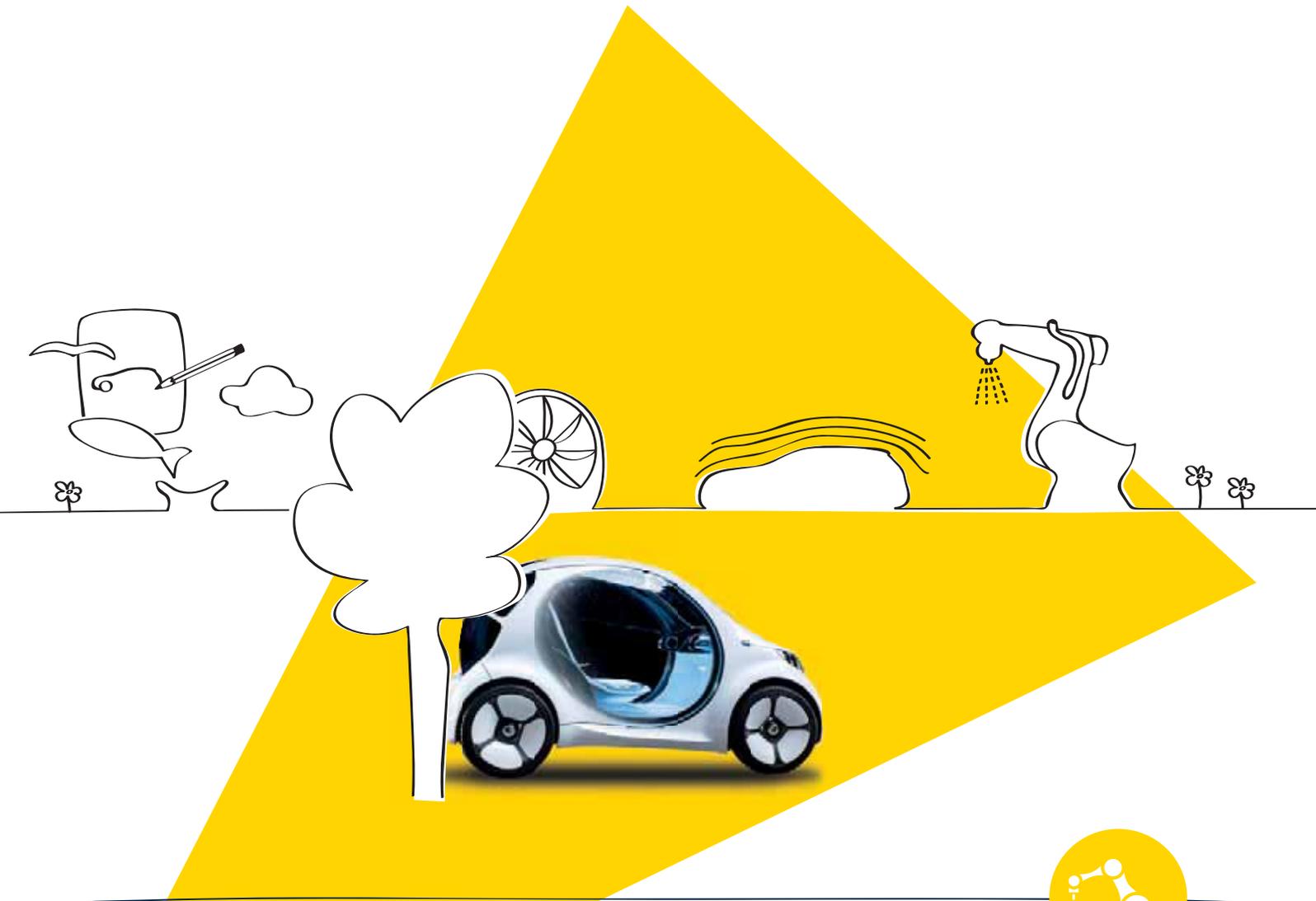


# genius

Die junge WissensCommunity von Daimler



Mobilität der Zukunft

# DESIGN, AERODYNAMIK UND PRODUKTIONSTECHNIK

**Gestalten – Messen – Formen – Fertigen**

Sekundarstufe I – mit Differenzierungsangeboten

## Vorwort

Liebe Lehrerinnen und Lehrer,

wie sieht die Mobilität der Zukunft aus? Genius, die junge WissensCommunity von Daimler, gibt Ihnen und Ihren Schülerinnen und Schülern Einblicke in Zukunftstechnologien und die Mobilität von morgen. Gemeinsam können Sie naturwissenschaftliche und technische Themen, Mobilitätskonzepte und Berufsbilder in der Automobilindustrie entdecken.

Genius möchte Kinder und Jugendliche für technische Themen begeistern. Denn die Begeisterung für Naturwissenschaft und Technik ist nicht nur der Schlüssel zur erfolgreichen Gestaltung unserer Umwelt und Wirtschaft, sie eröffnet der nächsten Generation auch hervorragende berufliche Perspektiven.

Sie als Lehrkraft erhalten durch Genius direkten Zugang zu aktuellen Fragestellungen der Fahrzeugtechnik, didaktisch aufbereiteten Unterrichtsmaterialien sowie passenden Fortbildungen.

Der vorliegende Band ist bereits der dritte Titel der Reihe „Mobilität der Zukunft“. Er beschäftigt sich u. a. mit den Bereichen Design und Aerodynamik – zwei Themen, die gegensätzlich erscheinen und doch auf spannende Weise auf ein gemeinsames Ziel hinarbeiten. Das dritte Thema dieses Heftes lautet Produktionstechnik; es bildet die Klammer für die beiden erstgenannten Bereiche.

Die Inhalte des vorliegenden Arbeitsheftes sind modular aufgebaut. Wir haben für Sie Hinweise zu Schwierigkeitsgraden im Inhaltsverzeichnis aufgenommen, um Ihnen die Arbeit mit den Materialien zu erleichtern. Die Lehrerinformationen bieten weitere Differenzierungsmöglichkeiten, sodass Sie für Ihre spezifische Klassensituation sicher und schnell das Richtige finden werden.

Auch dieser Band wurde im fachlichen Austausch von Ingenieurinnen und Ingenieuren mit Lehrkräften in Zusammenarbeit mit Klett MINT alters- und lehrplangerecht erarbeitet.

Klett MINT ist Teil des größten deutschen Bildungsunternehmens und hat sich die Förderung der MINT-Bildung, also der Disziplinen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik in Schule, Studium und Beruf, auf die Fahnen geschrieben. Die Genius-Unterrichtsmaterialien sind ein weiteres Ergebnis der nachhaltigen Zusammenarbeit zwischen Daimler und Klett.

