6. Internationale
Energiewirtschaftstagung
an der TU Wien

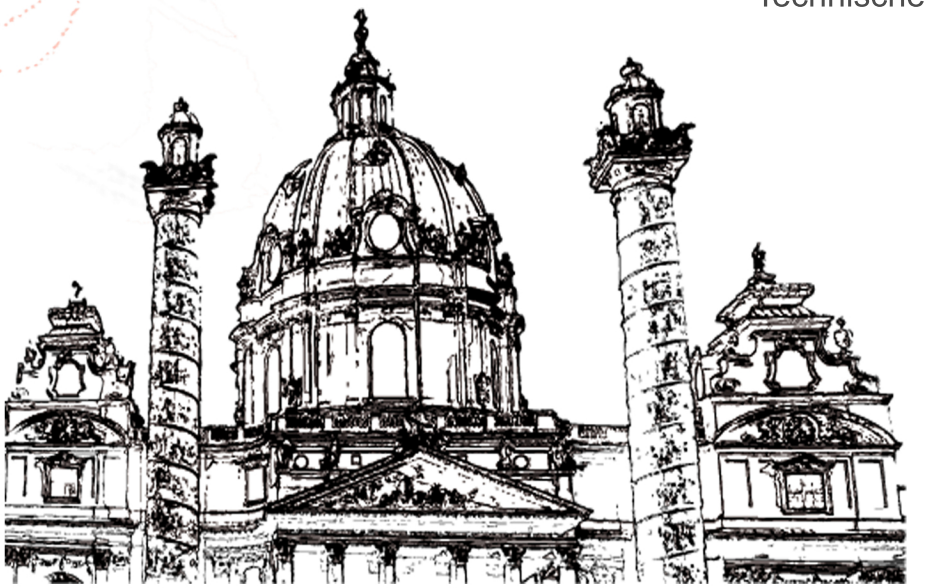
# IEWT 2009

## Energie, Wirtschaft und technologischer Fortschritt in Zeiten hoher Energiepreise

Kurzfassungsband

**11. – 13. Februar 2009**
**Wien, Österreich**

**Tagungsort:**
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13
1040 Wien



Eine Veranstaltung
in Kooperation
mit dem Strategieprozess
“e-2050” - einer Initiative des
Bundesministeriums für
Verkehr, Innovation und
Technologie (BMVIT)

**Veranstalter:**

Institut für Elektrische Anlagen und
Energiewirtschaft der TU Wien (EAEW)

AAEE (Austrian Association for Energy Economics)

bmvit

e2050
www.e2050.at

# Die Wirtschaftlichkeit teil- und voll elektrifizierter Antriebe in Österreich bis 2030

**Maximilian KLOESS**[1]

TU Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft,

Gusshausstraße 25-29, 1040 Wien,

+43 (1) 5880137371,

kloess@eeg.tuwien.ac.at

www.eeg.tuwien.ac.at

**Kurzfassung:**

Die Elektrifizierung der Antrieb gilt als vielversprechender Ansatz um die Effizienz von Personenkraftwagen zu steigern. Heute existiert eine breite Palette von Antriebstechnologien mit unterschiedlichem Grad der Elektrifizierung. Im vorliegenden Beitrag wird eine Auswahl von sechs verschiedenen Antriebskonfigurationen in Hinblick auf ihre wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit in einem dynamischen Kontext bis 2030 untersucht.

**Keywords:** PKW - Antriebe, Effizienz, Elektrifizierung, Komponenten, Kosten, Wirtschaftlichkeit,

## 1 Motivation und zentrale Fragestellung

Der Anstieg des Primärenergieverbrauchs sowie der Treibhausgasemissionen in den letzten Jahren in Österreich wurden zu einem wesentlichen Anteil durch den Verkehrssektor verursacht. Innerhalb des Verkehrssektors ist der Straßenverkehr mit Abstand der größte Energieverbraucher. Der Verbrauch wird fast ausschließlich durch Ölprodukte gedeckt, die meist aus politisch instabilen Erdregionen importiert werden müssen. Auch vom ökologischen Standpunkt her ist der Anstieg des Verkehraufkommens auf Österreichs Straßen äußerst problematisch. Der Straßenverkehr ist wesentlich für den Anstieg der Treibhausgasemissionen in Österreich in den letzten Jahren verantwortlich und auch die Schadstoffemissionen stellen in urbanen Gebieten nach wie vor ein Problem dar. Verschärfend wirkt sich in diesem Zusammenhang die geringe Energieeffizienz der Fahrzeugantriebe aus, welche auf den niedrigen energetischen Wirkungsgrad der Verbrennungskraftmaschinen im Praxisbetrieb zurückzuführen ist [1].

[1] Jungautor

Als geeigneter Ansatz um all diesen Problemen zu begegnen wird heute die Elektrifizierung, oder auch Hybridisierung, der Fahrzeugantriebe gesehen. Einerseits kann dadurch die Effizienz der Fahrzeuge signifikant erhöht werden, andererseits kann durch die Nutzung von Strom als Energieträger die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern reduziert werden. Insbesondere dann wenn der Strom aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird [1]. Heute gibt es eine ganze Reihe von Antriebsoptionen, die einen unterschiedlichen Grad der Elektrifizierung aufweisen. Die Palette erstreckt sich dabei von Mild-Hybriden über Voll-Hybride bis hin zu rein elektrischen Antrieben.

Die Zentrale Fragestellung im vorliegenden Beitrag ist, wie sich die Elektrifizierung der Fahrzeugantriebe auf die Kosten des motorisierten Individualverkehrs kurz-, mittel- und langfristig auswirkt. Zu diesem Zweck wurde die Wirtschaftlichkeit von sechs verschiedenen Antriebsoptionen untersucht, die einen unterschiedlichen Grad der Elektrifizierung aufweisen. Folgende Antriebsysteme wurden dabei genau untersucht:

- Verbrennungsmotor (Benzin&Diesel)
- Mild-Hybrid
- Voll-Hybrid
- Plug-In-Hybrid
- Serieller Hybrid
- Elektroantrieb

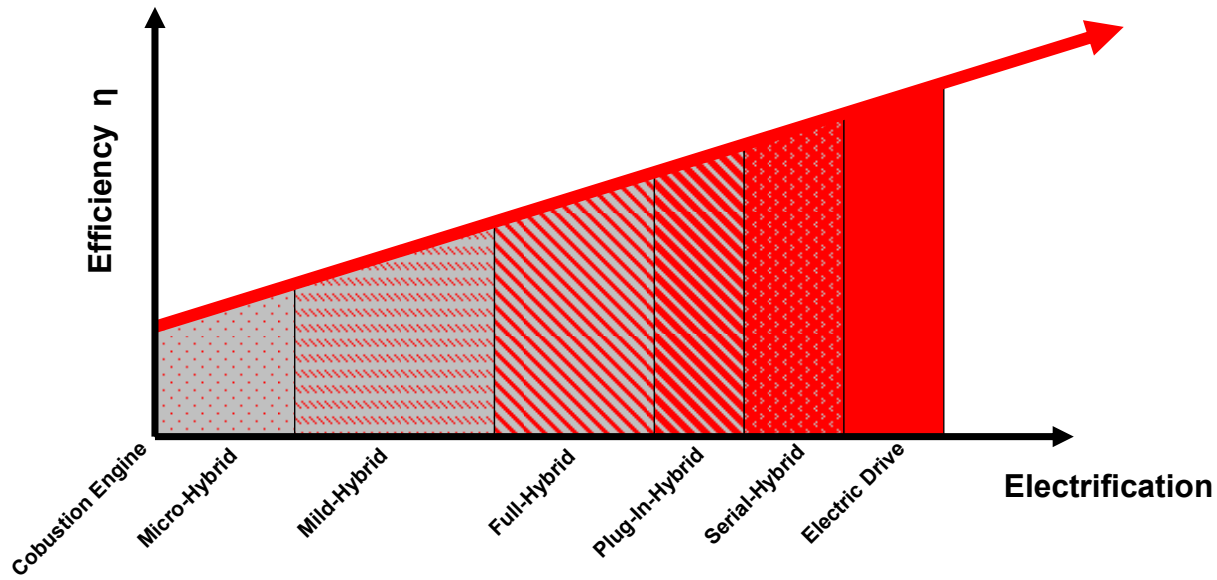



**Abbildung 1: Elektrifizierung von PKW-Antrieben**

Der Beitrag basiert auf Untersuchungen die für ein Forschungsprojekt des BMVIT durchgeführt wurden. Das Projekt mit dem Titel ELEKTRA wird im Rahmen der

Programmlinie A3plus gefördert[2] und befasst sich mit technischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten teil- und voll elektrifizierter Antriebe. Das Projekt wird gemeinsam mit den Partnern Joanneum Research und AVL List durchgeführt.

