

Maybach-Seminar Januar

17. Januar 2017, 18 Uhr

Otto/Diesel und CO₂/NO_x - was nun?

Referent: Prof. Dr.-Ing. Martin Freitag (DHBW Ravensburg)

DHBW Ravensburg, Campus Friedrichshafen,
Fallenbrunnen 2, Raum 213a, 88045 Friedrichshafen

Gliederung:

Ausgangspunkt Diesel-Abgasskandal

Abgasschadstoffe und ihre Bewertung

Otto- oder Dieselmotor?

Abgasschadstoffvermeidung - Einhalten der Grenzwerte

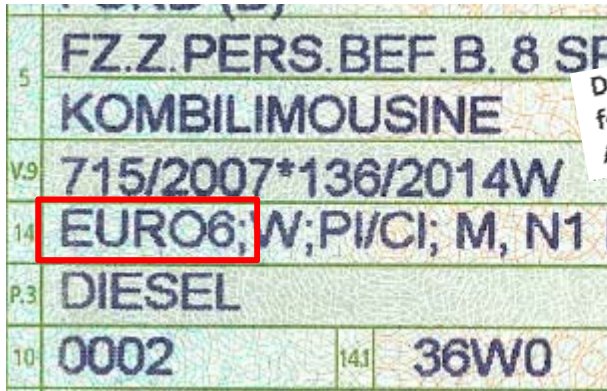
Exkurs: Lebenslauf technischer Entwicklungen

Wo „überleben“ Verbrennungsmotoren?

Ausblick

Ausgangspunkt Diesel-Abgasskandal

Der Diesel-Skandal September 2015



Dem wegen der angeblichen Vertuschung der Abgasmanipulation in den USA festgenommenen VW-Manager droht eine mehrjährige lebenslange Haft. Alle News zum Skandal!

Und jetzt auch noch Mercedes

Auch andere Marken betroffen
Diesel-Skandal: Hat auch BMW manipuliert?

Fast zehnmal so hohe Emissionen (NOx) bei immer noch deutliche Übersetz...

Lange haben die Stuttgarter jeden Vorwurf der Manipulation entschieden zurückgewiesen. Das ist vorbei: In Deutschland müssen sie die meisten Autos zurückrufen.

- unverhältnismäßig**
- Halbwahrheiten**
- unsachlich**
- Frage=Aussage**

Nur drei Autos schaffen die Grenzwerte
Vorwurf geg. Liste zeigt r...

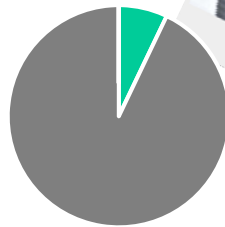
DER VW-SKANDAL - CHRONOLOGIE DER EREIGNISSE

- 18.09.15: Die amerikanische EPA gibt bekannt, dass sie wegen Verstößen gegen die Clean Air Act Ermittlungen gegen Volkswagen auf speziellen Software gegen Volkswagen auf worden sein. Strafzahlungen von bis zu 18 Milliarden US-Dollar.
- 20.09.15: Am Sonntag nimmt VW-Chef Martin Winterkorn erstmals Stellung und kündigt eine umfassende Aufklärung an. Ein Sprecher sagt, dass VW keine Software-Manipulationen gegeben hat.
- 21.09.15: Als Konsequenz aus den aktuellen Ermittlungen stoppen VW alle neuen Diesel-Fahrzeugen in den USA.

seit 2015 ist die Euro-6-Abgasnorm für alle neu zugelassenen Pkw verpflichtend:

Neuzulassungen 15: 3,21 Mio
 Bestand 1.1.16: 45,1 Mio

Durchschnittsalter 9,2 Jahre



VW-Skandal
 Geht es jetzt dem Diesel an den Kragen?

Wie konnten die CO2-Falschangaben von Volkswagen bei der Zulassung unentdeckt bleiben? Brüssel will deshalb die nationalen Behörden genauer beobachten. Doch die Industrie fürchtet schärfere Regeln.

Abgasschadstoffe und ihre Bewertung

Energiegewinnung durch Verbrennung

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Energiegewinnung^{*)} über **Verbrennungsprozesse** seit Menschengedenken

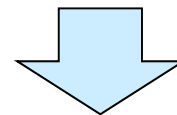
^{*)} in Form von z.B.

- Wärme
- mech. Arbeit
- Strom

für Heizung, Prozesse

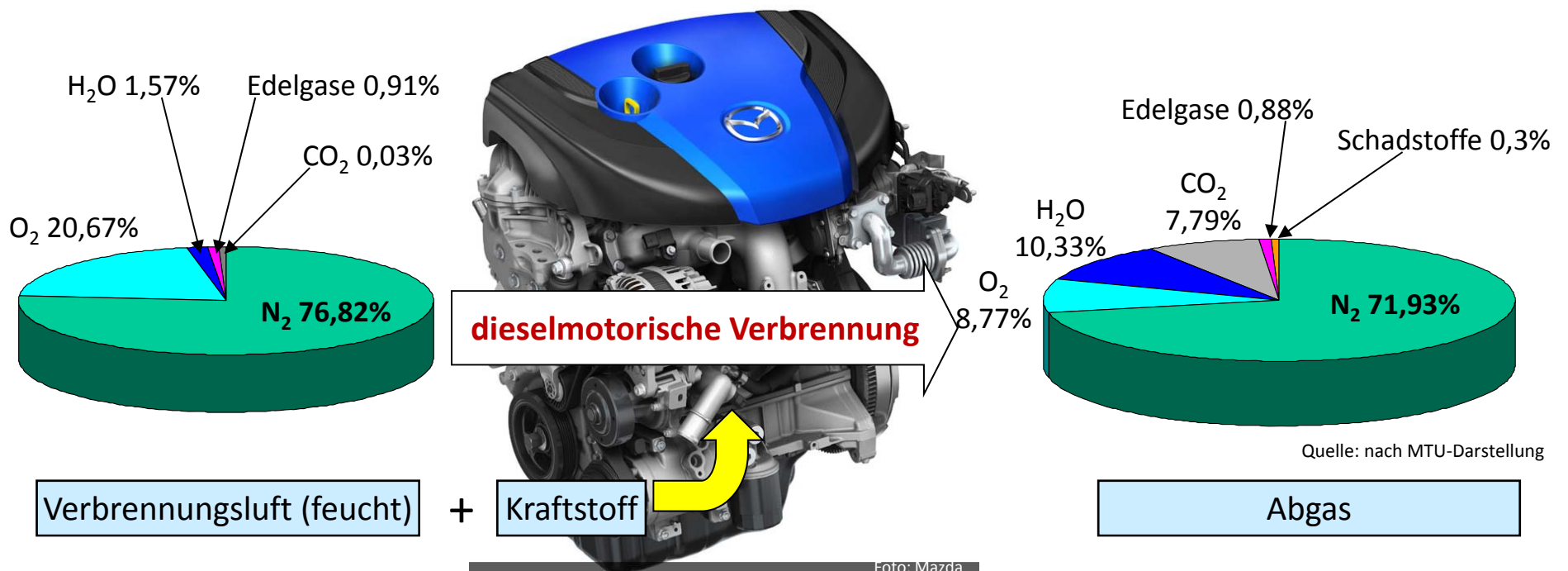
(Fertigung, Verarbeitung)

Mobilität, Licht, Information...



Fossile Brennstoffe → CO₂

Dieselmotorische Verbrennung



Werte in Volumen%

Abgasschadstoffe im Dieselmotor

Abgasschadstoffe

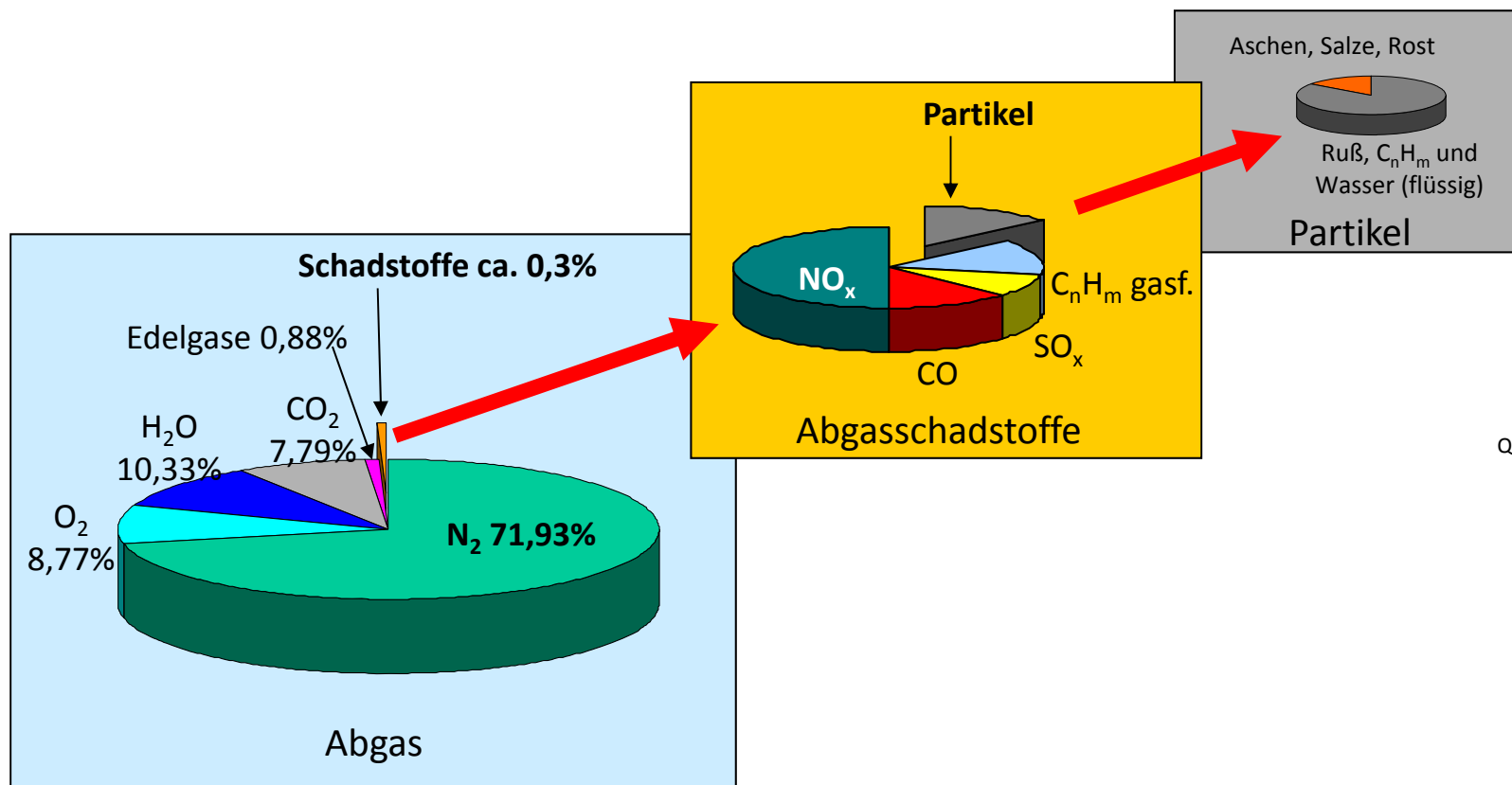
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Quelle: MTU

Abgasschadstoffe und ihre Wirkung auf den Menschen

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung




Exkurs










Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

-  Dieselmotor
-  Ottomotor (Saugrohreinjection) mit Kat
-  Magergemisch-Erdgas-Ottomotor

Kohlendioxid	CO_2		Treibhausgas
Stickstoffmonoxid	NO		toxisch, innere Erstickung, narkotisch ab 20 ppm Veränderung der Lungenfunktion
Stickstoffdioxid	NO_2		toxisch, stechender Geruch, smogbildend, starkes Lungenreizgas Bildung von Lungenödemen, ab 150 ppm tödlich, saurer Regen
Ruß	C		karzinogen, lungengängiger Träger für Giftstoffe
Schwefeldioxid	SO_2		stechender Geruch, Anätzung der Schleimhäute, saurer Regen
unverbrannte Kohlenwasserstoffe	C_nH_m (HC)		teilweise karzinogen, schleimhautreizend, smogbildend geruchsintensiv, narkotisch
Kohlenmonoxid	CO		toxisch, innere Erstickung
Methan	CH_4		Treibhausgas
Methanal (Formaldehyd)	CH_2O		karzinogen, Haut-, Atemwegs- und Augenreizungen

Abgasschadstoffgesetzgebung - Grenzwerte für Diesel-PKW

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

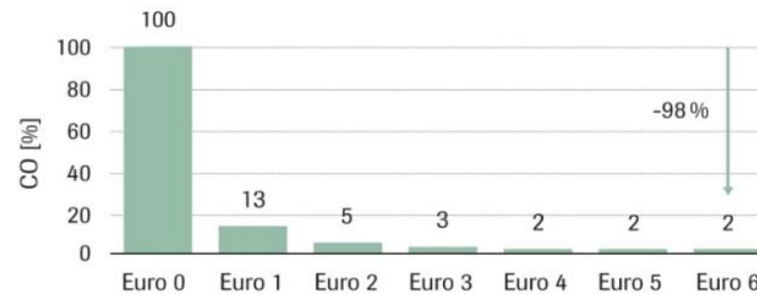
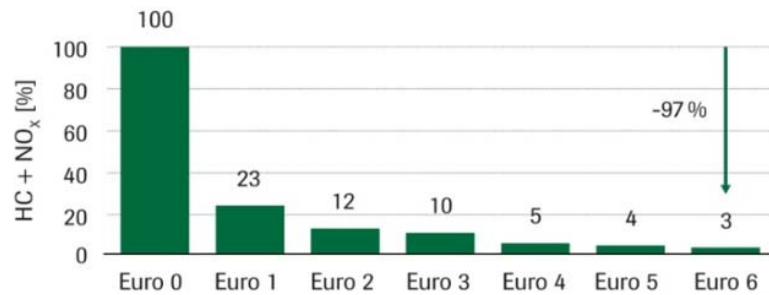
Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

