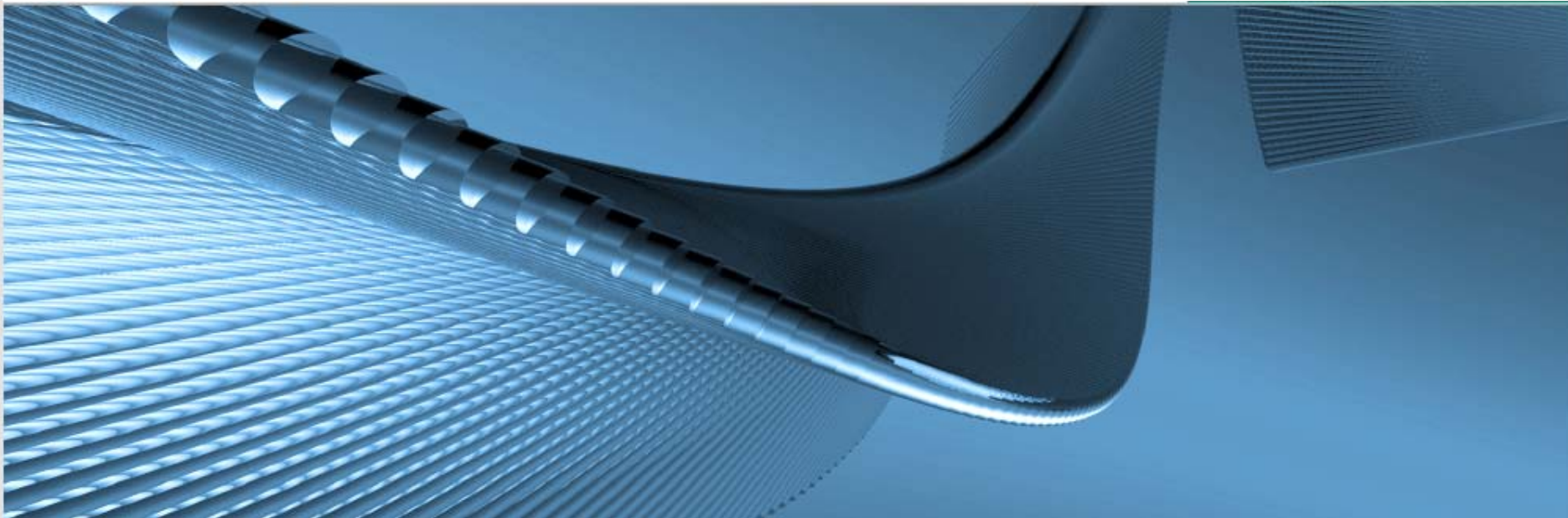
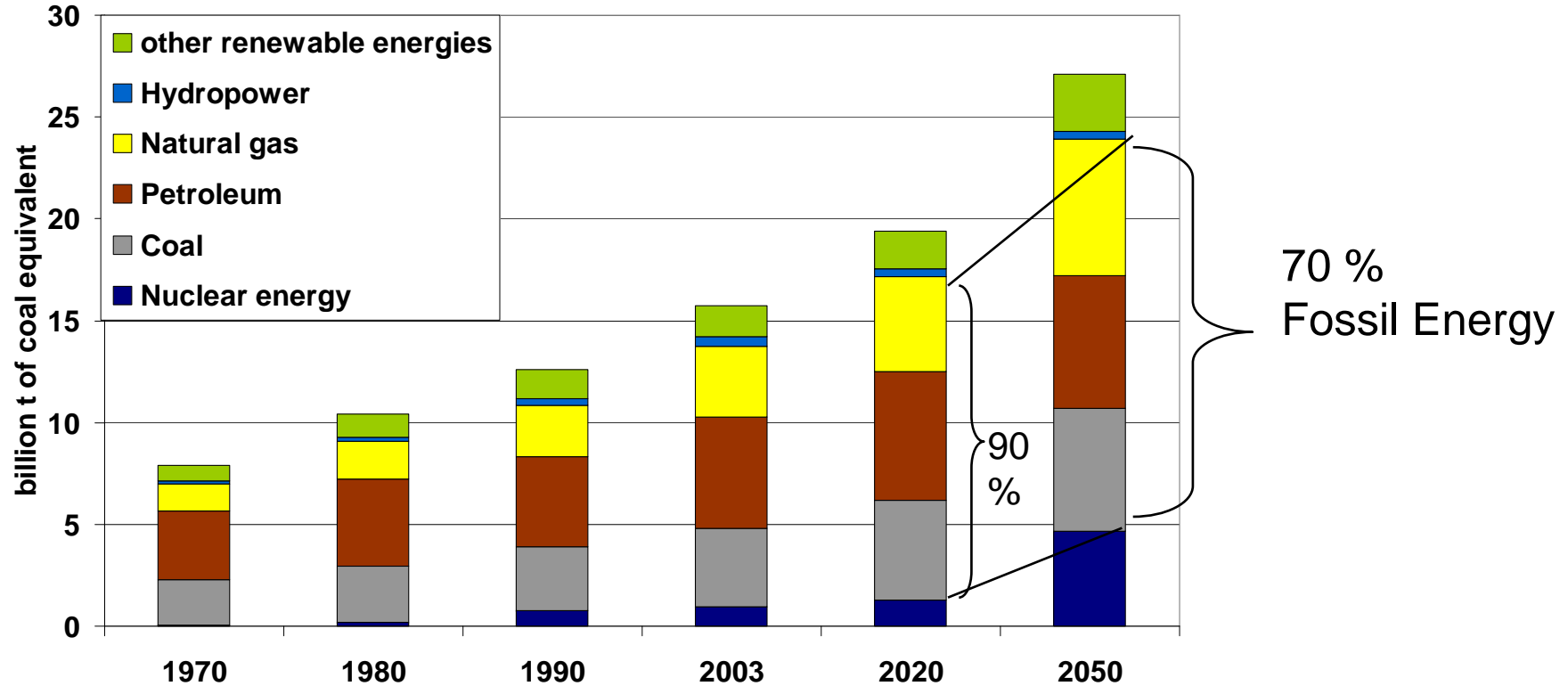


Alternative Antriebe realistisch betrachtet

Dr.-Ing. Karl-Friedrich Ziegahn
Programmleiter Energie- und Umweltforschung
Forschungszentrum Karlsruhe