Wir hoffen, dass sie Ihnen viele neue Ideen und Impulse bieten, und wünschen Ihnen viel Freude damit im Unterricht.

Bettina Bilhmayr  
Leiterin Genius  
Daimler AG

Dr. Benny Pock  
Geschäftsführer  
Klett MINT GmbH

**Hinweis:** Zugunsten der Lesbarkeit wird in diesem Heft immer von Ingenieuren, Designern, Aerodynamikern usw. gesprochen; selbstverständlich sind damit immer weibliche und männliche Personen gemeint. Wir bitten für dieses Vorgehen um Ihr Verständnis.

Stefan Kruse

# Design, Aerodynamik und Produktionstechnik

Gestalten – Messen – Formen – Fertigen

Lehrmaterial und Kopiervorlagen mit Zusatzmaterialien  
zum Download

Sekundarstufe I – mit Differenzierungsangeboten



# Inhaltsverzeichnis

## Modul 1: Wie Produkte entstehen

	Lehrerinformationen Modul 1		5
1	Wie werden Produkte entwickelt?	* bis **	9
2	Lernen von der Natur	* bis **	11
3	Aspekte der Automobilentwicklung	* bis **	13

## Modul 2: Design

	Lehrerinformationen Modul 2		15
4	Auf der Suche nach gutem Design	* bis **	17
5	Versuche zu Design	**	21
6	Entwürfe skizzieren	** / FP	23
7	Technische Zeichnungen	** / FP	25
8	Einführung in computergestütztes Konstruieren (CAD)	** / FP	29
9	Ein Fahrzeug wird entworfen	* bis **	31

## Modul 3: Aerodynamik

	Lehrerinformationen Modul 3		33
10	Wie sich Form und Funktion beeinflussen	**	37
11	Grundlagen der Strömungslehre	*	39
12	Versuche zur Strömungslehre	** bis *** / FP	41
13	Strömungswiderstände	** bis ***	49
14	Herstellung und Gebrauch eines Styroporschneiders	** / FP	53
15	Bau eines Windkanalmodells	** / FP	55
16	Strömungen sichtbar machen	** bis *** / FP	57
17	Grenzen des aerodynamischen Gestaltens	***	61

## Modul 4: Produktionstechnik

	Lehrerinformationen Modul 4		63
18	Die Arten der industriellen Fertigung	**	65
19	Fertigungsverfahren	* bis **	67
20	Arbeits- und Produktionsabläufe	**	69
21	Ein Automobil aus Styropor schneiden	** / FP	71
22	Ein Automobil aus Kunststoff drucken	** / FP	75
23	Ein Automobil aus Metall fräsen	** bis *** / FP	79
24	Optimierung von Produktionsverfahren und Werkstoffen	** bis ***	85

## Anhang

	Verkleinerte Abbildungen aller Arbeitsblätter mit Musterlösungen		89
	Impressum und Bildquellennachweis		120
	Download-Inhalte		121

Alle Arbeitsblätter und Lösungen finden Sie als Download unter:

[www.genius-community.com/dap-Material](http://www.genius-community.com/dap-Material)

Hier finden Sie auch Folien, Hinweise und Download-Link zu FiloCut® und das Programm Solid Edge®

Zur schnellen Orientierung wurde der Schwierigkeitsgrad der einzelnen Arbeitsblätter wie folgt gekennzeichnet:

- \* geringerer Schwierigkeitsgrad
- \*\* durchschnittlicher Schwierigkeitsgrad
- \*\*\* Schwierigkeitsgrad und Komplexität liegen über dem Durchschnitt
- FP** Fachpraktische Inhalte





# Lehrerinformationen Modul 1

## Einführung in das Arbeitsheft

Der Aufbau des Heftes orientiert sich an den fachlichen Anforderungen derjenigen Fächer, die allgemeine technische Bildung zum Inhalt haben. Es geht um naturwissenschaftliche Grundlagen, die soziokulturellen Auswirkungen der Technik auf die Menschen und praktisches Arbeiten mit Bezug zur Technik.

Das erste Modul dieses Arbeitsheftes befasst sich mit der Entstehung von Produkten. Es dient als Einstieg in die Einheit und sollte in jedem Fall behandelt werden. Bei Zeitmangel kann das Arbeitsblatt (AB) 3 entfallen. Im Modul 2 **Design** geben Fallbeispiele eine Orientierungshilfe für qualitative Kriterien eines Produkts. Außerdem führt es die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden immer SuS) in verschiedene Zeichen- und Konstruktionstechniken ein. Das Modul 3 **Aerodynamik** befasst sich mit den Grundlagen der Strömungslehre, mit praktischen Versuchen zur Thematik und mit den Möglichkeiten, Strömungen sichtbar zu machen. Im Modul 4 **Produktionstechnik** werden die Arten und Verfahren der industriellen Fertigung bis hin zu modernen computergestützten Produktionsverfahren behandelt. Auch hier gibt es für die SuS viele Anregungen zum praktischen Arbeiten.

Im Kontext der Mehrperspektivität werden mit Designverfahren, aerodynamischer Optimierung und modernen Produktionstechniken sehr verschiedene Aspekte bei der Herstellung von Fahrzeugen miteinander verbunden. Ein im Verbrauch sparsames Fahrzeug verlangt einerseits nach guten aerodynamischen Werten, innovativen Werkstoffen und modernen Produktionsverfahren. Kunden verlangen andererseits Fahrzeuge, die chic, sportlich, individuell und günstig sind und die Familie plus Gepäck in den Urlaub transportieren können. Konzipiert wird ein Fahrzeug jedoch von Ingenieuren und Technikern, die die physikalischen Gesetze nicht umgehen können und die im Rahmen moderner technischer Produktionsverfahren eine Balance aus Innovation und Produktionskosten einhalten müssen. „Design, Aerodynamik und Produktionstechnik“ geht bereits früh in der technischen Bildung von SuS auf diese unterschiedlichen Ansprüche ein.

### Hinweis

Zugunsten der Lesbarkeit verwenden wir im Folgenden immer nur eine (die männliche) Schreibweise; selbstverständlich sind aber immer Personen aller Geschlechter gemeint.



## Designer

Ein Automobildesigner ist für die ganzheitliche Gestaltung des Exterieurs sowie des Interieurs eines Fahrzeugs verantwortlich. Hierbei steht die Verbindung von Innovationen in der Formgebung mit traditionellen Markenelementen im Fokus, also die Erhaltung und Weiterführung eines klassischen Markendesigns.

