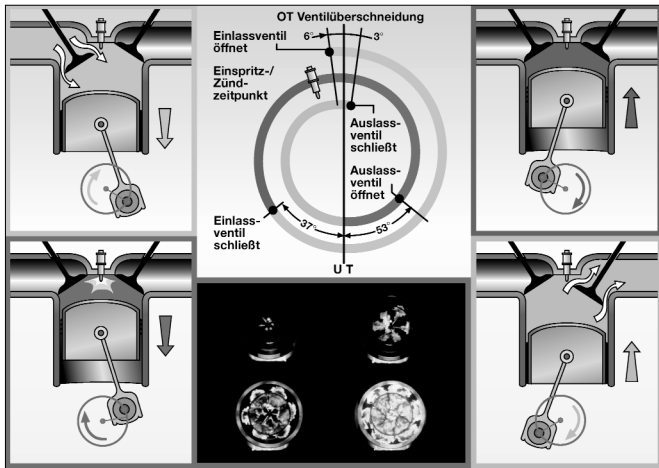


Transparente 6 und 7: Optimierung von Verbrennungsmotoren



Einsatz der Transparente

Die beiden Folien gehören eng zusammen zur Thematik **Wärmeleistungsmaschinen**. Die Folien sind für den Einsatz unmittelbar nach oder im Zusammenhang mit der Besprechung des Verbrennungsmotors vorgesehen. Sie erweitern das in den üblichen Physikbüchern vermittelte Grundwissen zum Prinzip des Viertaktmotors und des Dieselmotors um die **Optimierung der Motoren** durch moderne Konstruktionstechniken. Dabei geht es u. a. um Abgasverhalten und Senkung des Kraftstoffverbrauchs bei vergleichbarer Leistung.

Inhalte der Transparente

Transparent 6 zeigt die vier Takte des Verbrennungsmotors im Zusammenhang mit einem so genannten **Kreisdiagramm**. Im Zusammenhang mit den zugehörigen gleichfarbig umrahmten Darstellungen der vier Takte ergibt sich eine Übersicht über den Arbeitsablauf, der die **Dynamik** dieser Vorgänge besser wiedergibt und das statische Nebeneinander der üblichen vier Darstellungen überwindet. Es ist allerdings notwendig, sich nach dem ersten Eindruck in das Diagramm einzulesen.

Man erkennt den **zeitlichen Ablauf** und die **Periodizität** der Vorgänge (Öffnen und Schließen von Ein- und Auslassventil, Zündzeitpunkt bzw. Einspritzbeginn) während zweier Umdrehungen der Kurbelwelle. Die dargestellten Abläufe wiederholen sich danach in gleicher Form immer wieder. Die Farben der Kästchen entsprechen den Farben im Kreisdiagramm.

Als Bezugsgröße für die zeitlichen Abläufe wird die Winkelstellung der Kurbelwelle verwendet und nicht die Position des Kolbens. Gerade im Bereich des wichtigen oberen Totpunktes, ist diese Angabe wesentlich präziser, da sich die Position des Kolbens über mehrere Winkelgrade kaum verändert.

Die Darstellungen sind so ausgelegt, dass sie für einen Ottomotor wie für einen Dieselmotor gelten können. Ob diese doppelte Verwendungsmöglichkeit parallel oder nacheinander genutzt wird, oder ob doch nur eine Version behandelt wird, entscheidet die jeweilige Unterrichtssituation. Sind in der jeweiligen Physiksammlung die üblichen Motor-Modelle vorhanden, können sie parallel zur Folie eingesetzt werden.

Durch das Kreisdiagramm wird auch besser erkennbar, welche Veränderungsmöglichkeiten bei der Steuerung des Verbrennungsvorganges gegeben sind:

1. Der **Zeitpunkt der Zündung (Ottomotor) bzw. des Einspritzbeginns beim Diesel** kann variabel sein. Schon bei herkömmlicher Motorsteuerung wird dieser Zeitpunkt abhängig von der Motordrehzahl und von der geforderten Motorleistung („Last“) verändert. Noch viel umfangreicher (siehe dazu Kennfelddarstellung auf **Kopiervorlage 7**) ist die Anzahl der Parameter, die eine moderne Motorelektronik benutzt, um diesen Zeitpunkt optimal einzustellen.

2. Zugleich kann bei modernen Motoren, die sowohl beim Ottomotor wie beim Diesel das Prinzip der Kraftstoffeinspritzung verwenden, die **Menge** des eingespritzten **Kraftstoffs** optimal bemessen werden.

Unten Mitte: 4 Fotos verdeutlichen den hier vorgestellten Verbrennungsvorgang im Motor.