# 2 Methodische Vorgehensweise

Die Methodisch Vorgehensweise besteht in einem dynamischen Gesamtkostenvergleich der 6 verschiedenen Antriebsoptionen. Um die Gesamtosten zuverlässig ermitteln zu können wurden die Antriebe sowohl nach technische als auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten analysiert. Um die Antriebsysteme vergleichbar zu machen wurden Referenzfahrzeuge definiert, die im Wesentlichen drei Fahrzeugkategorien repräsentieren: Kleinwagenklasse, Mittelklasse, Oberklasse. Für alle drei Klassen wurde aus statistischen Daten des Österreichischen PKW Marktes die charakteristischen Spezifikationen (Gewicht, Leistung, Lebensdauer, jährliche Fahrleistung) ermittelt.

## 2.1 Technische Analyse der Antriebe

Ziel der technischen Analyse war zum einen den Wirkungsgrad und somit den Kraftstoffverbrauch zu ermitteln. Zum anderen sollte das technische Potential zur Verbesserung der Effizienz bis 2030 abgeschätzt werden.

### 2.1.1 Antriebstechnologien

Folgende Antriebsysteme wurden analysiert:

[2] „Entwicklung von Szenarien der Verbreitung von PKW mit teil- und voll-elektrifiziertem Antriebsstrang unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen – ELEKTRA“ Projekt im Rahmen der Programmlinie A3plus gefördert durch das BMVIT

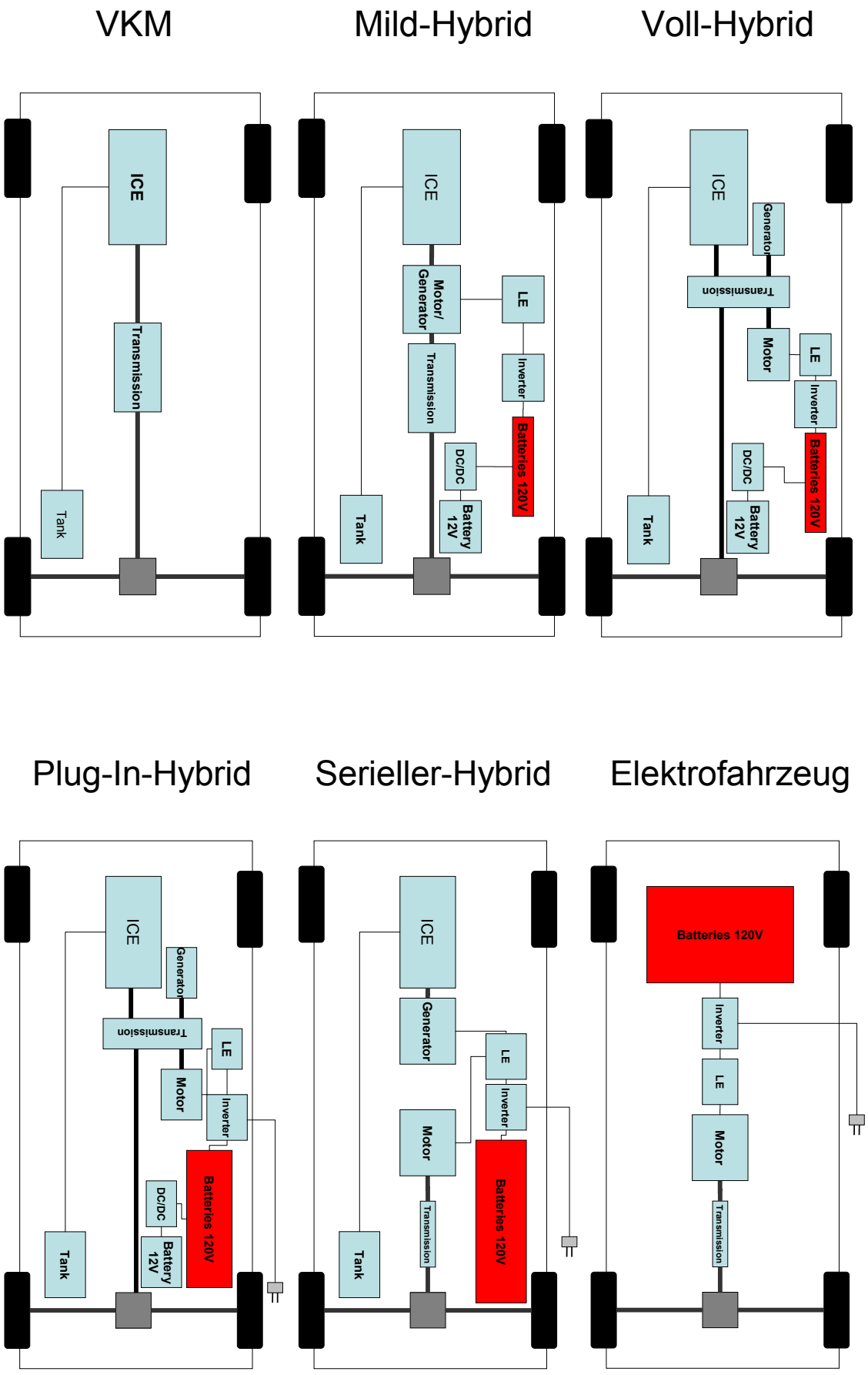



**Abbildung 2: Antriebskonfigurationen mit unterschiedlichem Grad der Elektrifizierung**

- ***Verbrennungskraftmaschine Benzin/Diesel:*** Es wurden Antriebe mit Benzin-, Diesel- und Erdgasmotoren untersucht. Bei allen dreien wurde der technische Stand 2010 angenommen.
- ***Mild Hybrid:*** Hierbei handelt es sich um eine Parallel-Hybrid-Konfiguration die in etwa jener des Honda Civic Hybrid entspricht. Der Elektromotor ist im Vergleich zum Verbrennungsmotor relativ schwach. Er dient nur als Unterstützung bei der Beschleunigung und zur Energierückgewinnung beim Bremsen. Trotzdem kann ein derartiger Antrieb die Effizienz des Fahrzeuges erheblich verbessern.
- ***Voll Hybrid:*** Beim untersuchten Antrieb handelt es sich um einen kraftverzweigten Voll hybrid der in seiner Anordnung mit jenem des Toyota Prius vergleichbar ist. Die Antriebsleistung wird je nach Fahrsituation vom Elektromotor, vom Verbrennungsmotor oder von beiden gemeinsam erbracht. Zur Rekuperation der Bremsenergie verfügt der Antrieb zusätzlich zum elektrischen Antriebsmotor auch noch über eine weitere elektrische Maschine, für den Generatorbetrieb. Der Elektroantrieb ist so dimensioniert, dass rein elektrisches Fahren möglich ist. Aufgrund der geringen Akkukapazität lassen sich mit diesem Antrieb jedoch nur wenige Kilometer elektrisch zurücklegen.
- ***Plug-In Hybrid:*** Dieser Antrieb entspricht in seiner Auslegung dem Voll Hybrid. Durch die größere Akkukapazität und der Möglichkeit das Fahrzeug am Netz zu laden können kürzere Strecken auch rein elektrisch zurückgelegt werden. Aufgrund der Auslegung als Parallelhybrid ist die primäre Antriebsart auch in diesem Fall der kombinierte Einsatz von Verbrennungsmotor und Elektromotor, welche beide mechanisch auf die Antriebsräder wirken.
- ***Serieller Hybrid:*** Beim Seriellen Hybrid wird die gesamte Antriebsleistung vom Elektroantrieb bereitgestellt. Es handelt sich daher um ein rein elektrisch betriebenes Fahrzeug. Der Verbrennungsmotor dient lediglich zum Aufladen der Batterien und somit zur Vergrößerung der Reichweite und ist mechanisch nicht mit den Antriebsrädern verbunden. Die Akkus können so wie beim Plug-In Hybrid am Stromnetz geladen werden. Die Akkukapazität ist so ausgelegt, dass der Großteil der im Alltag zurückgelegten Strecken rein elektrisch bewältig werden können.
- ***Elektrofahrzeug:*** Das Elektrofahrzeug besitzt einen rein elektrischen Antrieb und bezieht die gesamte Energie aus den Batterien, welche am Netz geladen werden müssen. Dadurch ist die Reichweite des Fahrzeuges im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor eher gering.

| | Verbrennungsmotor Benzin | Verbrennungsmotor Diesel | Mild Hybrid | Voll Hybrid | Plug-In Hybrid | Serieller Hybrid | Elektrofahrzeug |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrzeuggewicht (kg) | 1470 | 1522 | 1460 | 1488 | 1538 | 1623 | 1678 |
| Leistung-Verbrennungsmotor (kW): | 75 | 75 | 65 | 50 | 50 | 40 | 0 |
| Leistung-Elektromotor (kW): | 0 | 0 | 20 | 50 | 50 | 75 | 75 |
| Li-Ionen Batterie (kWh) | | | 1 | 2 | 10 | 20 | 50 |
| Reichweite Elektrisch (km) | | | | 5 | 50 | 100 | 250 |
| Reichweite gesamt (km) | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 | 250 |