Ein Schwerpunkt des Berufs liegt darin, zukünftige Design-trends zu erkennen und selbst neue Trends zu setzen. Dabei sucht ein Designer nach modernen Formen, die nicht modisch und damit kurzlebig sind, sondern die für Jahrzehnte den Stil einer Marke prägen. Zur Absicherung der internationalen Gültigkeit eines Designs werden in Advanced Design Studios Designkonzeptionen entwickelt, die Designtendenzen der Märkte weltweit aufnehmen. Die Standorte der Advanced Design Studios liegen meistens in den Trendmetropolen von Asien und den USA.

Die Maßkonzeption ist die Grundlage für die **Ideenphase** im Design. Die Handskizze ist dabei das wesentliche Mittel des Designers, um seine persönliche Vorstellung auszudrücken und die Emotionalität und Ausstrahlung eines Fahrzeugdesigns aufzuzeigen. Dutzende von Skizzen und Renderings decken die Bandbreite der möglichen Lösungen ab. Ab einem bestimmten Reifegrad werden ausgewählte Entwürfe anschließend in die dritte Dimension übertragen. In der **Modellphase** werden auf Basis der Skizzen Clay- oder gedruckte Kunststoffmodelle im Maßstab 1:4 erstellt. Clay (engl. „Lehm“) ist ein tonartiges Industrieplastilin. Dabei kommt es darauf an, die Skizzen so umzusetzen, dass einerseits ihr Charakter erhalten bleibt, andererseits jedoch die Maßvorgaben der Konzeption erfüllt werden. Etwa acht Maßstabsmodelle werden für jede Baureihe erstellt. Bereits in diesem Maßstab lassen sich aerodynamische Unterschiede in den Details messen und durch formale Änderungen optimieren.

Nachdem die überzeugendsten Modelle ausgewählt sind, werden sie elektronisch abgetastet und zu **Datenmodellen** weiterentwickelt. An der Powerwall, einer 7 m breiten Rückprojektionswand, können die Datenmodelle in beliebiger Umgebung präsentiert und gestalterisch verfeinert werden. Die besten Vorschläge werden in Originalgröße in Clay und später in Polyurethan-Hartschaum gefräst, geschliffen und lackiert. Drei bis fünf Varianten werden als 1:1-Modelle weiterverfolgt, bis nach zahlreichen Überarbeitungs- und Entscheidungsrunden schließlich ein Entwurf ausgewählt wird.

Gestaltungsthemen und Charakter des **Interieurs** werden zunächst über Skizzen definiert, bevor ausgewählte Entwürfe als 1:1-Modelle aufgebaut werden. Im Modell sitzend kann der Designer die Gestaltung und Ergonomie überprüfen und optimieren. Alles, was der Kunde in die Hand nimmt, wie Griffe, Schalter, Lenkrad oder Sitze, bedarf einer besonderen Aufmerksamkeit. Ebenfalls sehr sorgfältig wird die Auswahl der Materialien getroffen. Der Schwerpunkt in diesem Designbereich liegt auf der Ergonomie und Haptik, den Schriften, Schaltern und Anzeigen sowie der Display- und Menügestaltung.

Am Ende des Entwurfsprozesses steht der **Designentscheid**, das heißt, der neue Fahrzeugtyp wird unter gestalterischen, aerodynamischen, technischen und marktstrategischen Gesichtspunkten geprüft und ausgewählt. Wenn alle Funktionen, die unter der Oberfläche liegen, überprüft und abgesichert sind, endet der Designprozess in einem 1:1-Datenkontrollmodell für das Exterieur ebenso wie für das Interieur. Das Modell zeigt exakt die Formdaten auf und ermöglicht es, Übergänge, Radien und Fugen zu prüfen und besonders beim Interieur die Materialien abzustimmen. Es ist das Referenzmodell für alle weiteren Prozesse.

## Ingenieure und Aerodynamiker

Mit der Aerodynamik sind sehr unterschiedliche Aufgabenstellungen im Fahrzeugbau verbunden. Grundsätzlich wird versucht, die Luftkräfte, die an einem Fahrzeug angreifen, zu optimieren. Aerodynamik umfasst aber auch alle Arbeiten, die im weitesten Sinn damit zusammenhängen, dass die um ein fahrendes Fahrzeug herumströmende Luft möglichst wenige unerwünschte Effekte hervorruft. Diese können in einem erhöhten Kraftstoffverbrauch, in reduzierter Fahr-sicherheit und -stabilität, in schlechterem Komfort (starke Windgeräusche, Zegerscheinungen beim offenen Fahren im Cabriolet) oder in verminderter Sicht auf Außenspiegel und damit den rückwärtigen Verkehr bestehen. Aber auch die Luft, die durch das Fahrzeug hindurchströmt, soll günstig beeinflusst werden. Die Kühlung von Motor und Aggregaten

muss in allen Betriebszuständen gesichert sein, genauso wie die Klimatisierung und Belüftung des Fahrgastraumes. Aus dieser umfassenden Aufgabenstellung ergibt sich, dass die Aerodynamik Einfluss auf viele **gestalterische und konstruktive Bereiche** nehmen muss. Daher ist es sehr wichtig, dass die Aerodynamik einen hohen Vernetzungsgrad zu diesen Bereichen unterhält.

Die Aerodynamik von Kraftfahrzeugen hat sich aus dem **Flugzeugbau** entwickelt. Frühe Entwürfe von aerodynamisch optimierten Autos haben viele Grundformen aus diesem Bereich entlehnt, z. B. Tragflügel. Der Stellenwert der Aerodynamik im Flugzeugbau ist jedoch ungleich höher als im Automobilbau; hier musste sie lange um Akzeptanz kämpfen. Erst mit der sogenannten „Energiekrise“ in den 1970er Jahren wurde die aerodynamische Formoptimierung stärker in die Gestaltung der Autos übernommen. Vorher war „aerodynamisches Aussehen“ nicht immer mit „hoher aerodynamischer Qualität“ gleichzusetzen, sondern oft nur gestalterisches Stilmittel.

Nachdem einige Jahre die **Grundformoptimierung** stärker im Hintergrund stand und „nicht-sichtbare“ Optimierungsmaßnahmen bevorzugt wurden (Kühlluftregelmechanismen, glatte, verkleidete Unterböden, ...), werden in Zukunft durch den steigenden Druck zu reduziertem Kraftstoffverbrauch die „sichtbaren“ Optimierungen der Außenform unvermeidlich sein.