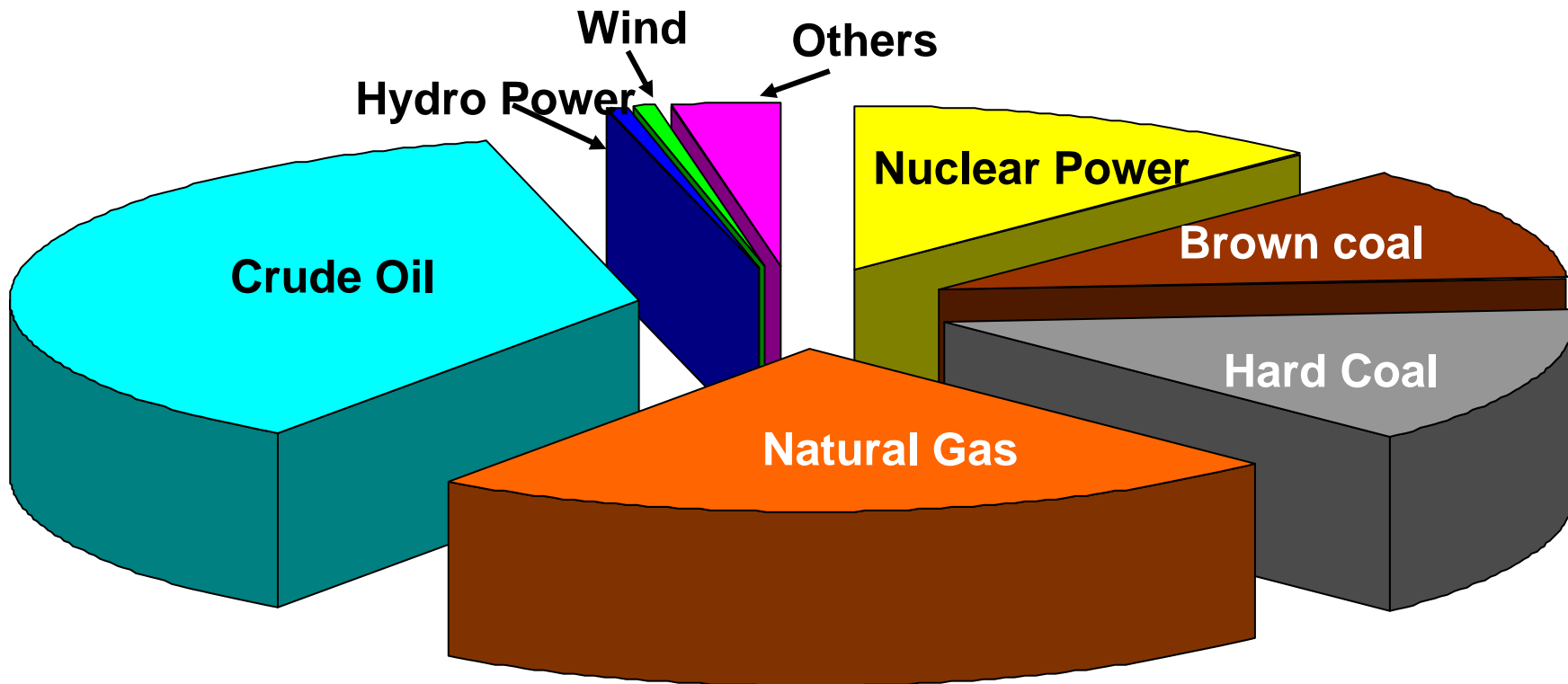


Globaler Energieverbrauch



Quelle: BP (bis 2003), World Energy Council

Energieverbrauch in Deutschland

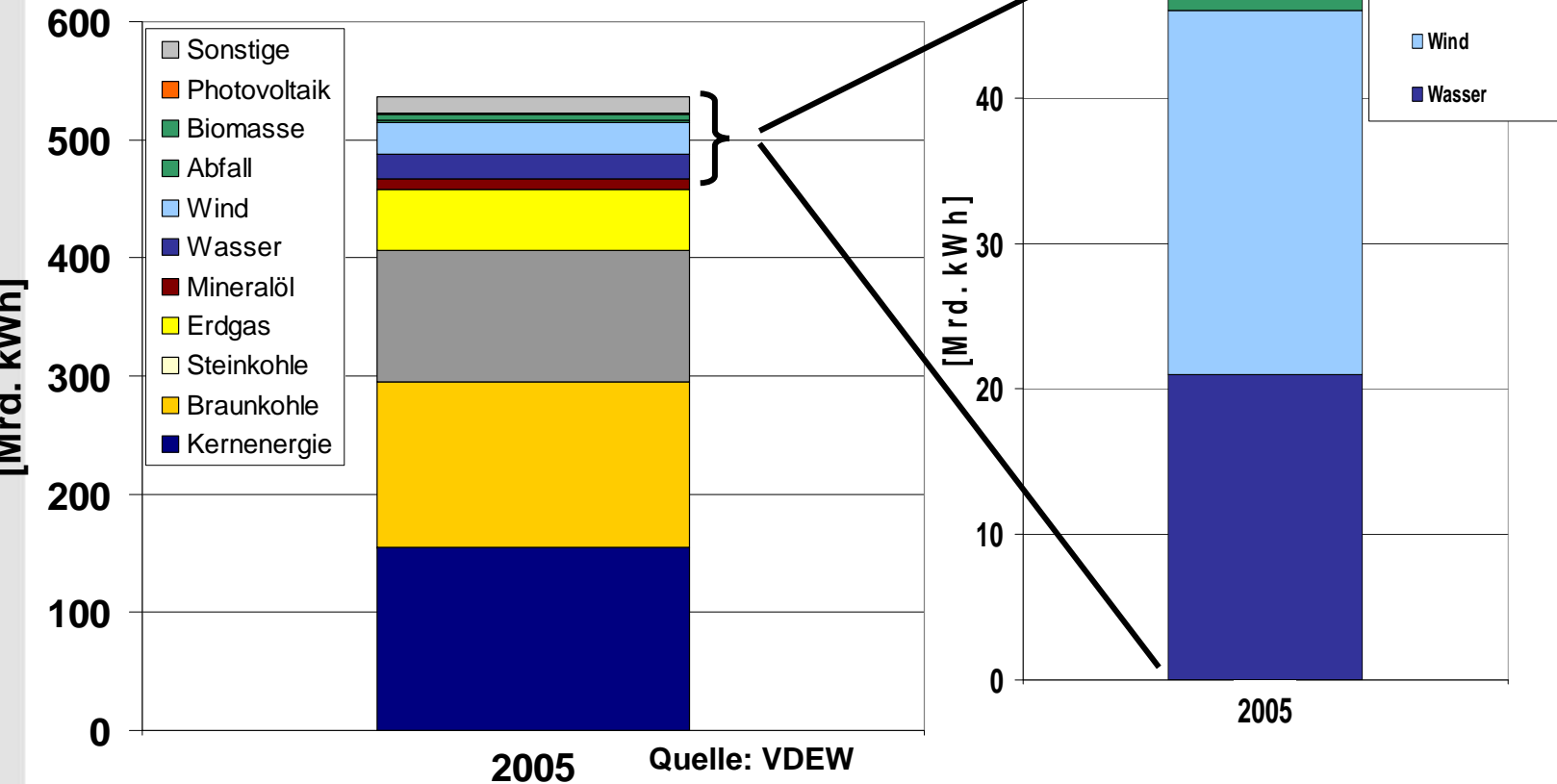


Total: 492,6 Mio. SKE

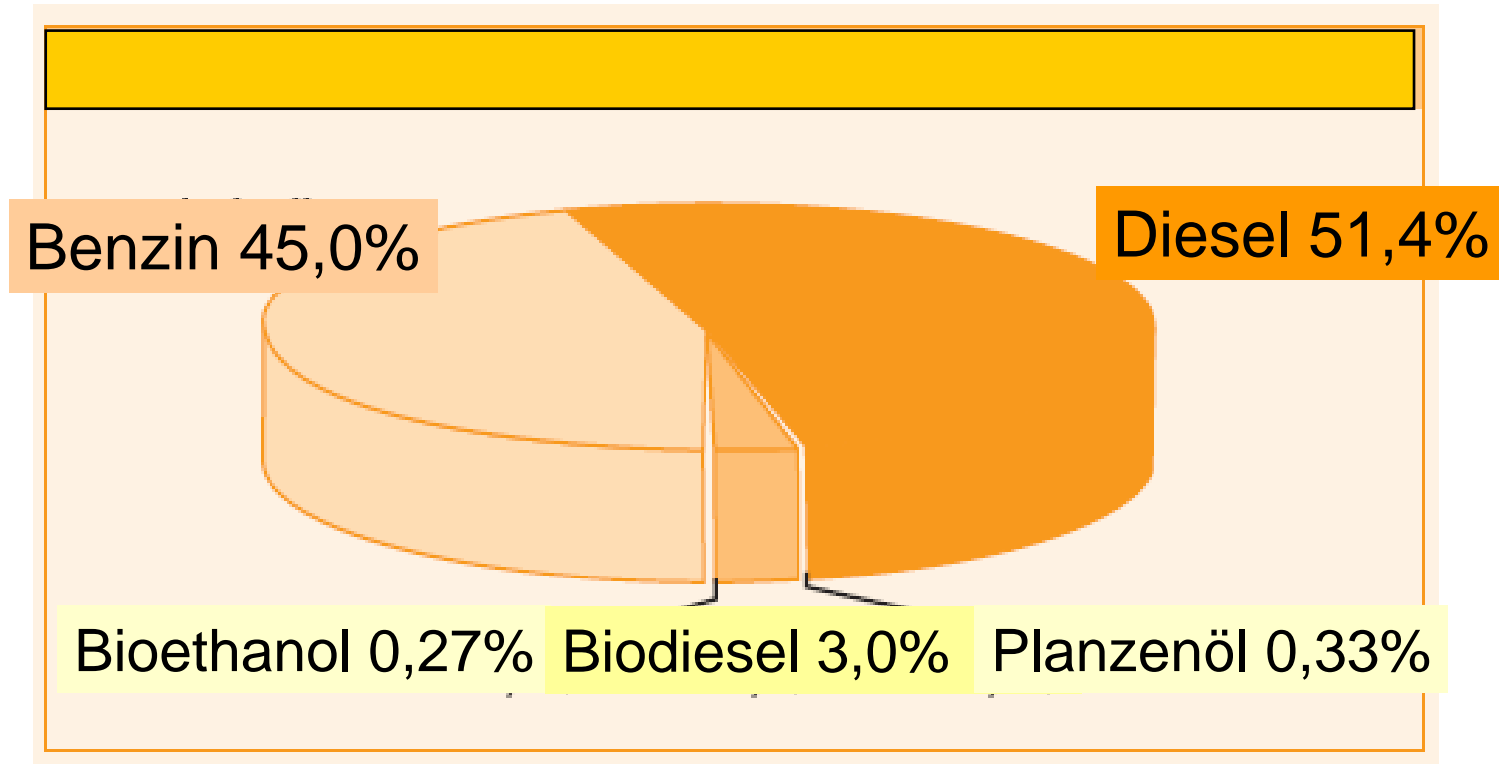