Norm	Emissionsgrenzwerte für Pkw mit Dieselmotor									
	Angaben in mg/km außer PN (1/km)									
	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5a	Euro 5b	Euro 6b	Euro 6c	Euro 6d-TEMP	Euro 6d
Typgenehmigung neue Fahrzeugtypen	ab 1. Jul. 1992	ab 1. Jan. 1996	ab 1. Jan. 2000	ab 1. Jan. 2005	ab 1. Sep. 2009	ab 1. Sep. 2011	ab 1. Sep. 2014	ab 1. Sep. 2017	ab 1. Sep. 2017	ab 1. Jan. 2020
Typgenehmigung neue Fahrzeuge	ab 1. Jan. 1993	ab 1. Jan. 1997	ab 1. Jan. 2001	ab 1. Jan. 2006	ab 1. Jan. 2011	ab 1. Jan. 2013	ab 1. Sep. 2015	ab 1. Sep. 2018	ab 1. Sep. 2019	ab 1. Jan. 2021
Testzyklus	NEFZ	NEFZ	NEFZ	NEFZ	NEFZ	NEFZ	NEFZ	WLTP	WLTP	WLTP
RDE (Konformitätsfaktor)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	1,5
CO	2720	1000	640	500	500	500	500	500	500	500
(HC + NO _x)	970	700 / 900 ²	560	300	230	230	170	170	170	170
NO _x	-	-	500	250	180	180	80	80	80	80
Partikelmasse (PM)	140	80 / 100 ²	50	25	5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Partikelanzahl (PN)	-	-	-	-	-	6·10 ¹¹	6·10 ¹¹	6·10 ¹¹	6·10 ¹¹	6·10 ¹¹



Quelle: VDA

unsachlich

Für Ottomotoren ähnlich Grenzwerttabelle
z.B. Ottomotoren mit Benzindirekteinspritzung
ab 2017 Partikelfilter vorgeschrieben

Abgasschadstoffgesetzgebung - Sonderrolle CO₂

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

CO₂



Quelle: VW

Flotten-Grenzwert derzeit 130 g CO₂/km.
Schnitt für sämtliche in Europa verkauften
Autos eines Herstellers

2020 → 95 g CO₂/ km
(entspricht 4,1 l/100 km für Benziner
und 3,6 l/100 km für Diesel)

Abgasschadstoffgesetzgebung - Fahrzyklus für PKW

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

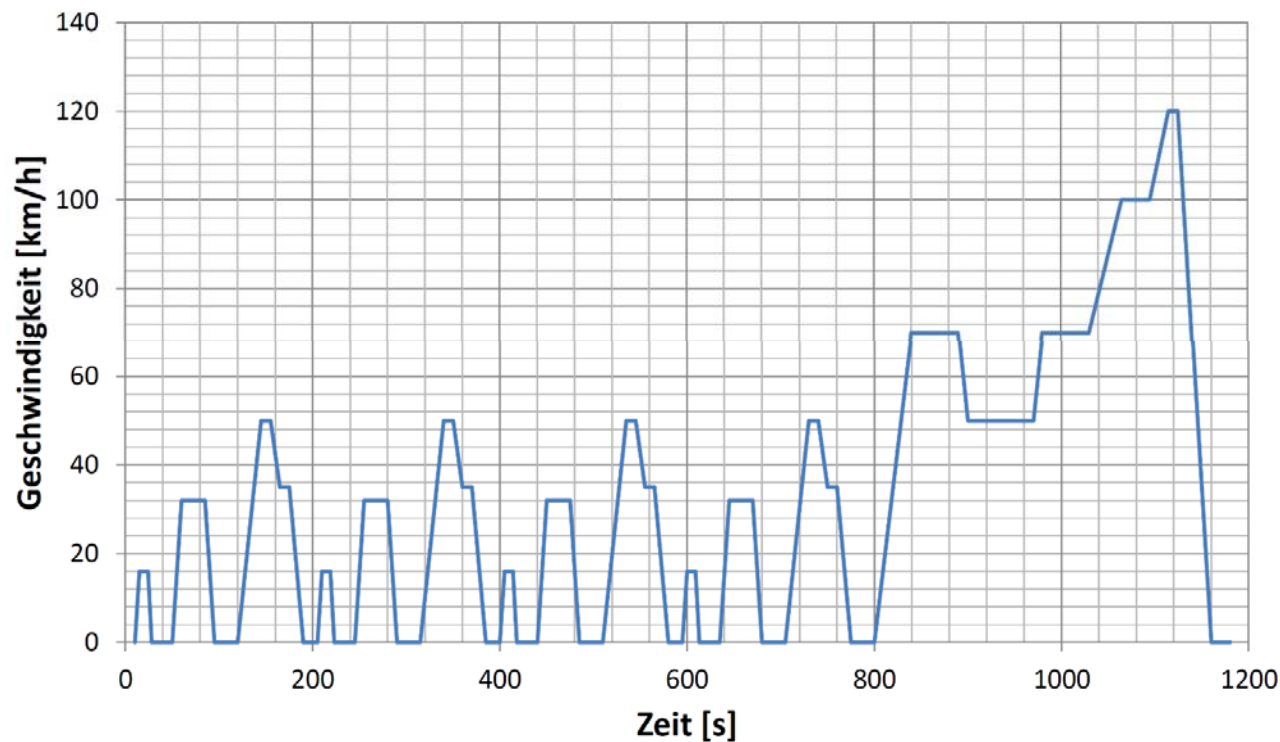
Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

NEFZ (Energieverbrauch gemäß RL 70/220/EWG)



WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure)

RDE (Real Driving Emissions)



Neuer europäischer Fahrzyklus
Rollenprüfstand, etwa 11km in 1180 Sekunden knapp 20min

Abgasschadstoffgesetzgebung - Industriemotoren

Abgasschadstoffe

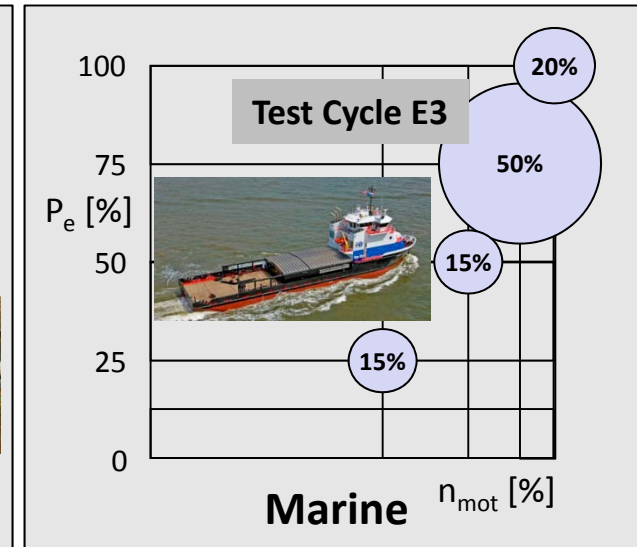
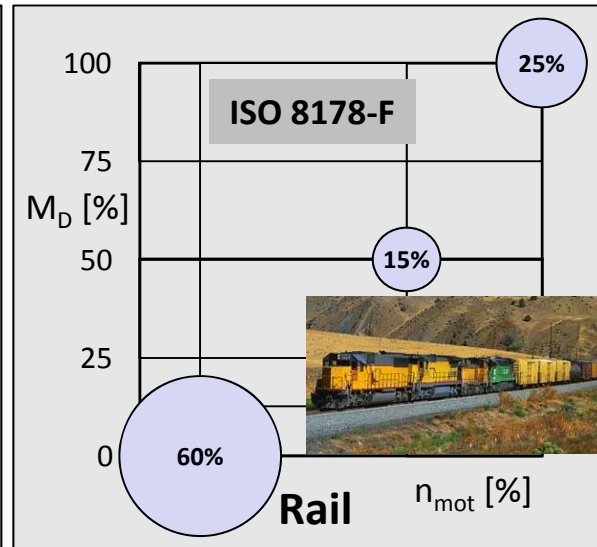
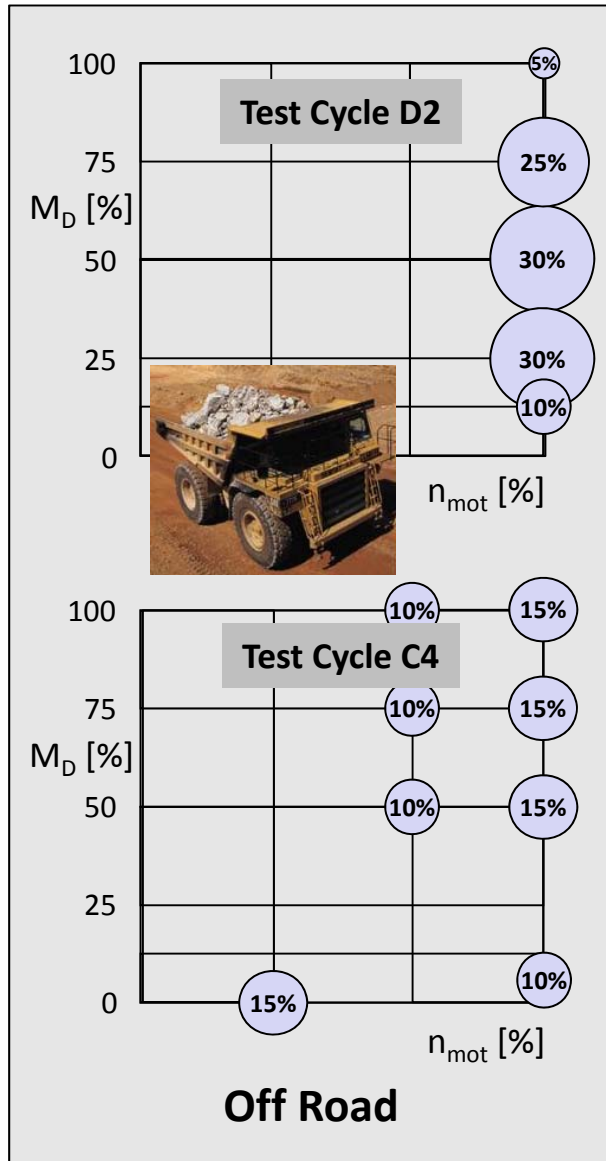
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

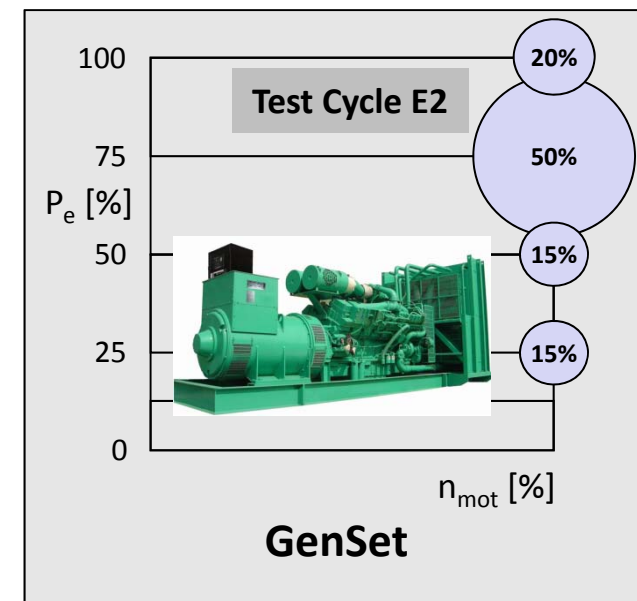
Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Je nach Anwendungsgebiet des Verbrennungsmotors gibt es verschiedene Lastpunkte, die mit unterschiedlicher Wichtung und die Beurteilung der Schadstoffemission eingehen.



Otto- oder Dieselmotor?

Unterschiede Otto- und Dieselmotor

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

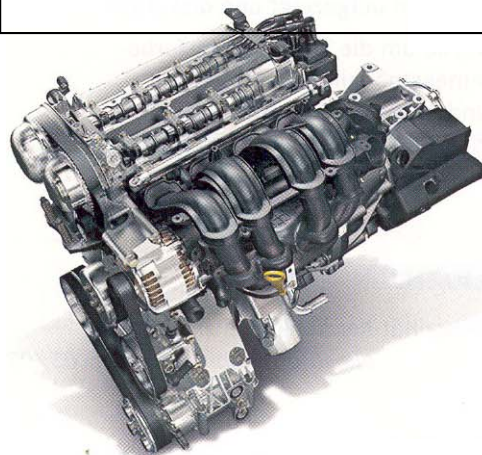
Ausblick



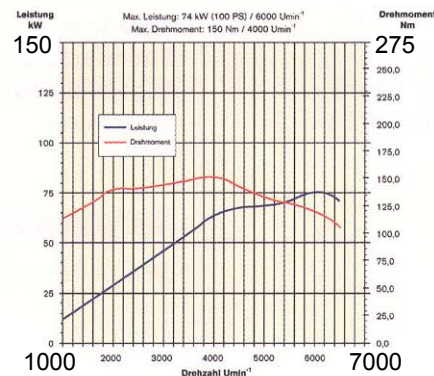
IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

	Ottomotor	Dieselmotor
Gemischbildung	äußere Gemischbildung	innere Gemischbildung
Ladung, die verdichtet wird	energiereiches, homogenes zündfähiges Gemisch	Luft, höhere eps möglich
Regelung der Leistungsabgabe	über Ladungsmasse (Masse eingelassenes Gemisch) (Quantitätsregelung, Drosselklappe)	über eingespritzte Kraftstoffmasse (Qualitätsregelung, Injection timing)
Verhältnis Luftmasse zu Kraftstoffmasse	weitgehend konstant (→ Katalysator)	schwankt leistungsabhängig in weiten Grenzen
Verbrennungstyp	Flammfront	Diffusionsverbrennung

Ladung = das, was in den oder die Zylinder „geladen“ wird



Quelle: Audi



— Drehmoment
— Leistung

Verbrennungsluftverhältnis λ_V

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick

Verbrennungsluftverhältnis ist die für die Verbrennung zur Verfügung stehende Luftmasse bezogen auf die für die vollständige Verbrennung erforderliche Luftmasse



$$\lambda_V = \frac{m_{\text{Luft}}}{m_{\text{Kst}} \cdot L_{\text{min}}}$$

m_{Luft}
 m_{Kst}
 L_{min}

Luftmasse im Zylinder (Arbeitsraum)
Kraftstoffmasse im Zylinder
Mindestluftbedarf für vollst. Verbrennung
für Diesel/Benzin 14,4 kg Luft/kg Kraftstoff

$\lambda_V < 1$	Luftmangel, „fettes“ Gemisch	die Bewertung des Gemisches muss sowohl global als auch lokal vorgenommen werden. Bei einer (z.B. dieselmotorischen) Verbrennung kann es bei einem globalen Luftverhältnis >1 , also bei globalem Luftüberschuss im Arbeitsraum lokale Bereiche geben, in denen Luftmangel herrscht.
$\lambda_V = 1$	stöchiometrische Verbrennung	
$\lambda_V > 1$	Luftüberschuss, „mageres“ Gemisch	