Schon in konzeptionellen Projektphasen wird durch **Messungen an Windkanalmodellen** und durch **Simulationsrechnungen** eine Bewertung und Optimierung der unterschiedlichen Entwürfe ermöglicht. Nach Eintritt in die eigentliche Entwicklungsphase werden zuerst Modelle im 1:4-Maßstab im Modellwindkanal gemessen und die Form optimiert. Oft sind es mehr als zehn Entwürfe, die diesen Schritt durchlaufen. Mehrere favorisierte Modelle werden in den 1:1-Originalmaßstab übertragen. Dabei besteht die Oberfläche weiterhin aus einfach bearbeitbarem Material, denn schließlich muss eine eventuelle Formänderung leicht realisierbar bleiben. Wenn das **Exterieur** beschlossen ist, wird durch die Aerodynamiker ein eigenes Modell aufgebaut. Im Unterschied zu den vorherigen Modellen sind in dieses Modell weitere Details eingeflossen: Motorraum, Unterboden, Aggregate wie Getriebe oder die Abgasanlage, die Achsen – nicht voll funktional, aber mit der ihnen eigenen Außenhaut, um ihren Einfluss auf die Strömung abbilden zu können. Nun werden auch Untersuchungen zum **Windgeräuschverhalten** durchgeführt: Durch unvorteilhafte Gestaltung steigt das Geräuschniveau an und der Komfort leidet. In Windkanalversuchen werden die Außenspiegel geformt, um einen optimalen Kompromiss zu finden zwischen geringen Windgeräuschen und Luftwiderstand zum einen und wenig Verschmutzungsneigung auf Sei-

tenscheiben und Außenspiegelgläsern zum anderen. Sehr oft sind diese Ansprüche konträr zueinander. Fortgesetzt wird die Entwicklung durch Arbeiten an den **Prototypen**, die fahrfähige und detaillierte Fahrzeuge sind. Dementsprechend gehen die Optimierungen immer mehr ins Detail praktisch aller Bauteile, die mit der umgebenden Luft in Kontakt treten.

Seit Beginn des 17. Jahrhunderts steht die Bezeichnung **Ingenieur** für einen Experten auf dem Gebiet der Technik. Der Ingenieur nutzt alle Arten von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, um mithilfe der Technik einen praktischen Nutzen für den Menschen zu entwickeln. In der Regel wird dieser Nutzen durch **Produkte oder Artefakte** (durch Menschen hergestellte Gegenstände) anwendbar. Daher muss ein Ingenieur die bekannten Herstellungsmethoden, Werkzeuge und Werkstoffe beherrschen und die Erkenntnisse aus Physik, Chemie und Biologie so miteinander verknüpfen, dass funktionstüchtige Gegenstände entstehen. Ingenieure brauchen dazu ein ausgeprägtes mathematisch-naturwissenschaftliches Grundverständnis und detaillierte Informatikkenntnisse, da Konstruktionen und Simulationen in der Regel am Computer und mit entsprechender Software durchgeführt werden.

Deutschland braucht Ingenieure! Sie gelten als **Innovationstreiber** der deutschen Wirtschaft und sind in fast allen Arbeitsbereichen zu finden, wo sie für verschiedenste Abläufe und technische Systeme verantwortlich sind. Der Großteil der Ingenieure ist in stark innovativen Bereichen, das heißt **Forschung, Entwicklung und Konstruktion** beschäftigt. Weitere Beschäftigungsfelder sind Produktion, Vertrieb, Verwaltung bis hin zur Beratung bei Dienstleistungsunternehmen.

Der größte Berufszweig innerhalb des Ingenieurwesens ist der **Maschinenbau**. Auch die Mehrzahl der in der Automobilbranche beschäftigten Ingenieure ist diesem Bereich zuzuordnen. Ein Schwerpunkt innerhalb dieses Berufszweigs ist die Entwicklung von Maschinen und Anlagen. Maschinenbau-Ingenieure arbeiten in Unternehmen des Maschinen- und Anlagebaus und sind in so verschiedenen Bereichen wie Fahrzeugbau, Elektromaschinenbau, Messgerätebau, Regelungstechnik, Luft- und Raumfahrttechnik, regenerative Energien oder Medizintechnik tätig. Dabei sind Maschinenbau-Ingenieure nicht nur für die Konstruktion, Fertigung und Wartung von Maschinen und Geräten zuständig, sondern auch für Einkauf, Vertrieb, Logistik, Beratung oder Service. Außerdem können sie in der öffentlichen Verwaltung, als Berufsschullehrer oder als Freiberufler mit eigenen Beratungs- oder Ingenieurbüros tätig sein.

Das für den Ingenieurberuf im Fahrzeugbau notwendige Studium kann sowohl an **Fachhochschulen** als auch an **Univer-**

**sitäten** absolviert werden und setzt die Fachhochschulreife oder das Abitur voraus. Im Gegensatz zu Universitäten legen Fachhochschulen den Schwerpunkt der Ausbildung auf die Praxis. Die Studienzeit beträgt mindestens drei Jahre und schließt mit dem Bachelor ab. Für Führungspositionen, Spezialisierungen oder Tätigkeiten in Forschung und Entwicklung müssen Maschinenbau-Ingenieure zusätzlich ein ein- bis zweijähriges Masterstudium absolvieren.

Durch die wachsenden Ansprüche an bestimmte Qualitäten von Fahrzeugen verlagert sich ein immer größerer Teil der Entwicklungsarbeit zeitlich nach vorn. Gleichzeitig wird die Zeit für die gesamte Entwicklung immer weiter verkürzt. Kostendruck sorgt außerdem für fortschreitende Modularisierung, gleichzeitig soll aber alles individueller, immer weiter verfeinert und detaillierter werden. Dies zeigt die **Komplexität** des Ingenieurwesens auf.

## Zusammenspiel von Aerodynamik, Design und Produktionstechnik

Aus der heutigen Entwicklung und Produktion von Serienautomobilen sind weder die Aerodynamik noch das Design noch moderne Produktionstechniken wegzudenken. Das Design genießt beim Käufer in der Regel aber den höheren Stellenwert. Trotzdem ist gegenseitige **Akzeptanz** der Disziplinen unabdingbar, um zu gemeinsamen Lösungen zu kommen. Insbesondere Aerodynamiker und Designer definieren sich, zumindest in frühen Entwicklungsphasen des Fahrzeugs, über die Gestaltung der Form, daher sind Zielkonflikte praktisch vorprogrammiert. Während dem Design auch Linien, Farben, Zierleisten etc. als Gestaltungselemente zur Verfügung stehen, verfügt die Aerodynamik über zusätzliche, nachrangige Optimierungsmaßnahmen wie Spoiler vor den Rädern und Unterbodenverkleidungsteile, falls die Formoptimierung nicht ausreichend zur Zielerreichung beiträgt.