**Tabelle 1: Spezifikationen der Antriebe Mittelklasse**

| | Verbrennungsmotor Benzin | Verbrennungsmotor Diesel | Elektrofahrzeug |
|---|---|---|---|
| Fahrzeuggewicht (kg) | 955 | 989 | 984 |
| Leistung-Verbrennungsmotor (kW): | 50 | 50 | 0 |
| Leistung-Elektromotor (kW): | 0 | 0 | 50 |
| Li-Ionen Batterie (kWh) | | | 20 |
| Reichweite Elektrisch (km) | | | 120 |
| Reichweite gesamt (km) | 400 | 400 | 120 |

**Tabelle 2: Spezifikationen der Antriebe Kleinwagenklasse**

### 2.1.2 Stromspeicher:

Die Speicherung der elektrischen Energie ist die wohl größte Herausforderung der Elektromobilität. Die jüngsten technologischen Fortschritte im Bereich der Batterietechnik stellen eine baldige Lösung des Speicherproblems in Aussicht. Hoffnungsträger auf diesem Gebiet sind die Lithium Ionen Akkus, die von den meisten Automobilherstellern und Experten als Schlüsseltechnologie gesehen werden. Auch bei den Untersuchungen, auf die dieser Beitrag basiert, wurde angenommen, dass alle elektrischen Antriebe Lithium Ionen Batterien als Energiespeicher verwenden.

### 2.1.3 Wirkungsgrade und Kraftstoffverbrauch der Antriebe

Der Wirkungsgrad und der Kraftstoffverbrauch der Antriebe wurde vom Projektpartner AVL List anhand von Softwaretools ermittelt (vgl. [6]). Es wurde dabei vom technischen Stand 2010 ausgegangen. Dabei wurde ein Testzyklus gewählt, der eine Mischung aus dem NEDC und ARTEMIS Zyklus darstellt und somit die tatsächlichen Gegebenheiten auf Europäischen Straßen sehr gut repräsentiert.

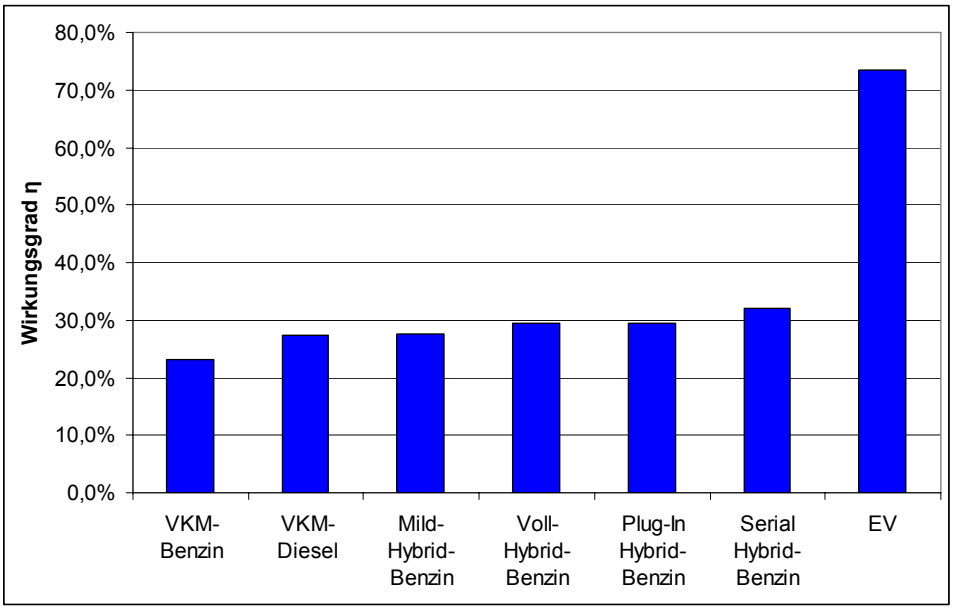



**Abbildung 3: Tank-to-Wheel-Wirkungsgrade der Antriebsysteme**

### 2.1.4 Potential der Technologien bis 2030

Aufbauend auf die Ergebnisse für 2010 wurden die Wirkungsgrade für 2030 abgeschätzt. Dafür wurden die Verbesserungspotentiale einzelner Komponenten und technischer Maßnahmen für den gesamten Wirkungsgrad des Fahrzeuges ermittelt. Es wurden dabei auch nicht antriebseitige Einflüsse wie die Verringerung der Fahrwiderstände und eine Reduktion des Fahrzeuggewichts durch Leichtbau berücksichtigt.

## 2.2 Wirtschaftliche Analyse der Antriebe

Die Wirtschaftlichkeit der Antriebe wurde anhand eines dynamischen Gesamtkostenvergleichs analysiert. Dabei wurden Investitionskosten, Kraftstoffkosten und die Kosten die sich aus politischen Rahmenbedingungen ergeben in einem dynamischen Kontext verglichen (vgl. [2]). Kosten für Wartung und Versicherung wurde nicht berücksichtigt. Letztere sind für die Art des vorliegenden Vergleiches nicht relevant da sie nach der Leistung der Fahrzeuge bemessen werden und die verglichenen Antriebe gleiche Gesamtmotorleistung haben. Auch bei den Wartungskosten wurde angenommen, dass diese für alle Antriebe gleich groß sind, und daher für den wirtschaftlichen Vergleich nicht relevant sind.

### 2.2.1 Investitionskostenanalyse

Um die Investitionskosten der Antriebe für 2010 zu ermitteln wurden, in einem ersten Schritt die Kosten der Einzelkomponenten ermittelt aus denen sich dann die Kosten der jeweiligen Gesamtfahrzeugen ergaben. Die Komponentenkosten wurden anhand von Fachliteratur und durch Expertengespräche ermittelt [3] [4] [5]. Hierbei wurden auch die Rohstoffkosten berücksichtigt.

Um die Entwicklung der Investitionskosten bis 2030 abzuschätzen, wurden für kritische Komponenten technologische Lerneffekte berücksichtigt. Kritischen Komponenten sind vor

allem solche, die erst relativ kurze Zeit im Automobilbau eingesetzt werden oder solche deren Einführung im Massenmarkt erst bevorsteht. Bei beiden Gruppen sind durch eine Erhöhung der kumulierten Produktion noch erhebliche Kostenreduktionen zu erwarten.