Latte macchiato-Analogie:
Kaffee entspricht Luft
Milch entspricht Kraftstoff

fett		mager	
homogen	inhomogen	homogen	inhomogen
			
hell, umgerührt	viel Milch in „Wolken“	dunkler, umgerührt	dunkel, Milch „wolken“

Verbrennung Ottomotor

Abgasschadstoffe

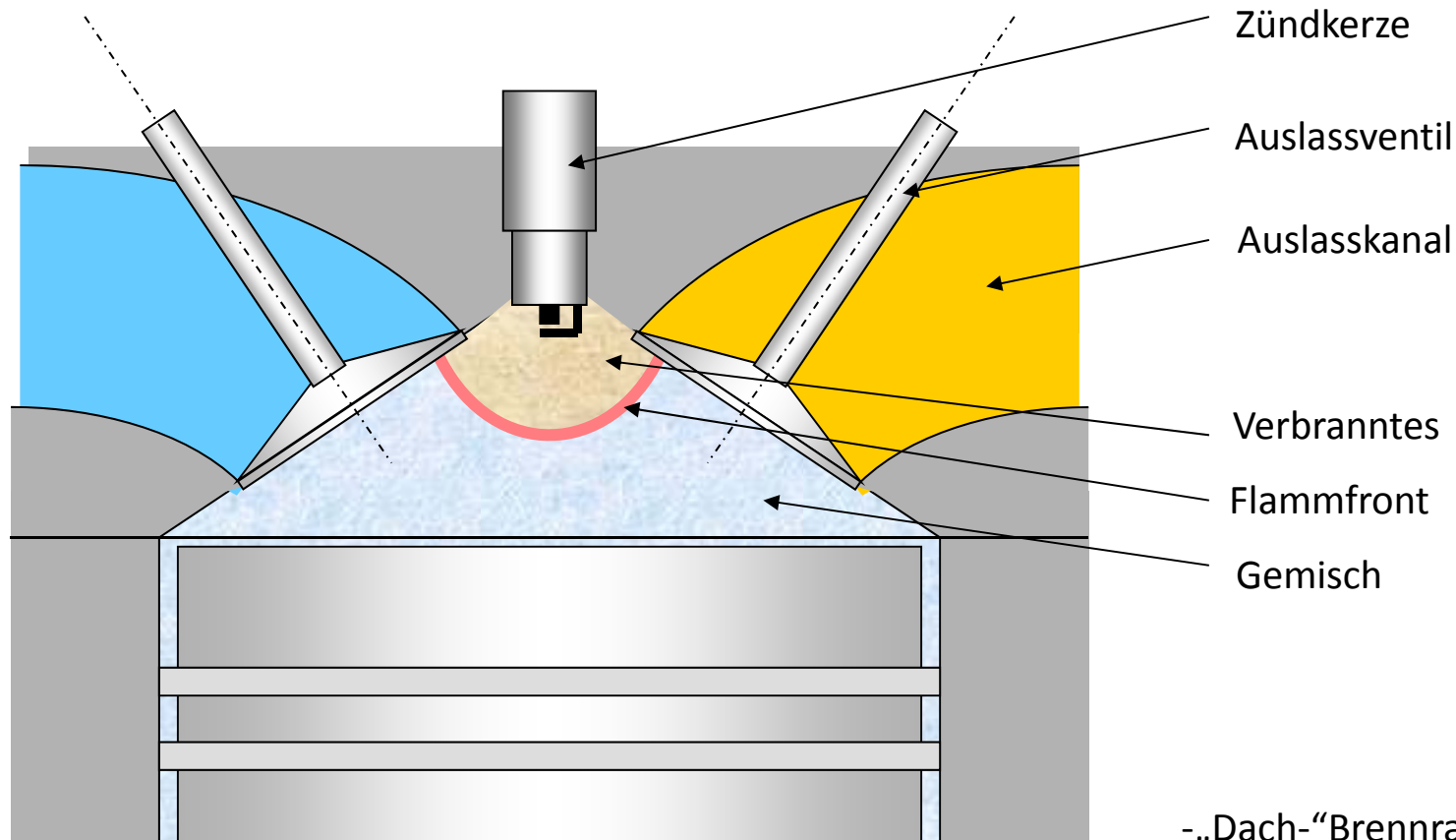
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



- „Dach“-Brennraum
- Vierventil-Bauart
- Turbulenzerzeugung
- Tumble-Strömung
- Flammfrontgeschwindigkeit
- Quenching

Verbrennung Ottomotor im Detail

Abgasschadstoffe

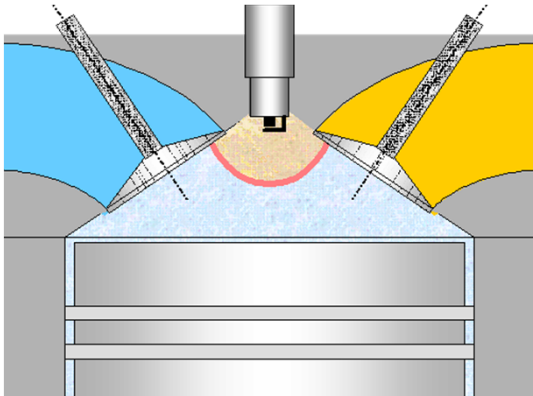
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

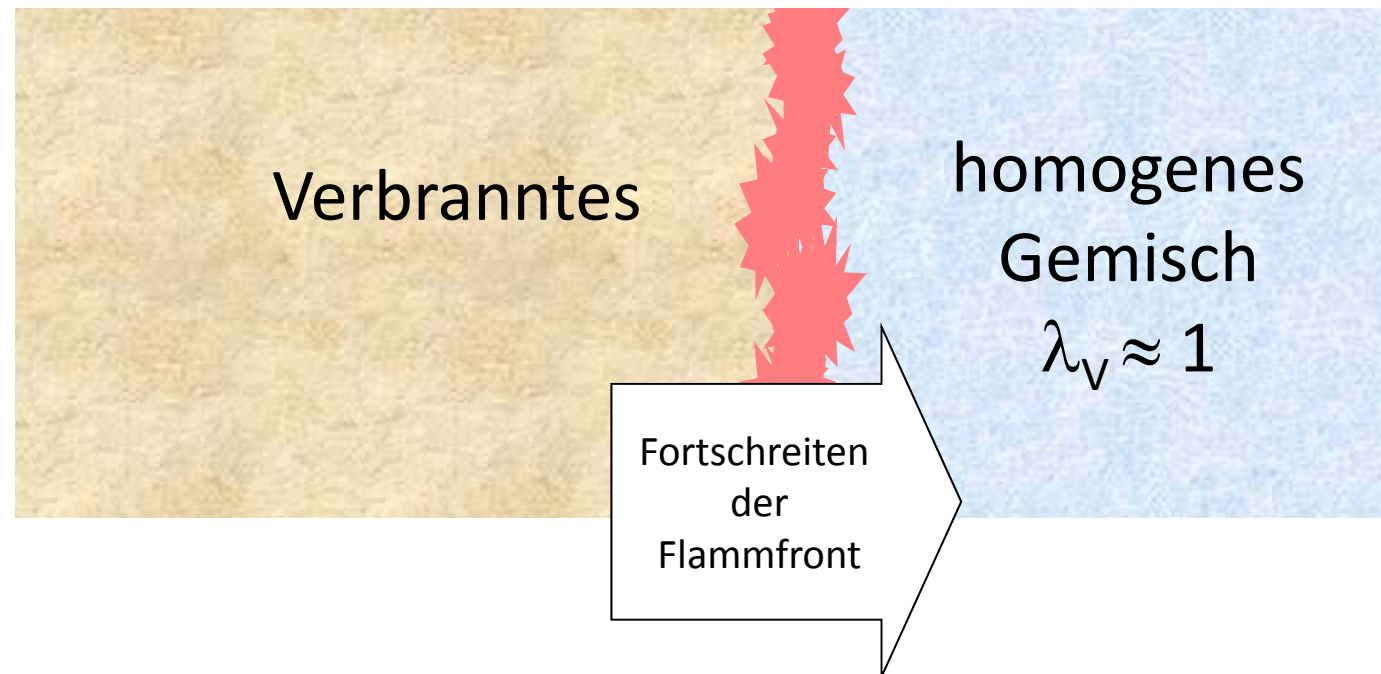
Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



- Homogenität
- Turbulenzen → (geringe) Faltungen an der Flammfront
- Einfluss auf Geschwindigkeit der Flammfront
- adiabate Flammtemperatur



Verbrennung Dieselmotor

Abgasschadstoffe

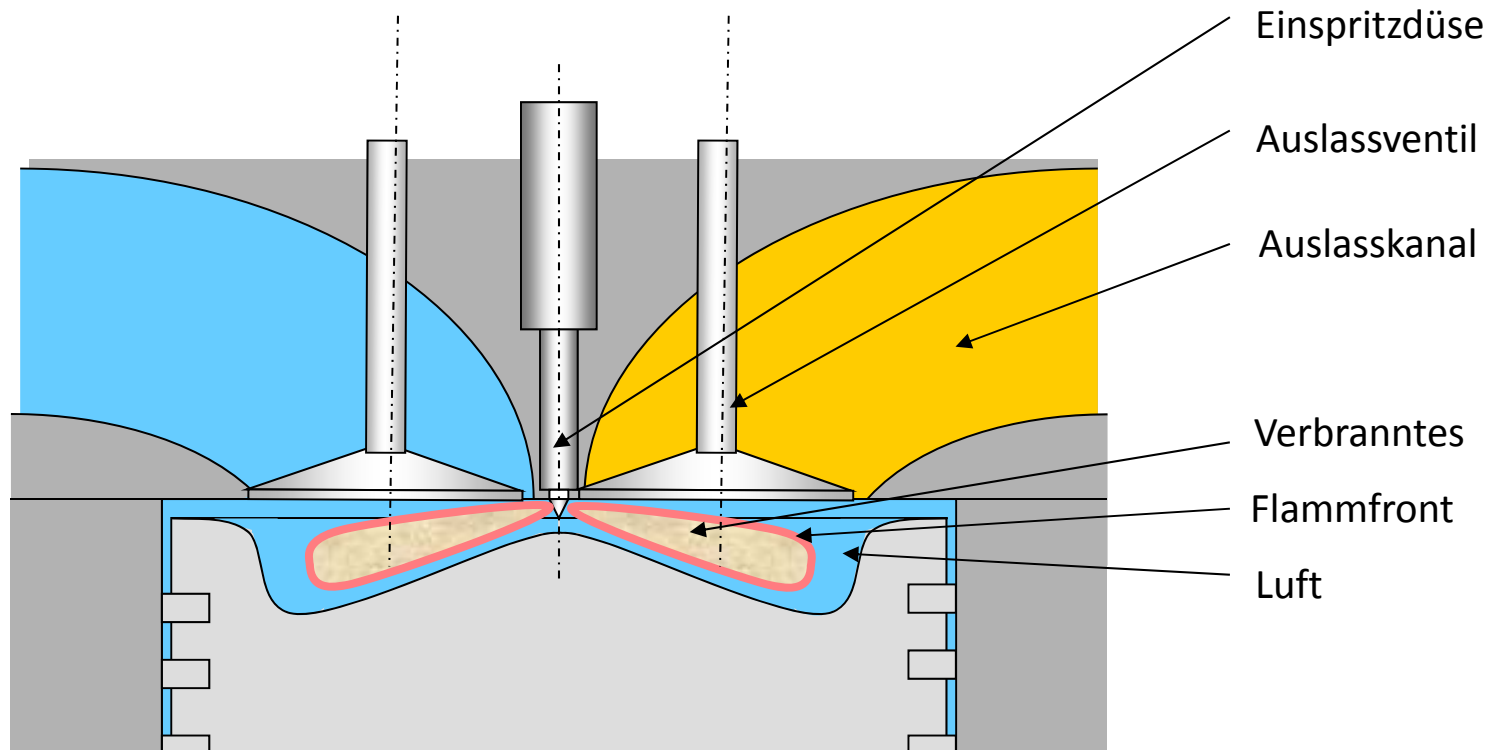
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

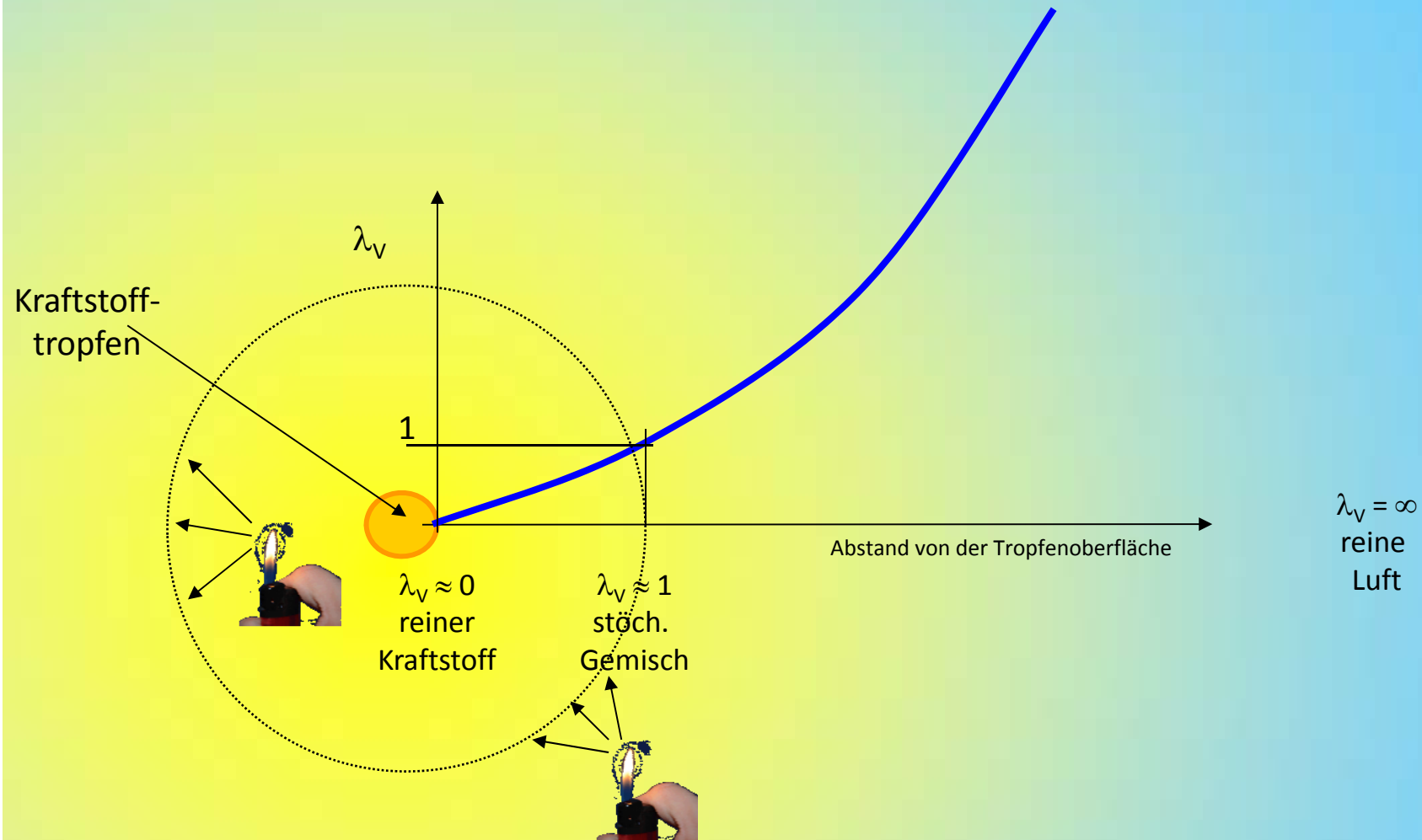
Ausblick



- Brennraummulde
- Vierventil-Bauart
- Einspritzdruck
- Zylinder-Innenströmung
- Luftefassung