Quelle: AG Energiebilanzen 2005

Energie für die Stromerzeugung in Deutschland

Anteil der erneuerbaren Energien

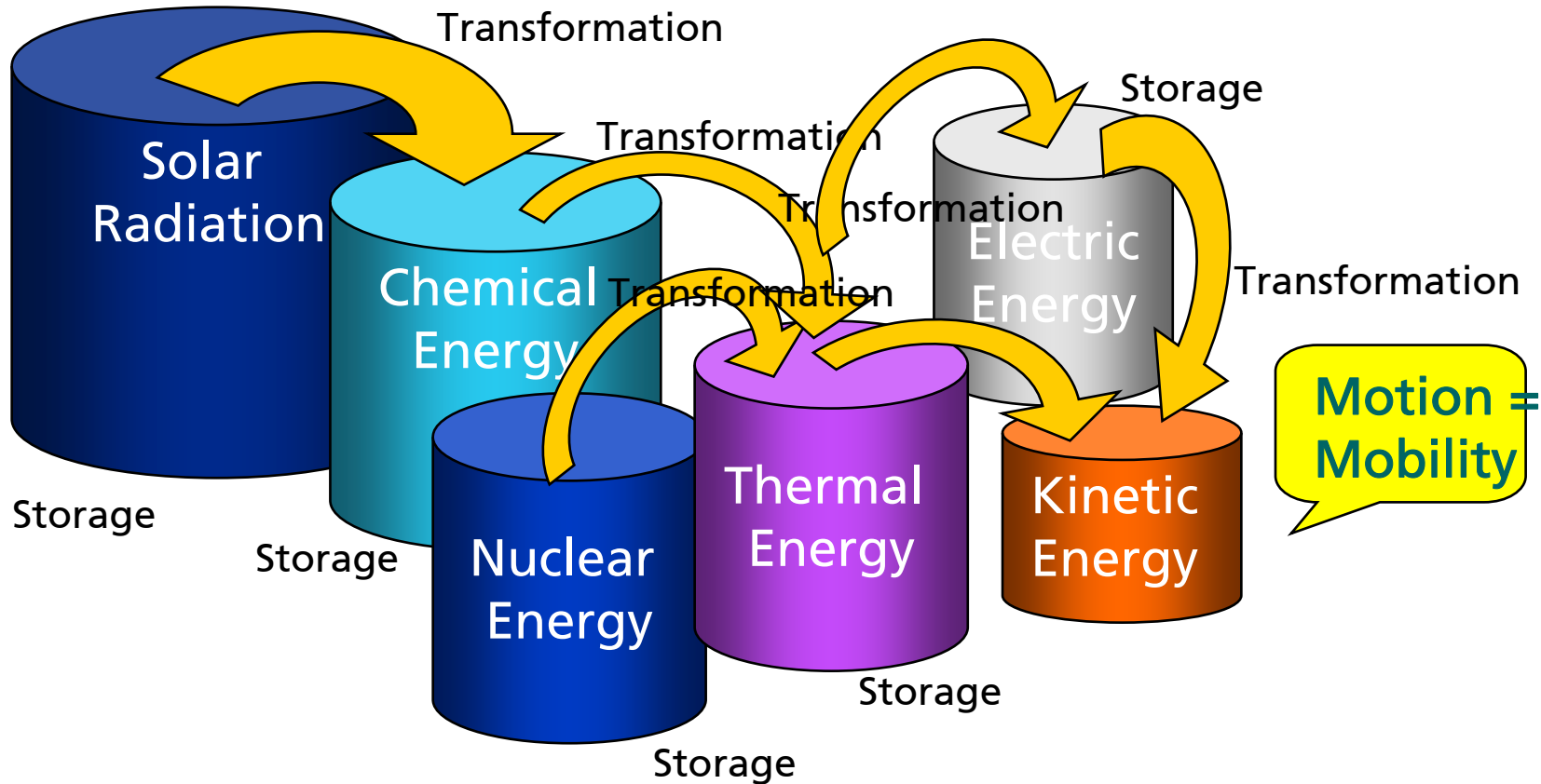


Treibstoffverbrauch in Deutschland

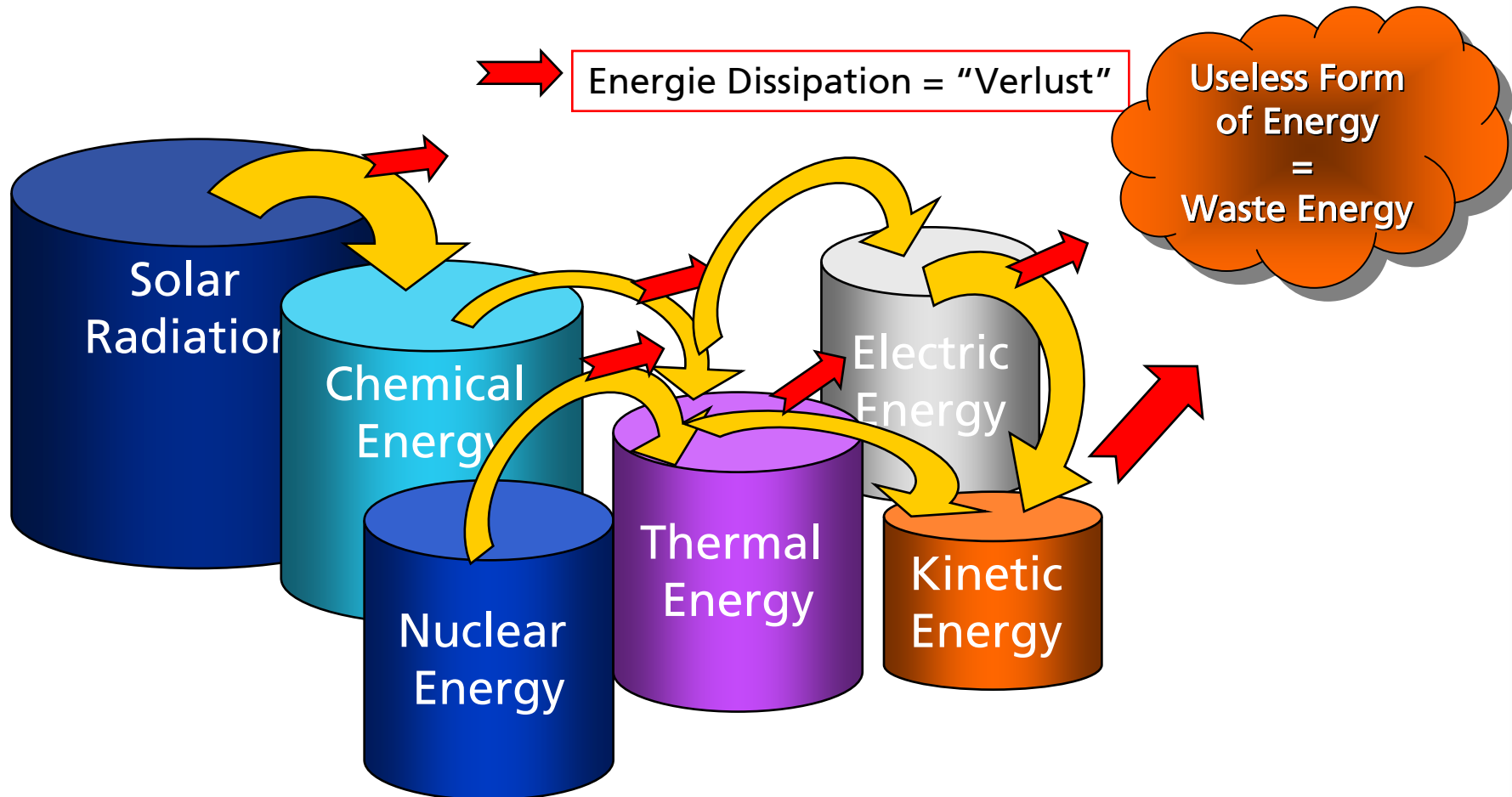