So besitzen beide, Design und Aerodynamik, ausreichend Mittel und genügend kreative Freiheit, um dem wohl am häufigsten genannten Vorwurf entgegenzutreten, dass der Einfluss der Aerodynamik den Autos ihren eigenständigen Charakter nähme und alle gleich aussähen. Dann jedoch fließen in dieser Entwicklungsphase eines Produkts die Vorgaben der Ingenieure aus Sichtweise der **Produktionstechnik** mit in den Prozess ein. Dies kann bedeuten, dass kreative Produktideen der Realität der Machbarkeit oder Finanzierbarkeit zum Opfer fallen. Ein Blick auf das heutige Straßenbild vermittelt ein anders Bild: Trotz der starken Einflüsse der Aerodynamik auf die Gestalt der Fahrzeuge und der Einschränkungen der Produktionstechniker ist eine fast unüberschaubare Vielfalt anzutreffen.

## Zu den einzelnen Arbeitsblättern

### AB 1 „Wie werden Produkte entwickelt?“

Das Thema des Produktlebenszyklus' von der Idee zum fertigen Produkt steht bewusst am Anfang des Arbeitsheftes. Durch die Erarbeitung eines entsprechenden Kreislaufs erkennen die SuS die kausalen Abhängigkeiten bzw. Notwendigkeiten der einzelnen an dem Zyklus beteiligten Stationen.

Innerhalb der Entwicklungsbereiche von Produkten gelten einige Bereiche als besonders innovativ, d.h. als marktführende „Entwicklungsmotoren“. Neben der in den Lösungen beispielhaft aufgeführten Unterhaltungsindustrie und Kommunikationsbranche, der Fahrzeugtechnik und der Luft- und Raumfahrttechnik gelten die Medizintechnik und insbesondere die Wehrtechnik als sehr innovativ. Entsprechende Forschungsergebnisse und technische Errungenschaften werden häufig aus diesen Bereichen in den Konsumsektor übernommen. Beispielsweise steuerte ein einstmals moderner 486-Prozessor bereits zwei Jahre vor seiner Vermarktung in Personal Computern militärische Boden-Luftraketen.

Die letzte Aufgabe des Arbeitsblattes erschließt den Kreislauf von Wirtschaft und Technik, bekannt als „Regelkreis der Technik“. Im Technikunterricht sollte damit erarbeitet werden, dass der Konsum vieler Alltagsprodukte einem ständigen Kreislauf unterworfen ist. So kann beispielsweise einige Wochen nach dem Kauf eines neuen Computers das Gerät bereits als veraltet gelten. Da die Industrie für das eigene Fortbestehen permanent neue Produkte verkaufen muss, werden z.B. durch Werbung entsprechende Maßnahmen getroffen, diese neuen Produkte dem Kunden als begehrt erscheinen zu lassen. Insbesondere im Hinblick auf Ressourcen und Nachhaltigkeit müssen sich SuS innerhalb einer kritischen Reflexion mit dem Gedanken auseinandersetzen, dass sich jeder Mensch permanent innerhalb vieler dieser Kreisläufe befindet. Weitere Zugangsmöglichkeiten zu diesem Thema wären z. B. Mode oder Smartphones.

#### Praxistipp

Der Einstieg in die Unterrichtseinheit behandelt allgemeine wirtschaftliche Zusammenhänge auf einfacherem Niveau. In Modul 4 werden diese mit dem Schwerpunkt Fertigungstechnik vertieft.



### AB 2 „Lernen von der Natur“

Das Arbeitsblatt ist ein Einstieg in die moderne Thematik der Bionik. Die noch junge Wissenschaftsdisziplin beschäftigt sich mit der Übertragung von Naturphänomenen auf für den Menschen nutzbare Technik. Neben den bekannten aufgezählten Beispielen finden sich in den Bionik-Büchern von

Werner Nachtigall oder Bernd Hill konkrete Integrationsbeispiele für den Technikunterricht.

Das Arbeitsblatt stellt die zentrale Frage in den Vordergrund „Wo dient die Natur als Vorbild?“ Die SuS vergleichen dazu bestimmte Formen von Meeresbewohnern und deren Lebensraum und Lebensformen mit bestimmten Autoformen und deren Haupteinsatzgebiet; sie bilden Analogien. Im Weiteren werden verschiedene technische Umsetzungen der Automobilindustrie erarbeitet, die jeweils einem der Natur zugrundeliegenden Prinzip abgesehen wurden.

Um die Methoden- und Medienkompetenz der SuS zu stärken, soll in einer abschließenden, offenen Aufgabe ein Thema aufbereitet und in geeigneter Weise vorgetragen werden. Neben einem freien Vortrag oder einer computergestützten Präsentation ist auch die Erstellung einer Hausarbeit, eines Posters oder einer gemeinsamen Webseite möglich. Die Inhalte sollten die SuS z. B. im Internet unter den Stichwörtern Bionik, Fahrzeugbau sowie Spinnennetz (bzw. Geckfüße oder Haifischhaut) recherchieren.

### AB 3 „Aspekte der Automobilentwicklung“

Zum Abschluss des ersten Moduls sollen die SuS über die verschiedenen Sichtweisen und Positionen der an einem Produktlebenszyklus beteiligten Personen ins Gespräch kommen. Durch die Vielzahl der Interessensgruppen rund um das Thema „Auto“ eignet sich dieses besonders, um die Mehrperspektivität von Technik zu erläutern. Moderne technische Artefakte und Handlungen werden immer aus verschiedenen Sichtweisen diskutiert und deren Folgen abgeschätzt.

Durch eine Konferenzmoderation lassen sich die mitunter sehr kontroversen Interessen der beteiligten Gruppen gut thematisieren. Es wird empfohlen, einen geeigneten Moderator aus dem Kreis der SuS wählen zu lassen; natürlich kann auch die Lehrkraft selbst moderieren. Ebenfalls denkbar ist die Methode der Fishbowl-Diskussion, bei der mehrere SuS eine Interessensgruppe aufarbeiten und in der abschließenden Konferenzmoderation nach Belieben die Diskussionspartner innerhalb der Gruppe austauschen können.