Dieselmotor Verdampfung am Kraftstoff-Tröpfchen

Einführung	Wirkung	Entstehung	Reduzierung	Auswege	Ausblick
------------	---------	------------	-------------	---------	----------



Gemischbildung Dieselmotor: Strahlkeule

Abgasschadstoffe

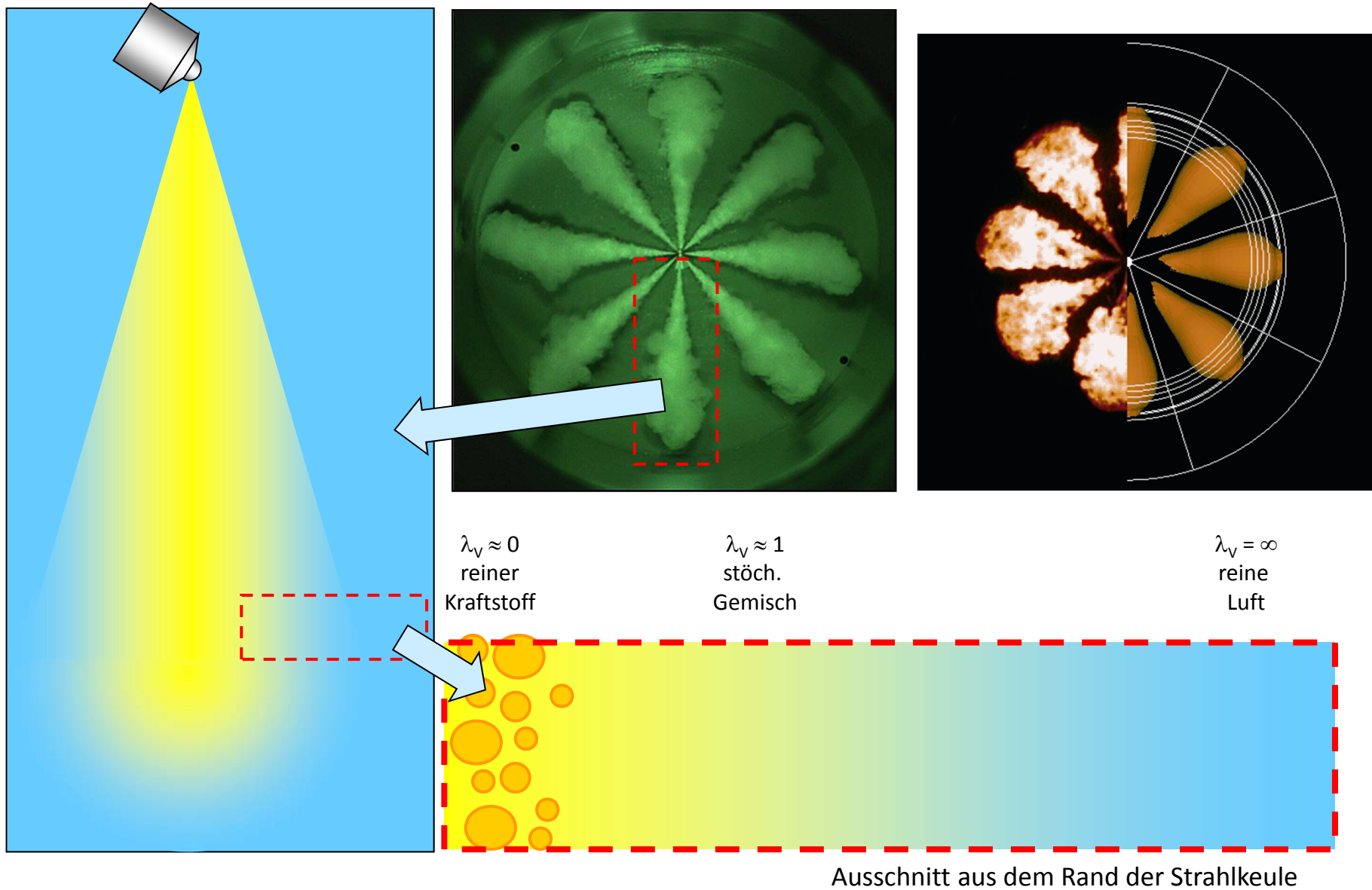
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Verbrennung Dieselmotor im Detail

Abgasschadstoffe

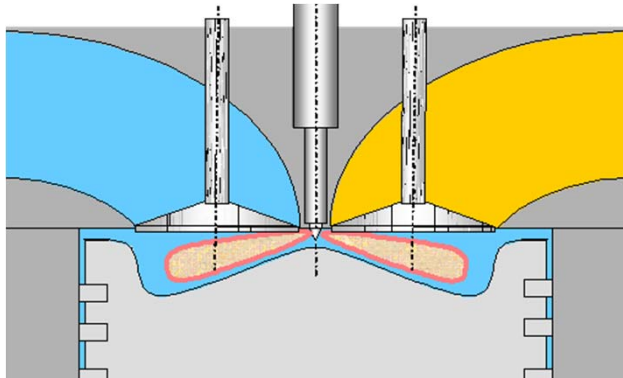
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

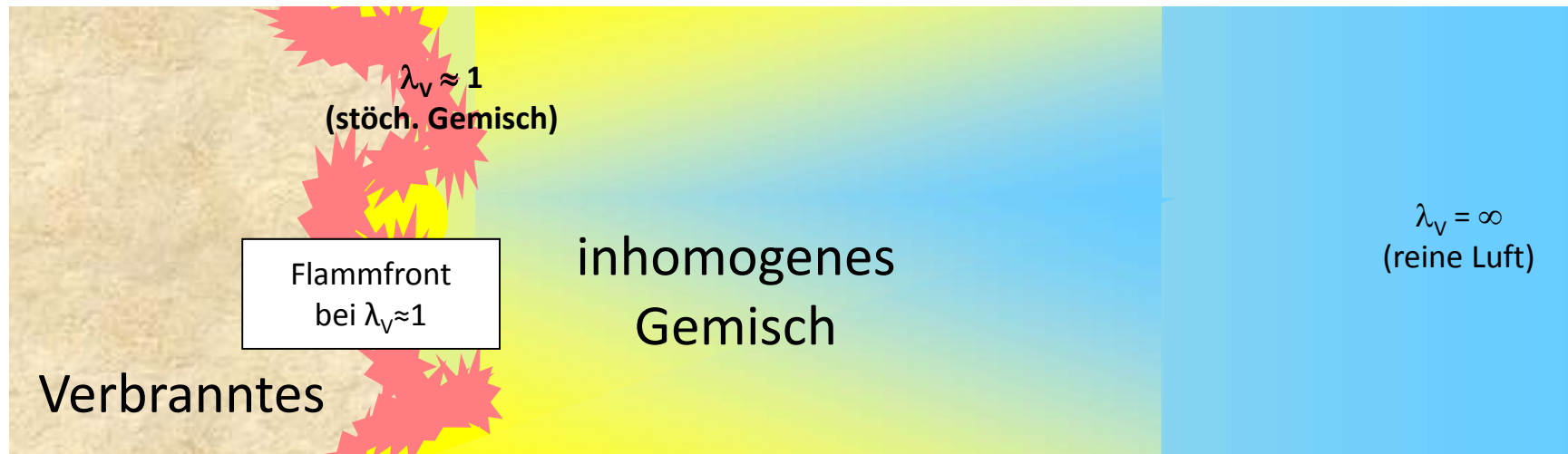
Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



- Gleichzeitigkeit von Gemischbildung und Verbrennung
- Turbulenzen → Faltungen an der Flammfront
- Flammfront pendelt sich im Bereich günstigster Randbedingungen ein
- adiabate Flammtemperatur



Dieselmotor: Schadstoffentstehung

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

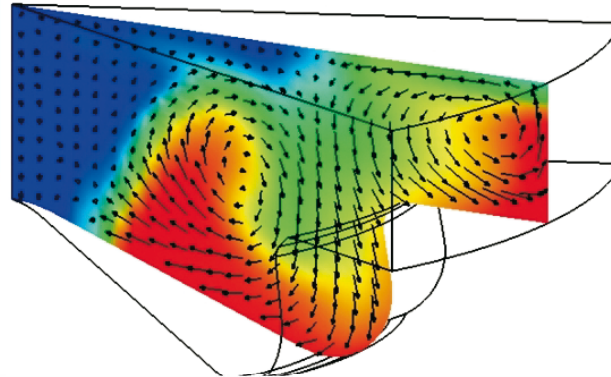
Wo „überleben“ VM?

Ausblick

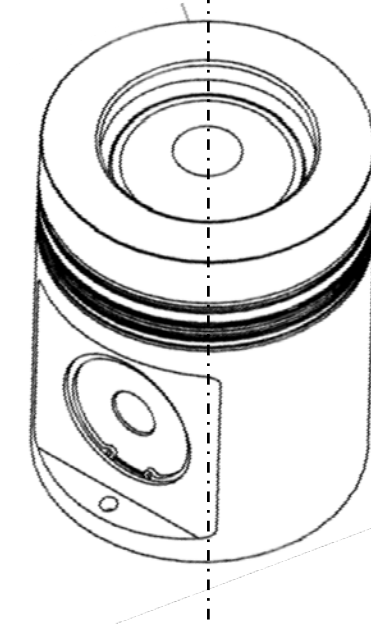
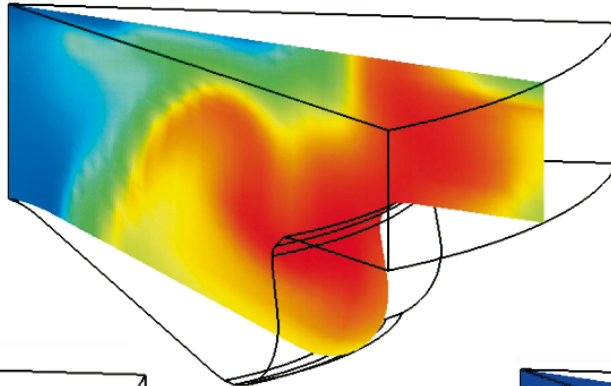


IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

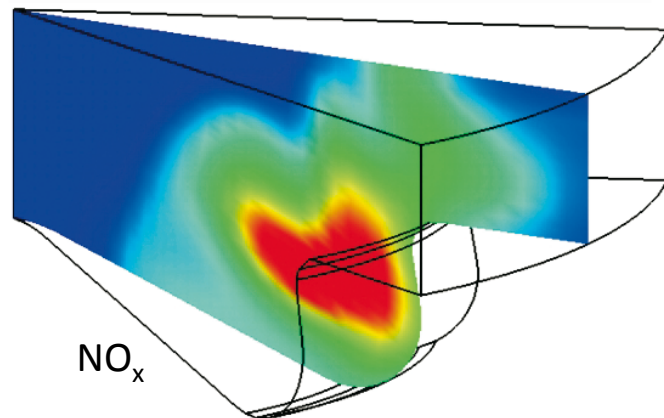
Ladungsbewegung (Pfeile) und
Gemischverteilung (rot=fett)



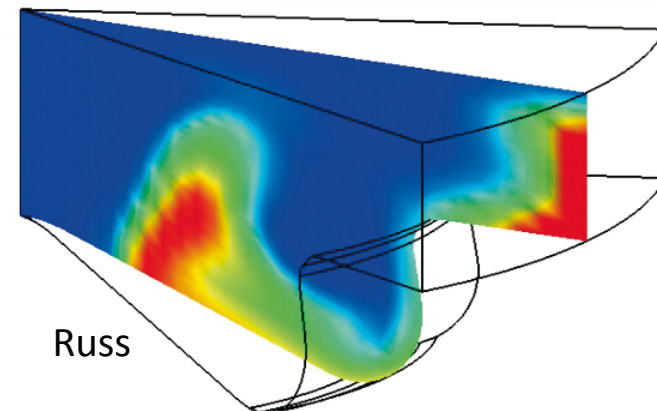
Temperaturfeld Brennraum



Quelle: MTU



NO_x



Russ

Verbrennung Dieselmotor: Detail Rußbildung

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

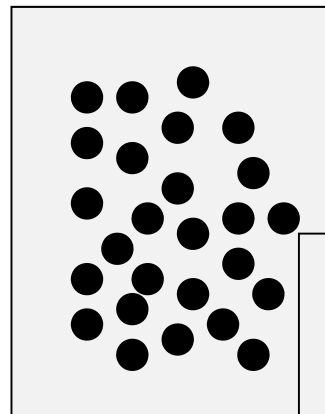
Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick

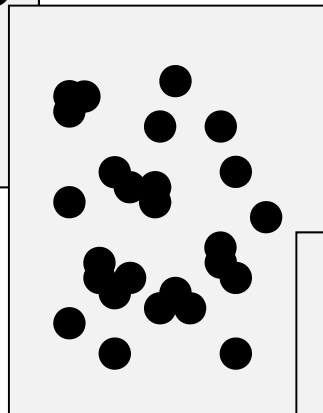


IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

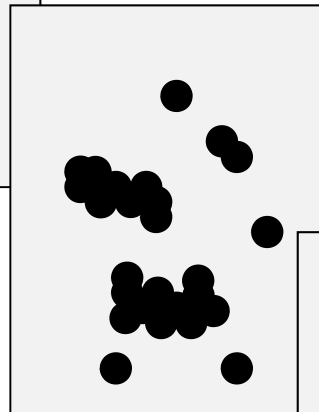


Dispersion

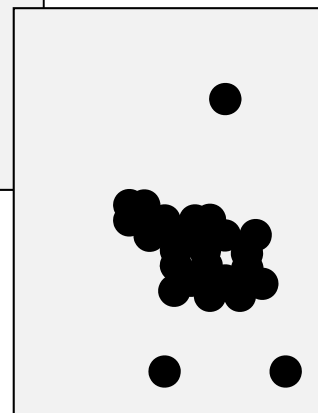
- Oxidation innermot. noch möglich
- Oberflächen-Volumen-Verhältnis noch günstig



beginnende
Koagulation
Haufen



fortgeschrittene
Agglomeration
(Ketten)



Feinstaub-“Flocken“

- Oberflächen-Volumen-Verhältnis ungünstig

Ruß = Feinstaub

entsteht in Verbrennungszonen
bei Luftmangel
bei Diffusionsverbrennung

lungengängige Partikel:

- Ablagerungen in der Lunge
- krebserzeugend
- Eintritt in die Blutbahn möglich
- Ablagerung im Gehirn

Zusammenfassung Dieselmotor - Schadstoffe/Perspektiven

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer



Dieselerbrennung ist prinzipiell also gaaanz schlecht



aber...

