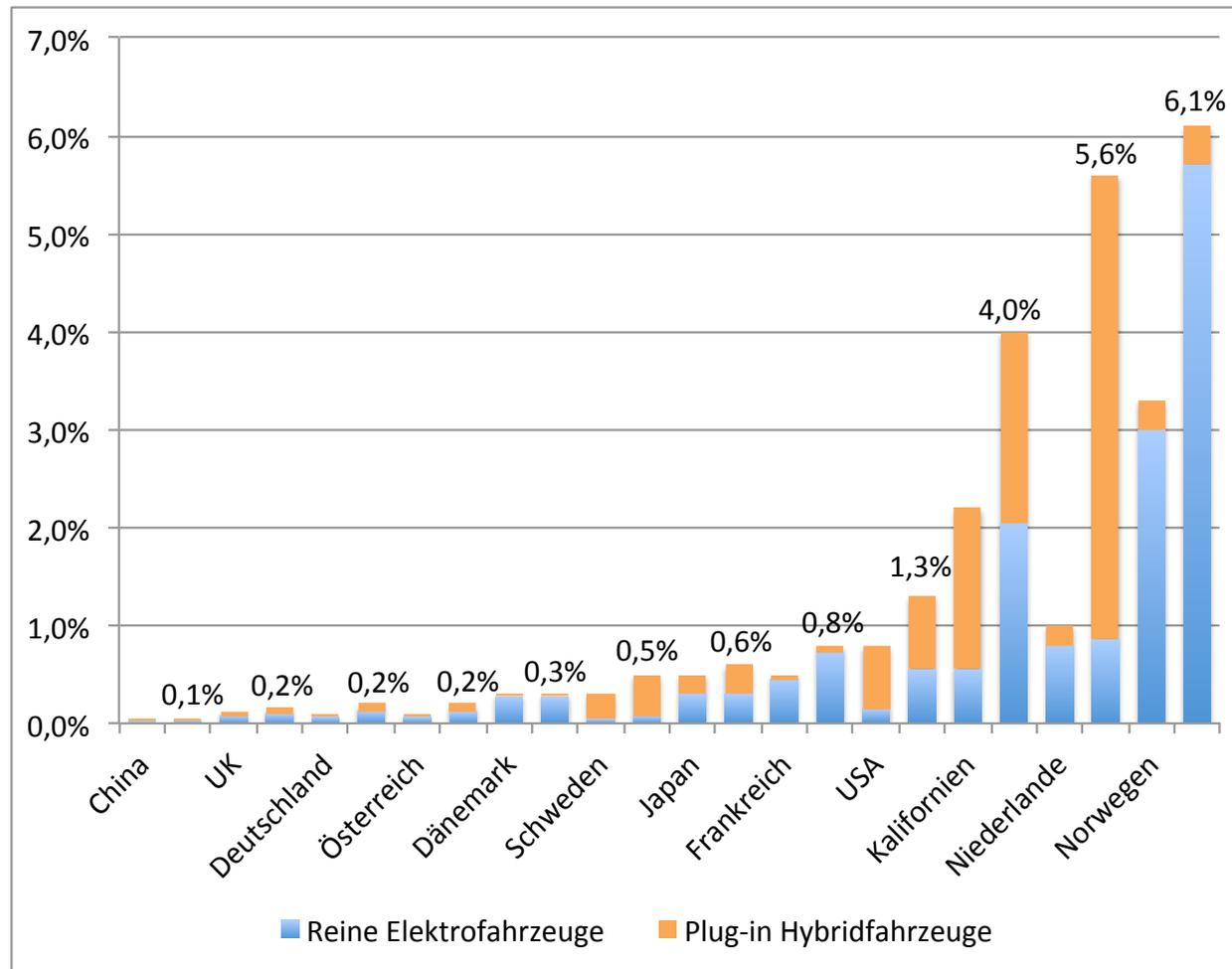


- Rein elektrisch betriebene Fahrzeuge haben keine Verbrennungskraftmaschine mehr im Fahrzeug
- Ihr Erfolg hängt daher wesentlich von folgenden Punkten ab
 - Reichweite der Batterie
 - Infrastruktur Betankung (Aufladung / Batteriewechsel)
 - Politische Anreize
 - Subventionierung beim Kauf des Fahrzeugs
 - Reduzierung der Unterhaltskosten (Steuererleichterungen)
 - Relative Vergünstigung von Strom vs. konventionelle Kraftstoffe
 - Festgelegter Anteil von *zero-emission cars* je Hersteller
 - Die stärksten Anreize bieten Norwegen, die Niederlande und Kalifornien. Interessanterweise scheuen sich Länder mit großen Herstellern vor vergleichbaren Anreizen (vgl. Folie nächste Seite).

Diffusion von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen



Anteil der Erstzulassung von reinen E-Fahrzeuge und Plug-in Hybridfahrzeugen (2012 und 2013)



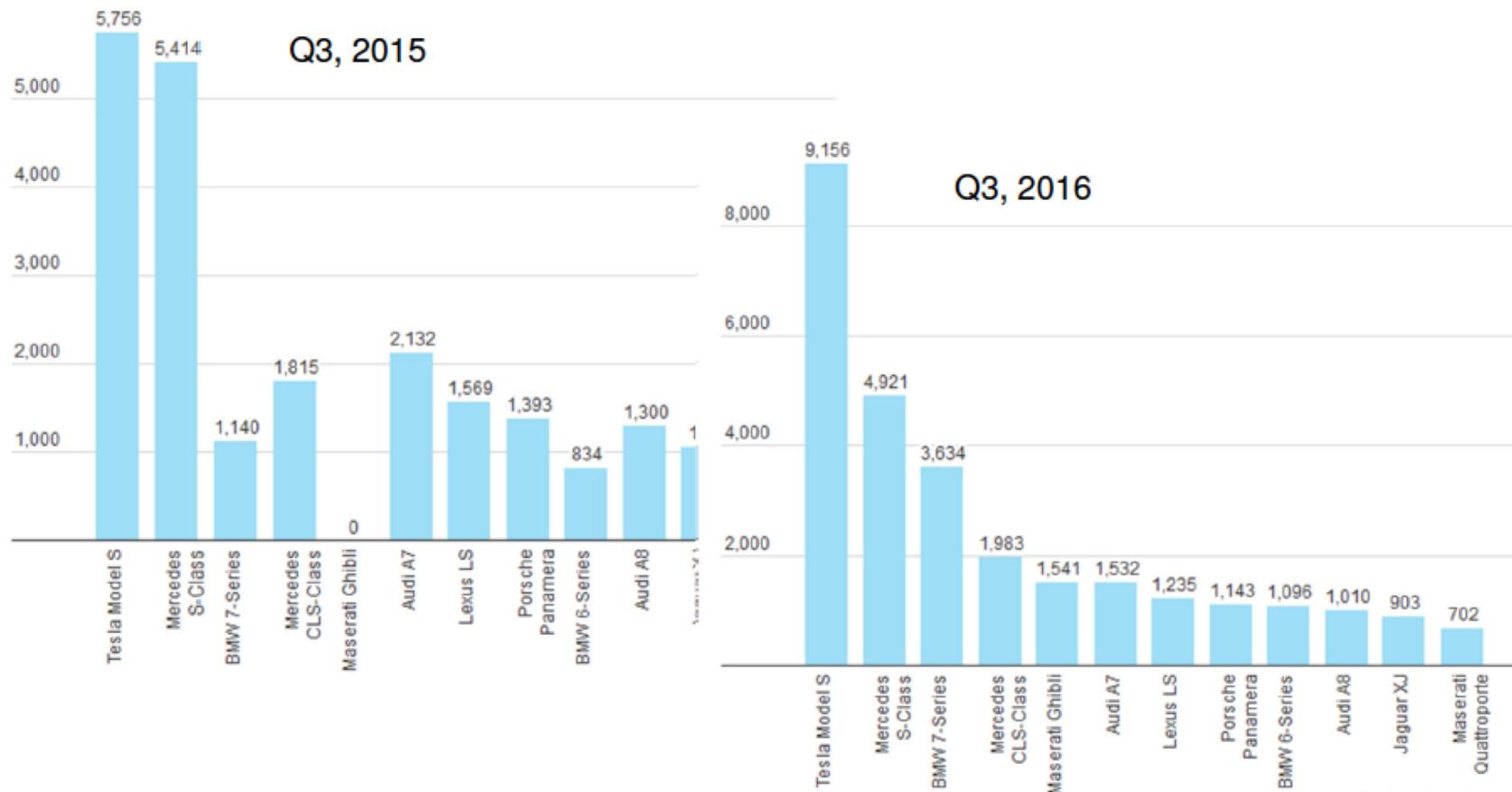
Quelle: basierend auf Mock und Yang 2014, http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EV-fiscal-incentives_20140506.pdf

Diffusion von batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen



- Innovationen in der Automobilbranche kommen meist aus der Luxusklasse

US Large Luxury Sedan Sales



Quelle: cleantechnica.com

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



■ Steigende Reichweiten

- ▶ Elektrofahrzeuge mit akzeptablen Reichweiten und Preisen (> 200 km im NEFZ; < 40.000,- €)
 - z.T. gerundete bzw. geschätzte Werte
 - Markteinführung: mit entsprechender Reichweite

Hersteller	Typ	Markteinführung	Batteriekapazität	Reichweite nach NEFZ	realistische Reichweite	Preis
BMW	i3	2016	33 kWh	310 km	210 km	36.150,- €
Hyundai	Ioniq Elektro	2016	28 kWh	280 km	200 km	33.300,- €
Nissan	Leaf	2016	30 kWh	250 km	175 km	34.385,- €
Opel (GM)	Ampera-e (Bolt)	2017	60 kWh	500 km	350 km	ca. 35.000,- €
Renault	Zoe	2017	41 kWh	400 km	280 km	32.900,- €
VW	eGolf	2017	35,8 kWh	300 km	200 km	34.900,- €
Ford	Focus Electric	2017	33,5 kWh	225 km	160 km	34.900,- €
Kia	Soul	2017	30 kWh	250 km	175 km	29.400,- €
Nissan	Leaf	2018	40 kWh	380 km	260 km	31.950,- €
Tesla	Model 3	2018	ca. 55 kWh	500 km	350 km	ca. 35.000,- €