Bei der Fertigung der Maquette (kleines Modell) haben sich die Werkstoffe Ton und Knete bewährt. Als Bearbeitungswerkzeuge können Tonbearbeitungswerkzeuge (Spatel), Drahtschlingen und Modellierhölzchen verwendet werden. Neben kleinen Messern, Hölzchen oder Zahnstochern ist das beste Werkzeug häufig die Hand! Der Schwerpunkt dieser Aufgabe liegt in der handwerklichen Erfahrung bei der Formung eines Fahrzeugkörpers.

# 1 Wie werden Produkte entwickelt?

Täglich sind wir von einer Vielzahl von Produkten umgeben. Ihr Erscheinungsbild hängt von vielen Faktoren ab, die oftmals auf den ersten Blick für den Käufer gar nicht ersichtlich sind. Verschiedene Produktbereiche haben sich dabei im Laufe der industriellen Produktion als Trendsetter und „Motor“ für Entwicklungen durchgesetzt und prägen das Produktangebot und unser Konsumverhalten.



## 1. Von der Idee zum fertigen Produkt.

Manche Produkte entstehen durch Zufall, manchmal werden sie aber auch kopiert. Besser ist es, ein Produkt systematisch von der Idee bis zum Vertrieb zu entwickeln. Trage folgende Wortblöcke an den passenden Stellen ein und bringe die Blöcke in eine sinnvolle Reihenfolge (Ziffern von 1 bis 8 eintragen):

**Produktidee finden – Markteinstieg planen – Produktionsweg durchspielen – Entscheidung für oder gegen das Produkt treffen – Produkt entwickeln, ggf. Prototypen bauen – Zeit- und Produktionspläne erstellen – Produkt herstellen – Produkt vertreiben, verkaufen**

Die Meilensteine der Herstellung werden festgelegt. Welche Fristen und Termine sind einzuhalten? Welcher Zeitpunkt ist gut für die Einführung?

Es muss geplant werden, was für die Produktion benötigt wird. Dazu gehören z. B. Materialien und Werkstoffe, Maschinen, Logistik, Dienstleistungen und Mitarbeiter.

Das Produkt kann eine Geschäftsidee, Teil einer Idee oder eine Dienstleistung sein. Dazu werden Angebot, Nachfrage und Kundenwünsche vereint oder ein Trend wird erahnt.

Das Produkt wird produziert und getestet. Vor der Marktreife wird gegebenenfalls nachgebessert. Werbe- und Vertriebskanäle werden aktiviert.

Vertriebs- und Absatzwege, Werbeformen und -kanäle, Preis, Ausstattung, Qualität und Produktbeschaffenheit werden geplant.

Das Produkt wird entwickelt und gestaltet. Aus den Ergebnissen wird ein Prototyp angefertigt. Dieser wird getestet und das Produkt wird optimiert.

Es wird kalkuliert: Kosten werden gegen erwartete Erlöse gestellt. Danach wird entschieden, ob das Produkt hergestellt wird oder nicht.

Das Produkt wird ausgeliefert. Die Reaktionen des Marktes werden beobachtet, eventuell wird noch etwas optimiert.

**2. Manche Produkte sind ein Erfolg bei den Verbrauchern, andere verschwinden schnell wieder vom Markt. Was macht ein erfolgreiches Produkt aus?**

---



---



---

**3. In der industriellen Fertigung gibt es Bereiche, die maßgebliche technische Innovationen hervorbringen. Diese Bereiche geben Impulse und Anregungen, die viele andere Branchen beeinflussen.**

Nenne solche „Entwicklungsmotoren“ sowie Produkte aus diesen Bereichen, die durch den permanenten Bedarf an Innovation einer ständigen Weiterentwicklung unterworfen sind.

**4. Der Kreislauf von Wirtschaft und Technik.**

Kunden und Hersteller befinden sich in einem Zwiespalt: Einerseits möchten Hersteller innovative, ausgereifte und langlebige Produkte anbieten. Andererseits ist es für das wirtschaftliche Überleben des Unternehmens wichtig, dass Kunden immer wieder Nachfolgeprodukte kaufen.

a) Finde für die folgenden Aspekte Überbegriffe und stelle diese in einem Kreislauf dar.

1. Ausgangspunkt ist meistens ein ideelles oder materielles Bedürfnis, das es zu befriedigen gilt.
2. Nun wird geplant, wie das Bedürfnis befriedigt werden kann.
3. Im nächsten Schritt folgt die Umsetzung der Überlegungen.
4. Während der Nutzung eines Objektes wird überprüft, ob es das Bedürfnis befriedigen kann.

b) Formuliere an den folgenden Beispielen die Zusammenhänge.

Kunde → Bedürfnis: \_\_\_\_\_ → Befriedigung: \_\_\_\_\_

Hersteller → Bedürfnis: \_\_\_\_\_ → Befriedigung: \_\_\_\_\_

c) Welches ist der wichtigste Aspekt des Regelkreises für das Fortbestehen dieses Systems?

---



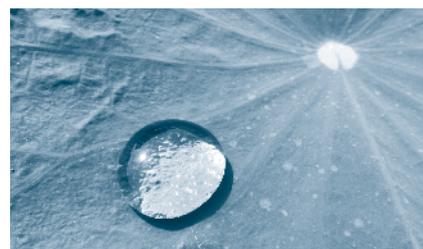
---



---

# 2 Lernen von der Natur

Um Produkte zu optimieren, versucht der Mensch auch aus der Natur zu lernen. Daraus entstand die Wissenschaftsdisziplin der Bionik, die sich damit beschäftigt, evolutionsbedingte Lösungen aus der Natur auf die Technik zu übertragen. Bekannte Beispiele sind die Übertragung des Vogelflugs auf Flugzeuge, der Knochenaufbau als Vorbild bei neuen Fachwerkkonstruktionen oder die Entwicklung selbstreinigender Fassadenfarbe nach dem Vorbild pflanzlicher Oberflächen (Lotuseffekt). Auch die Automobilindustrie hat von den Methoden der Bionik profitiert.