Man kann

- die Schadstoffentstehung beeinflussen (innermotorisch)
- die Schadstoffe aus dem Abgas entfernen (Abgasnachbehandlung)

Warum nicht gleich Ottomotoren?

Diesel- haben gegenüber Ottomotoren

- einen um ca. 30% besseren Wirkungsgrad
- ca. 30 % besseren Kraftstoffverbrauch
- ca. 20 % weniger CO₂-Emissionen (Kraftstoffzusammensetzung)

Denke an den
Flottenverbrauch!

Dazu kommt

- hohe Leistungen, Drehmomente
- Robustheit,
- billigerer Kraftstoff,
- Reichweite,
- Lebensdauer,...

Abgasschadstoffvermeidung - Einhalten der Grenzwerte

Abgasschadstoffminimierung Verbrennungsmotoren I

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

innermotorische Maßnahmen:

Rohemissionen

Otto- motor	Brennraumgestaltung <u>Verbrennungsführung:</u> Brennbeginn, -dauer, Verlauf der Energiefreisetzung in Abhängigkeit von der Kolbenbewegung	Zündzeitpunkt, Turbulenz, Zylinderinnen- strömung, Gemisch- Homogenität	Aufladeparameter: Ladelufttemperatur, Luftverhältnis Abgasrückführung: Rate, Temperatur		NO _x H _n C _m CO Partikel CO ₂
Diesel- motor		Einspritzbeginn, Zylinderinnen- strömung, Lufterfassung	Nacheinspritzung		NO _x H _n C _m CO Partikel CO ₂

Innermotorische Maßnahmen: trade offs

Abgasschadstoffe

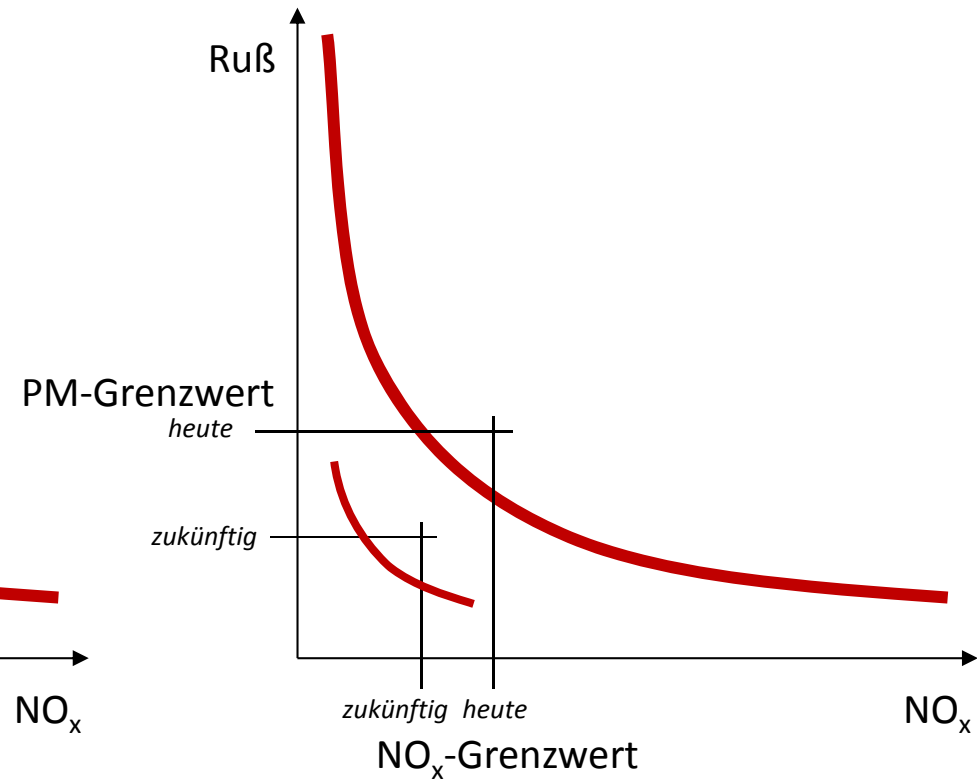
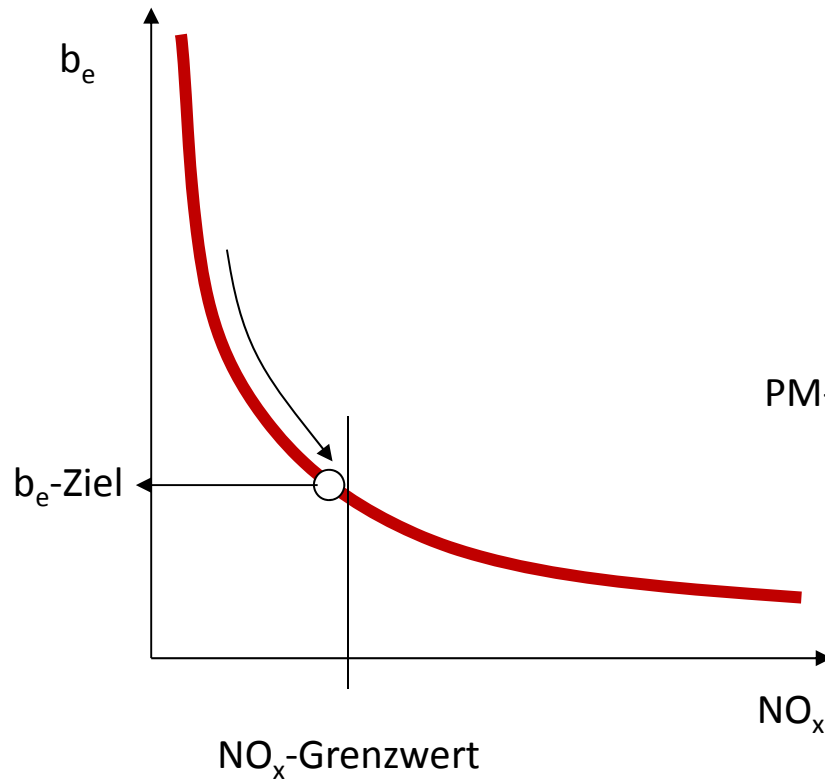
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

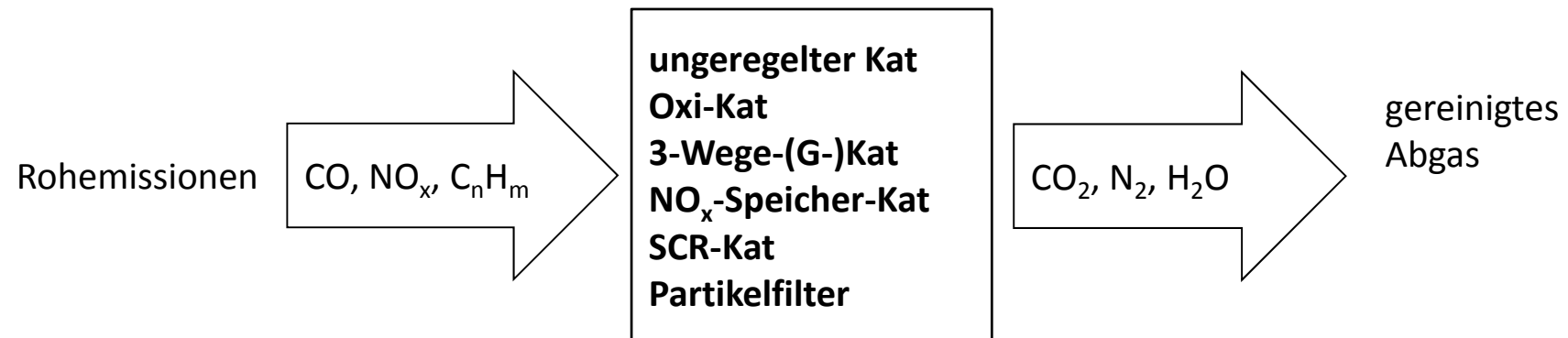
Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Abgas-Nachbehandlung: Katalysator und Filter



Randbedingungen*):
Gaszusammensetzung,
Temperatur,
Strömungsfeld,
Druck

SCR: selective catalytic reaction
AdBlue als zweiter Betriebsstoff

*) werden beeinflusst durch: Fahrzeug, Streckenverlauf, Fahrstil, Umwelt usw.

Zusammenfassung: Abgasschadstoffminimierung

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick

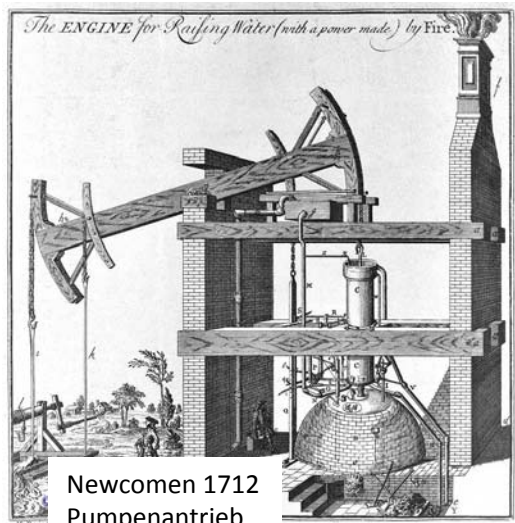


unvollständige Verbrennung		innermotorische Maßnahmen		Nachbehandlg.
CO	<ul style="list-style-type: none"> • lokaler Luftmangel • Dissoziation von CO₂ • Nachreaktion, Reduktion von CO₂ durch unverbrannte Kohlenwasserstoffen (C_nH_m) 	Otto und Diesel: Brennverlaufs-Gestaltung Otto: Optimales Luftverhältnis Diesel: Verbrennungs-luftverhältnis erhöhen (Achtung: mehr NO _x)	<ul style="list-style-type: none"> • Diesel: Luftefassung; optimale Zylinderinnenströmung • optimale Brennraumgestaltung • Minimierung C_nH_m-Emissionen 	Otto: 3-Wege-KAT Gas-Otto: Oxi-KAT Diesel: Partikelfilter
C_nH_m (HC)	<ul style="list-style-type: none"> • „Erlöschen“ der Verbrennung (z.B. Quench-Effekt) • Verdampfung von Schmieröl 		<ul style="list-style-type: none"> • optimale Brennraumgestaltung • Otto: beste Gemischhomogenität • Diesel: Luftefassung; optimale Zylinderinnenströmung 	
Partikel (Ruß)	<ul style="list-style-type: none"> • Verbrennung unter Luftmangel • thermisches Cracken von Kohlenwasserstoffen (z.B. aus Schmieröl) 		<ul style="list-style-type: none"> • Diesel: Luftefassung; optimale Zylinderinnenströmung • optimale Brennraumgestaltung • Minimierung Schmierölverbrauch 	

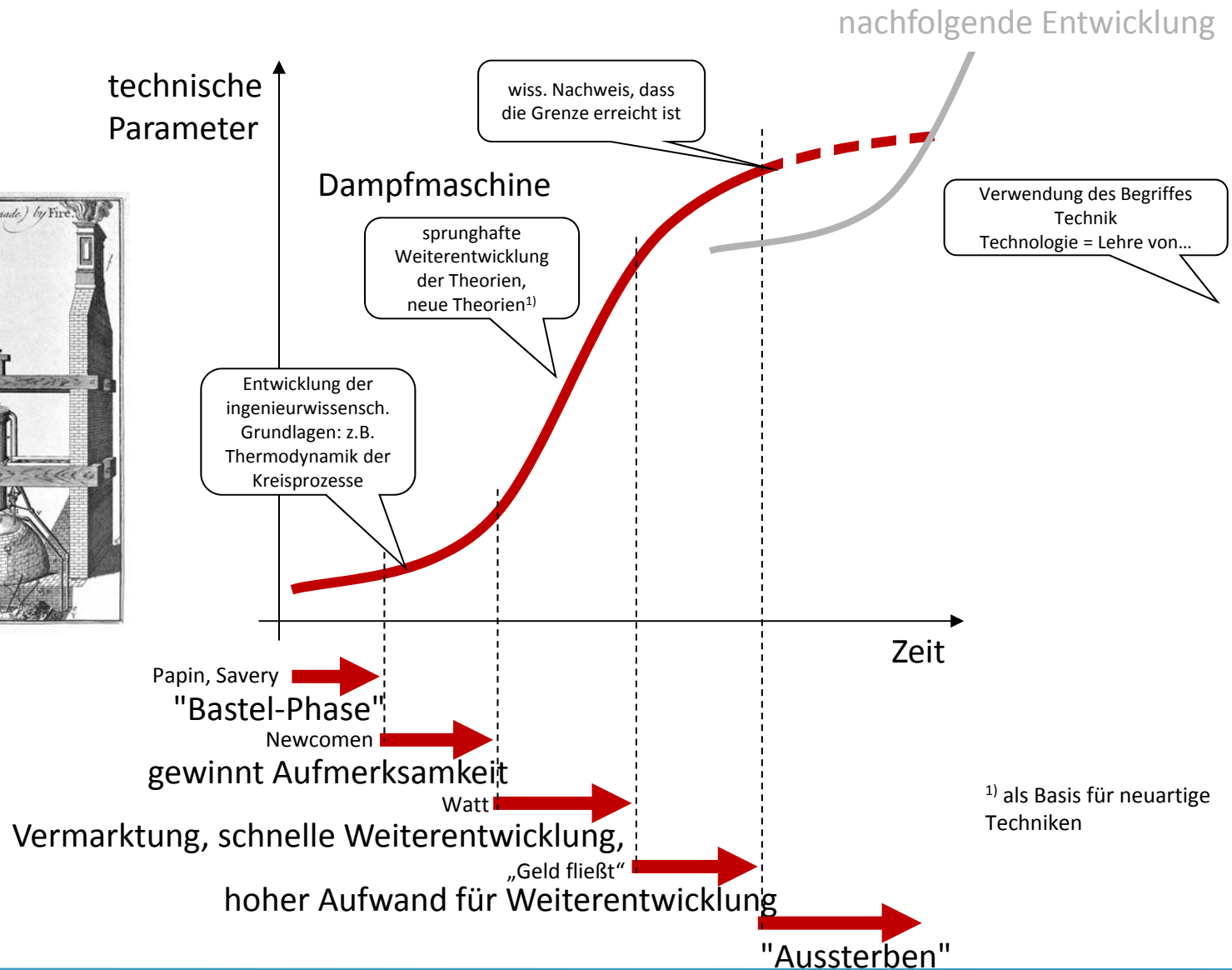
ungewollte Nebenreaktionen		innermotorische Maßnahmen		Nachbehandlg.
NO_x	<ul style="list-style-type: none"> • hohe lokale Reaktionstemperatur • lokale Konzentration von N₂ und O₂ • lange Verweildauer der Reaktionspartner 	Brennverlaufs-gestaltung Otto: Optimales Luftverhältnis Diesel: Verbrennungs-luftverhältnis senken	moderat. ε, Ladeluftkühlg.; Senkung d. Intensität d. Verbr. (AGR); Wasser- oder Emulsionseinspritzung Abgasrückführung, Gas-Otto: Magermotor schnelllaufende Motoren, höhere Drehzahl, kürzere Brenndauer (aber keine höheren T)	Otto: 3-Wege-KAT Diesel: Speicher-Kat, SCR
SO_x	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidation des Schwefels im Kraftstoff 		schwefelfreier (-armer) Kraftstoff	

Exkurs: Lebenslauf technischer Entwicklungen

Lebenslauf technischer Entwicklungen



Newcomen 1712
 Pumpenantrieb
 Bergwerk
 $\eta = 0,5\%$



Einfluss von Randbedingungen auf techn. Entwicklungen

Abgasschadstoffe | Otto- oder Dieselmotor? | Schadstoffminimierung | Exkurs | Wo „überleben“ VM? | Ausblick



Pool technischer Parameter
 Leistung
 Masse
 Volumen
 Verbrauch
 Emissionen
 Maintenance
 Lebensdauer
 Personalaufwand
 ...