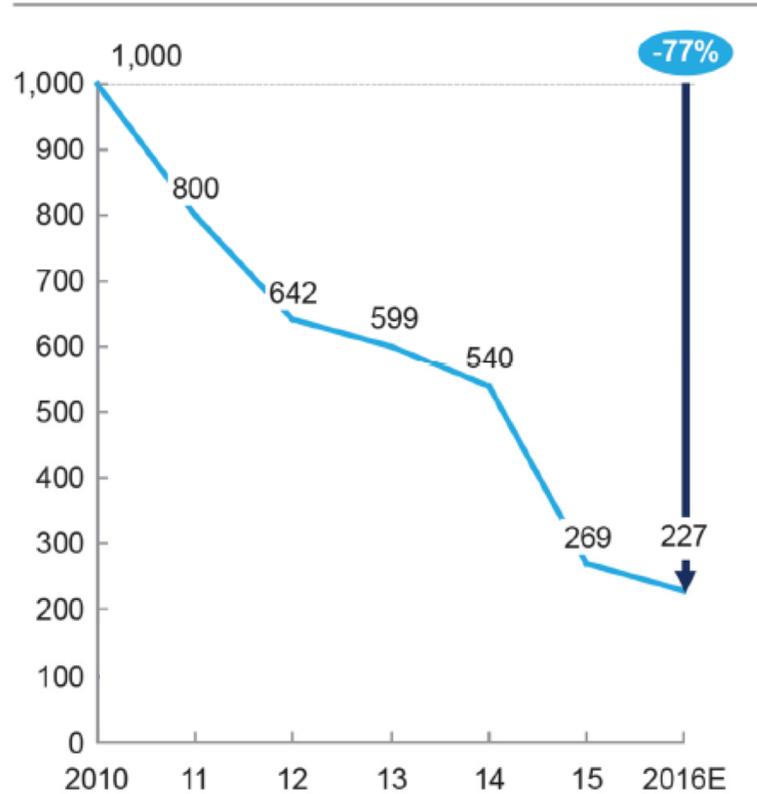
- zu beachtende chinesische Hersteller: BYD, Geely, ...

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



- Sinkende Preise für wichtige Komponenten (z.B. Batterie)

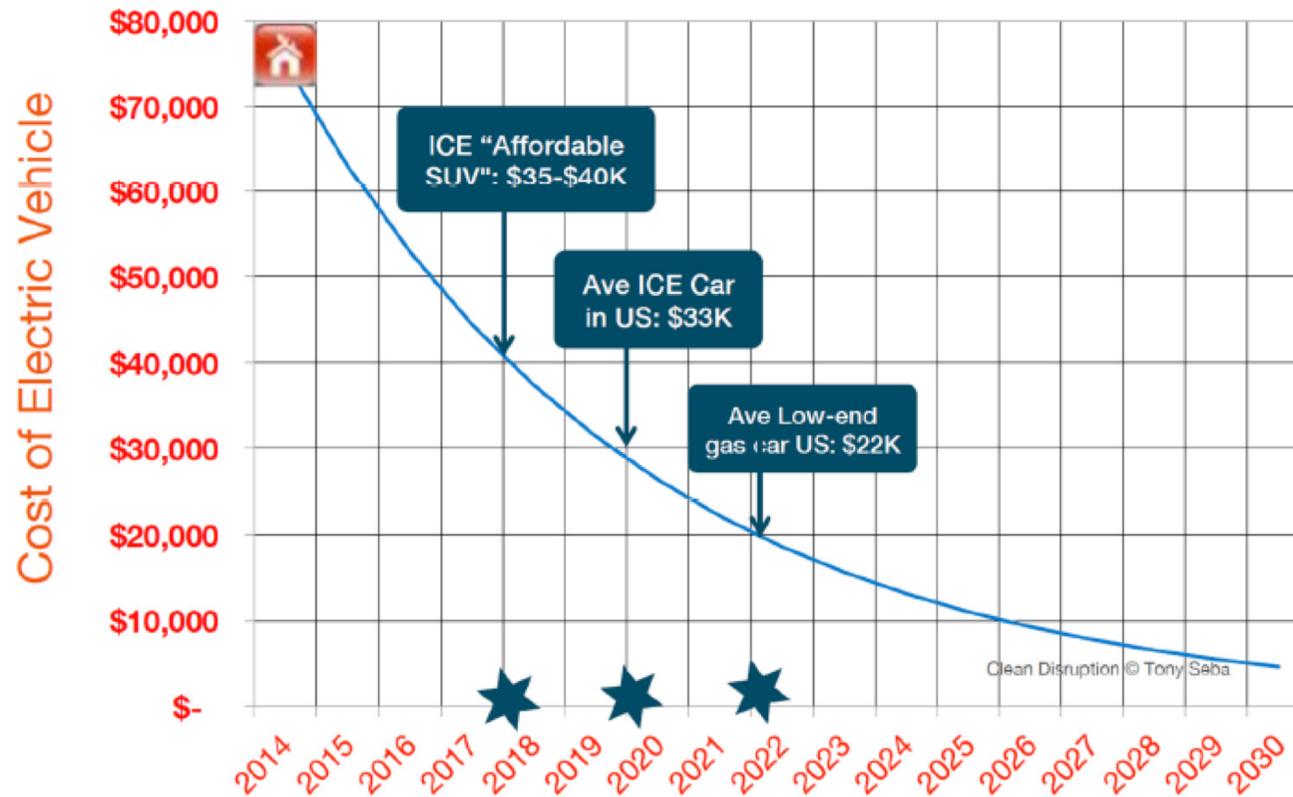
Average battery pack price
\$ per kWh



CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



- Sinkende Preise für Elektrofahrzeuge (ohne Qualitätssteigerungen)



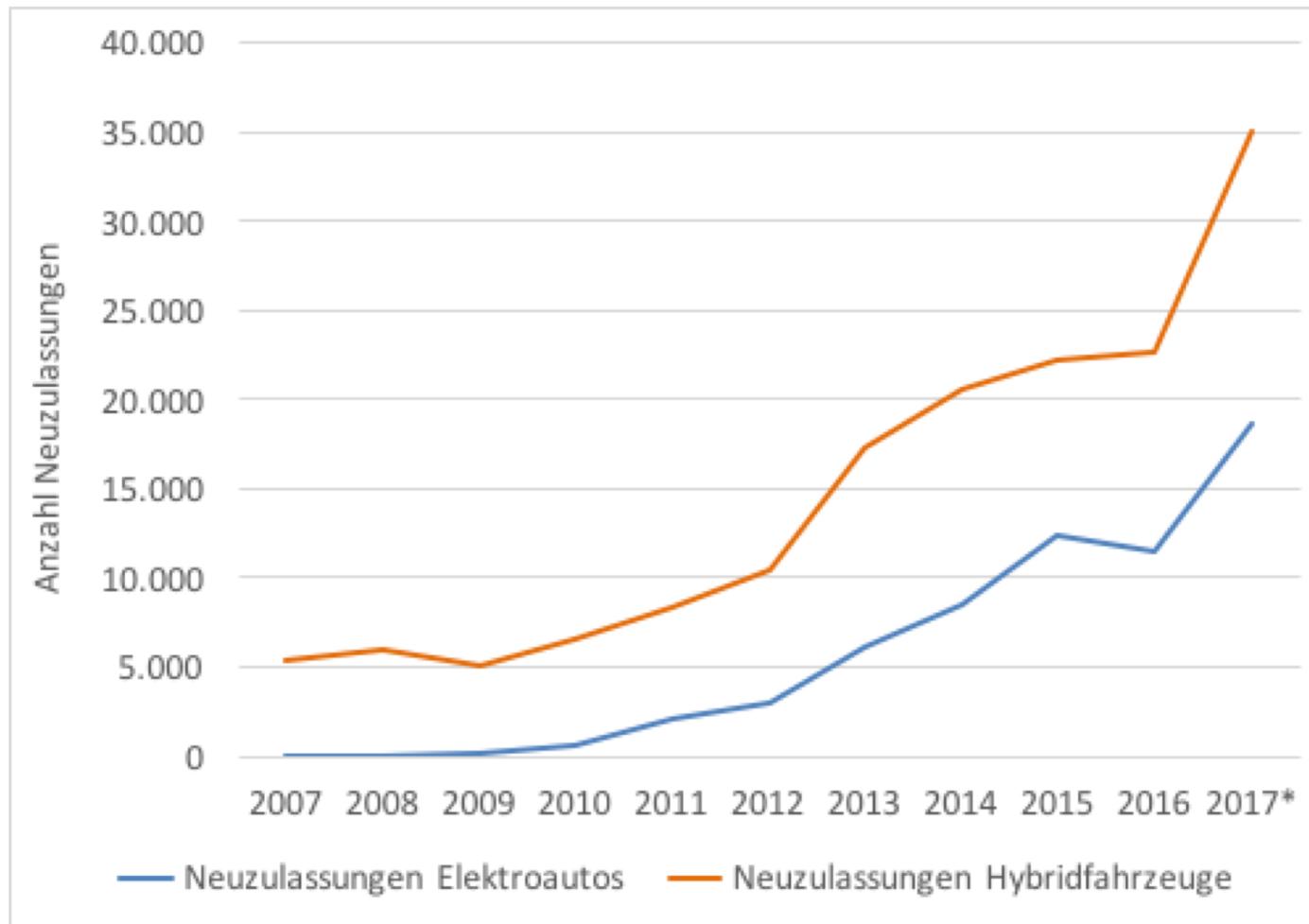
ICE: Internal combustion engine, konventioneller Antrieb