Quelle: FNR Germany 2006

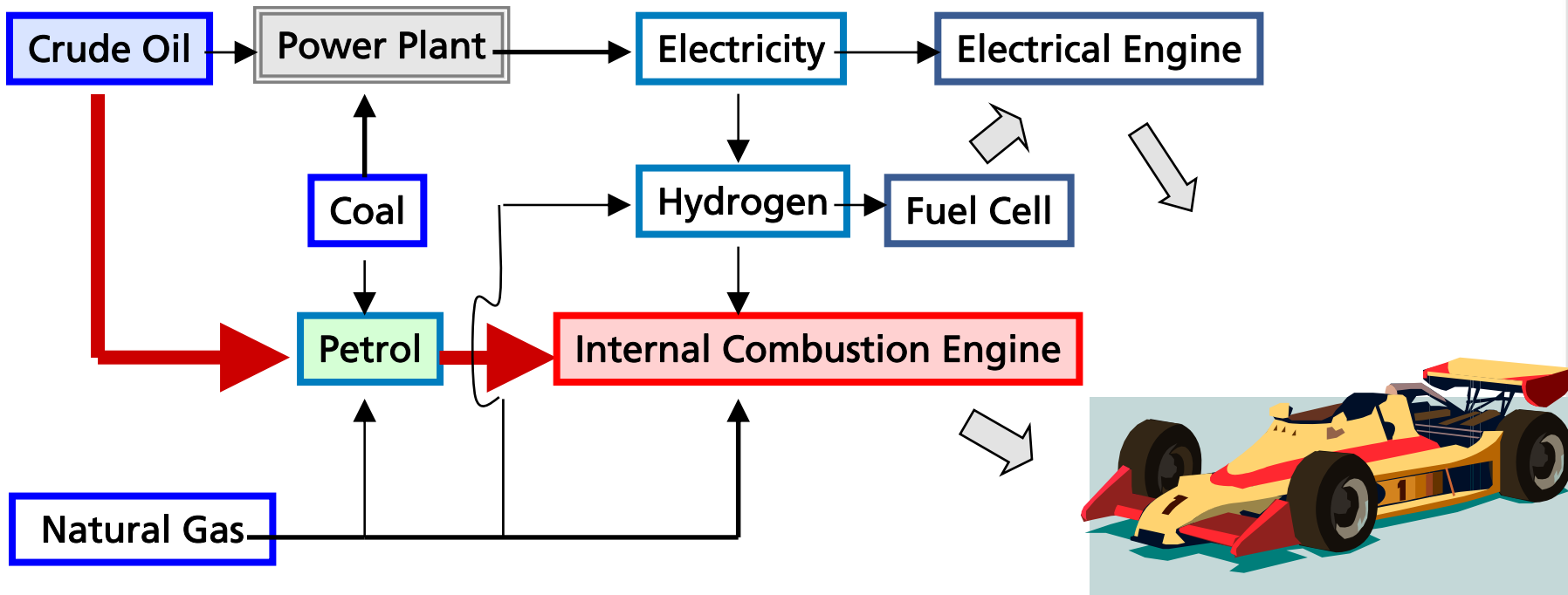
Jede Energienutzung ist nur die Transformation in eine andere Form



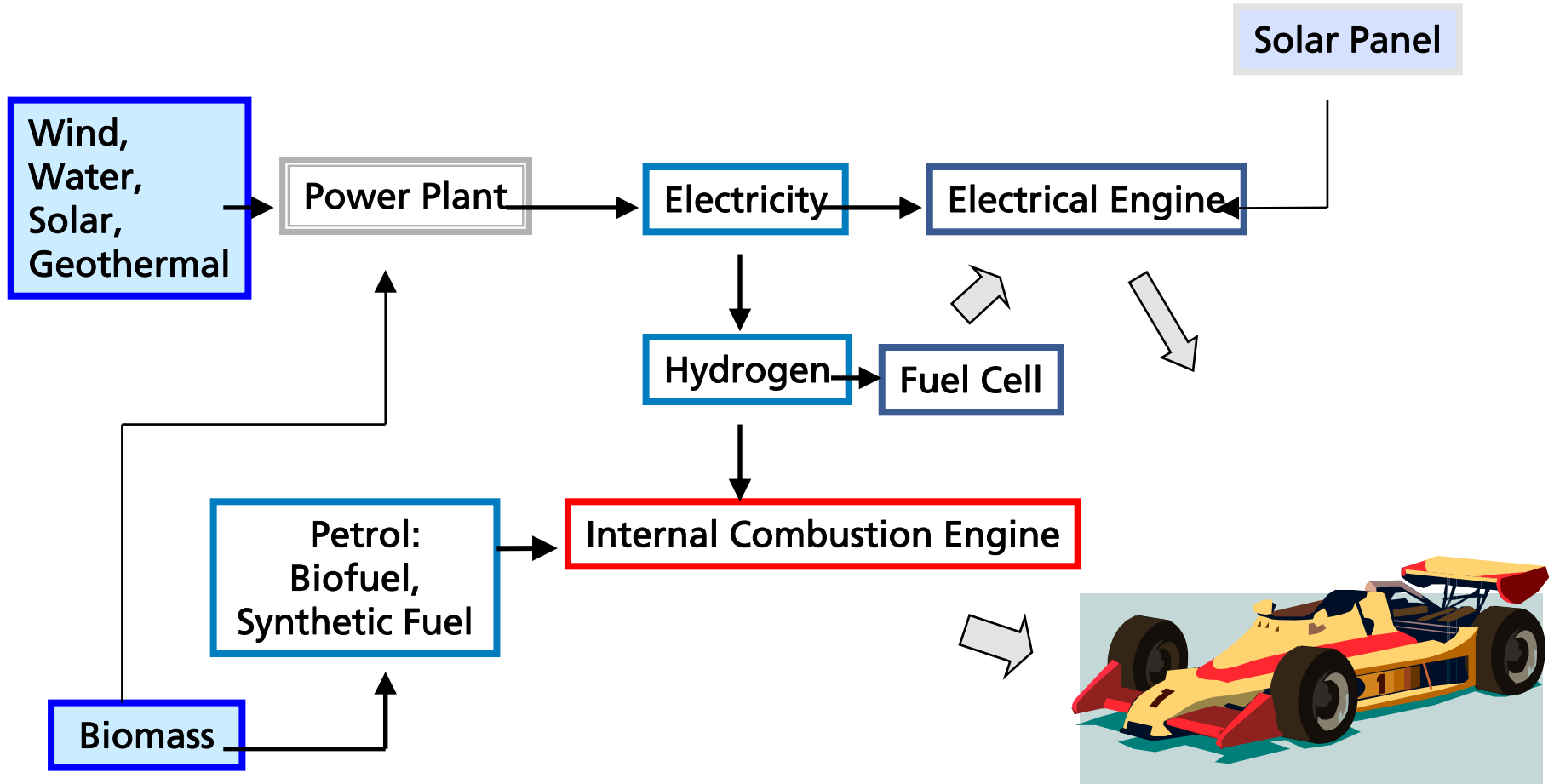
Jede Energieumwandlung ist mit Verlusten verbunden