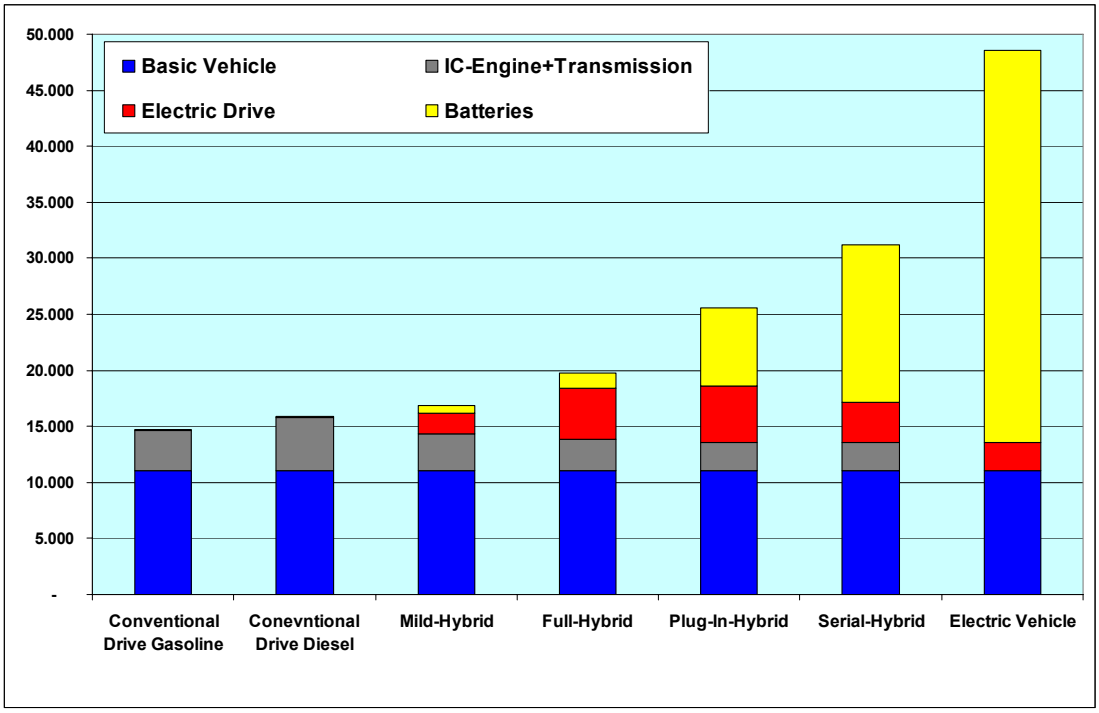



**Abbildung 4: Netto-Investitionskosten für Fahrzeuge der Mittelklasse**

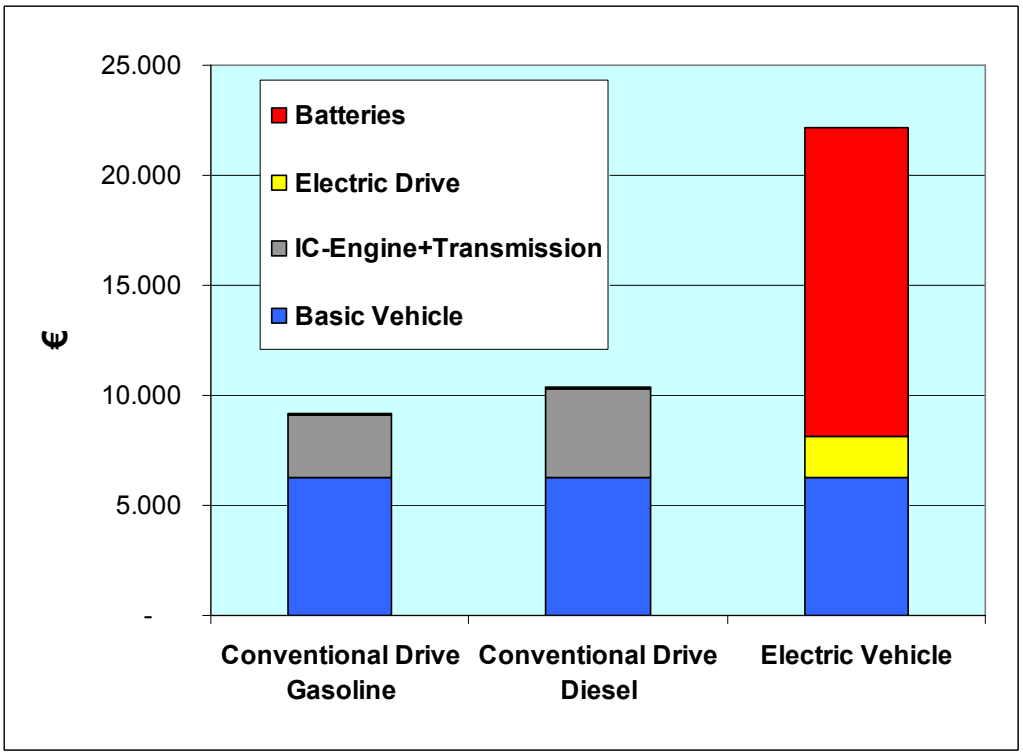



**Abbildung 5: Netto-Investitionskosten für Fahrzeuge der Kleinwagenklasse**

Aus Abbildung 4 und Abbildung 5 wird deutlich, dass bei den Investitionskosten die Batterien die kritischste Komponente darstellen. Ihre Kosten steigen proportional zum Grad der Elektrifizierung und können je nach Antrieb deutlich mehr als die Hälfte der Gesamtkosten ausmachen. Die hohen Anforderungen die an Hybrid- und Elektrofahrzeuge gestellt werden verlangen den Einsatz von Lithium Ionen Batterien. Die Lithium Ionen Technologie kann die technischen Anforderungen der Antriebe zwar gerecht werden, dies ist aber nur zu hohen Kosten möglich. Die Kosten für Lithium Ionen Batterien bewegen sich zwischen 500 und 1000€/kWh, wobei bei vergleichbaren Untersuchungen häufig ein Wert von 700€/kWh für den heutigen Stand (2009) angenommen werden[3] [4] [5]. Dieser Wert wurde daher auch für die vorliegende Untersuchung für den technischen Stand 2010 herangezogen.

Für die mittel- bis langfristige Wirtschaftlichkeit elektrischer Antrieb ist die Kostenentwicklung bei Lithium Ionen Batterien von entscheidender Bedeutung. Um die Kostenentwicklung der Batterien abschätzten zu können wurden basierend auf den geplanten Produktionsvolumina die Lerneffekte ermittelt. Die Produktionsvolumina wurden anhand der in den nächsten Jahren von den Automobilherstellern geplanten Stückzahlen an Fahrzeugen mit Lithium Ionen Akkus ermittelt. Basierend auf dem Anstieg der kumulierten globalen Produktion lässt sich über globale Lerneffekte die zu erwartende Kostenreduktion ermitteln.
Die mathematische Beschreibung von Lernkurven erfolgt durch eine Exponentialfunktion der Form

$$C(x) = a * x^{-b}$$

mit
*C*.....Kosten pro erzeugter Einheit [EUR/Einheit]
*a*.....Kosten der ersten produzierten Einheit [EUR/Einheit]
*x*.....Gesamtzahl der erzeugten Einheiten
*b*.....Lernindex (learning index) [-]

Die Kosten sind also von der Anzahl der bisher erzeugten Einheiten abhängig, das Ausmaß der Kostenreduktion wird durch den Lernindex bestimmt. Aus ihm kann die progress ratio p berechnet werden, die Aufschluss über die Kostenreduktion nach einer Verdopplung der gesamten erzeugten Einheiten gibt.

$$p = 2^{-b}$$

mit
p.....progress ratio [-]

Eine progress ratio von 80% bedeutet beispielsweise, dass nach einer Verdopplung der kumulativen Produktion die Kosten auf 80% des ursprünglichen Wertes gesunken sind. Im Falle der Lithium Ionen Batterien wurde mit einer Progress Ratio von 92,5% gerechnet, was als recht konservative Annahme zu sehen ist.

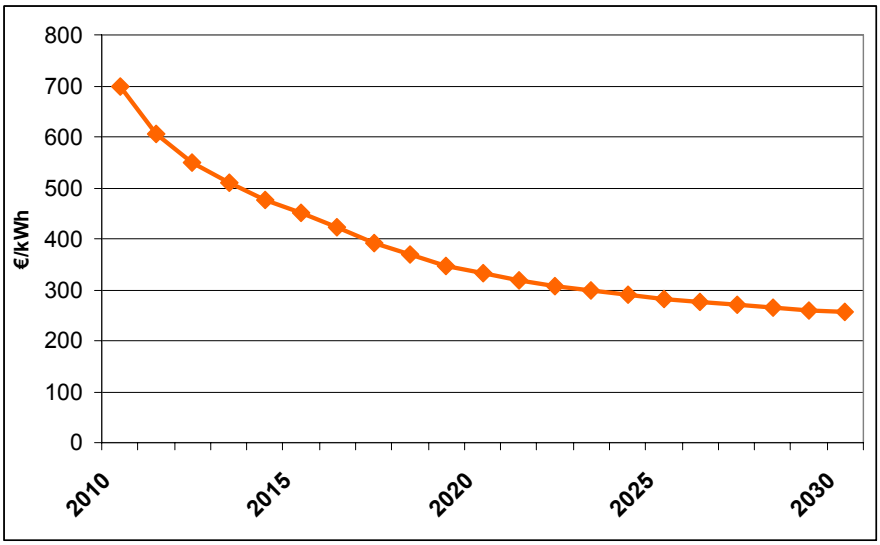



**Abbildung 6: Lerneffekt bei Lithium Ionen Akkus**

Aufgrund der erst anlaufenden Massenproduktion von Lithium Ionen Traktionsbatterien sind speziell in den ersten Jahren starke Kostenreduktionen zu erwarten.
Den Produktionszahlen von Lithium Ionen Batterien liegt die Annahme zugrunde, dass sich der beginnende Trend zur Elektrifizierung der Antriebe fortsetzt. Diese Entwicklung wird als robust angesehen, da es der einzige Weg ist die Effizienz der Fahrzeuge weiter zu steigern wenn sämtliche anderen Möglichkeiten bereits ausgeschöpft sind (siehe Abbildung 7). Vor allem die zu erwartenden strengeren Vorschriften hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs machen, speziell bei größeren Fahrzeugen, eine Hybridisierung unumgänglich.