Source: Clean Disruption

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



■ Entwicklung Neuzulassungen batteriebetriebener Pkw in Deutschland

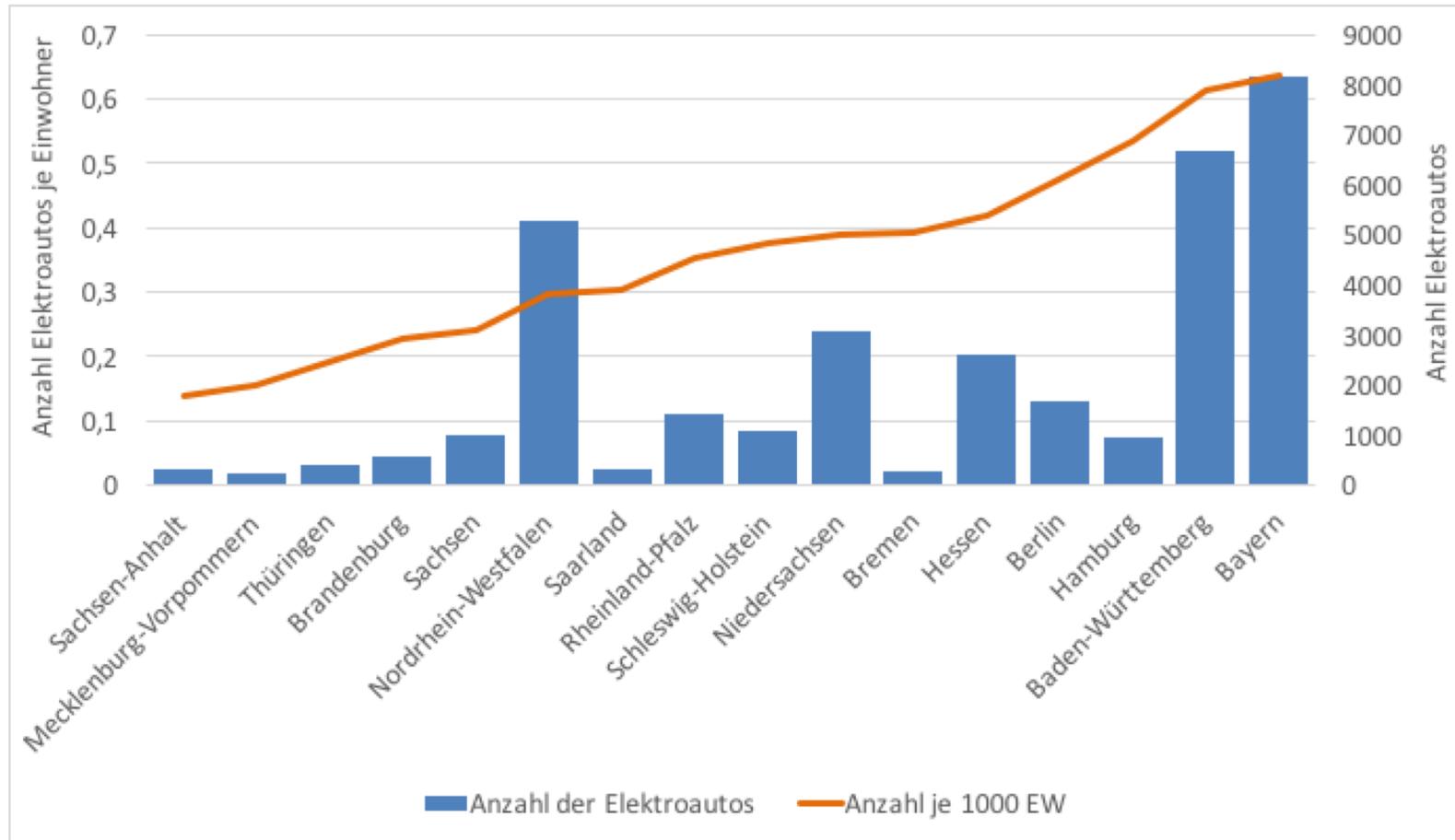


Quelle: Kraftfahrtbundesamt

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



■ Anzahl von Elektrofahrzeugen nach Bundesländern



Quelle: Kraftfahrtbundesamt

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



- CO₂ Emissionen hängen maßgeblich vom Strommix ab. Folgende Szenarien sind für Deutschland im Jahr 2030 vorstellbar:
 - Elektroautos werden mit jahresdurchschnittlichem Strommix betrieben (angenommener Anteil erneuerbarer Energie in 2030: 60%)
 - Der Betrieb von Elektroautos erfordert die Bereitstellung von zusätzlichem Strom, berücksichtigt wird nur der entsprechende marginale Mix.
 - Kontrolliertes zeitbezogenes Aufladen (geladen wird überwiegend zu Zeiten mit hohen Anteilen an erneuerbarer Energie)

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



zuordenbare CO₂ Emissionen (nach Jochem et al. 2015, Assessing CO₂ emissions of electric vehicles in Germany in 2030)

Szenarien für Deutschland 2030	Durchschnittlicher Mix	Marginaler Mix
unkontrolliertes Laden	58g CO ₂ /km	
kontrolliertes Laden	50g CO ₂ /km	
Vorgaben für konventionell betriebene Fahrzeuge 2020		95g CO ₂ /km

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



zuordenbare CO₂ Emissionen (nach Jochem et al. 2015, Assessing CO₂ emissions of electric vehicles in Germany in 2030)

Szenarien für Deutschland 2030	Durchschnittlicher Mix	Marginaler Mix
unkontrolliertes Laden	58g CO ₂ /km	110g CO ₂ /km
kontrolliertes Laden	50g CO ₂ /km	76g CO ₂ /km
Vorgaben für konventionell betriebene Fahrzeuge 2020	95g CO ₂ /km	

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



- Der wesentliche Rohstoff für die Produktion von Batterien ist aus heutiger Sicht das Leichtmetall Lithium
- Das Fraunhofer Institut ISI bewertet die Verfügbarkeit von Lithium in zwei Szenarien:
 - Szenario 1
 - Marktdurchdringung Elektrofahrzeuge: 50% bis 2050
 - Sekundärlithium: 25% des gesamten Bedarfs
 - Verbrauch der globalen Lithium Ressourcen: 20% (Reserven sind ausreichend)
 - Szenario 2
 - Marktdurchdringung Elektrofahrzeuge: 85% bis 2050
 - Sekundärlithium: 25% des gesamten Bedarfs
 - Komplette Nutzung der Reserven, stark steigende Preise um Ressourcen weiter abzubauen.
- Kritisch ist zu sehen, dass ein Großteil der Vorräte in ökologisch sensiblen Regionen vorkommt (z.B. in bolivianischen Salzseen)

CO₂ Emissionen – batteriebetriebene Elektromotoren



- Fazit
- Elektroautos haben durchaus das Potential nachhaltiger als konventionell motorisierte Fahrzeuge betrieben zu werden.
- Allerdings müssen dafür drei wichtige Voraussetzungen geschaffen werden:
 - Kontinuierlicher Ausbau der erneuerbaren Energie
 - Technologie, die intelligentes (zeitbezogenes) Aufladen ermöglicht
 - Substantieller Einsatz von Sekundärrohstoffen (insbesondere Lithium und Kobalt) in der Batterieproduktion

Systemwirkungsgrad – Elektromotoren mit Brennstoffzellen



- Brennstoffzellen wandeln die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie um.
- Brennstoffbezogene Konzepte
 - Reinwasserstoff (Flüssig oder Druckwasserstoff) H₂
 - Hohe Effizienz, schwierige Speicherung im Fahrzeug, hohe Kosten, fehlende H₂ Infrastruktur
 - Methanol (CH₃OH)
 - Leichte Speicherung, Umrüstung des bisherigen Tankstellennetzwerkes möglich, Verbindung von BZ mit Reformier notwendig um reinen Wasserstoff herzustellen ($\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 3\text{H}_2$)

Systemwirkungsgrad – Elektromotoren mit Brennstoffzellen



■ Vorteile

- Bei der Verbrennung von Reinwasserstoff bzw. Methanol-Wasser Gemischs entstehen keine bzw. geringe CO₂ Emissionen
- Höherer Wirkungsgrad gegenüber konventionellen Motoren
- Keine Abhängigkeit von fossilen Energieträgern
- Hybridtechnik möglich
- Benzin-Methanol bzw. Diesel-Methanol Mischkraftstoffe möglich

■ Nachteile

- Umwandlungsverluste (Wärme statt Strom)
- Eigenverbrauch an Strom durch Brennstoffzelle
- Reformingverluste bei der Konversion des Methanol-Wasser Gemischs zu Reinwasserstoff
- Hohe Giftigkeit von Methanol
- Schwierige Marktsituation bei Platin (das zur Herstellung der Brennstoffzellen benötigt wird)
- Hoher Energiebedarf bei Produktion von Treibstoff (insbesondere Wasserstoff)

Elektromotoren mit Brennstoffzellen auf Wasserstoffbasis



- Toyota Mirai
 - Elektromotor wird mit Wasserstoff betrieben
 - Wasserstoff reagiert in einer Brennstoffzelle mit Sauerstoff und liefert Energie.
 - Keine lokalen Emissionen
 - Hoher Energieaufwand bei der Produktion von Wasserstoff
 - Toyota produziert Wasserstoff in einer Pilotanlage mit Windenergie
 - Herstellung durch Nutzung von Solarenergie möglich
 - Bestehendes Tankstellennetz kann genutzt werden (Tankzeit 3 Minuten)
 - Reichweite 500 km pro Tank (50 Euro)

Exkurs: Brennstoffzelle



Funktion der PEMFC

Bei einer PEM-Brennstoffzelle wird ein edelmetallhaltiger Katalysator eingesetzt, meistens handelt es sich hierbei um Platin. Ohne das Platin würden Wasserstoff und Sauerstoff nicht miteinander reagieren. Erst die Zufuhr der Aktivierungsenergie, z.B. durch einen Funken, würde die Reaktion explosionsartig ablaufen lassen. Das Elektrolyt ist eine Polymermembran, die nur Protonen durchlässt.

Die Protonen und Elektronen entstehen an der Anode durch Oxidation von Wasserstoff. Hierbei entsteht an der Anode ein Gleichgewicht zwischen adsorbierten Wasserstoff-Molekülen und hydratisierten Wasserstoff-Ionen. Die Protonen, also die H⁺-Ionen, wandern durch die Membran zur Kathode, an der die Reduktion von Sauerstoff zu Wasser stattfindet.

Die für die Reduktion nötigen Elektronen fließen durch einen äußeren Stromkreis zur Kathode. Die hierbei stattfindende Aufladung der Elektroden bezeichnet man als Elektrodenpotential. Die bei der Reaktion zwischen den beiden Elektroden erzeugte Potentialdifferenz ist die treibende Kraft der Brennstoffzellenreaktion und lässt sich im äußeren Stromkreis in elektrische Arbeit umwandeln.