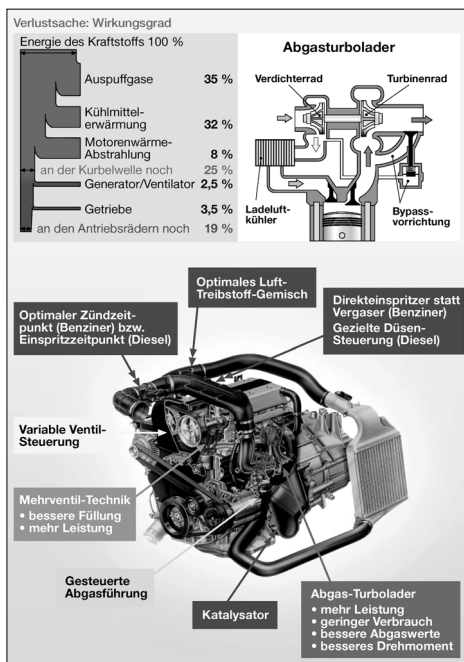
3. Das Kreisdiagramm auf **Folie 6** macht ferner deutlich, dass auch eine Veränderungsmöglichkeit besteht bezüglich der Zeitpunkte, zu denen die Ventile geöffnet bzw. geschlossen werden. Diese Möglichkeit der so genannten „**variablen Steuerzeiten**“ bedingt einigen konstruktiven Aufwand, wird aber in Zukunft immer öfter genutzt werden.

Transparent 7

Oben links: Die Grafik zeigt, wie viel von der eingesetzten Primärenergie beim Betrieb eines herkömmlichen Autos „verloren“ geht, bzw. wie wenig für den eigentlichen Zweck, nämlich den Transport von Personen und/oder Lasten, übrigbleibt. Der geringe Wirkungsgrad fordert geradezu eine Verbesserung durch technische Fortentwicklung.

Unten: Die Darstellung zeigt wichtige Merkmale der **modernen Motorkonstruktion** und des **elektronischen Motormanagements**. Man beachte, dass sich nicht alle Elemente moderner Motorenkonstruktion zugleich an einem Motor finden lassen.

Oben rechts: Das Schema zeigt das wohl bekannteste Beispiel moderner Motorelemente, den **Abgas-Turbolader**. Er hat die Aufgabe, die Füllung des Motors entscheidend zu verbessern. Einer seiner Vorteile ist, dass zu seinem Antrieb keine weitere Motorleistung aufgebracht werden muss, sondern er durch die an seinem Turbinenrad vorbeistreichenden Abgase angetrieben wird. Die Welle im Innern des Turboladers wird



durch die Abgase in schnelle Drehung versetzt. Auf derselben Welle sitzt ein zweites Schaufelrad, mit dessen Hilfe die Außenluft angesaugt und verdichtet wird, das so genannte „Verdichterrad“.

Ein prinzipieller Nachteil dieses Systems wird durch eine Zusatzkonstruktion vermieden: Wenn der Abgas-Turbolader so ausgelegt würde, dass er im oberen Drehzahlbereich (Vollast) die richtige Luftmenge förderte, lieferte er bei unteren und mittleren Drehzahlen zu wenig. Legte man ihn so aus, dass er schon im letztgenannten Bereich richtig förderte, würde er im oberen Drehzahlbereich zu viel Luft bringen. Daher wählt man folgendes Bauprinzip: Der Lader wird dafür ausgelegt, schon im unteren und mittleren Bereich optimal zu arbeiten. Steigt dann die Drehzahl und damit der Druck hinter dem Verdichterrad, öffnet der anwachsende Druck über ein „Ladedruckregelventil“ eine „Bypass-Leitung“, wodurch ein immer größerer Teil der Abgase an der Turbine vorbeiströmen kann. Durch diese Bauweise steigt die Förderleistung des Laders beim Hochdrehen des Motors schnell auf einen Nennwert an, der bei weiterer Drehzahlsteigerung nicht mehr überschritten wird.

Für einen relativ geringen Mehraufwand bietet der Abgasturbolader:

- mehr Motorleistung bei gleichem Verbrauch, bzw.
- weniger Verbrauch bei gleicher Motorleistung,
- bessere Abgaswerte,
- bessere Kraftentfaltung des Motors auch bei unteren und mittleren Drehzahlen.

Eine weitergehende Erklärung aller Elemente moderner Motorkonstruktion würde den Rahmen dieser Lehrerinformation sprengen; es sei auf die Literaturliste und die zur Transparente-Mappe gehörenden Internetseiten www.physik-am-auto.de verwiesen!