Energie (fossil) – Kraftstoff – Antrieb



Energie (erneuerbar) – Kraftstoff – Antrieb



Energiedichte von Kraftstoffen

Energy Density	Volumetric	Volumetric	Specific Weight	Mass related	Mass related
	kWh / l	MJ / l	kg / l	kWh / kg	MJ / kg
Petrol	8,6	31,0	0,7	12,2	44,0
Super petrol	8,4	30,3	0,7	12,0	43,2
Bio-Ethanol	5,9	21,2	0,8	7,4	26,6
Diesel	9,6	35,0	0,8	11,8	42,7
Plant oil	9,2	33,1	0,9	10,2	36,8
Bio-Diesel	8,9	32,0	0,8	10,3	37,0
<i>Synthetic fuels (BtL, CtL, GtL)</i>	<i>8,0 – 10,0</i>	<i>30,0 – 35,0</i>	<i>0,8 – 0,9</i>	<i>10,0 – 12,0</i>	<i>38,0 – 44,0</i>
Auto Gas	6,4	23,0	0,5	12,8	46,1
Natural Gas CNG/(200 bar)	11,5	41,4	0,7	14,4	52,0
H ₂ (lq. -253°C)	2,3	8,3	0,07	33,3	119,9
Battery (Lead)	0,05	0,2	1,1	0,06	0,22
Battery (Li-Ion)	0,5	1,8	0,4	0,2	0,72

a) (Weiter-) Nutzung des Verbrennungsmotors und Ersatz des (flüssigen) fossilen, mineralölbasierten Kraftstoffs durch

- gasförmige fossile Energieträger (z.B. Erdgas, Autogas)
- flüssige synthetische Kraftstoffe auf Basis Erdgas oder Kohle (GtL, CtL)
- chemische Energieträger aus nachwachsenden Rohstoffen (Biogas, Biokraftstoffe der 2. Generation - BtL)
- Andere Kraftstoffe (z.B. Wasserstoff, Methanol)

hergestellt mit erneuerbarer Energien

b) Ersatz des Verbrennungsmotors durch einen Elektromotor (E-Mobility)

- Nutzung eines direkten Speichers für elektrische Energie und Aufladung des Speichers mittels elektrischem Strom aus dem Netz
- In-situ-Erzeugung der elektrischen Energie aus chemischen Energieträgern (z.B. Methanol, Ethanol, Wasserstoff) mittels Brennstoffzelle, gegebenenfalls nach On-Board-Reformierung
- On-Board-Umwandlung von Solarenergie mittels Photovoltaik

c) Hybrid-Antrieb durch unterschiedliche Kombinationen von Verbrennungsmotor und Elektromotor

- Mild Hybrid (kein reiner elektrischer Fahrbetrieb möglich)
- Full Hybrid (gemischter Antrieb Elektromotor und Verbrennungsmotor je nach Lastsituation, parallel)
- Plug-in Hybrid (Verbrennungsmotor zur Wiederaufladung der Batterie als Reichweitenerweiterung – sog. range extender, seriell)

d) **Energierückgewinnungssysteme zur Nutzung der mit dem Fahrbetrieb einhergehenden Energieverluste**

- Nutzung der Abwärme, z.B. durch Latentwärmespeicher oder thermoelektrische Systeme
- Kinetische Zwischenspeicher (z.B. Schwungradsysteme)
- Elektrische Zwischenspeicher (z.B. Super-Caps)
- Weitere Speicherprinzipien (z.B. Druckluftspeicher)

Anwendungspotential von alternativen Treibstoffen / Antrieben

Kraftstoff:

- Pflanzenöl
- Bio-Diesel
- Bioethanol
- BtL-Kraftstoff
- Biogas
- Erdgas / Autogas
- Wasserstoff
- Elektrische Batterie

Motorentyp:

- Verbrennungsmotor
- Hybridmotor
- Brennstoffzelle
- Elektromotor

Erste Generation Biokraftstoffe:

- Pflanzenöl
- Bio-Diesel
- Bio-Ethanol
- Bio-Methanol
- Bio-Gas

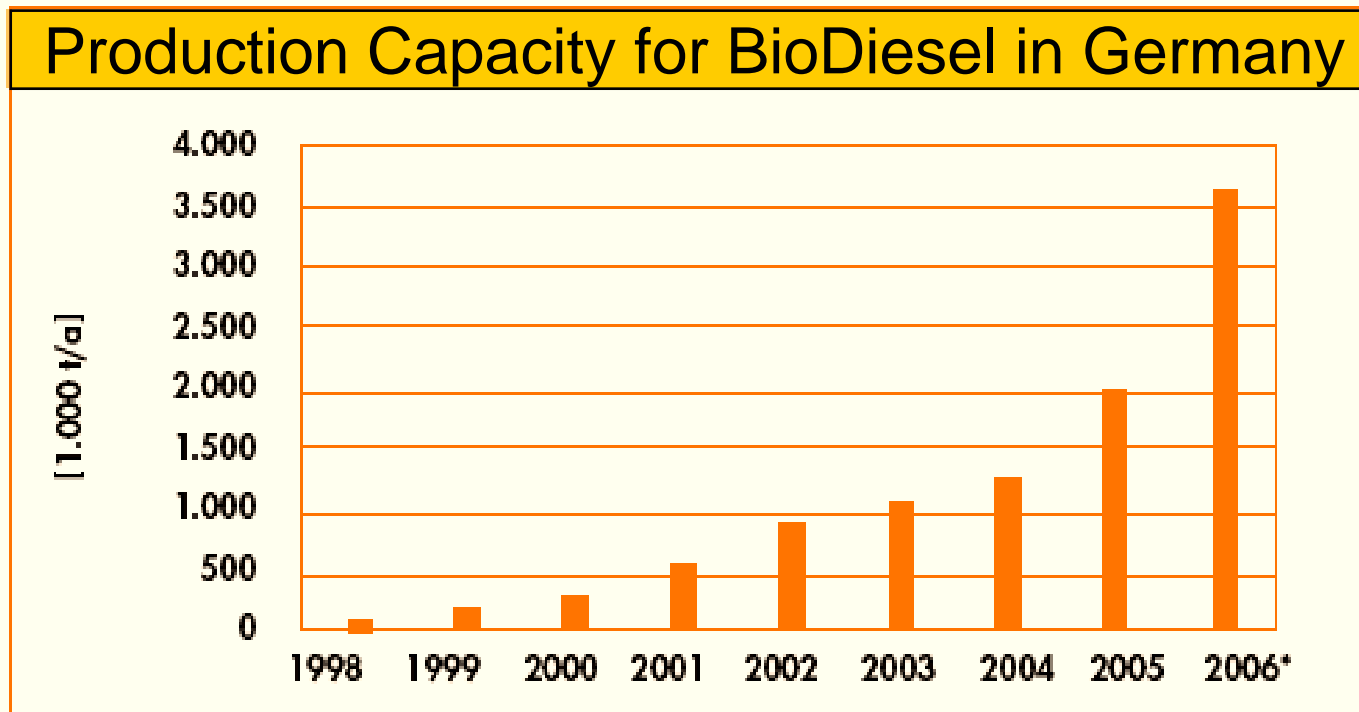


Zweite Generation Biokraftstoffe:

- Bio-Ethanol aus (Ligno-) Cellulose
- BtL-Kraftstoffe (synthetische Kraftstoffe)