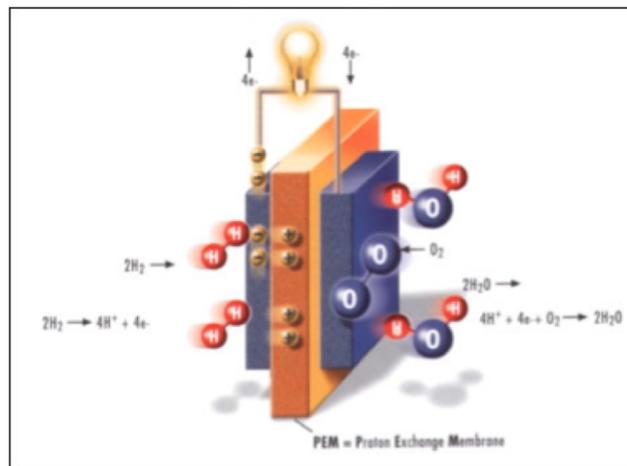


Abbildung 1: Funktionsskizze der PEMFC

Exkurs: Brennstoffzelle



Theoretisch lässt sich an einer PEM-Brennstoffzelle eine Ruhespannung von 1,23V messen. Diese ergibt sich aus den Standard-Elektrodenpotentialen.

Allgemein gilt: $U = U_H^0(\text{Kathode}) - U_H^0(\text{Anode})$.

Daraus folgt für die PEM-Brennstoffzelle, die mit Sauerstoff und Wasserstoff betrieben wird: $U = U_H^0(\text{Sauerstoff}) - U_H^0(\text{Wasserstoff}) = 1,23\text{V} - 0\text{V} = 1,23\text{V}$.

Das Elektrodenpotential der Wasserstoffhalbzelle ist definitionsgemäß 0V. Daraus ergibt sich dann die theoretisch mögliche Spannung von 1,23V. In der Praxis wird diese Spannung aber nicht erreicht; man erreicht nur Spannungen zwischen 0,6 bis 0,9V. Dies ist auf Spannungsverluste, die z.B. durch Reaktionshemmungen oder ungenügende Gasdiffusion auftreten können.

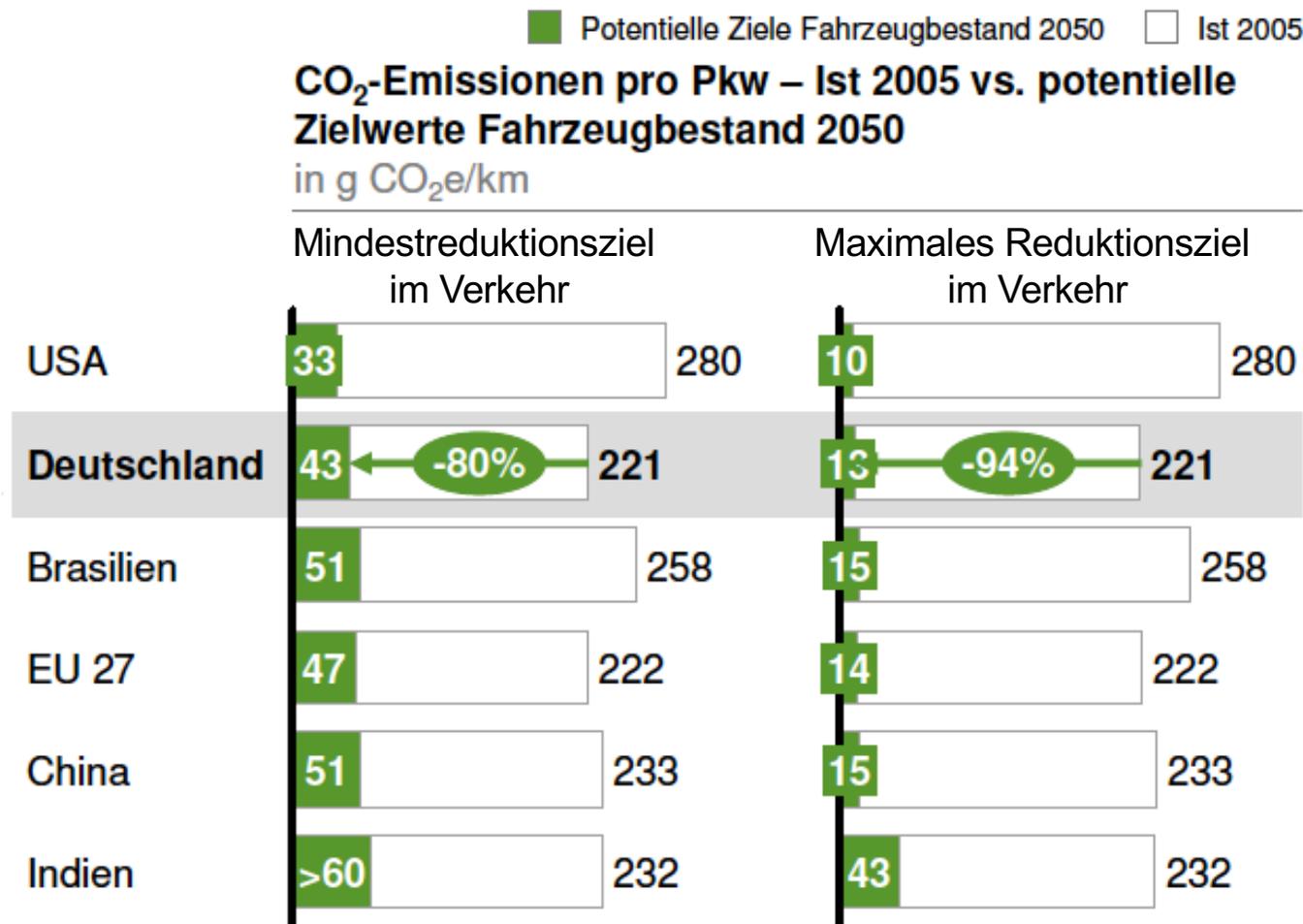
Diese theoretisch frei werdende Spannung entspricht der Spannung, die man theoretisch mindestens bei der Elektrolyse von Wasser aufbringen muss. Aber auch bei einer Elektrolyse ist diese theoretische Spannung nicht ausreichend, da auch hier u.a. der ohmsche Widerstand des Elektrolyten zu überwinden ist und somit die Spannung höher sein muss.

Die Brennstoffzelle kann je nach Typ und Brennstoff einen theoretischen Wirkungsgrad von 70% bis annähernd 100% erreichen. Da, wie eben schon erklärt, in der Praxis nicht die volle theoretische Spannung erreicht wird, liegt auch der tatsächliche Wirkungsgrad niedriger, zwischen 40% und 70%. Er entspricht dem Quotienten aus erreichter Spannung und theoretischer Spannung. Am Wirkungsgrad kann man das Verhältnis zwischen gewonnener und aufgewandter Energie ablesen.

Verbesserung des Systemwirkungsgrades unter Einbeziehung von Klimazielen



Reduktionsziele im Verkehr (bei Begrenzung des Temperaturanstiegs um 2° C)



Quelle: IPCC Fourth Assessment Report

Verbesserung des Systemwirkungsgrades unter Einbeziehung von Klimazielen



Erforderlicher Anteil der Neuzulassungen an *zero emission cars* bei Einbeziehung von Klimazielen in Deutschland 2050

Einsatz alternativer Antriebe (regenerative Stromerzeugung) !

		Elektroantriebe (BEV)	Wasserstoffantriebe (H2-FC)
Optimierung heutiger Verbrennungsmotoren	Status quo	81% bis 96%	87% bis >100%
	Optimierung mit CO ₂ -Reduzierung um ~40%	68% bis 93%	77% bis >100%

Quelle: McKinsey&Company, 2010 (im Auftrag des BMUs)



- Fahrwiderstände
 - Rollwiderstand
 - Steigungswiderstand
 - Beschleunigungswiderstand (Trägheit)
 - Luftwiderstand
- Roll-, Steigungs- und Beschleunigungswiderstand sind direkt proportional zur Fahrzeugmasse
 - Leichtbau bietet hier eine Möglichkeit diese Widerstände zu verringern
 - Gewichtseinsparung durch neue Antriebstechniken und mitgeführte Kraftstoffmenge
 - Leichtbau durch Materialsubstitution wie z.B. Aluminium, Magnesium, Titan, Kunststoffe (aber CO₂ intensive Herstellung kann positiven Gewichtseffekt verringern oder ganz aufheben)



- Gewichtseinsparung durch Formgebung (Minimierung des Werkstoffeinsatzes)
- Gewichtsreduktion durch Verringerung der Teileanzahl
- Schätzungen zufolge sind in den kommenden Jahren Gewichtseinsparungen beim PKW von 5 bis 10% denkbar
- Damit ließe sich der durchschnittliche Verbrauch um ca. 3,5 bis 7% reduzieren.
- Verbesserung des Rollwiderstands
 - Entwicklung von Leichtlaufreifen reduziert den Rollwiderstand durch elastische Verformung (Anpassung) der Reifen
 - Beim PKW bzw. LKW ist dadurch eine Verringerung des Verbrauchs um 2 bis 6% (PKW) bzw. 4 bis 12% (LKW) möglich.
 - Zu beachten ist jedoch, dass die Reifen auch eine wichtige Sicherheitsfunktion haben (Bremsen/Beschleunigen), die gewahrt bleiben muss.



- Verbesserung der Aerodynamic
 - Eine Verringerung des Luftwiderstands macht sich insbesondere auf langen Strecken und bei hohen Geschwindigkeiten bemerkbar.
 - Beim PKW bzw. LKW ist mit einer Verringerung des Luftwiderstands um 10% bzw. 20% möglich.
 - Damit ließe sich der durchschnittliche Verbrauch um ca. 2% (PKW) bzw. 10% (LKW) reduzieren.