**1. Bestimmte Meeresbewohner haben sich im Laufe der Evolution, auch durch die Art ihrer Fortbewegung, an bestimmte Lebensräume angepasst. Parallelen dazu lassen sich zu den Einsatzgebieten verschiedener Automobile aufzeigen.**

<p style="text-align: center;"><b>Kofferrisch</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Wal</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Hai</b></p>
<p>Lebensraum: Riffe, ernährt sich von Kleinstnahrung; wendig, passt in kleine Spalten, langsam</p>	<p>Lebensraum: Weltmeere; 30 km/h, meist konstante Geschwindigkeit, großes Volumen</p>	<p>Lebensraum: Weltmeere; 50 km/h, kann gut beschleunigen</p>
<p style="text-align: center;"><b>Van</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Sportcoupé</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Kleinwagen</b></p>
<p>Familientransporter, großes Ladevolumen, mittlere Autobahngeschwindigkeiten</p>	<p>schnell, gute Beschleunigung, relativ geringes Platzangebot</p>	<p>Stadtauto, passt in kleine Parklücken, ist aber nicht besonders schnell</p>

**a)** Bilde Analogien zwischen Meeresbewohnern und Fahrzeugen, indem du Linien vom Meeresbewohner zum passenden Fahrzeug ziehst.

**b)** Beschreibe den Lebensraum der abgebildeten Meeresbewohner und parallel dazu den Einsatzbereich der Fahrzeuge. Inwiefern ist die jeweilige Fortbewegung für die Erschließung des Lebensraumes optimiert?

Meeresbewohner	Fahrzeug

**2. Ordne zu: Welche Parallelen siehst du bei den Meeresbewohnern und den Autos?**

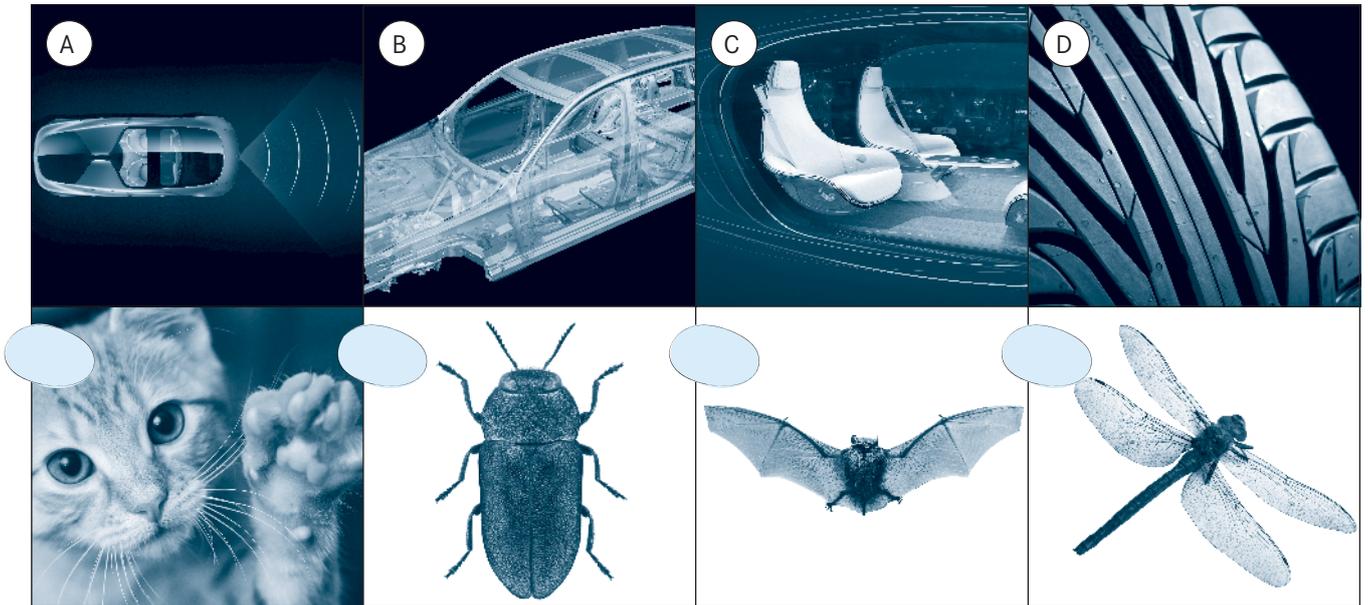
---



---

**3. Die Fotos zeigen weitere Beispiele, bei denen die Automobilindustrie von der Natur gelernt hat.**

a) Bilde Analogien und ordne zu (Buchstaben A bis D eintragen).



b) Beschreibe, welche Prinzipien jeweils zugrunde liegen könnten.

A: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

B: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

C: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

D: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**4. Die Bionik bietet viele Anregungen für Erfindungen – auch im Fahrzeugbau.**

Hier findest du drei Konzepte aus der Natur, die möglicherweise im Fahrzeugbau berücksichtigt werden können. Suche dir ein Thema aus und erstelle einen Vortrag, in dem die wichtigsten Aspekte erläutert werden.