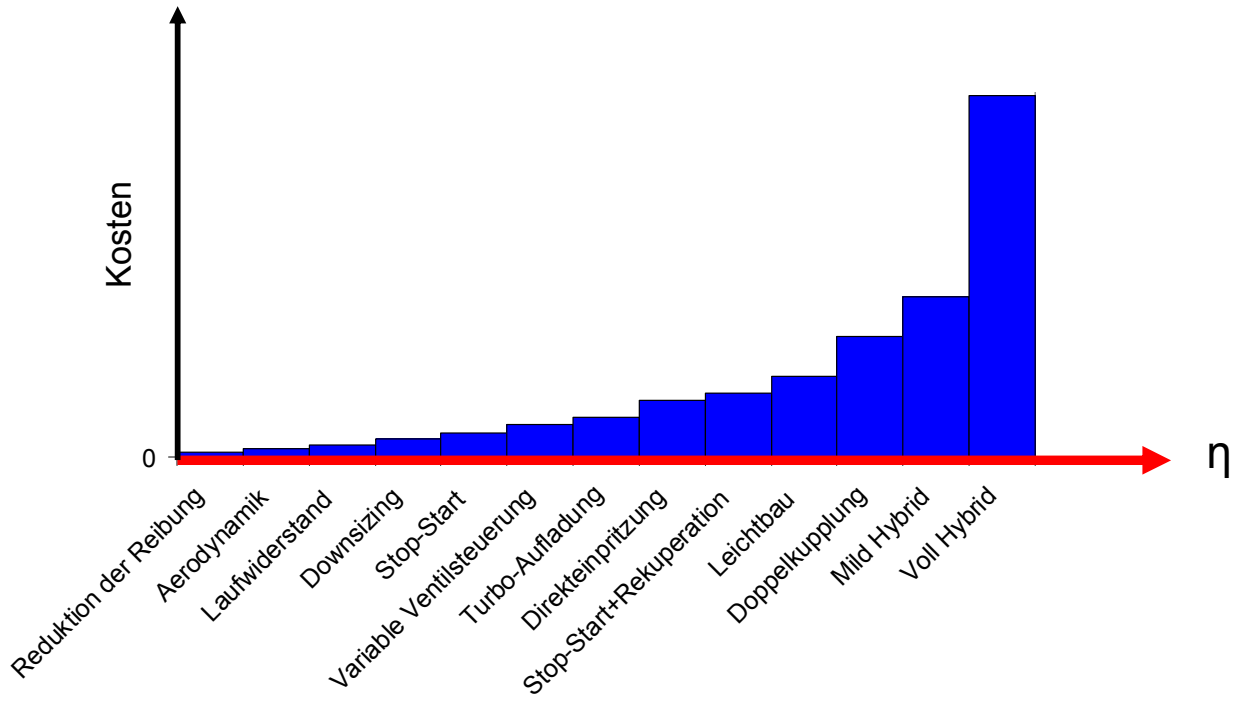



**Abbildung 7: Kosten von Effizienzsteigerungsmaßnahmen bei PKW**

### 2.2.2 Politische Rahmenbedingungen

Für die gesamtwirtschaftliche Bewertung von Antrieben für PKW spielen politische Rahmenbedingungen eine zentrale Rolle. Fahrzeuge und Kraftstoffe sind durch eine Vielzahl von Steuern belastet, die gemeinsam einen beträchtlichen Teil der Gesamtkosten ausmachen. Durch gezielte steuerliche Eingriffe lässt sich die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Fahrzeugantriebsystemen daher stark beeinflussen. Die wichtigsten politischen Instrumente in Österreich sind gegenwärtig:

- Mineralölsteuer
- KFZ-Steuer
- NOVA
- Förderungen

***Mineralölsteuer:*** Benzin und Diesel sind durch die Mineralölsteuer belastet. Die Steuer auf Super Benzin beträgt in Österreich 0,442€/l und auf Diesel 0,337€/l[3]. Die steuerliche Begünstigung von Diesel, schlägt sich auch entsprechend im Preis der Endprodukte nieder. Diesel kostet zumeist um etwa 10cent/l weniger als Benzin obwohl Diesel einen höheren Energiegehalt pro Liter aufweist. Diese Preisdifferenz räumt dem Dieselfahrzeug heute einen entscheidenden wirtschaftlichen Vorteil ein.

***KFZ-Steuer:*** Die KFZ Steuer in Österreich wird nach der Leistung des Antriebsmotors bemessen. Für die vorliegende Untersuchung spielt die KFZ Steuer keine Rolle, da die verglichenen Antriebe gleiche Leistungen haben und die Steuer nicht zwischen der Art der Antriebsysteme differenziert.

***Normverbrauchsabgabe NOVA:*** Die Normverbrauchsabgabe wird bei der Erstzulassung von Kraftfahrzeugen in Österreich eingehoben und richtet sich nach dem Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge. Je nach Kraftstoffart der Fahrzeuge werden unterschiedliche Berechnungsalgorithmen herangezogen. Hinzu kommt eine Bonus/Malus-Regelung, die sich nach den Treibhausgasemissionen richtet. Für alternative Antriebe, zu denen auch Hybridantriebe zählen, ist weiters ein pauschaler Bonus von 500€ vorgesehen, welcher von der NOVA abgezogen wird.

$$NOVA_{Benzin}[\%] = (Kraftstoffverbrauch/100km - 3) * 2[\%]$$

$$NOVA_{Diesel}[\%] = (Kraftstoffverbrauch/100km - 2) * 2[\%]$$

NOVA Bonus/Malus:

$$CO_2[g/km] \leq 120 g/km \rightarrow (NOVA - 300)[€]$$
$$CO_2[g/km] > 180 g/km \rightarrow [NOVA + 25 * (CO_2 - 180)][€]$$

Die NOVA stellt somit ein wirksames Instrument dar um die Verbreitung von Fahrzeugen mit effizienten und alternativen Antrieben zu fördern.

[3] VCÖ

***Förderungen:*** Es gibt in Österreich zwar regionale Förderungen, bundesweit gibt es neben der NOVA kein Fördersystem für teil- und vollelektrische Antriebe. Daher wurde dieses Instrument in der Untersuchung nicht berücksichtigt.

Es existiert noch eine ganze Reihe weiterer Instrumenten, die in Österreich zur Zeit nicht implementiert sind, in Zukunft aber durchaus eine Rolle spielen können. (z.B. Quoten, Standards).

Für die gesamtwirtschaftliche Bewertung im Jahr 2010 wurde angenommen, dass es bis dahin keine grundlegenden Änderungen in den Rahmenbedingungen von heute (2009) gibt. Die unterschiedlichen Antriebsysteme wurden daher unter heutigen Bedingungen ökonomisch bewertet.

Für die dynamische Betrachtung der Wirtschaftlichkeit bis 2030 wurde davon ausgegangen, dass sich die Rahmenbedingung dahingehend ändern, dass effizientere und emissionsärmere Fahrzeuge gefördert werden. Dies beinhaltet zum einen eine schrittweise Anhebung der Mineralölsteuer, zum anderen wird die Anschaffung effizienter Antriebe durch eine auf die Treibhausgasemissionen bezogene NOVA mit Bonus Malus System gefördert. Dabei wird die NOVA schrittweise in Hinblick auf das mittelfristige Ziel 120gCO2/km verschärft.

### 2.2.3 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Unter den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist hier vor allem der Ölpreis von Bedeutung der neben der Mineralölsteuer der wichtigste Einflussfaktor auf das Preisniveau der Kraftstoffe ist. Die Höhe der Kraftstoffpreise wirkt sich entscheidend auf die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit von Antrieben aus, wobei effiziente Antriebe durch ein hohes Preisniveau begünstigt werden.

| | | |
|---|---|---|
| **Benzin** | 1 | €/l |
| **Diesel** | 1,1 | €/l |
| **Strom** | 0,15 | €/kWh |

Bei der dynamischen Betrachtung von 2010-2030 wurden davon ausgegangen, dass es über diesen Zeitraum zu einem realen Anstieg der Energiepreise kommt. (Vgl. Kapitel 2.2.3)

### 2.2.4 Gesamtwirtschaftliche Bewertung 2010-2030

Bei der gesamtwirtschaftlichen Bewertung wurden sämtlich Kosten herangezogen, die für einen wirtschaftlichen Vergleich der Antriebsysteme relevant sind. Dazu gehören neben den Kosten für Investitionen und den Kraftstoffkosten auch Kosten die sich aus politischen Rahmenbedingungen ergeben (Steuern, Subventionen etc).