Dampfmaschine

Beispiele:
 Dampfmaschine (Dampflokom) ↔ Verbrennungsmotor (Diesellokom)
 mechan. Uhren (namh. Hersteller im Schwarzwald) ↔ japan. Digitaluhren
 Flugmotoren: Kolbenmaschinen ↔ Strahltriebwerke
 Windjammer ↔ Dampfschiffe
 Entwicklung Verbrennungsmotoren (Diesel), heute Endphase
 Ablösung durch e-Mobile?

Zeit

Beachte zusätzlich:
 diese Abläufe können durch
 sprunghafte Änderungen
 der Randbedingungen
 "gestört" werden.

Wirkung:
 Wichtungen im Pool der
 technischen Parameter
 verschieben sich, manchmal
 drastisch und plötzlich

(Bspl. Concorde → Ölkrise d. 70er,
 Lakehurst, Challenger, Fukushima)

Es gibt Einflüsse

- von innen
 (techn. Entwicklung des Systems ¹⁾) und
- von außen
 (Veränderung der Randbedingungen)

¹⁾ drastische und plötzliche Verbesserungen techn. Parameter sind (heute) eher selten

Technische Entwicklung: Weitere allgemeine Phänomene

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick

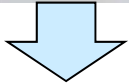
1



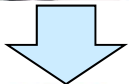
1880:
Pferdekutsche



1885: Benz
Motorwagen



2015: Automobil mit
Verbrennungsmotor
heute

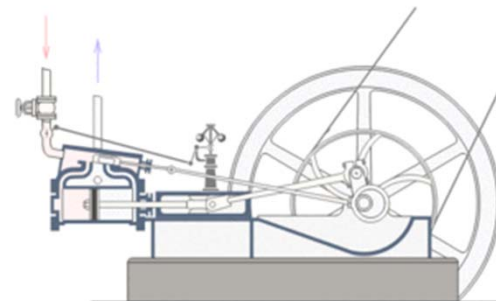


E-Mobil der Zukunft

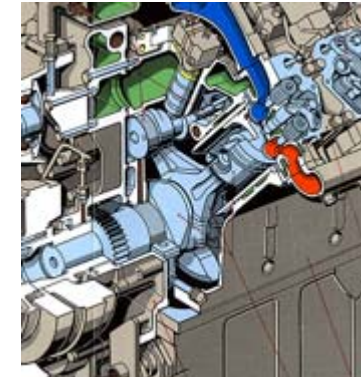
muss nicht zwangs-
läufig so ausse-
hen wie
Verbrennungsmotor-
Autos heute

2

Manche Konstruktions- und Wirkprinzipien
werden übernommen und lange beibehalten



Kolben-Pleuel-Kurbelwelle



3

Neue Techniken werden zuerst in
großen Einheiten eingesetzt (Beispiel
Aufladung)

- Wirkung dort am größten
 - Kosten weniger
und werden dann auf kleinere
Einheiten adaptiert
- Kostensenkung durch Masseneffekt

Motor als Einrichtung zur Wandlung in mechan. Energie

Abgasschadstoffe

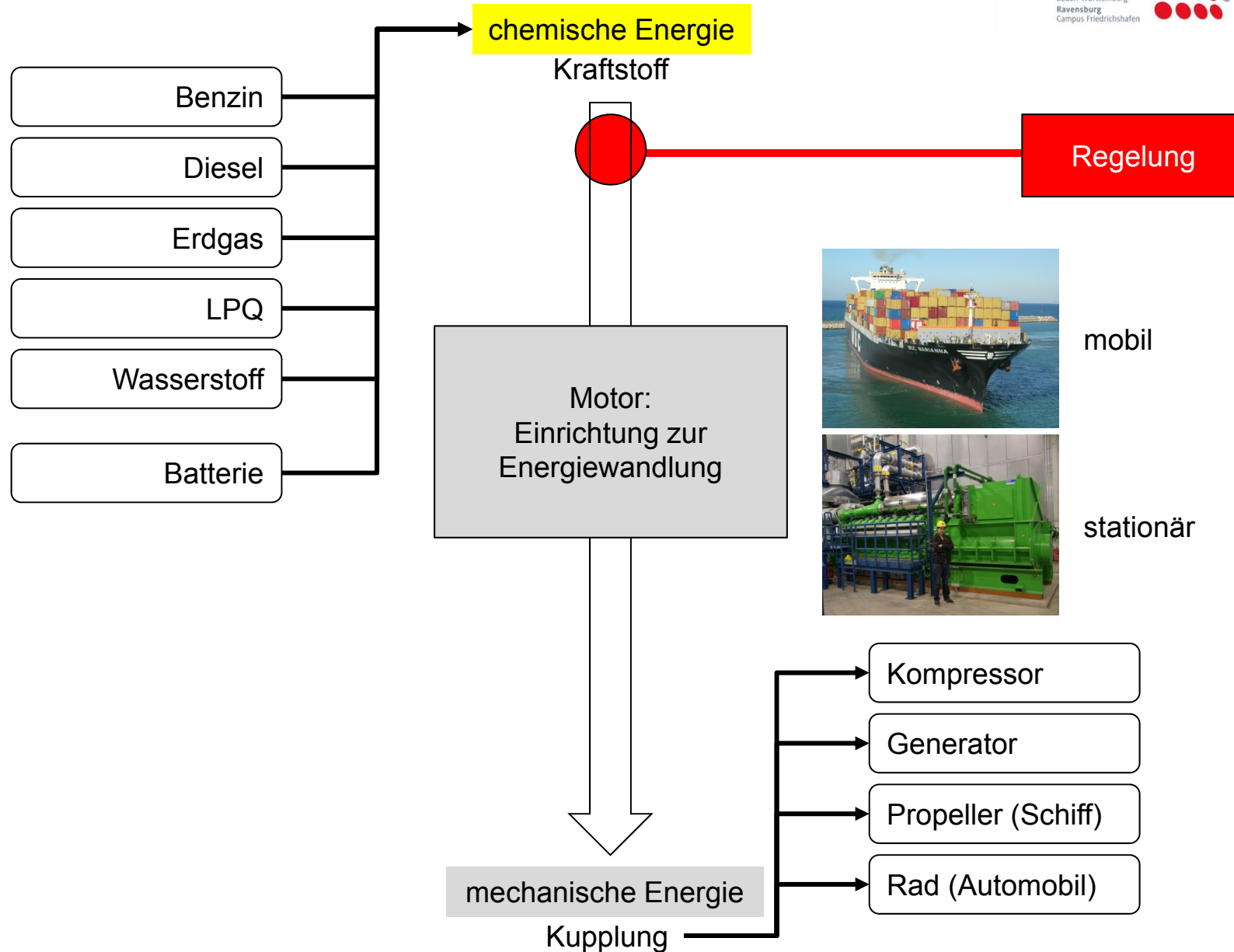
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Die Einfachheit des ersten Automobil-Verbrennungsmotors

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

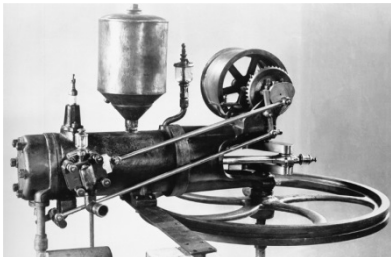
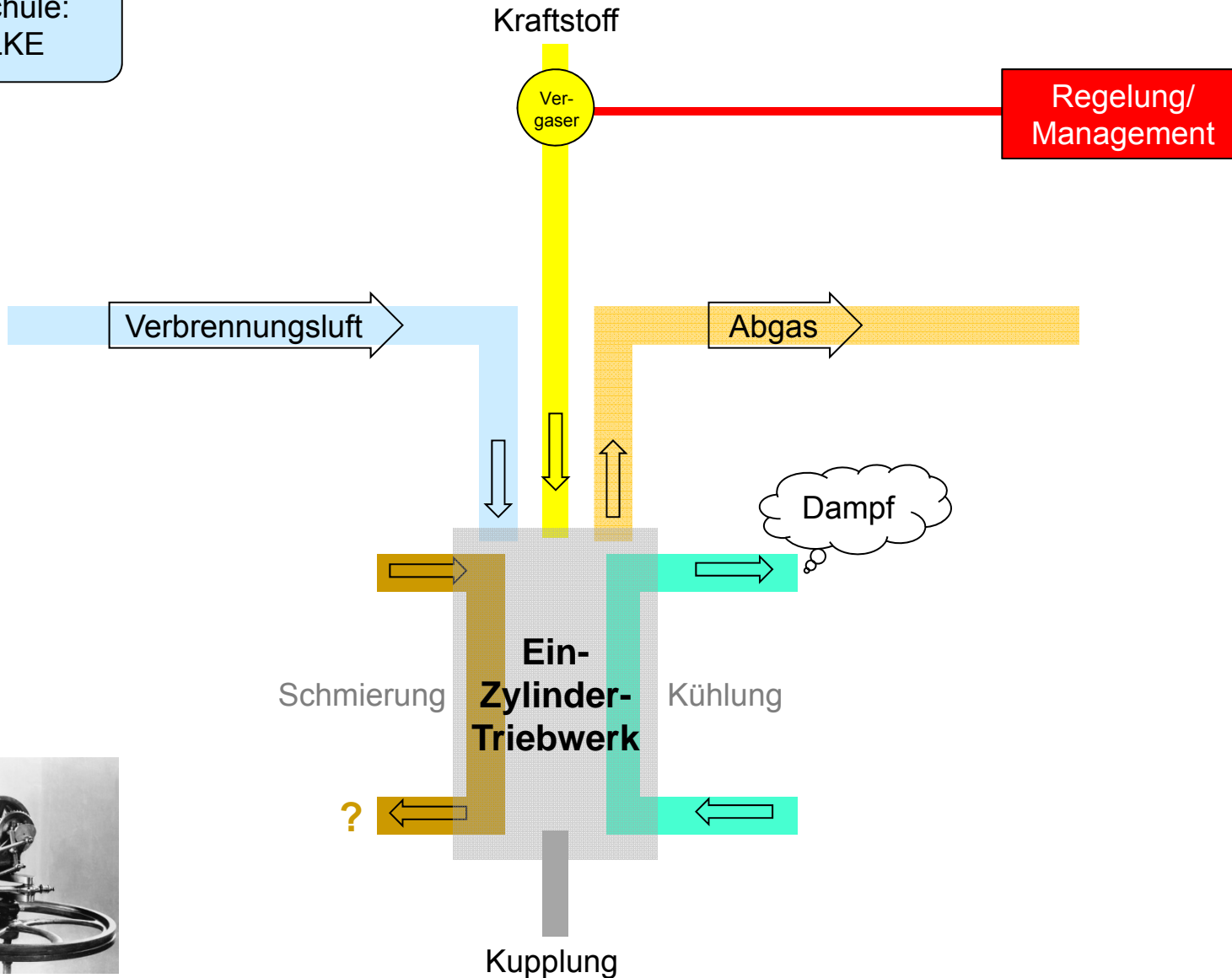
Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick

Fahrschule:
WOLKE



Die Komplexität des Verbrennungsmotors heute

Abgasschadstoffe

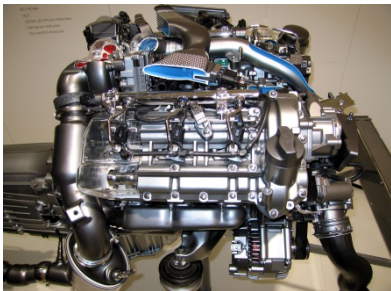
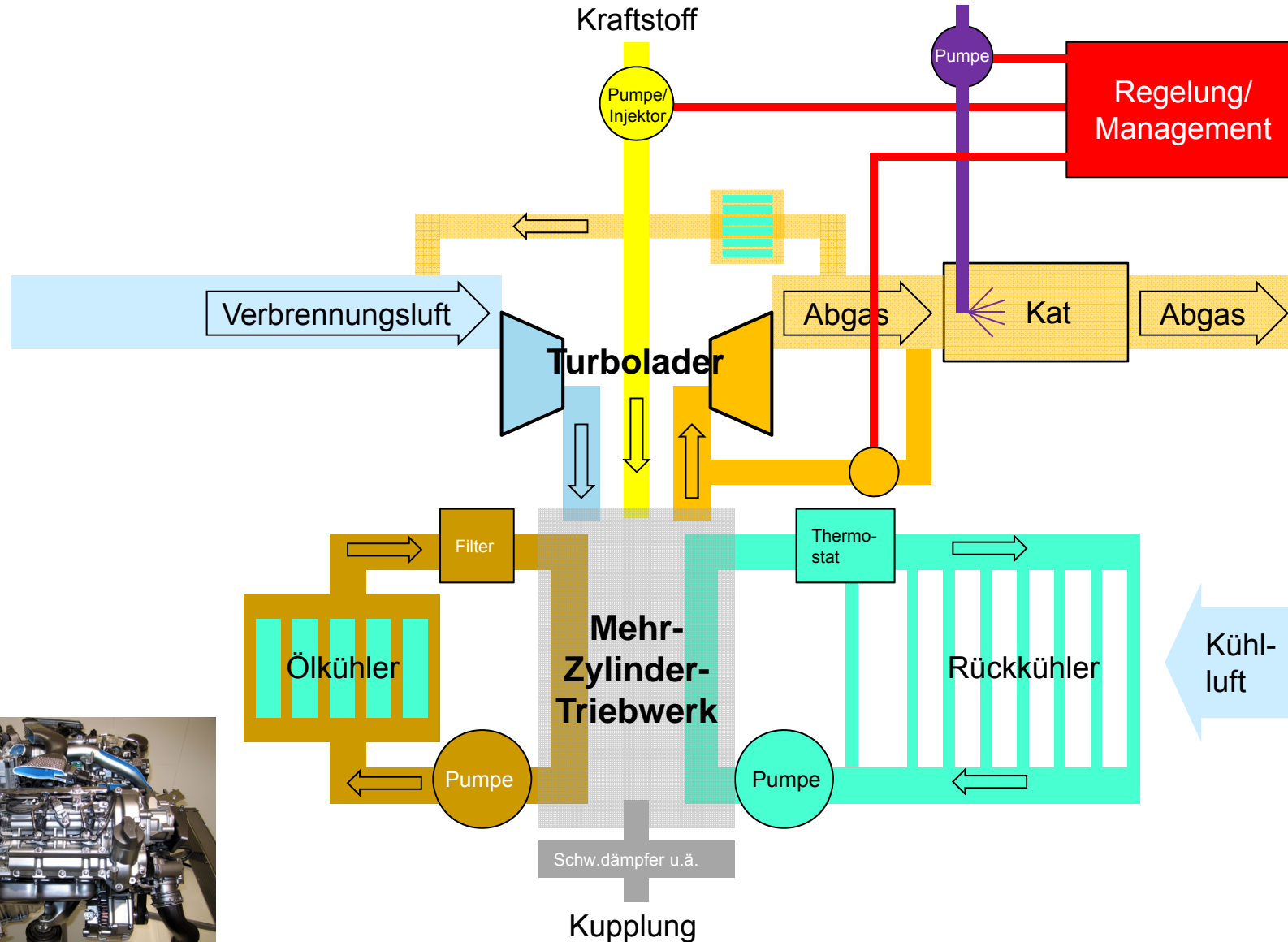
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Die Einfachheit der ersten E-Automobile heute