Bepreisung von Verkehrsinfrastruktur

Motivation der Bepreisung

Ermittlung der Preise

Form der Bepreisung

Reduzierung der Baukosten durch Vergabe an private Unternehmen

Infrastrukturinvestitionen

Bepreisung von Verkehrsinfrastruktur



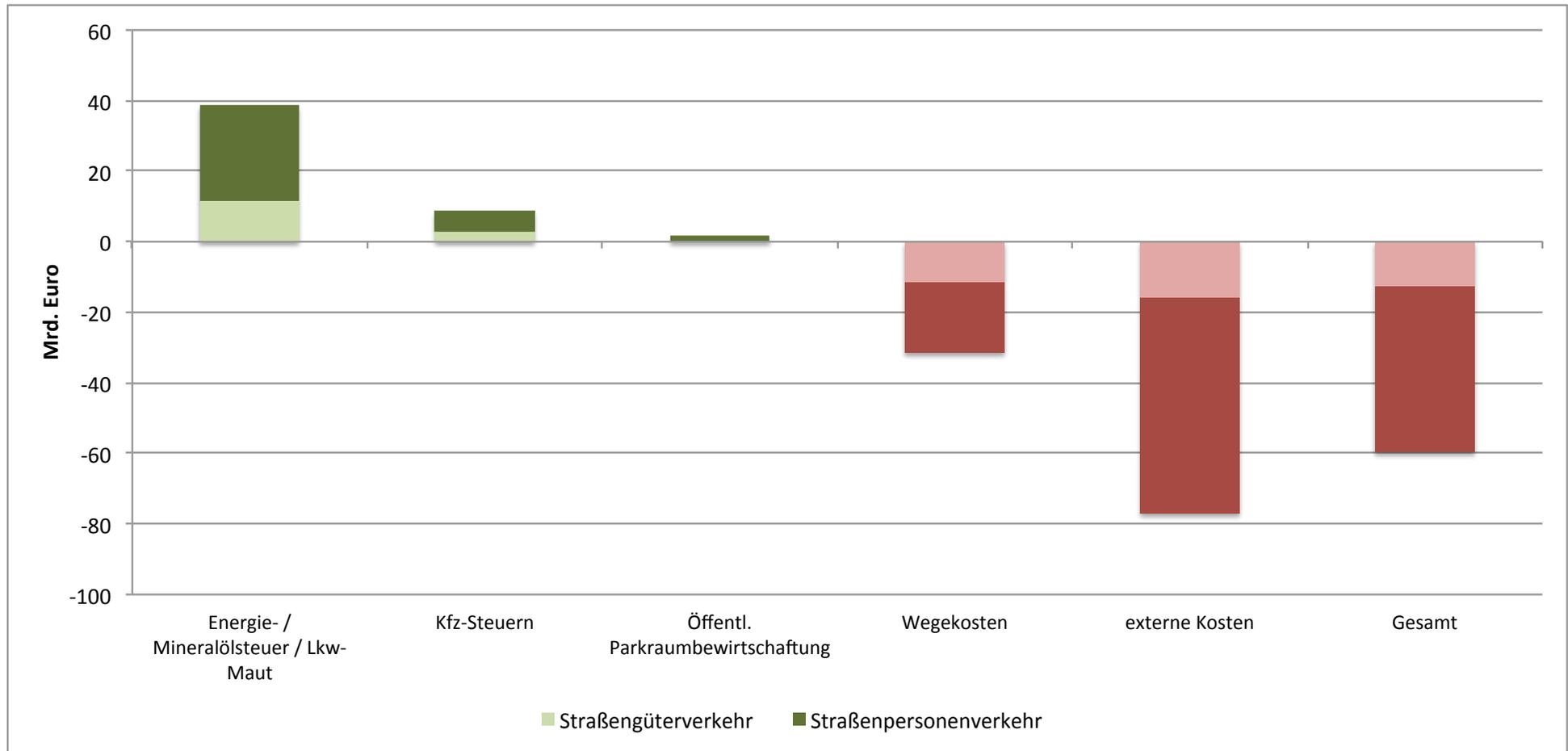
- Motivation der Bepreisung
 - Gewährleistung einer den Ansprüchen der Nutzer gerecht werdenden Verkehrsinfrastruktur
 - Gewährleistung einer ökonomisch effizienten Bewirtschaftung der Infrastruktur
 - Gewährleistung einer kontinuierlichen Verbesserung der Infrastruktur
 - Gewährleistung einer fairen Verteilung der Kosten

Bepreisung von Verkehrsinfrastruktur



Motivation der Bepreisung

Bisherige Einnahmen decken nicht die verursachten Kosten



Quelle: Umweltbundesamt, 2010

Ermittlung der Preise



- Pricing principles
 - (Short run) marginal cost pricing principle
 - Multi-part tariffing

Short run marginal cost pricing principle



- Marginal cost principle (Grenzkosten)
 - Bevorzugte Methode der Europäischen Kommission (vgl. White Paper ‚Fair and efficient pricing of transport infrastructure ‘ sowie Direktive 2001/14, in der dieses Verfahren für die Schieneninfrastruktur festgelegt wird)
 - „Marginal costs are those variable costs that reflect the cost of an additional vehicle or transport unit using the infrastructure. Strictly speaking, they can vary every minute, with different transport users, at different times, in different conditions and in different places“ (EC White paper, S. 10)
 - Damit legt sich die Kommission auf die Anwendung des *short run marginal cost principle* fest.
 - Die Anwendung des Prinzips geschieht in Übereinstimmung mit der vorherrschenden Lehrbuchmeinung wonach Unternehmen im vollständigen Wettbewerb ihre Gewinne maximieren falls gilt:
 - Grenzkosten = Grenzerlöse = Preise

Short run marginal cost pricing principle



- Short run marginal cost (kurzfristige Grenzkosten)
 - Anrechenbare Kosten
 - Betriebskosten
 - Verschleißkosten
 - Staukosten
 - Umweltkosten
 - Unfallkosten
 - Nicht anrechenbare Kosten
 - Gemeinkosten (z.B. Administration)
 - Vorhaltungskosten
 - Sicherung des Betriebs bei Störfällen
 - Kapitalkosten

Short run marginal cost pricing principle



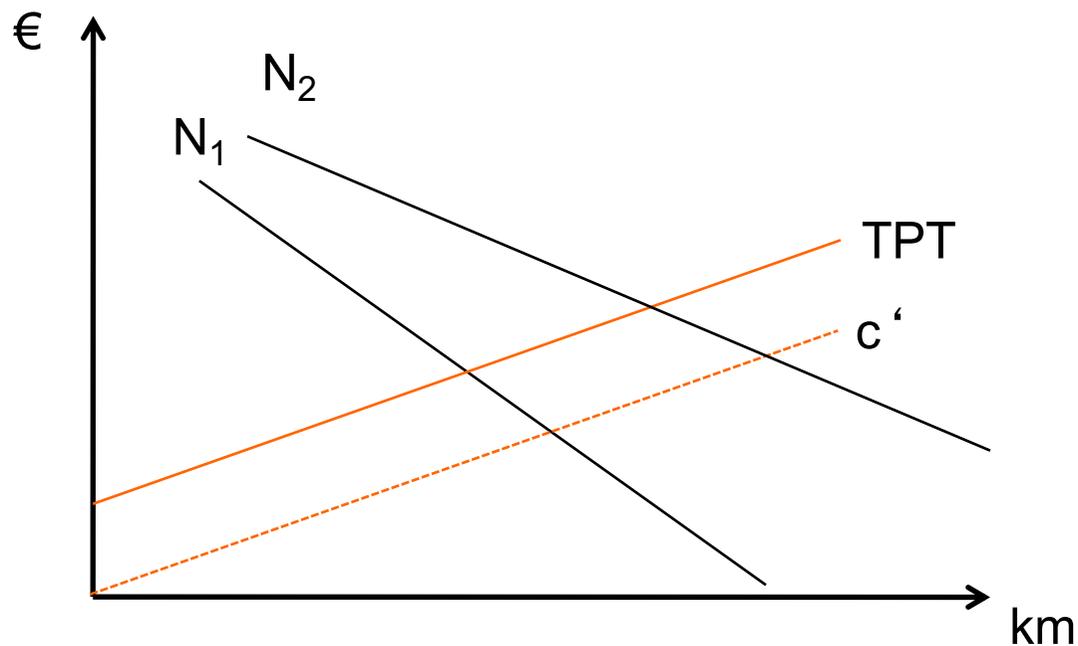
- Vorbehalte gegenüber dem *short run marginal cost principle*
 - Akzeptanz
 - Preise signalisieren Knappheit und Qualität
 - Hohe short run marginal cost durch Staukosten signalisieren zwar Knappheit, aber gleichzeitig eine zu geringe Kapazität der Infrastruktur (Qualitätsmerkmal)
 - Externe Kosten
 - vollständige Internalisierung nur bei konvexen Verläufen der Umweltgrenzkosten möglich (nicht gegeben bei Lärm)
 - Preisermittlung
 - Berechnung der Grenzkosten erfordert genaue Kenntnis der Kosten, die in der Praxis nicht gegeben ist
 - Investitionen
 - Private Investoren können abgeschreckt werden, da nicht alle Kosten gedeckt werden (gilt insbesondere bei hohen Vorhaltungskosten)