Die Gesamttransportkosten für eine spezifische Kostenkategorie GTKj setzen sich jeweils aus den Energiekosten und den Kapitalkosten für das Fahrzeug zusammen.

$$GTK_j = EK_j + CC_{SP_j} \quad \text{[EUR/km]}$$

mit
GTK.....Gesamttransportkosten [EUR/km]
EK…….Energiekosten [EUR/km]
$CC_{SP_j}$…….Servicespezifische Kapitalkosten des Fahrzeugs j [EUR/km]

Die Energiekosten pro gefahrenen Kilometer ergeben sich aus dem Energieverbrauch des Fahrzeugs und dem Kraftstoffpreis an der Tankstelle:

$$EK_j = EV_j * IP_j \text{ [EUR/km]}$$

mit
$EV_j$…….Energieverbrauch des Fahrzeugs j [kWh/km]
IP……..Kraftstoffpreis [EUR/kWh]
Die gesamten jährlichen Investitionskosten des Fahrzeugs ergeben sich aus dem Annuitätenfaktor, der Investitionskosten für das Fahrzeug j, der Normverbrauchsabgabe (NoVA) und der Mehrwertsteuer (MwSt).

$$CC_{SP_j} = (\alpha * (IK_j + NoVA_j) * (1 + MwSt_j)) / S_{km} \quad \text{[EUR/100km]}$$

mit
α .....…Annuitätenfaktor
$IK_j$……Investitionskosten des Fahrzeugs j (EUR/Fahrzeug)
NoVA…..Normverbrauchsabgabe
MwSt…...Mehrwertsteuer
$S_{km}$…….Gefahrene Kilometer pro Jahr (Fahrleistung)

Bei der Untersuchung wurden eine jährliche Fahrleistung von 18000km bei Mittelklassefahrzeugen und 15000km bei Kleinfahrzeugen angenommen. Die Nutzungsdauer wurde bei beiden Fahrzeugen auf 10 Jahre angesetzt.

Bei der Berechung der Annuität wurde ein Zinssatz von 5% angenommen.

# 3 Ergebnisse

### 3.1.1 Wirtschaftlichkeit 2010

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den gegebenen Rahmenbedingungen teil- und voll elektrifizierte Antriebs kaum konkurrenzfähig sind. Die hohen Anfangsinvestitionen lassen sich über die Nutzungsdauer von 10 Jahren bei gegebener Kilometerleistung nicht kompensieren. Der so entstehende wirtschaftliche Nachteil lässt sich durch die NOVA nur teilweise kompensieren, sodass einzig der Mild Hybrid in den Kosten an konventionelle Antriebe heranreicht. Aufgrund der steuerlichen Besserstellung des Kraftstoffes sind

Dieselantriebe unter den gegebenen Bedingungen die günstigste Option (vgl. Abbildung 8 und Abbildung 9).

Hochelektrifizierte Antriebe wie Plug-In-Hybride, Serielle Hybride und Elektrofahrzeuge sind aufgrund der hohen Anschaffungskosten noch sehr weit von einer wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit entfernt.

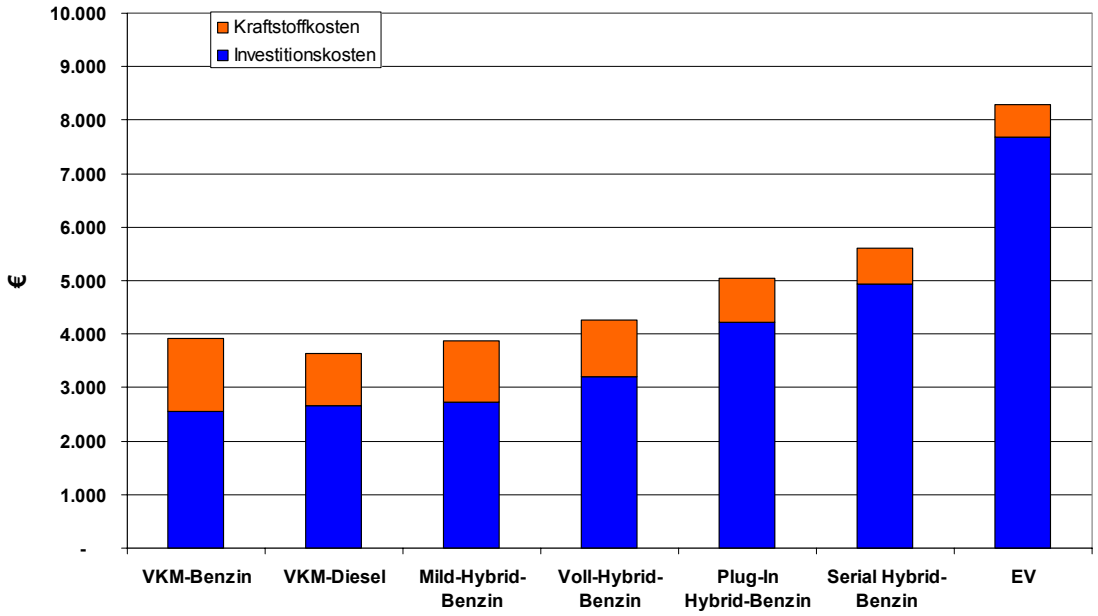



**Abbildung 8: Jährliche Kosten Mittelklasse 2010**

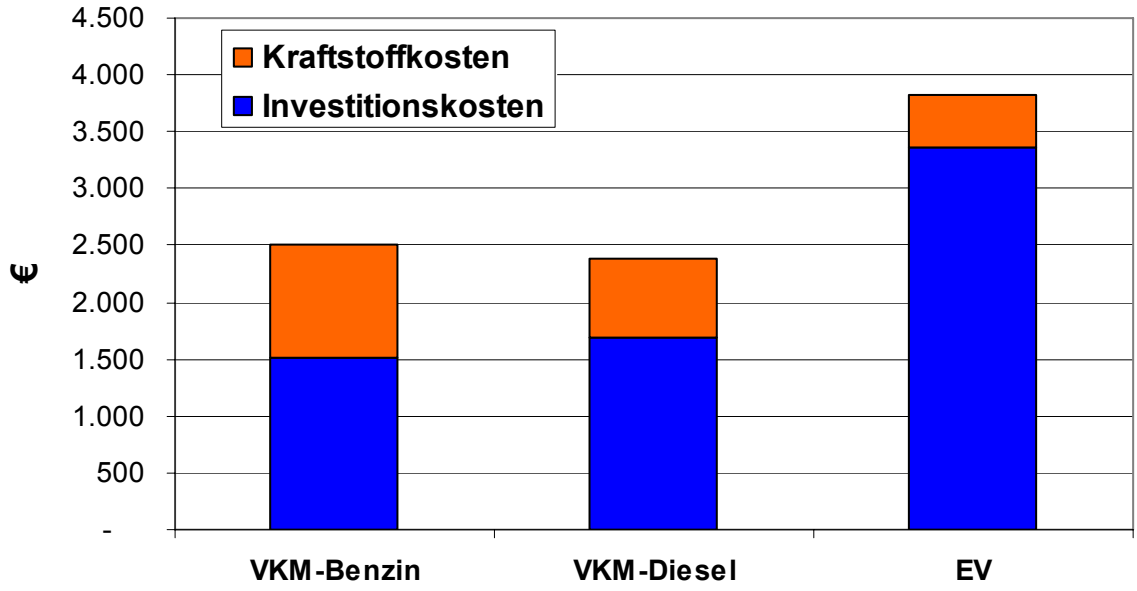



**Abbildung 9: Jährlich Kosten Kleinwagen 2010**

### 3.1.2 Wirtschaftlichkeit 2030

Für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit 2010-2030 wurden folgende Veränderungen der Rahmenbedingungen für diesen Zeitraum angenommen:

*Kraftstoffpreise:* Es wurde angenommen, dass die Kraftstoffpreise aufgrund des Anstieges des Rohölpreises und aufgrund von Steuererhöhungen in diesem Zeitraum massiv ansteigen. Die Preise für Benzin und Strom steigen dabei um etwa 50% die für Diesel sogar um 75%. Letzteres ist vor allem auf die Annahme zurückzuführen, dass der steuerliche Vorteil für Diesel bei der Mineralölsteuer durch Erhöhungen angeglichen wird.

*NOVA:* Weiters wurde angenommen, dass die Normverbrauchsabgabe (NOVA) in Hinblick auf eine weitere Reduktion der Treibhausgasemissionen angehoben wird. Konkret wird die Bonus Malus Grenze schrittweise auf 120g/km herabgesetzt wird.

Wie Abbildung 10 und Abbildung 11 veranschaulichen reduzieren sich im Zeitraum 2010-2030 die Kosten für elektrifizierte Antriebe aufgrund technologischer Lerneffekte. Vor allem durch die signifikante Reduktion der Batteriekosten sinken die Investitionskosten für Hybrid- und Elektrofahrzeuge massiv, bleiben aber noch immer deutlich über jenen konventioneller Antriebe.