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

Akku
Strom

Regelung/
Management

Fahr-
motor
am Rad

Kühl-
luft



Das „Aussterben“ von Hubkolben-Verbrennungsmotoren

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick

50er Jahre Lockheed Constellation → 4 Kolbenmotoren



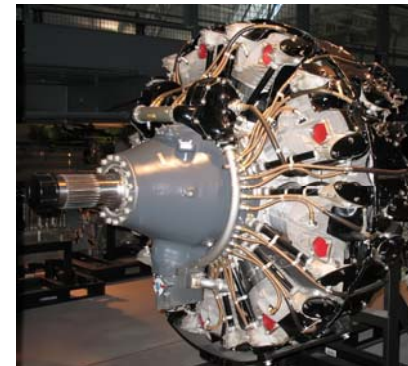
die „beste Dreimotorige der Welt“

heute A 330 → Twinjet



schneller
effizienter
spezif. leichter
leiser

End-60er: Gasturbinen **hype** damals: Schiffe, Lokomotiven, Auto,



bis zu 2800 kW
bei 2800 U/min
s=155 mm
D= 160 mm
eps = 6,85
luftgekühlt
Trockensumpf
1200 kg

4 x Curtiss-Wright R-3350-BD1,
luftgekühlte 18-Zylinder-Doppelsternmotoren,

- Benzin-Direkteinspritzung
- Magnesium-Kurbelgehäuse
- 100- bzw. 130-Oktan-Kraftstoff
- 12 Turbocompound-Turbinen mit Fluidkupplung
- 72 Kolben
- 216 Kolbenringe (?)
- 144 Ventile (2 Ventiler)
- 288 Ventildfedern (?)
- ...

konstruktiver Aufwand

Abstimmung

Wartung

Ausfallwahrscheinlichkeit ...

Wo „überleben“ Verbrennungsmotoren?

Verbrennungsmotoren in stationären Systemen

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick

Das System ist ortsfest installiert und erhält Energie über „Leitungen“

Aspekte/zu beachten:

Emissionen (k.o.-Kriterium!)

Energiebedarf:

Strom +

(Prozess-)Wärme

mechan. Energie

Betrag der Leistung

Wirkungsgrad (Verbrauch)

Betriebsmittelkosten

Wartungsaufwand

Zuverlässigkeit

Lebensdauer

CO₂-Footprint



- Mittlere bis große Anlagen
z.B. Abgasnachbehandlung fällt weniger ins Gewicht
- Gasmotoren mit besseren Rohemissionen im Kommen
- Dezentralität
- Autarkie
- Verbrennungsmotoren haben hohen Systemwirkungsgrad
- Ausgleich von Last- und wetterabhängigen Versorgungsschwankungen (Wind/Sonne) (Speicherung?)

Verbrennungsmotoren in mobilen Systemen

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

Das mobile System muss die erforderliche Energie „an Bord“ haben ¹⁾

wichtig: erf. Leistung und Energiespeicher

Aspekte/zu beachten:

Emissionen (k.o.-Kriterium!)

Leistungsbedarf

Reichweite (Energiedichte d. Speichers)

Wirkungsgrad

Komfort (Tankstellennetz)



100 MW (?) → 330 m³ Kerosin



20 MW → 100m³ Schweröl



2000 kW → 2...5 m³ Diesel



1000 kW → Depotbetrieb möglich!



300 kW → 300 l Diesel → 3000 kWh



100 kW → 70 l Diesel → 700kWh



30 kW → Akku → 30 kWh

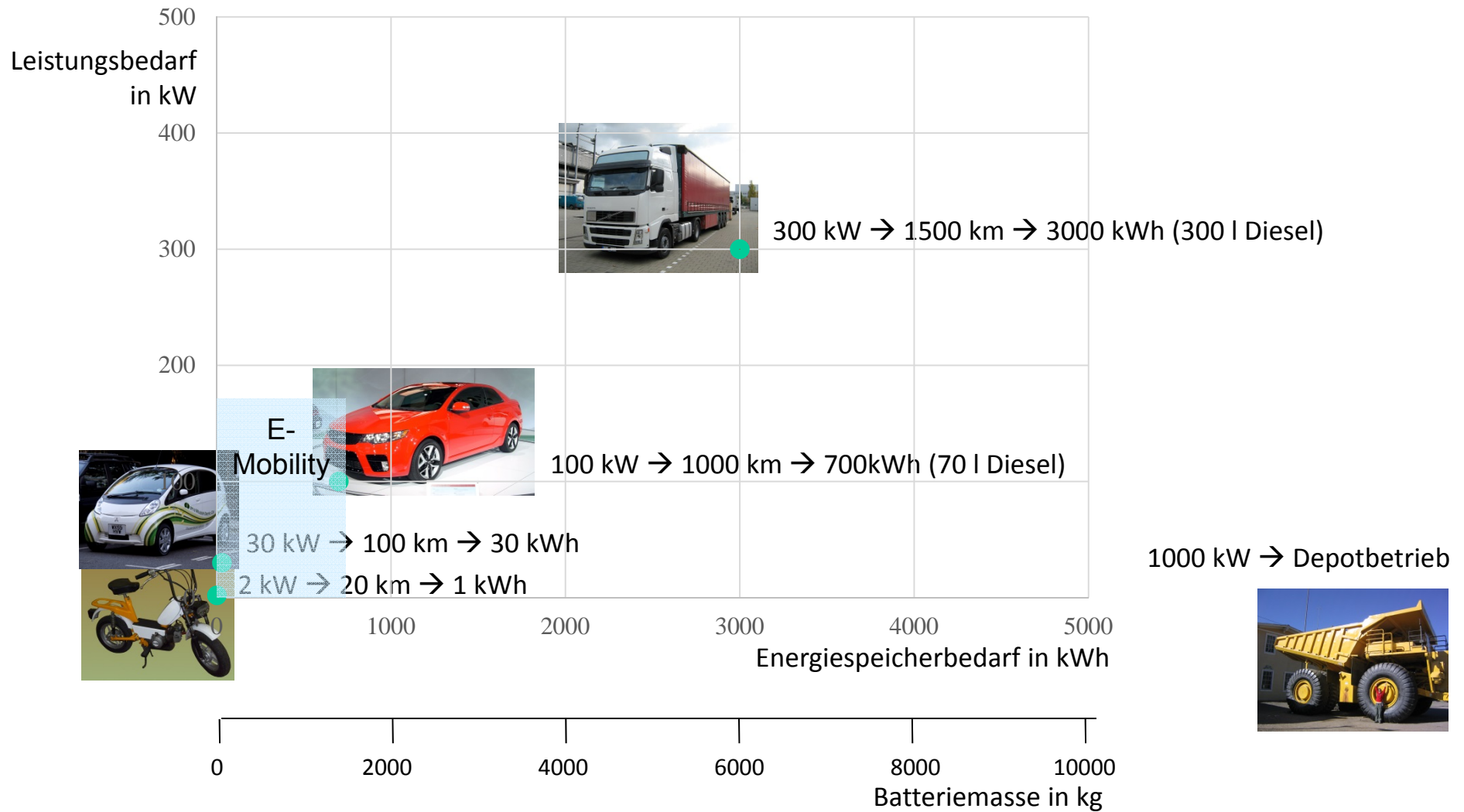


2 kW → Akku → 1 kWh

¹⁾ Ausnahme Oberleitungs- und Stromschienensysteme

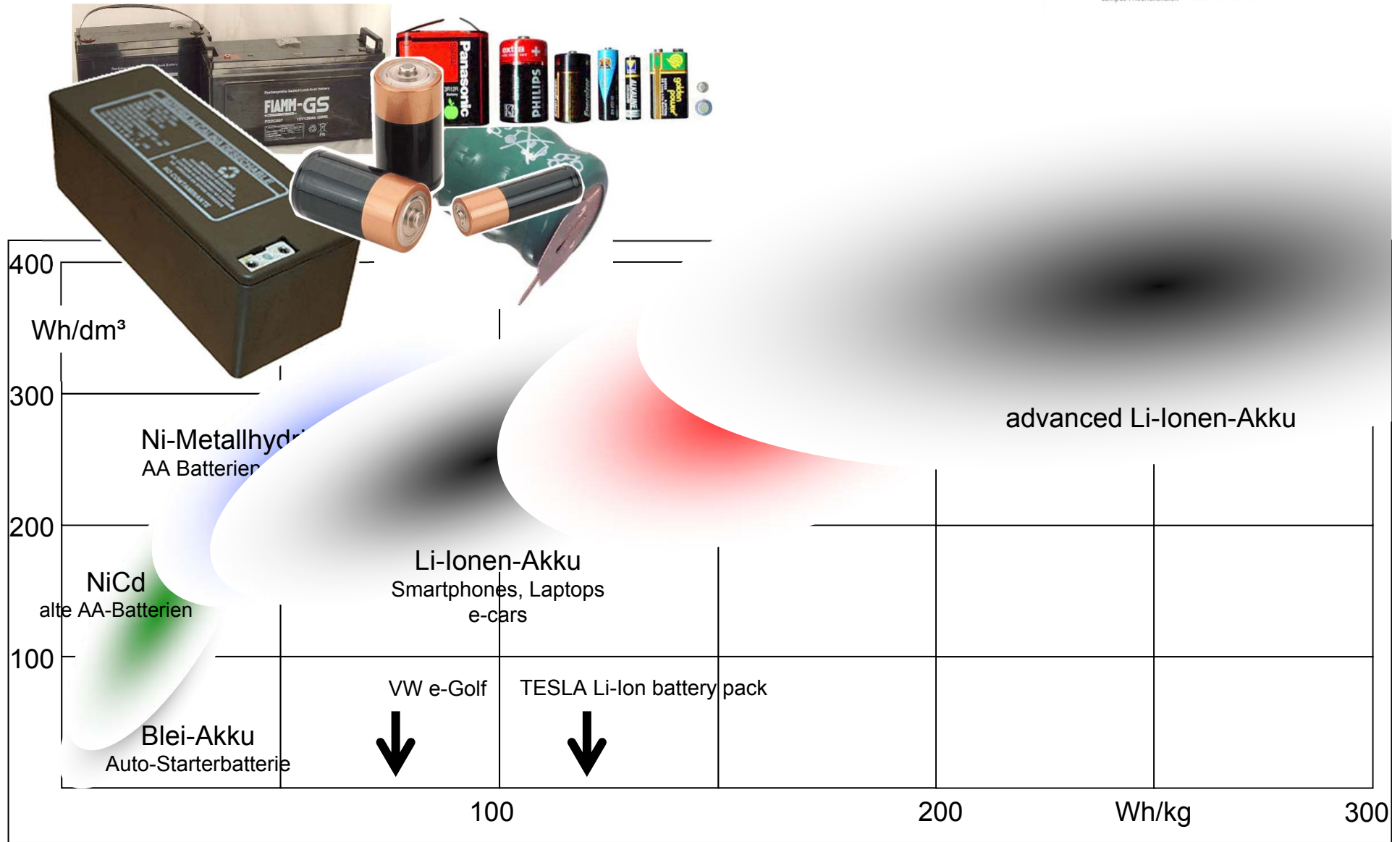
Einsatzbereiche mobiler Systemen (E-Mobility und VM)

Abgasschadstoffe | Otto- oder Dieselmotor? | Schadstoffminimierung | Exkurs | Wo „überleben“ VM? | Ausblick



bei 500Wh pro kg, modernste Batterie-Technik!