Multi-part tariffing



■ Two-part tariffing

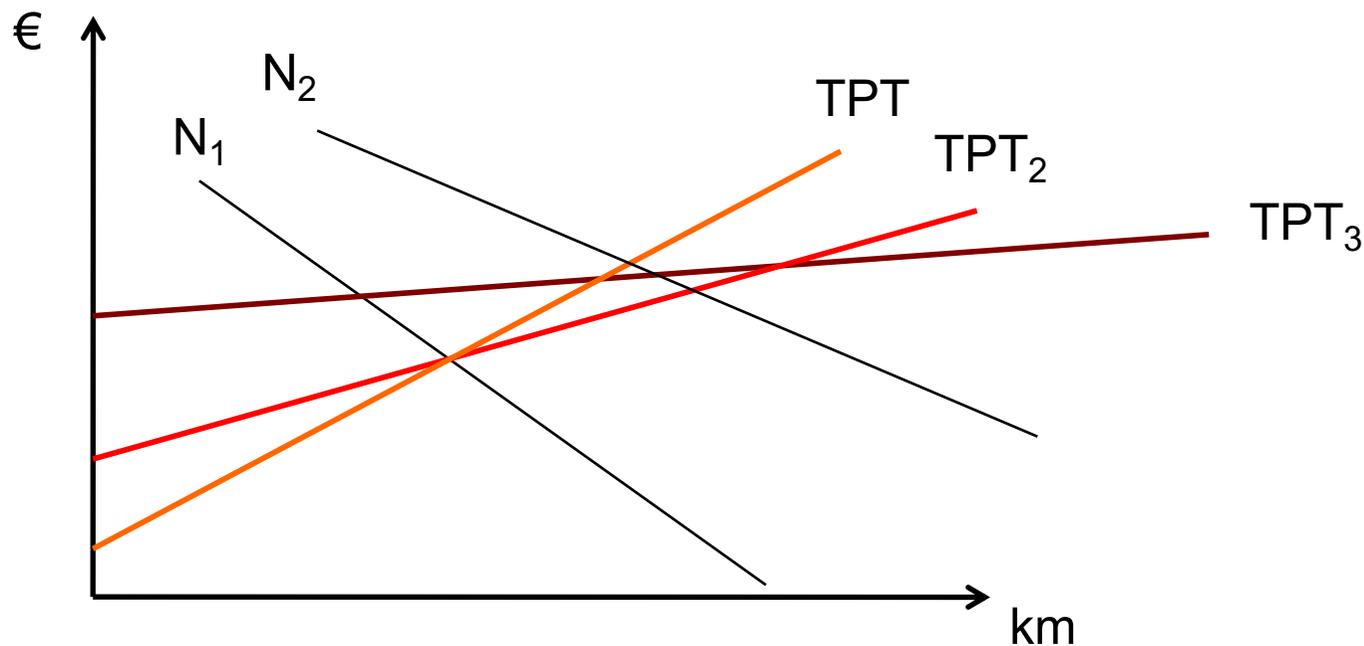
- Preis setzt sich aus einem fixen und einem variablen Bestandteil zusammen
- Entspricht der variable Bestandteil den Grenzkosten, so kann der fixe Teil zur Deckung der sonstigen Kosten (inkl. einer angemessenen Rendite) herangezogen werden.



Multi-part tariffing



- Multi-part tariffing
 - Zur Verringerung der Unsicherheit kann der Anbieter mehrere Two-part tariffs anbieten (Nachfrager entscheiden selber über besseres Angebot)
 - Nur ein Angebot wird dann aber in den variablen Bestandteil die Grenzkostenkurve darstellen.

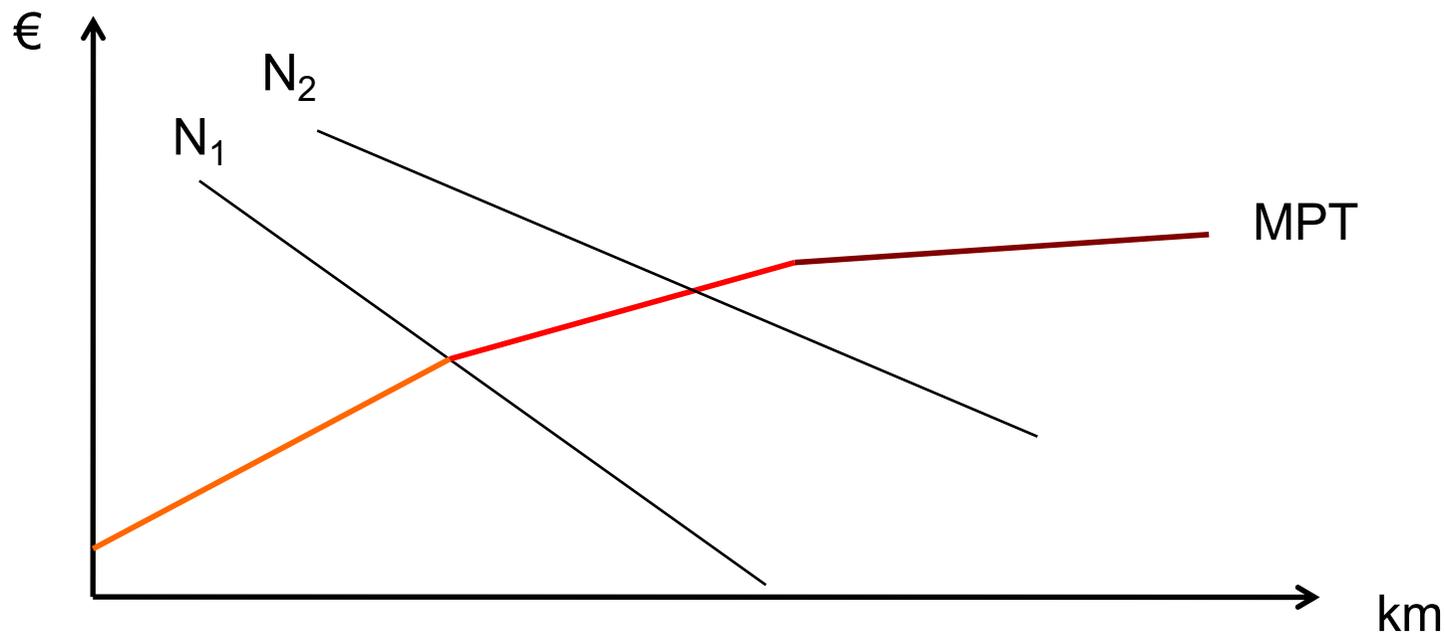


Multi-part tariffing



■ Multi-part tariffing

- Anbieter staffeln Gebühren und geben Vorteile einer hohen Auslastung (bzgl. der Gemeinkosten und Vorhaltungskosten) an die Nutzer weiter (Fairness)



Multi-part tariffing



■ Fazit

- Preisdifferenzierung in Abhängigkeit der gewünschten Leistung (z.B. verschiedene Tarife für Viel- und Wenigfahrer)
- Auswahlmöglichkeit reduziert Unsicherheit beim Setzen der Preise
- Tarife können auf Vollkosten (inkl. angemessene Rendite) basieren (attraktiv für private Investoren)
- Problem: Auch in diesem Fall müssen die Kosten bekannt sein. (Grenzkosten sind nur schwer abschätzbar. Aber sonstige Kosten (>90%) lassen sich häufig leichter abschätzen.)

Form der Bepreisung



- Maut
 - Zeitbezogene Maut: Vignette
 - Fahrleistungsbezogene Maut: Pkw- / Lkw-Maut
 - Flächenbezogene Maut: City Maut
 - Objektbezogene Maut
 - Auslastungsbezogene Maut: Differenzierungsmöglichkeit aller Mauttypen

Maut



- Zeitbezogene Maut: Vignette
 - Vignette belegt Fahrzeuge mit Gebühr pro Zeiteinheit
 - Erwerb der Vignette ermöglicht während dieser Zeit unbegrenzte Fahrt auf dem bemautes Straßennetz
 - Beispiele:
 - Autobahnvignette Österreich 2018 (Pkw)
 - 10 Tagesvignette: € 9,00
 - 2 Monatsvignette: € 26,20
 - Jahresvignette (14 Monate): € 87,30
 - Autobahnvignette Schweiz (Pkw)
 - Jahresvignette (14 Monate): € 33 (SFr 40)
 - Vorteile:
 - Geringe Systemkosten (in AT ca. 8% der Einnahmen)
 - Nachteile:
 - Geringe Anreize zur Reduzierung der Fahrleistung
 - Wenigfahrer werden überdurchschnittlich stark belastet (und weichen aus)

Maut



- Fahrleistungsbezogene Maut: Pkw- / Lkw-Maut
 - Fahrleistungsbezogene Maut bezieht sich auf gefahrene Kilometer
 - Beispiele:
 - Frankreich & Italien (Pkw): ca. 5 Ct/km
 - Spanien (Pkw): ca. 8 Ct/km
 - Deutschland (Lkw): 14 Ct/km (3 Achsen, höchste Schadstoffklassen) bis 29 Ct/km (4 Achsen, keine Schadstoffklasse)
 - Deutschland (Pkw): 3 bis 5 Ct/km
 - Vorteile:
 - Verursachergerechte Verteilung der Kosten
 - Erhöhung des Auslastungsgrades
 - Spreizung der Maut (Auslastung, Emissionsklassen) ermöglicht Steuerung des Verkehrs und setzt Anreize für emissionsärmeren Verkehr
 - Nachteile:
 - Hohe Systemkosten (in DE bis zu 25%)
 - Exklusive Bemautung der Autobahnen und (4-spurigen) Bundesstraßen fördert Ausweichverkehre

Maut



- Flächenbezogene Maut: City-Maut
 - Beschränkung der Maut auf verhältnismäßig kleine Fläche innerhalb einer Stadt oder Region
 - Entrichtung der Mautgebühr ermöglicht unbegrenzte Fahrt auf dem bemautes Straßennetz
 - Beispiele:
 - Stockholm (Pkw): ca. € 2,50 pro Ein- bzw. Ausfahrt
 - London (Pkw): ca. € 9,50 pro Tag
 - Vorteile:
 - Finanzierung städtischer Verkehrsinfrastruktur (auch ÖPNV)
 - Verringerung des Kfz-Verkehrs
 - Spreizung der Maut (Wochentag und Uhrzeit) ermöglicht Steuerung des Verkehrs
 - Nachteile:
 - Verlagerung des Verkehrs auf äußeren Ring
 - Konflikte mit geplanter Stadtentwicklung durch Verlagerung des Einzelhandels und des Gaststättengewerbes

Maut



- Objektbezogene Maut
 - Beschränkung der Maut auf einzelne sehr aufwendige Infrastrukturbauten (Brücken bzw. Tunnel)
 - Entrichtung der Mautgebühr ermöglicht Nutzung der Brücke bzw. des Tunnels
 - Beispiele:
 - Brennerautobahn (Pkw): € 9,00 (einfache Fahrt)
 - Öresundbrücke Kopenhagen / Malmö (Pkw): € 40 (einfache Fahrt)
 - Vorteile:
 - Finanzierung sehr aufwendiger Bauten durch Nutzer
 - Wirtschaftliche (private) Betreibung von Teilstücken möglich
 - Nachteile:
 - Umgehung der Gebühr oftmals schwierig, so dass Preise bei privaten Betreibern durch den Staat reguliert werden müssen



- Auslastungsbezogene Maut (Differenzierung)
 - Unabhängig von der Form der Mauterhebung kann eine Differenzierung der Maut die Steuerungsfunktion verstärken (Ferienzeit, Wochentage, Uhrzeit)
 - Bei fahrleistungs- und flächenbezogener Maut könnte die Spreizung auch von der momentanen Verkehrssituation abhängig gemacht werden
 - Stockholm (Pkw): Variation um bis zu 25% in Abhängigkeit der durchschnittlichen Fließgeschwindigkeit.
 - Vorteile:
 - Lenkung des Verkehrs möglich
 - Nachteile:
 - Nutzer die im Stau stehen haben zusätzliche Kosten
 - Zusätzliche Kosten trifft häufig Geringverdiener
 - Urlauber sind an bestimmte Tage/Wochen gebunden und werden schon durch höhere Kraftstoffpreise belastet.