Biodiesel Produktionskapazität in Deutschland

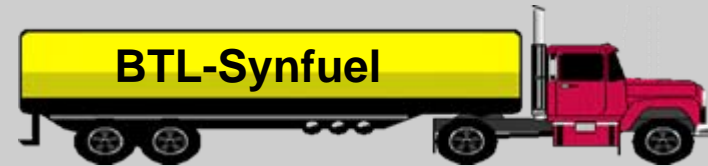
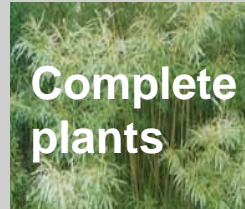


Source: FNR Germany 2006

Ausbeute an Biotreibstoffen

Liter diesel equivalent
per year and hectare

Biofuels
2nd Generation



4,000 l

Biofuels
1st Generation



1.200 – 3,200

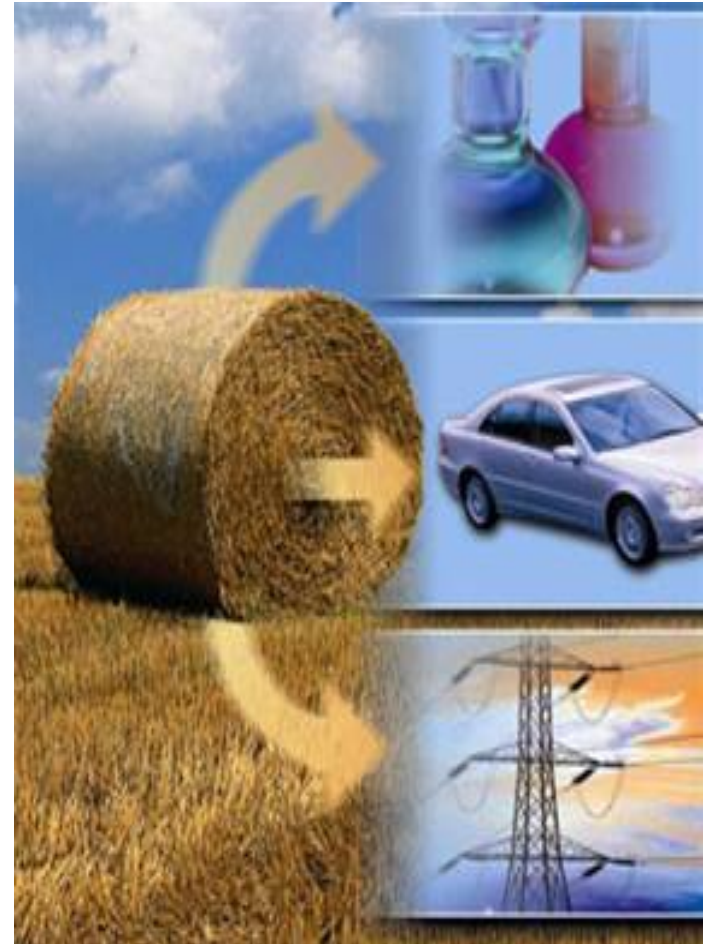


1.150



1.250 l

- Dezentrale schnelle Pyrolyse in Koks-/ Ölslurry für die anschließende zentrale Vergasung und Synthese
- Hochwertige synthetische Brennstoffe aus Stroh für die Motorengeneration der Zukunft
- Versuchsanlage im Aufbau
- Investitionen: > 50 Mio. €



Anwendungspotential von alternativen Treibstoffen

Erdgas / Autogas

- Einige Fahrzeuge nutzen bereits komprimiertes Erdgas oder Autogas
- begrenzte Logistik
- Beimischung von Biogas zum Erdgas nach Reinigung und Aufbereitung möglich

BTL	Biomass-to-Liquid
CTL	Coal-to-Liquid
GTL	Gas-to-Liquid



Synthetische Kraftstoffe können für neue Motorenkonzepte maßgeschneidert werden *“Designer Fuels”*

Beispiel: “Diesotto”, eine Verschmelzung von Diesel- und Ottomotor

Anwendungspotential von alternativen Treibstoffen

Wasserstoff

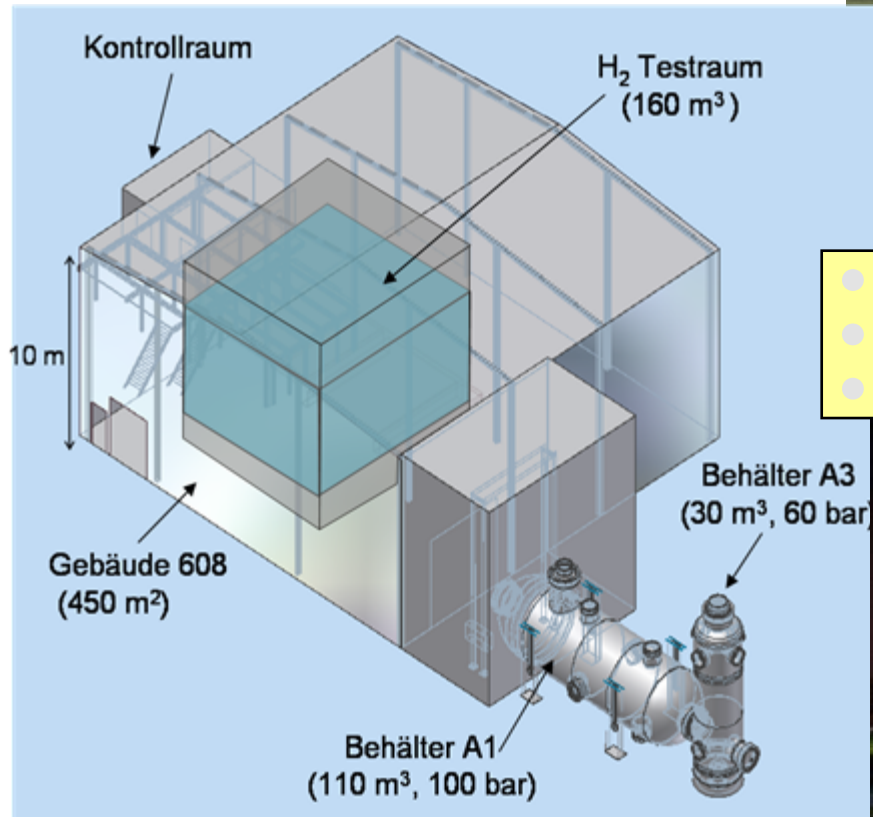
- geeignet für den Gebrauch in Brennstoffzellen und Verbrennungsmotoren
- Zahlreiche Sicherheitsaspekte spielen beim Handling eine wichtige Rolle, z.B. Tankanlagen und das Tanken
- Speicherproblem
- keine Infrastruktur vorhanden
- in der Vergangenheit wurden zu hohe Erwartungen geweckt



Speicherung:

- flüssig bei -253°C , verbunden mit hohen Abdampfverlusten bei längeren Standzeiten
- gasförmig bei ca. 700 bar Druck
- in großen, schweren Metallhydridspeichern

Vielzweck-Wasserstoff- Experimentalanlage



- Testaufbau für H₂-Freisetzung und Ausbreitung
- Tank für Verbrennungsuntersuchungen
- Röhrensysteme



Anwendungspotential von alternativen Antrieben

Energierückgewinnung

- Rekuperation: kurzfristige Speicherung von Verzögerungs- und Bremsenergie
- Technik: Speicherung durch Umwandlung in Radnaben-Generatoren in Form von elektrischer Energie in Kondensatoren – sog. “Super Caps’s”
- Beim Beschleunigen: Abruf der elektrischen Energie aus den Super Caps – Einsatz in Radnabenmotoren (F1)

Anwendungspotential von alternativen Antrieben

Elektroantrieb

- Elektrofahrzeuge benötigen leistungsfähige Batteriespeicher
- für bestimmte Einsatzszenarios (Kurzstrecke) geeignet, noch keine Langzeit- und wenig Alltagserfahrungen
- Eingesetzter Energie-Mix bestimmt die tatsächlichen Emissionsbeiträge