In einer kurzen Übersicht sei jedoch die Fülle der technischen Weiterentwicklungen angedeutet:

- Elektronisches Motormanagement:
- elektronische Steuerung über **Stellglieder (Aktoren)**: von Kraftstoffzufuhr über elektrische Kraftstoffpumpen; Zündzeitpunkt (Ottomotor) bzw. Einspritz-

beginn (Dieselmotor); Einspritzmenge und -dauer; Drosselklappenverstellung; Füllung der Zylinder bei Leerlauf und unter Last; Tankentlüftung; Abgasrückführung, Sekundärlufteinblasung etc. soweit vorhanden. Dazu werden mittels zahlreicher **Sensoren** Daten abgefragt über Drehzahl, Kurbelwellenstellung, Nockenwellenstellung, Motorklopfen, Ansaugluftmenge und -temperatur, Motortemperatur, Kühlmitteltemperatur, Fahrpedalstellung, Drosselklappenstellung, Fahrgeschwindigkeit, Abgaszusammensetzung (Signal der Lambda-Sonde), (Temperatur der Abgasrückführung etc. soweit vorhanden).

- Einsatz eines Katalysators
- Verwendung von Kraftstoffeinspritzung auch beim Ottomotor (statt Vergaser)
- Verwendung neuartiger Einspritzsysteme beim Dieselmotor, welche zusammen mit elektronischer Regelung eine optimale, unabhängige Steuerung von Einspritzmenge, -beginn und -dauer ermöglichen:
 - **Common-Rail-Technik** (= Nutzung einer gemeinsamen, länglichen Kammer, die mit Kraftstoff unter hohem Druck (**bis zu etwa 1.600 bar**) gefüllt ist, für alle Zylinder; aus dieser wird der Einspritzvorgang für die Einzelzylinder über Magnetventile individuell eingeleitet und elektronisch gesteuert.)
 - **Pumpe-Düse-Technik** (je eine Einspritzpumpe für jeden Zylinder), die jeweils über die Nockenwelle angetrieben wird; der Einspritzvorgang, der unter einem sehr hohen Druck stattfindet (**bis zu etwa 2.300 bar**), kann auch hier für jeden Zylinder zeitlich individuell eingeleitet und in der Menge gesteuert werden.)
- Verwendung der „**Mehrventiltechnik**“ (= mehr als nur je ein Einlass- und ein Auslassventil pro Zylinder, welche als Minimum für die Funktion eines Otto- oder Dieselmotors erforderlich sind)
- Einsatz von variablen Ventilsteuerzeiten

Weitere Informationen finden sich auf den Internetseiten www.physik-am-auto.de.

Kopiervorlagen

Die **Kopiervorlage 6** spielt eine Sonderrolle. Mit ihr wird ein Formblatt zur **Auswertung eines Kfz-Betriebsbesuches** geboten. Der Besuch eines Kfz-Betriebes sollte unbedingt im Zusammenhang mit dem Einsatz dieser Transparente durchgeführt werden. Die Motivation der Schüler dürfte durch das Erleben der Praxis stark steigen.

Wann der Besuch erfolgen kann, ist mit der regionalen Innung des Kfz-Gewerbes oder direkt mit geeigneten Autohäusern abzusprechen. Vom Einsatz der Transparente her ergibt sich kein bestimmter Zeitpunkt, an dem er vorzugsweise stattfinden sollte, denn diese sind für den Einsatz an jeweils passender Stelle während der gesamten Schuljahre 8–10 konzipiert.

Für den Besuch eines Kfz-Betriebes bzw. von Autohäusern während der Klasse 9 (2. Halbjahr) spricht, dass in dieser Phase sicherlich ein Schwerpunkt für

den Einsatz der Transparente liegt. In dieser Jahrgangsstufe werden in vielen Bundesländern gemäß Richtlinien die Themen der Mechanik behandelt, die auf den Transparenten „Physik am Auto“ umfangreich berücksichtigt sind.

Ein freundschaftlicher Kontakt zu Innungen des Kfz-Gewerbes bzw. Autohäusern der Umgebung sollte aus einem anderen, bereits mehrfach erwähnten Grund frühzeitig aufgebaut werden: Der interessierte Kollege kann so an einige nützliche Demonstrationsobjekte für die Physiksammlung kommen, die von den Autohäusern gewiss gerne zur Verfügung gestellt werden, weil sie dort schon im Entsorgungscontainer lagen.

Eine Auswertung nach dem Betriebsbesuch kann mit Hilfe des Formblattes in **Kopiervorlage 6** auf vielfältige Weise geschehen.

Wenn von einzelnen Schülern oder Schülergruppen verschiedene Kfz-Betriebe besucht worden sind, kann eine Auswertung daraufhin erfolgen, ob die Größe oder die schwerpunktmäßige Ausrichtung des Betriebes signifikant unterschiedliche Erfahrungen mit sich gebracht haben.