- PKW Maut für Deutschland
 - Zeitbezogene Maut: Tages-, Wochen-, Jahresvignette (ca. 100 €)
 - Kompensation über Reduzierung der KFZ Steuer (für im Inland angemeldete Fahrzeuge)
 - Differenzierung anhand der Emissionsklassen
 - Fahrzeuge die bislang weniger als 100 € KFZ Steuer zahlen müssen kompensiert werden
 - Kompensationen müssen nach EU Recht für alle gelten (Erhöhung der Komplexität und der Systemkosten auf ca. 15%)
 - Prognostizierte Mehreinnahmen
 - 350-700 Mio € (bisherige Einnahmen aus der LKW Maut: 4,6 Mrd. €)
 - Prognostizierter jährlicher Mehrbedarf für Verkehrsinfrastruktur 7 Mrd €

Reduzierung der Baukosten durch Vergabe an private Unternehmen



- Bislang dominierendes Finanzierungsmodell
 - Finanzierung durch öffentliche Hand (EU: Transeuropäische Verkehrsnetze; Bund: Autobahnen, Schiene, Wasserstraße ca. 15 Mrd. € p.a.; Land und Kommunen: regionale Infrastruktur)
 - Finanzierung durch private Investoren (Fraport AG: ca. 1 Mrd. € p.a.; HHLA: ca. 0,2 Mrd. € p.a.)

Reduzierung der Baukosten durch Vergabe an private Unternehmen



- Zukünftig vermehrte Finanzierung in PPPs (public private partnerships)
 - A-Modell
 - Privater Auftragnehmer übernimmt Planung, Ausbau, Finanzierung und Betrieb eines definierten Autobahnabschnittes.
 - Eigentum des Projektgegenstandes liegt beim öffentlichen Auftraggeber.
 - Refinanzierung der Investitions- und Betriebskosten sowie des Risikos und des Gewinns des privaten Auftragnehmers erfolgt durch die Weiterleitung der im Autobahnabschnitt erhobenen Lkw-Maut. Öffentlicher Auftraggeber kann Anschubfinanzierung gewähren.
 - F-Modell
 - Privater Auftragnehmer übernimmt Planung, Ausbau, Finanzierung und Betrieb eines Ingenieurbauwerkes.
 - Eigentum des Projektgegenstandes liegt beim öffentlichen Auftraggeber.
 - Privater Auftragnehmer erhält vom öffentlichen Auftraggeber das Recht, eine Maut zur Refinanzierung der Investitions- und Betriebskosten sowie des Risikos und des Gewinns zu erheben. Öffentl. Anschubfinanzierung ist möglich.

Reduzierung der Baukosten durch Vergabe an private Unternehmen



Typus von Modell	Projekt	Stand (November 2005)
A-Modelle		
	A 1 / A 4 in NRW (Düren - Köln Nord)	geplant
	A 4 in Thüringen ("Umfahrung Hörselberge")	in Ausschreibung
	A 1 in Niedersachsen (Buchholz - Bremer Kreuz)	geplant
	A 5 in Baden-Württemberg (Baden-Baden - Offenburg)	geplant
	A8 in Bayern (Augsburg / West – München / Allach)	in Ausschreibung
F-Modelle	Warnowtunnel B 103n (Rostock)	eröffnet
	Herrentunnel B 75 (bei Lübeck)	eröffnet
	Strelasundquerung B 96n (Rügen)	gescheitert (jetzt konventionell gebaut)
	Elbquerung bei Glückstadt A 20	geplant
	Weserquerung A 281	geplant
	Hochmoselübergang B 50n	geplant
	Albaufstieg A8	geplant
Funktionsbauverträge	A 61 in Rheinland-Pfalz (Koblenz –Kruft)	fertiggestellt
	A 81 in Baden-Württembg. (Oberndorf –Rottweil)	fertiggestellt
	A 93 in Bayern (Brannenburg- Kiefersfeld.)	fertiggestellt
	A 31 in NRW	vergeben
	A 9 in Thüringen	geplant

Quelle: BMVBW



Hauptziele von Infrastrukturmaßnahmen

Verkürzung der Reisezeiten (Verringerung der Transportkosten)

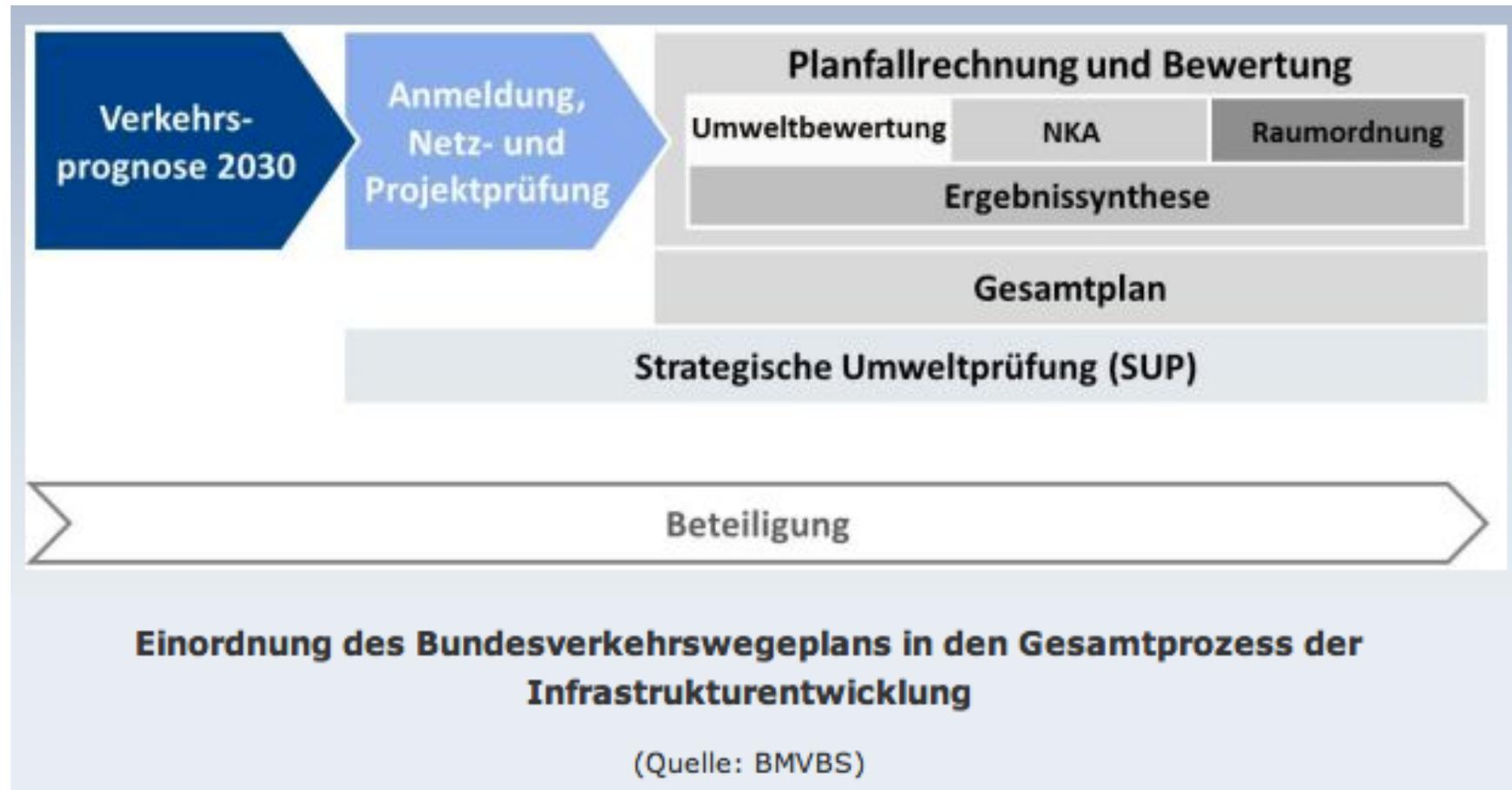
Wettbewerbsfähigkeit der Regionen

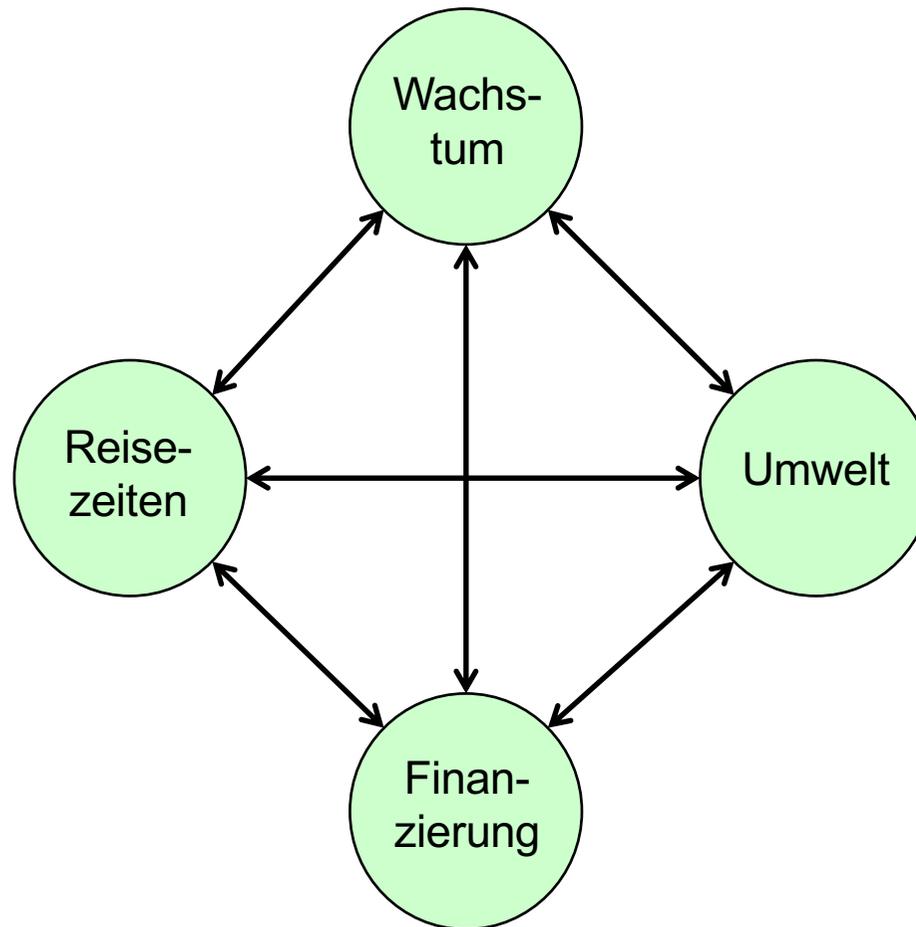
Verlagerung der Verkehre auf umweltfreundlichere Modes