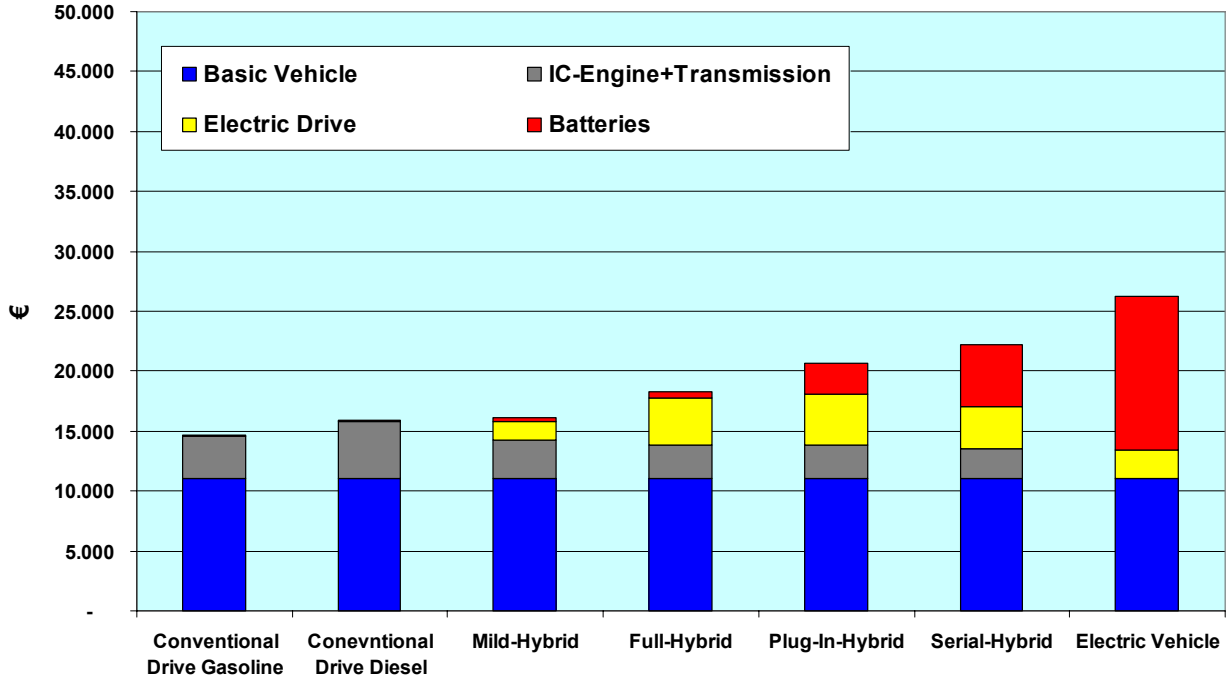



**Abbildung 10: Netto Investitionskosten Mittelklasse 2030**

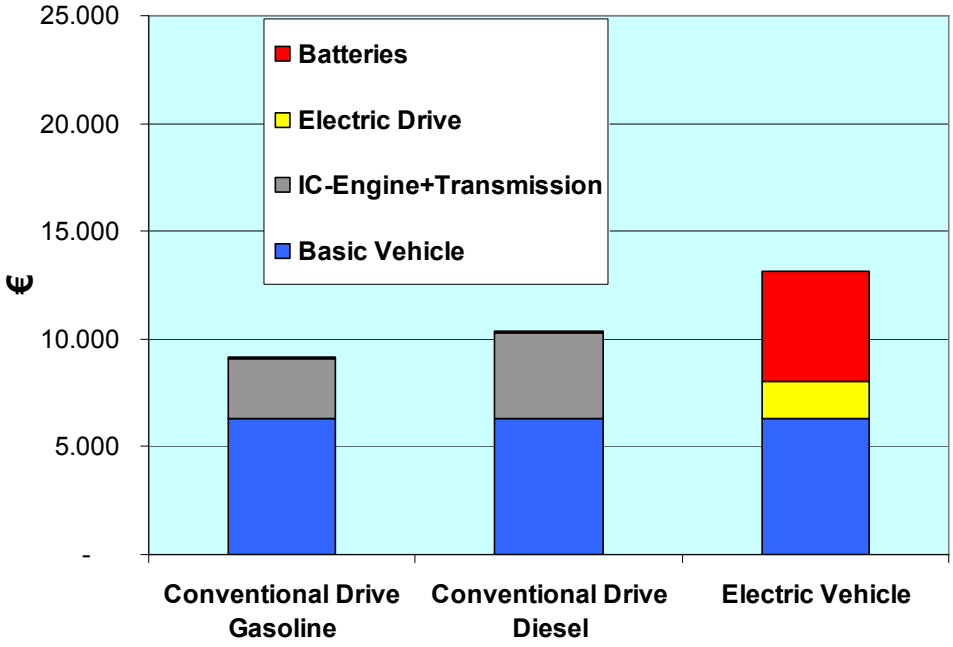



**Abbildung 11: Nettoinvestitionskosten Kleinwagen 2030**

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen wie sich die jährlichen Kosten für die Antrieb von 2010 bis 2030 verändern. Hier wirken sich die Reduktionen der Investitionskosten bei elektrifizierten Antrieben stark aus. Weiters ist auch zu erkennen, wie die Steuern über diesen Zeitraum stufenweise erhöht werden. Der Anstiege der Kraftstoffpreise wird dabei teilweise durch die Verbesserung der Effizienz kompensiert. Insgesamt ist jedoch ein allgemeiner Anstieg der jährlichen Kosten zu beobachten.