Speicherung elektrischer Energie (E-Fahrzeuge)



Energiespeicherung in „chemischen Verbindungen“

Abgasschadstoffe

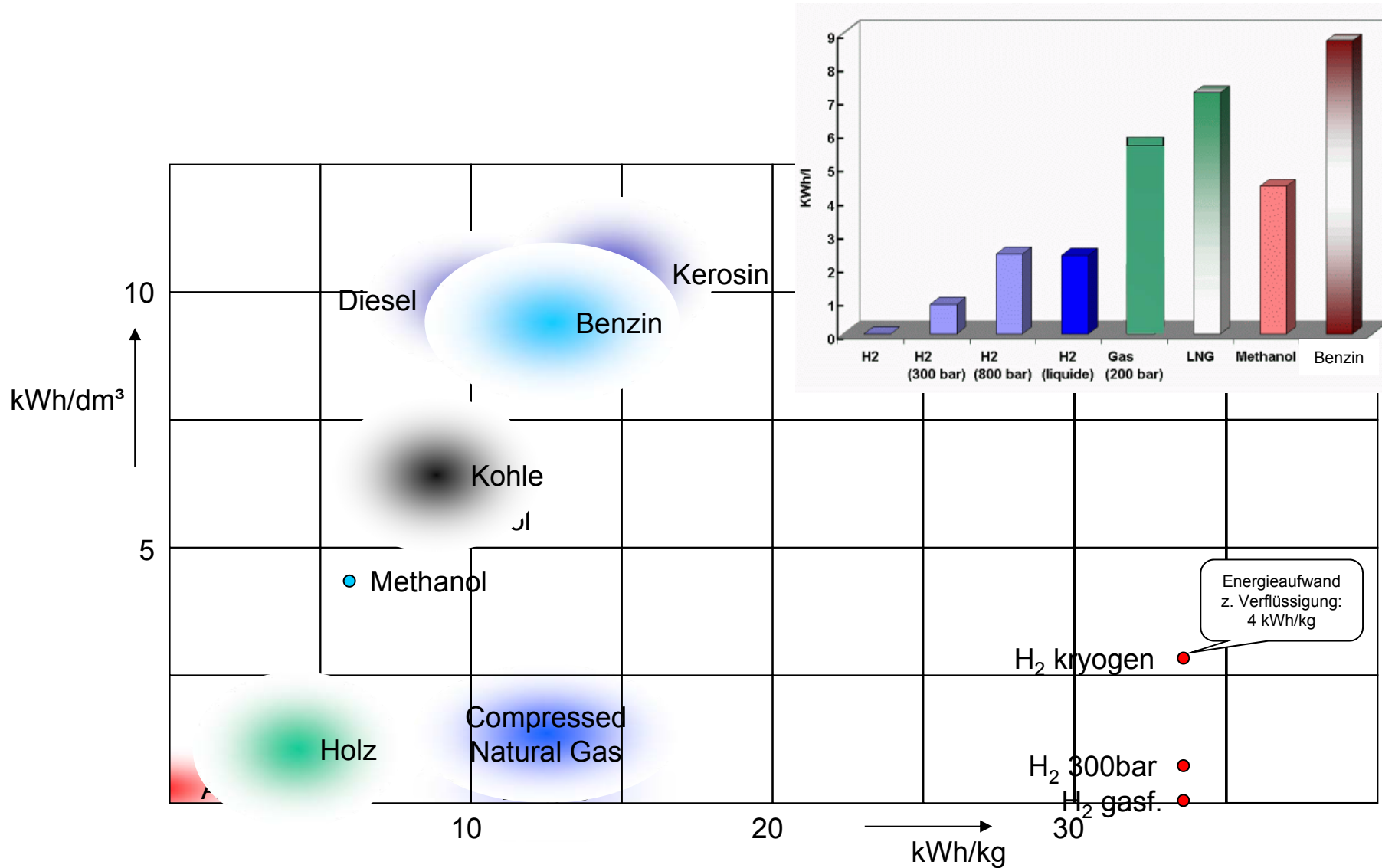
Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

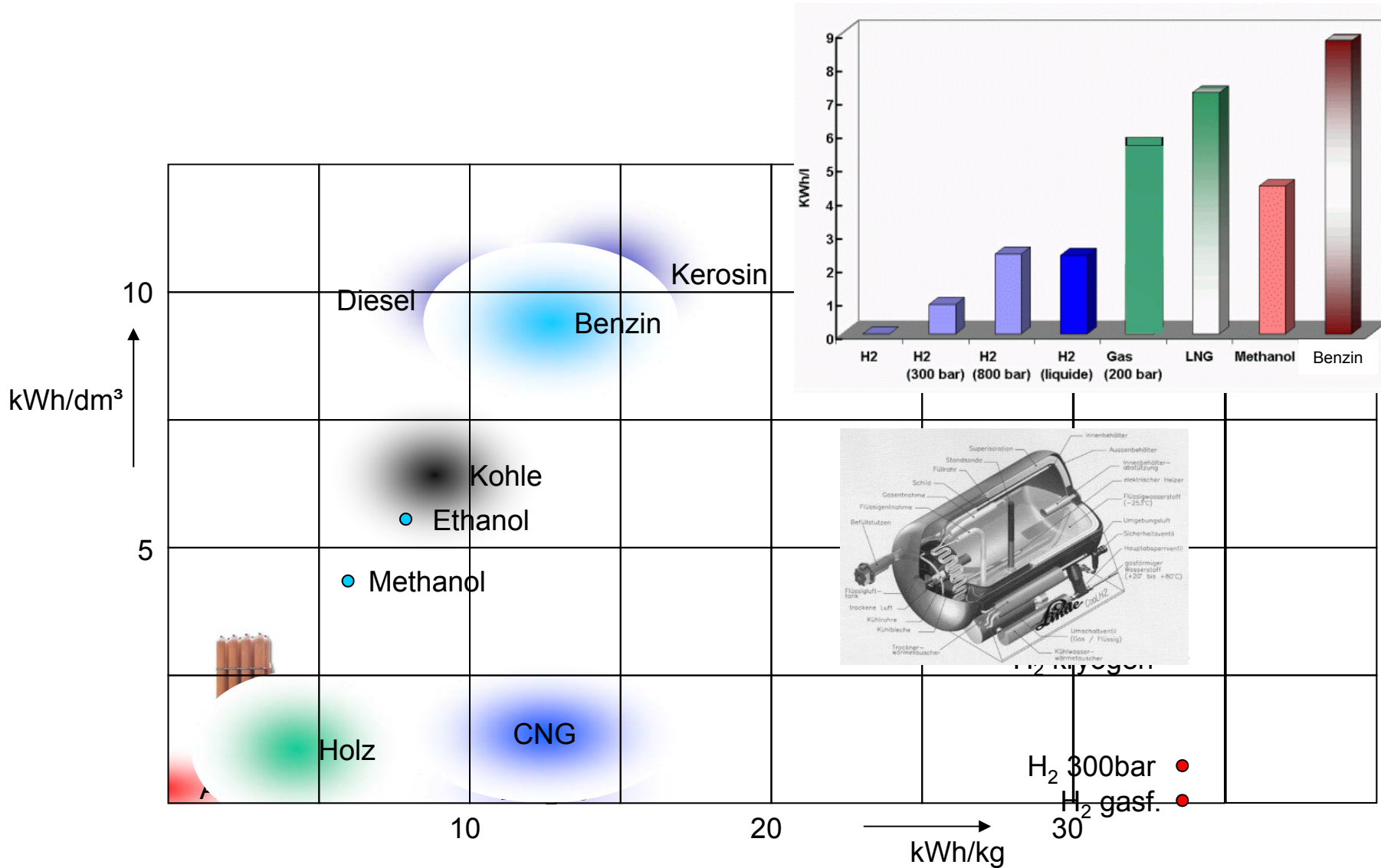
Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Energiespeicherung in „chemischen Verbindungen“



Ausblick

Kernaussagen und Prognosen I

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

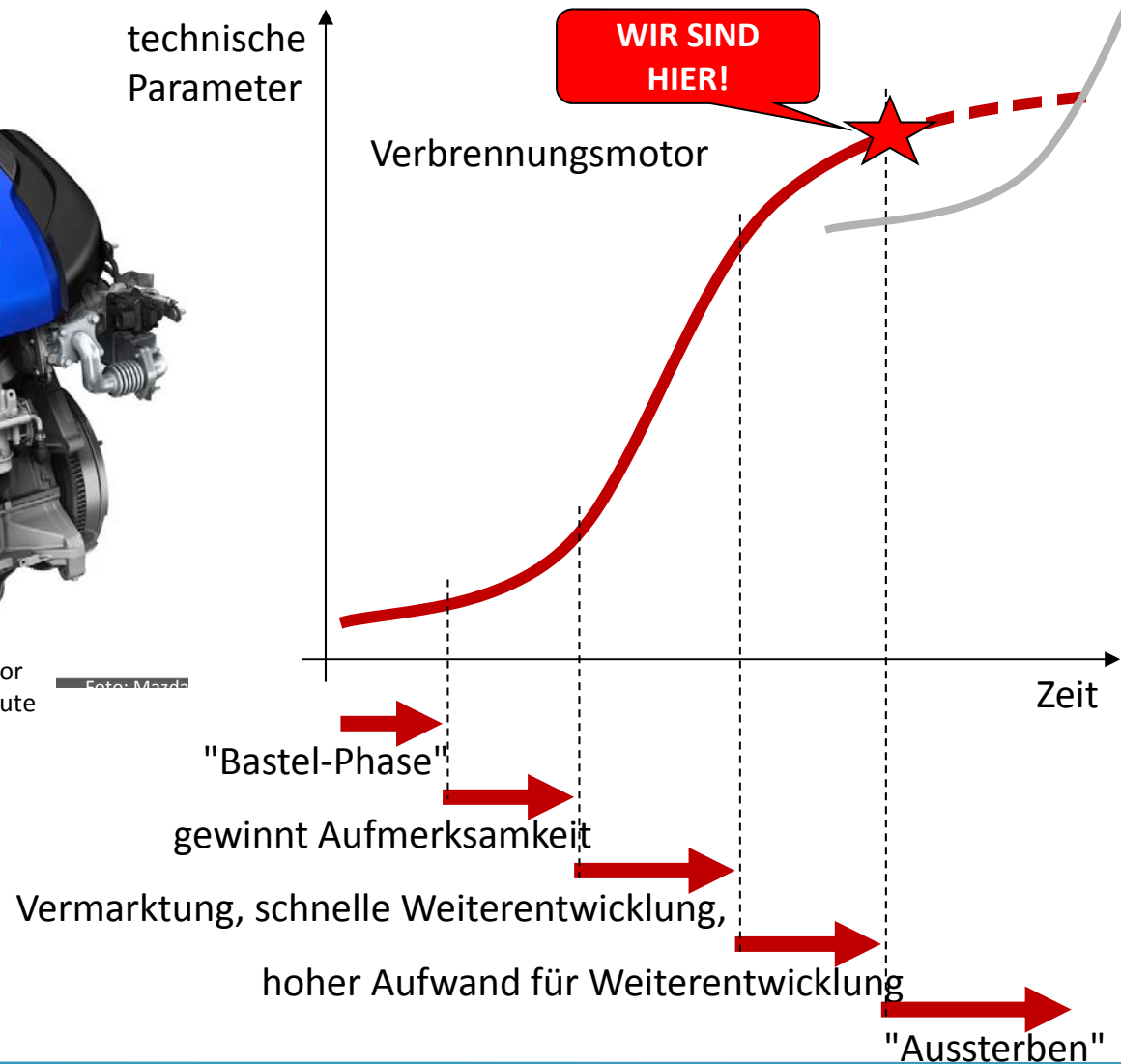
Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Dieselmotor EURO6 heute

Foto: Mazda



Kernaussagen und Prognosen II

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

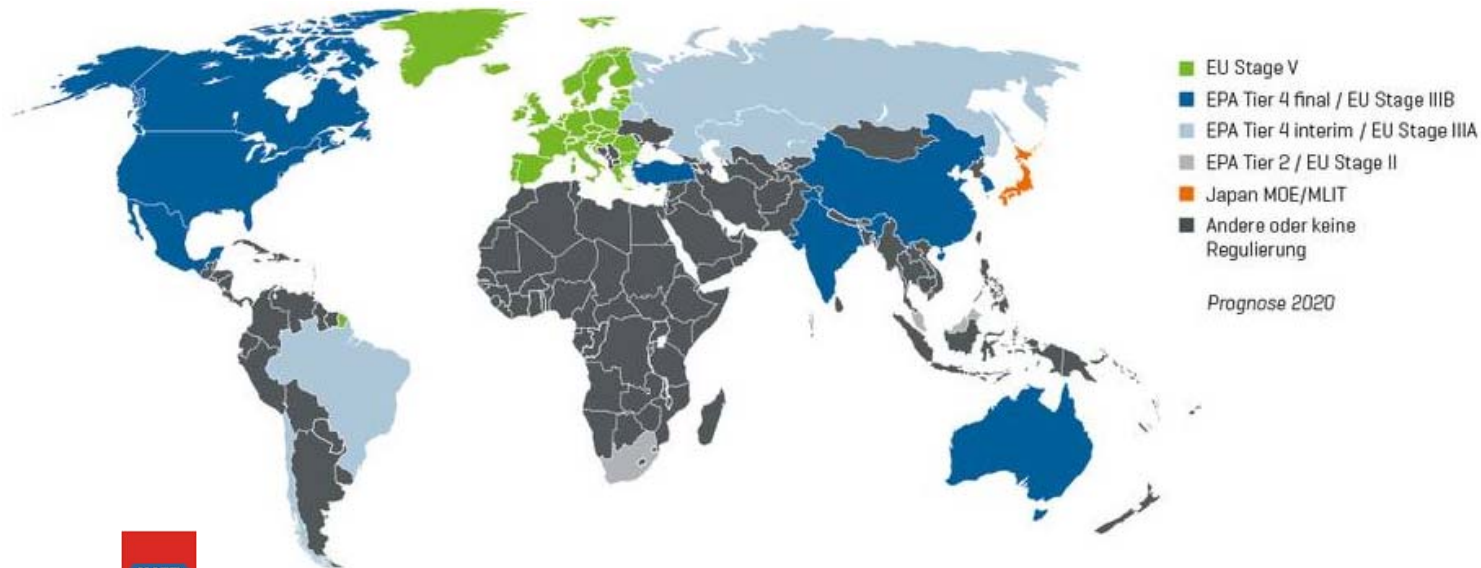
Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

Nebeneinander existieren mehrere Lösungen, abhängig von

- Einsatzparametern
- lokale Anforderungen (Gesetzgebung)



Quelle:



mobil



stationär



Kernaussagen und Prognosen III

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



IWT
Institut für Weiterbildung,
Wissens- und
Technologietransfer

Ersatz von PKW-Verbrennungsmotoren durch E-Antrieb ist möglich und wird kommen, weil

- umweltfreundlicher
 - einfacher
 - effizienter (Rekuperation)
 - kostengünstiger (in Zukunft)
- Der Prozess beginnt bei kleinen Einheiten weil Vereinfachung, weniger Aufwand
 - passend zum Einsatz in Ballungsgebieten (kurze Strecken, Stadtverkehr)
 - ökologisch sinnvoll aber nur mit regenerativ erzeugtem Strom

fördernd (oder hemmend):

- E-Tankstellennetz und/oder Batterielogistik (austauschbare Standardbatterie)
- Park and Ride mit E-Automobilen
- Depotbetrieb (Busse, Müllfahrzeuge, Post)



Autobahn 8 bei Stuttgart.

dpa/Sebastian Kehnert

Quelle: DPA

E-Autos werden an den E-Antrieb angepasst, werden „anders aussehen“

Kernaussagen und Prognosen III

Abgasschadstoffe

Otto- oder Dieselmotor?

Schadstoffminimierung

Exkurs

Wo „überleben“ VM?

Ausblick



Bei

- stationären Anlagen (dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung)
- großen mobilen Einheiten und
- „auf dem flachen Land“ (und auf See)
- in Regionen mit moderater Abgasgesetzgebung

bleibt der Verbrennungsmotor dominant

- ggf. mit aufwändiger Abgasnachbehandlung
- vielleicht mit alternativen Kraftstoffen (regenerativ erzeugt)
- Gasmotoren spielen eine zunehmende Rolle

Batterien sind und bleiben zu schwer für mobile Systeme
stationär: Verbrennungskraftmaschinen für Grundlast
(Strom und Wärme dezentral), regenerative Energieerzeugung
wetterabhängig



**Danke für die Aufmerksamkeit,
Prof. Lux Dank für die fachliche
Unterstützung
IWT Dank für die Ausrichtung der
Veranstaltung**

Quelle für Bilder ohne Quellenangabe: www.wikipedia.de. Dank an Wikipedia.