CO₂-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

- **Benzin**verbrauch l/100 km x **23,3** = CO₂-Emission g/km
- **Diesel**verbrauch l/100 km x **26,1** = CO₂-Emission g/km
- **Autogas**verbrauch l/100 km x **17,4** = CO₂-Emission g/km
- **Erdgas**verbrauch kg/100 km x **27,5** = CO₂-Emission g/km

CO₂ Emissionsvergleich

Antriebs- Version	Smart ForTwo electric drive E-Motor	Smart ForTwo electric drive E-Motor	Smart ForTwo coupé 1.0 mhd Otto	Smart ForTwo coupé 0.8 cdi Diesel
Motorleistung	30 kW	30 kW	52 kW	33 kW
Eingesetzte Energie	Elektrisch/ Strom-Mix Deutschland	Elektrisch/ Steinkohle	Benzin	Diesel
CO₂ - Emission	71 g/km	107 g/km	103 g/km	88 g/km

Quelle: ADAC Online 2008

Anwendungspotential von alternativen Antrieben

Brennstoffzelle

- Brennstoffzelle wandelt chemische Energie in elektrische Energie um – Brennstoffzelle ist kein Motor
- Brennstoffzelle nur in Kombination mit einem Elektromotor möglich
- Es ist noch viel Forschung und Entwicklung notwendig, um praktikable Lösungen für den Alltagsbetrieb zu erzielen

Elektro- / Hybridantrieb

- Mild Hybrid
 - Micro Hybrid (Plug-In)
 - Full Hybrid (Plug-In)
 - Elektroantrieb
- Hoher Wirkungsgrad (Effizienz der Energieumwandlung)
 - keine Emission vom Fahrzeug
 - Geringe Geräusche
 - Problematische Speicherung,
 - höheres Gewicht
 - Emissionen bei der Stromerzeugung
 - wo kommt der Strom her?
 - Netzintegration



Aufgaben für die Forschung

- Entwicklung von **synthetischen, kohlenwasserstoffbasierten** Kraftstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe unter der Prämisse nachhaltiger Biomassenutzung
- Erforschung von **Syntheserouten** chemischer Energieträger auf Basis unterschiedlicher Einsatzstoffe (z.B. Mikroalgen, gentechnisch optimierte Pflanzen, biogene Rest- und Abfallstoffe)
- Erforschung und Entwicklung von Systemen zur **Nutzung erneuerbarer Energien** für Kraftstoffe, z.B. Wasserstoff
- **Effiziente Energieumwandlung** zwischen **chemischer und elektrischer Energie**

- Entwicklung **neuer Materialien und Werkstoffe** sowie Konzepte für elektrische Energiespeicher (z.B. schnelle Batterieladekonzepte durch Austausch der flüssigen Elektrolyte)
- Entwicklung von **schnellen Speichersystemen** für kinetische Energie, chemische Energie und elektrischer Energie mit hohen Lade-/Entladezyklenzahlen
- Möglichkeiten der Gasspeicherung in **hoher Energiedichte** für Fahrzeuge
- **Gewichtsreduzierung** bei allen Energiespeichertypen durch Erhöhung der Energiedichte bei Antriebssystemen und Kraftstoffen, Leichtbaukonzepte für Fahrzeuge

- Effiziente Energieverteilungs- und Betankungssysteme: **Logistik** alternativer Kraftstoffe
- Alternative Kraftstoffe für die **Luftfahrt**
- Diversifizierung von Fahrzeugtechnologien für **unterschiedliche Nutzungskonzepte** (z.B. Kurzstrecken-einsatz mittels Elektroantrieb, Langstreckentauglichkeit durch synthetische biogene Kraftstoffe)

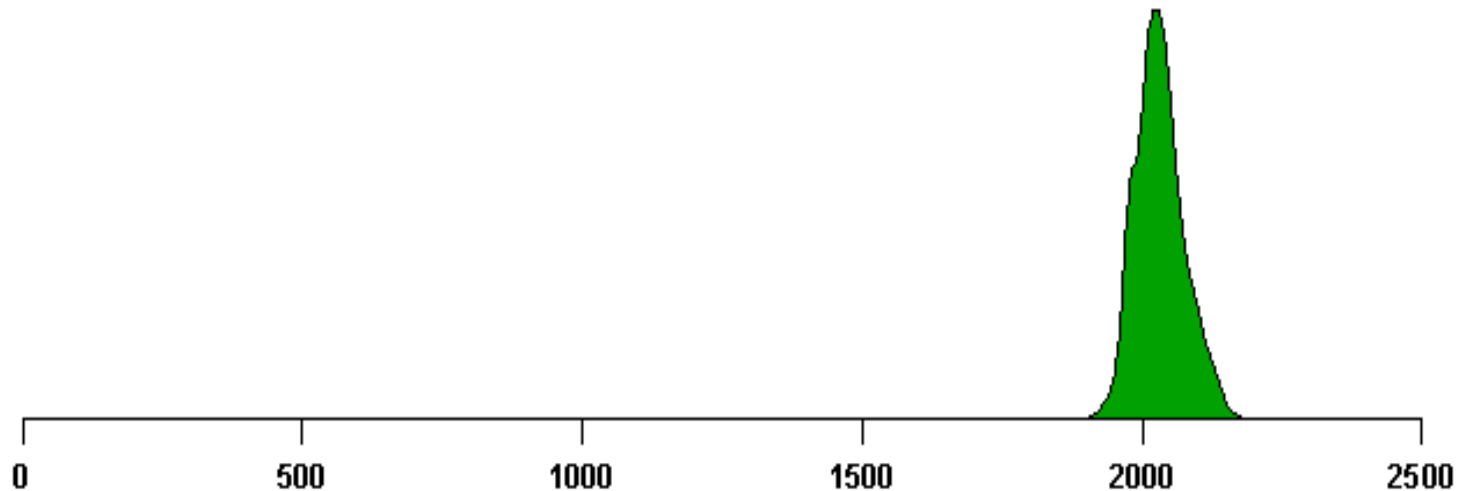
- Kombinierte sozialwissenschaftliche und technische Forschungsarbeiten zur Entwicklung alternativen **Nutzerverhaltens**, optimierte Kopplung der verschiedenen Verkehrsträger im **Modal-Split** für Güter- und Personentransport (nachhaltige Transportkettenoptimierung)
- **Energiesystemanalysen** und Technikfolgenabschätzung für alternative Antriebskonzepte und Energiewandlungsketten (z.B. elektrisch – chemisch – elektrisch); **Gesamtwirkungsgrade** und Gesamtemissionen entlang des Pfades vom Primärenergieträger bis zum rollenden Fahrzeug



- HighTech Anwendung: höhere Belastungen, hohe Crash-Wahrscheinlichkeit
- Biofasern: GF < BF < CF
- Semi-Struktur-Bauteile: Kotflügel, Motorhaube, Türen, Heckdeckel, Spoiler, Stoßstangen
- Nachwachsende Rohstoffe: Biofasern (Hanf, Jute, Leinen); Biomatrix (auf Leinölbasis)

1. Unterscheide kurz- mittel und langfristige Lösungen!
2. **Kurzfristig:** Steigerung der Effizienz, Verwendung kohlenstoffärmerer Kraftstoffe, Einsatz von Biokraftstoffen der 2. Generation (BtL) GtL, CtL
Energierückgewinnung, Hybridtechnologie, Leichtbau, Geändertes Verbraucherverhalten
3. **Mittelfristig:** Elektroantrieb mit begrenztem Einsatzszenario, synthetische Kraftstoffe aus neuen Biomassen (Algen, genoptimierte Pflanzen)
4. **Langfristig:** synthetische Kohlenwasserstoffe für besondere Mobilitätsanforderungen, Elektrizität aus Fusionskraftwerken und erneuerbaren Energien,

Das fossile Zeitalter – nur ein kleiner Peak in der Geschichte der Erde



Anwendungspotential von alternativen Treibstoffen

Pflanzenöl:

Nicht für Hochleistungsmotoren

Anwendung in Low-Tech Dieselmotoren

mit hohen Partikelemissionen verbunden

Biokraftstoff in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung

Anwendungspotential von alternativen Treibstoffen

Aufbereiteter Biodiesel

- Biodiesel ist schon in der Anwendung
- Manchmal Motorenprobleme, besonders bei Hochleistungsmotoren
- Biokraftstoff der ersten Generation

Anwendungspotential von alternativen Treibstoffen

Bioethanol

- Bioethanol ersetzt Benzin und kann damit gemischt werden
- Keine größeren Probleme zu erwarten
- Fahrzeugseitige Anpassungen notwendig (abhängig vom Mischungsverhältnis)
- Bioethanol steigert die Oktanzahl und bringt Leistungsvorteile

Anwendungspotential von alternativen Treibstoffen

BtL Treibstoffe

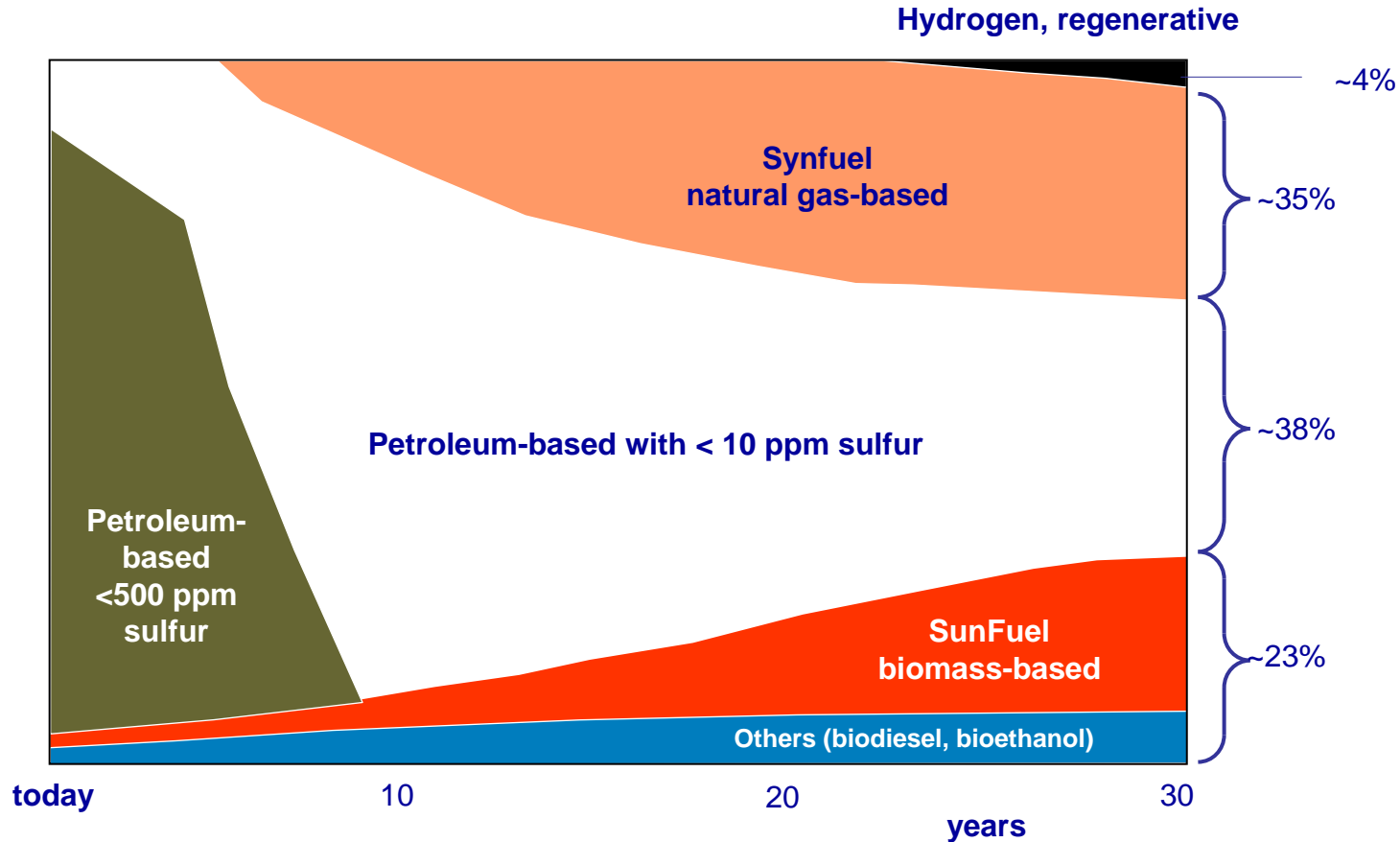
Sehr hochwertiger synthetischer Kraftstoff

Noch in der FuE-Phase,

Entsprechendes gilt auch CtL und GtL Treibstoffe.

Keine Nahrungsmittelkonkurrenz bei Erzeugung aus biologischen Reststoffen

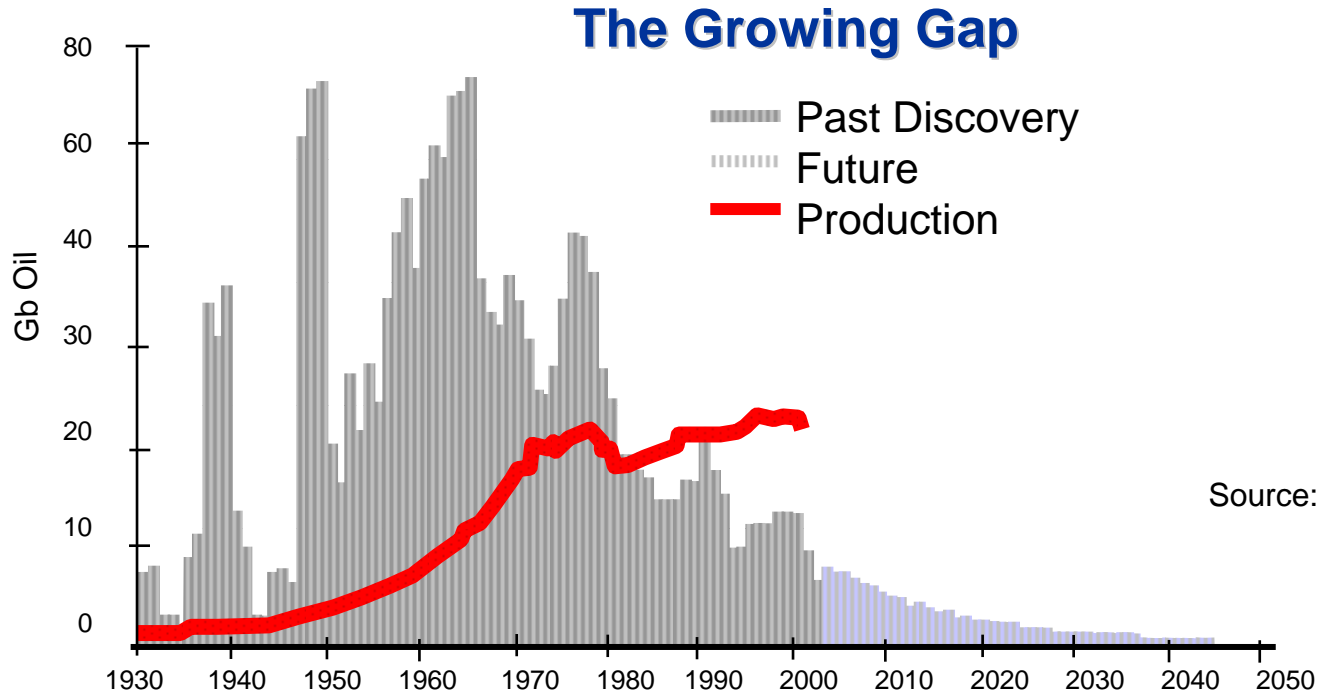
Zukunftsszenario in Europa



Vision 2030: nur noch rund 38% aus Erdöl

(Quelle: VW Strategie)

Niedergang des fossilen Zeitalters



Prinzip-Schaubild: Energie-Fluß und Nutzung