Die auf dem Arbeitsblatt aufgeführten Fragen wurden in einem Test verschiedenen Autohäusern vorgelegt, so dass sie nicht zu Unmut bei den besuchten Betrieben führen. Es wird nicht nach betriebsinternen Dingen wie etwa der Anzahl der verkauften Fahrzeuge, dem Jahresumsatz o. Ä. gefragt, sondern nur nach offensichtlichen Daten wie Größe, Alter und Tätigkeitsfeldern des Betriebes. Da die Schülerinnen und Schüler und nicht die Mitarbeiter die Kopiervorlage ausfüllen sollen, hatten die befragten Firmen keine Bedenken.

Ferner wurden Fragen aufgenommen, die die Jugendlichen ganz beiläufig zur Reflexion über ihre eigenen Zukunftsperspektiven und Berufswünsche anregen sollen, – was natürlich noch durch den Lehrer verstärkt werden kann.

Aus diesem Grunde wird an den Gesprächspartner die Frage gestellt, welche Ausbildung für seine jetzige Position im Betrieb erforderlich ist. Die Schüler sollen hierdurch – ohne erhobenen Zeigefinger – feststellen, wie wichtig eine solide abgeschlossene Ausbildung ist.

Schüler, denen der Betriebsbesuch besonders gut gefallen hat bzw. die durch den Besuch zu einem Betriebspraktikum angeregt wurden, können sich an die Innung des Kfz-Gewerbes wenden. Diese vermittelt Praktikumsstellen an Schüler.

Die Frage nach einem früheren anderweitigen Arbeitseinsatz hat einen ähnlichen Hintergrund: Aus den verschiedenen Antworten lässt sich schließen, wie wichtig eine qualifizierte Ausbildung und Weiterbildung ist.

Stellt sich bei der Dauer der Betriebszugehörigkeit heraus, dass diese oftmals kürzer als erwartet ist, erfahren die Schülerinnen und Schüler, wie nötig Flexibilität im späteren Arbeitsleben ist. Der Umfang der Auswertung im Unterricht liegt ganz beim Lehrer. Er kann auch nur einen Teil der Fragen aus dem Formblatt ausfüllen lassen.

Ebenfalls denkbar ist für die Auswertung eine fächerübergreifende Zusammenarbeit mit gesellschaftswissenschaftlichen Fächern oder dem Deutschunterricht.

Kopiervorlage 7 knüpft direkt an die Inhalte der **Transparente 6 und 7** an. Den Schülern wird im oberen Teil mit einem **Kennfeldvergleich** exemplarisch vor Augen geführt, wie viel differenzierter die **Motorelektronik** gegenüber einer herkömmlichen **Mechanik** auf abgefragte Parameter reagieren kann. Im unteren Teil soll den Schülern klar werden, dass es sich bei dem oben vorgestellten Kennfeldbeispiel tatsächlich nur um eines von vielen handelt. Deshalb werden einige der **Abfrageparameter** einer modernen Motorelektronik vorgestellt. Ohne die Funktion eines jeden der genannten Sensoren bzw. Aktoren detailliert zu kennen, sollten die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein, an der Namensgebung der Bauteile ihre Funktion als „Sensor“ oder „Aktor“ zu identifizieren.

Lernziel

Die Schüler sollen eine Vorstellung davon bekommen, wie sehr eine moderne Motorelektronik nahezu alle Abläufe im Motor steuert und regelt, und zumindest diesen Sachverhalt mit eigenen Worten beschreiben können. Nicht vorgesehen ist, dass die Schüler über die zahlreichen genannten Bauteile detaillierte Funktionskenntnisse aufweisen. Allerdings ist der Auftrag, hier noch ein wenig „tiefer zu schürfen“ und etwas mehr über die Aufgaben der erwähnten Bauteile zu verraten, sicherlich ein lohnenswertes Referatthema für einen interessierten Schüler!

Lösung der Kopiervorlage 6

Die Lösung dieser Aufgabe ist nicht zur Hausaufgabe „im stillen Kämmerlein“ vorgesehen. Vielmehr ist gedacht, die Zeilen im Klassenteam ausfüllen zu lassen, unter Hinzuziehen der **Folien 6 und 7** und mit der Unterstützung durch den Lehrer.

Sensoren/Sensoren für:	Aktoren:
Luftmassenmesser	Einspritzventile
Ansauglufttemperatur	elektronische
Kurbelwellenstellung	Zündvorrichtung
Drosselklappenstellung	Drosselklappenstellmotor
Nockenwellenstellung	Abgasrückführungssystem
Lambda-Sonde	
Fahrgeschwindigkeit	
Motordrehzahl	