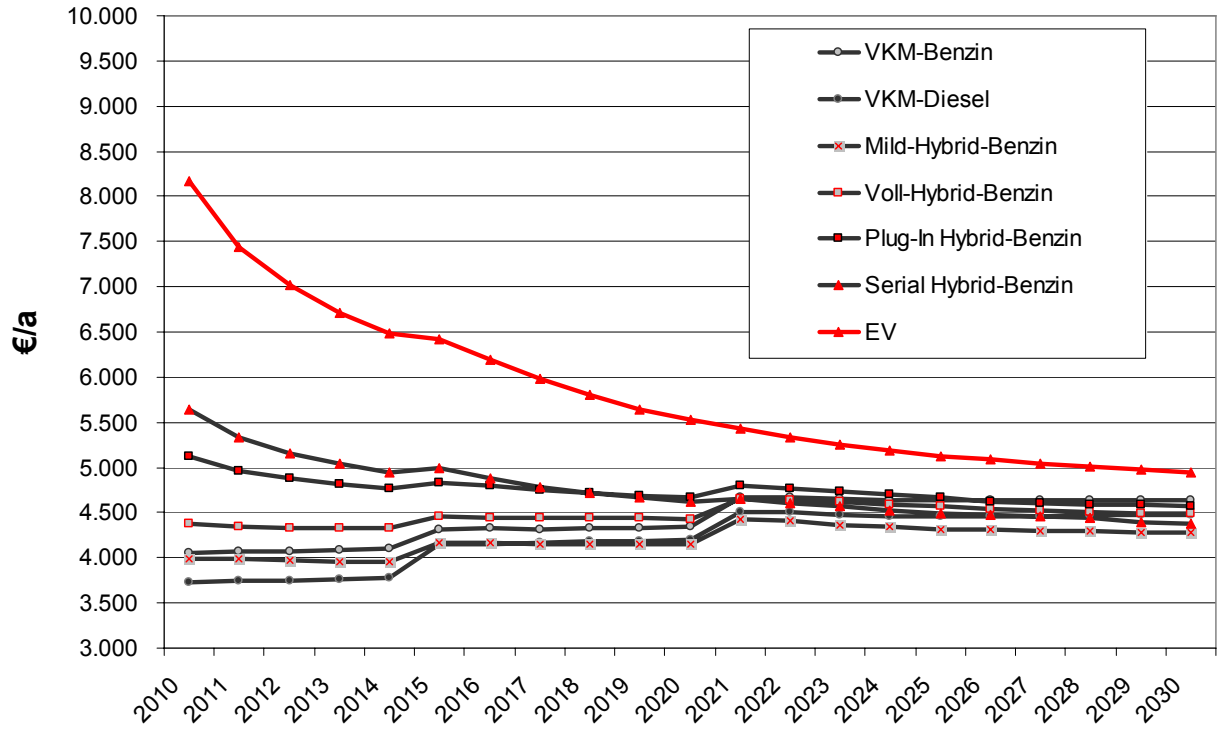



**Abbildung 12: Jährliche Kosten Mittelklasse 2010-2030**

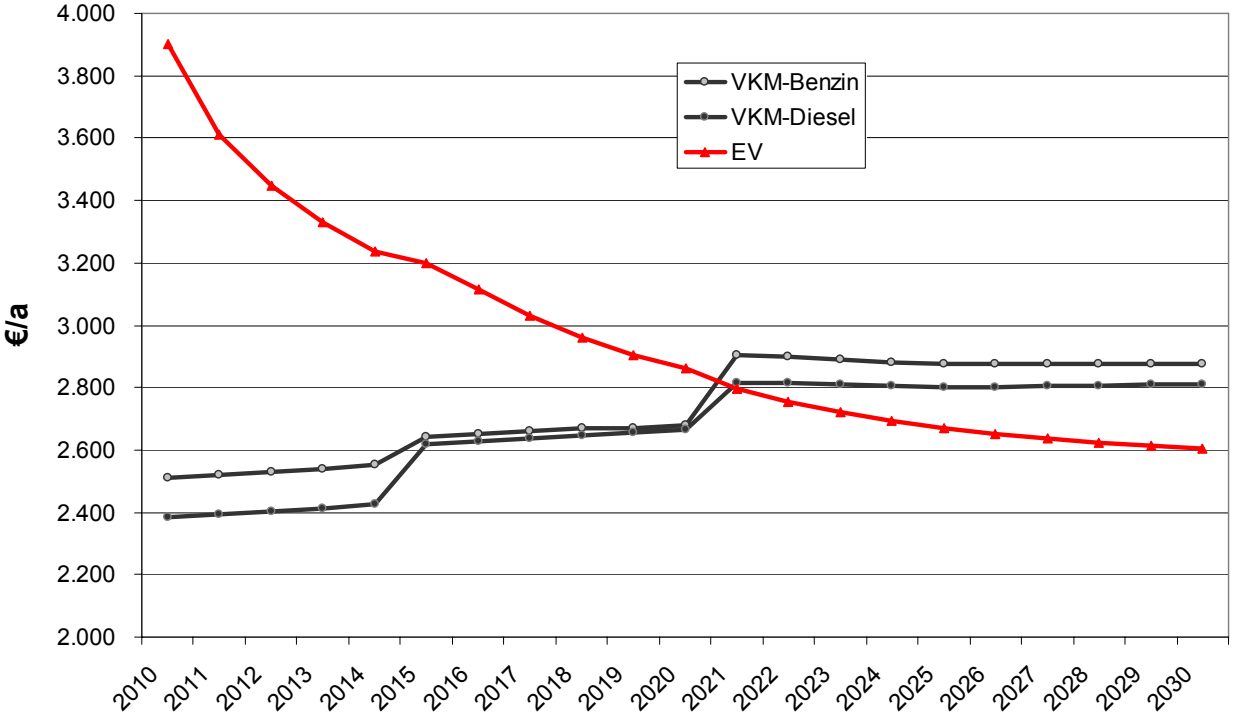



**Abbildung 13: Jährliche Kosten Kleinwagenklasse 2010-2030**

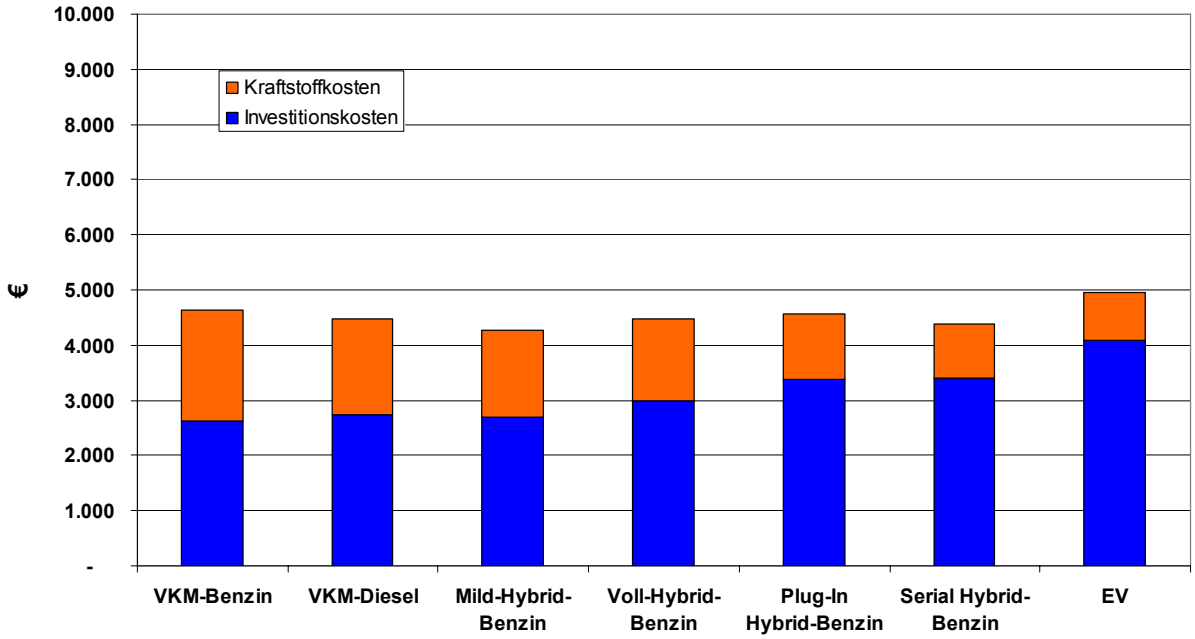



**Abbildung 14: Jährliche Kosten Mitteklasse 2030**

Abbildung 14 zeigt den Vergleich der jährlichen Kosten in der Mittelklasse. Man erkennt, dass Hybridantriebe hier durchwegs wirtschaftlich konkurrenzfähig sind und mitunter sogar günstiger sind als konventionelle Antriebe. Lediglich das reine Elektrofahrzeug kann in punkto Wirtschaftlichkeit in der Mittelklasse auch 2030 noch nicht mithalten. Bei den Kleinwagen wird das Elektrofahrzeug bereits ab etwa 2020 zur wirtschaftlichsten Option und bietet 2030 bereits einen erheblichen Kostenvorteil.

# 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Untersuchungen zeigen, dass Hybridfahrzeuge heute nur durch Förderungen wirtschaftlich konkurrenzfähig sind. Dabei sind auch nur leicht elektrifizierte Antriebe, wie Mild-Hybride, wirtschaftlich interessant. Stark elektrifizierte Antriebe weisen zu hohe Investitionskosten auf um gesamtwirtschaftlich gegen konventionelle Antriebe konkurrieren zu können. Reine Elektrofahrzeuge sind heute sowohl in der Mittelklasse als auch in der Kleinwagenklasse noch viel zu teuer. Die hohen Investitionskosten sind vor allem auf die Kosten der Lithium-Ionen Batterien zurückzuführen, welche in diesem Bereich noch eine relativ neue Technologie darstellen und daher noch sehr teuere sind.

Es zeigt sich, dass die derzeitigen politischen Rahmenbedingungen nicht ausreichen um die wirtschaftlichen Nachteile effizienter, elektrifizierter Antriebe zu kompensieren. Dafür wären stärkere Instrumente wie Standards oder Quoten erforderlich.

Im Szenario 2030 zeigt sich, dass sich die Wirtschaftlichkeit von Hybrid- und Elektrofahrzeugen durch geänderte politische Rahmenbedingungen und technologische Lerneffekte vor allem bei den Batterien erheblich verbessert. Dies führt soweit, dass in der Kleinwagenklasse Elektrofahrzeuge zur ökonomisch günstigsten Option avancieren. In der Mittelklasse werden Hybridantriebe zu wirtschaftlich attraktivsten Antriebsform.

Es zeigt sich jedoch auch, dass reine Elektrofahrzeuge in dieser Fahrzeugklasse aufgrund ihrer immer noch zu hohen Kosten auch 2030 nicht konkurrenzfähig sind. Die hohe

Reichweite und das Gewicht der Fahrzeuge machen große Batterien erforderlich, welche selbst bei einer starken Kostenreduktion zu teuer bleiben um das Gesamtfahrzeug konkurrenzfähig zu machen.

Es lässt sich also zusammenfassen, dass reine batterie-elektrische Antrieb nur bei kleinen Fahrzeugen mit geringer Reichweite sinnvoll sind, während bei größeren Fahrzeugen, bei denen höhere Reichweiten verlangt werden, Hybridantriebe die beste Alternative darstellen.

**Referenz:**

[1] International Energy Agency – IEA, Energy Technology Perspectives 2008

[2] M. Kloess, A. Ajanovic, R. Haas, A dynamic analysis of the economics of alternative vehicles and fuels in Austria up to 2050, Third International Conference on Ecological Vehicles & Renewable Energies EVER Monaco, 2008

[3] T.E. Lipman, M.A. Delucchi, Transportation Research Part D 6 (2006) 115-132

[4] EUCAR, CONCAWE, EU-JRC, Well-to-Wheel Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, 2006

[5] P. Van den Bossche, F. Vergels, J Van Mierlo, J. Matheys, W. Van Autenboer, Journal of Power Sources 162 (2006) 913-919

[6] R. Haas et al. ALTANKRA Endbericht, 2008