Nationale Infrastrukturinvestitionen



- Festlegung im Bundesverkehrswegeplan

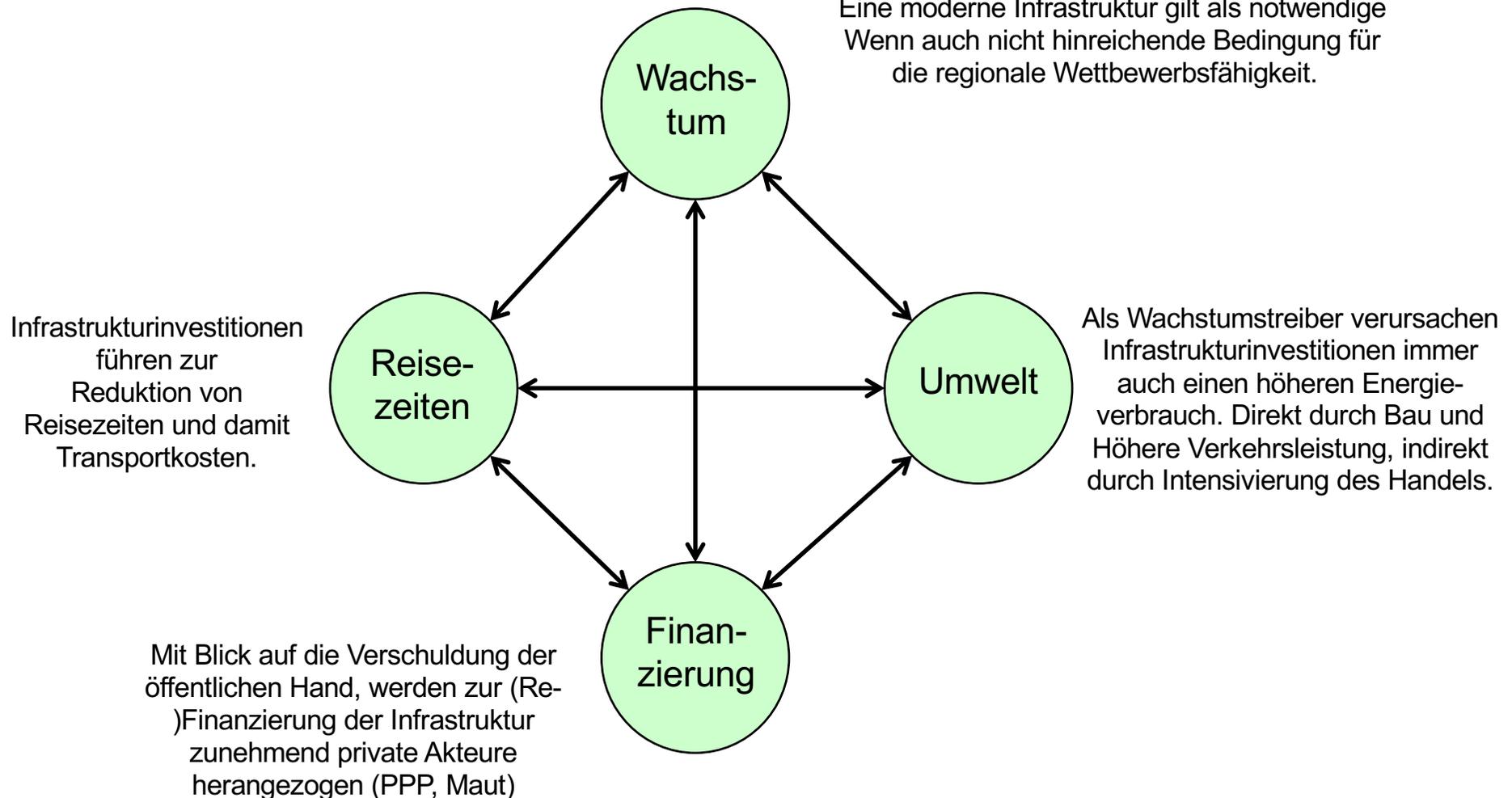




Nationale Infrastrukturinvestitionen



Infrastrukturinvestitionen stellen wichtige Determinanten des regionalen Wachstums dar. Eine moderne Infrastruktur gilt als notwendige, wenn auch nicht hinreichende Bedingung für die regionale Wettbewerbsfähigkeit.





- Eine besondere Bedeutung kommt im Rahmen der Infrastrukturpolitik der Durchführung von Megaprojekten zu
 - Langfristige Planung und Einbeziehung der Bürger in den Planungsprozess
 - Umweltverträglichkeitsprüfung (incl. Abschätzung der Umweltauswirkungen in der Nutzung)
 - Besonders starke Reduzierung der Reisezeiten (z.B. Stuttgart 21 bzw. Neubaustrecke Wendlingen-Ulm)
 - Ausgeprägte räumliche Effekte (z.B. Aufwertung Malmös durch Öresundbrücke)
 - Potentiell hohe Kosten



Beispiel Channel Istanbul

Geplanter 2. Kanal zwischen Marmarameer und Schwarzem Meer
(parallel zum Bosphorus Kanal)

Durch erhöhtes Frachtaufkommen stellt der Bosphorus mittlerweile ein unfallträchtiges Nadelöhr der Seeschifffahrt dar

Durch den Bau eines zweiten Kanals ließe sich dieser Engpass beseitigen

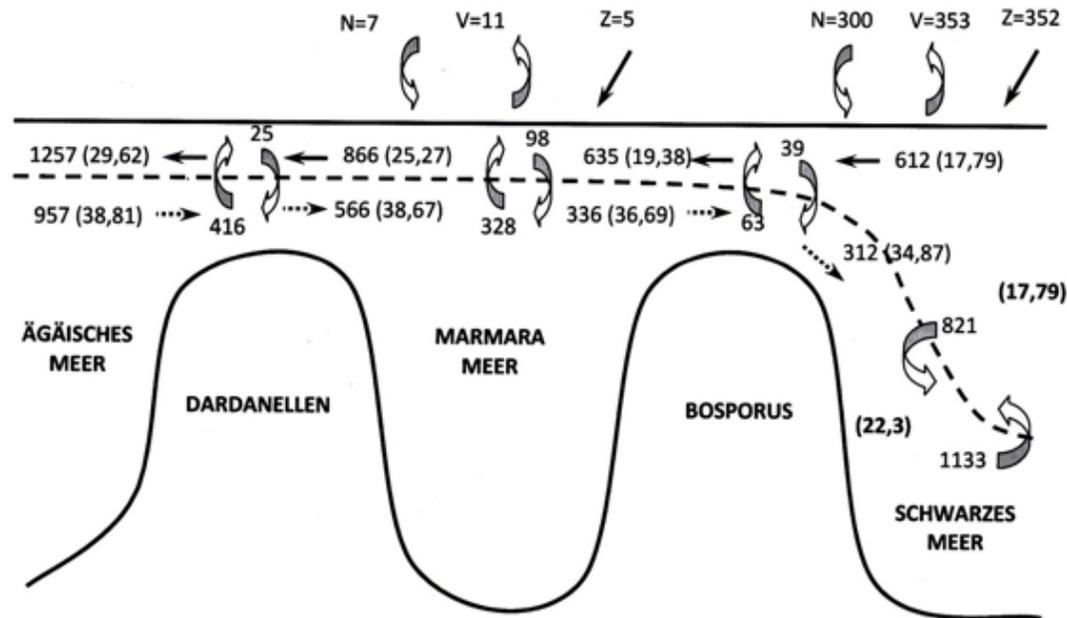
Kosten: ca. \$10 Mrd.





■ Beispiel Channel Istanbul

- Umweltschützer erwarten bei Realisierung eines zweiten Kanals eine massive Störung der Strömungen zwischen Ägäischem Meer, Marmarameer und Schwarzem Meer



Hydrologische Bilanzen über den Teilen des türkischen Meeresengen-Systems. Abflüsse sowie externe hydrologische Ein- und Ausgänge (N=Niederschlag, V=Verdunstung, Z=Zufluss) in km³ pro Jahr, Zahlen in Klammern zeigen die Salzkonzentrationen in Promille an.

Quellen: Ünlüata et al. 1990, Uslu 2014



■ Beispiel Channel Istanbul

- Der Bau eines weiteren Kanals würde Modellrechnungen zufolge die beschleunigte Entleerung der oberen Wasserschicht des Schwarzen Meeres zur Folge haben.
- Da in den unteren Schichten des Schwarzen Meeres jedoch ein sehr hoher Schwefelwasserstoffgehalt vorliegt, kann ein Austreten toxischer Gase nur bei einer intakten oberen Schicht verhindert werden.
- Mit Blick auf übliche Kosten-Nutzen-Analysen ergibt sich jedoch das Problem der zeitlichen Distanz dieser Gefahr (Modellrechnungen zufolge könnte ein unkontrollierbarer und schädlicher Austritt ca. 125 Jahre nach dem Bau des Kanals erfolgen).