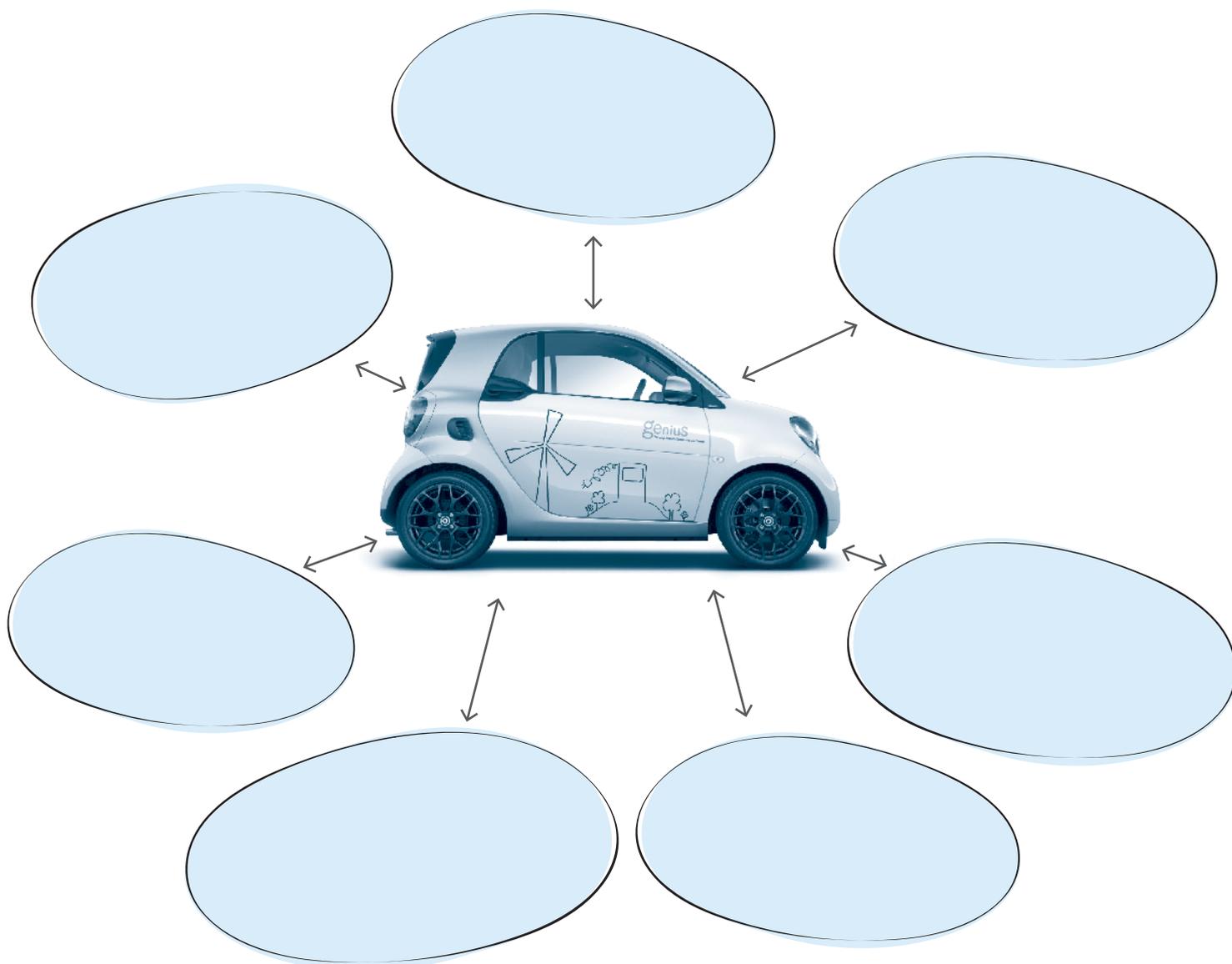


### 3 Aspekte der Automobilentwicklung

Von der ersten Idee bis zur Marktreife eines Fahrzeugs vergehen etwa vier bis fünf Jahre. Während dieses Prozesses spielen viele verschiedene Aspekte eine Rolle. Je nach Sichtweise der beteiligten Personengruppen können Wünsche und Ansprüche sehr unterschiedlich ausfallen. So wird beispielsweise jemand, der ein Auto kauft, andere Ansprüche an dieses Produkt stellen als die Herstellerfirma. Für den Erfolg eines Produktes gilt es, für alle Beteiligten die größtmögliche Schnittmenge an Übereinstimmungen zu finden.

**1. Je nach Interessengruppe müssen bei Planung und Herstellung, für die Nutzung und Stilllegung von Autos die unterschiedlichsten Sichtweisen berücksichtigt werden.**

**a)** Welche Interessensgruppen sind am Thema „Auto“ beteiligt? Trage jeweils eine Gruppe in ein freies Feld ein und nenne deren unterschiedlichen Interessen.



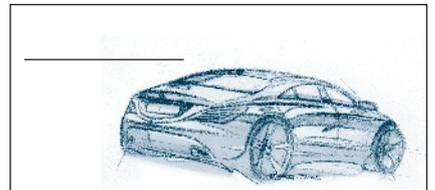
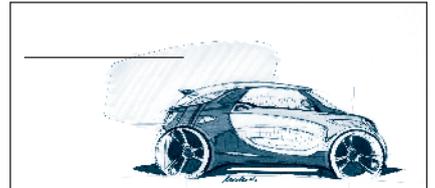
**b)** Bildet kleine Teams. Jedes Team nimmt die Position einer Interessensgruppe ein. Informiert euch in der Gruppe über das Thema, welches ihr vertreten sollt, und bestimmt einen Gruppensprecher. Führt dann eine Konferenzmoderation durch, eine Schülerin/ein Schüler übernimmt die Moderation. Welche Sichtweisen sollten bei Planung, Fertigung, Nutzung und Bewertung eines Produkts berücksichtigt werden? Welche Gruppe hat die besten Argumente?

**2. Wie wir uns Autos denken und gestalten.**

Verschiedene Fahrzeugtypen haben sich im Laufe der Automobilgeschichte durchgesetzt und prägen bis heute unsere Vorstellungen.

**a)** Stelle dir ein eigenes Fahrzeugmodell vor und mache dir die Nutzung des Fahrzeuges bewusst. Realisiere deine Fahrzeugidee in Form einer Maquette. Das ist in der Sprache der Entwickler ein ca. 10 cm großer Entwurf eines Fahrzeugmodells aus Knete oder Ton. Dabei werden die Räder nur angedeutet, das Auto steht auf seinem Unterboden. Achte darauf, dass die Nutzung deiner Maquette später sichtbar ist.

**b)** Gruppiere die entstandenen Entwürfe zu Fahrzeugtypen und benenne diese.



**c)** Gibt es Modelle, die sich keinem bekannten Typ zuordnen lassen? Wenn ja, wer kommt als Käufer infrage? Wenn nein, warum ist niemand auf eine neue Idee gekommen?

---



---



---

**3. Drei Fahrzeugtypen stellen sich vor: Limousine, Van und Kleinwagen.**

Formuliere einen kleinen Text, in dem das Auto zu Wort kommt und erklärt, was es seinem Käufer verspricht.

Limousine: \_\_\_\_\_

---



---

Van: \_\_\_\_\_

---



---

Kleinwagen: \_\_\_\_\_

---



---

# Lehrerinformationen Modul 2

Das zweite Modul vertieft die Aspekte rund um das Thema Design. Wann hat ein Produkt ein „gutes“ Design? Anhand bekannter Designklassiker wird die Formensprache diskutiert. Nach der Klärung der Grundelemente des Designs, der Symbolik der Farben und der Formen werden die SuS durch eigene Versuche mit den Wirkungen von Designmerkmalen vertraut gemacht. Eigene Entwürfe von Fahrzeugformen vertiefen den individuellen kreativen Prozess. Darauf aufbauend werden die Grundlagen des technischen Zeichnens behandelt – der gemeinsamen „Sprache“ der Designer und Ingenieure.

## Praxistipp

Das Modul lässt sich je nach Zeit und Schulsituation variabel einsetzen. Sie können z. B. mit der Lehrkraft für den Kunstunterricht die AB 4 bis 6 behandeln. Oder Sie behandeln die eher technisch orientierten AB 7 und 8. AB 9 kann in beiden Fällen als Abschluss dieses Moduls dienen.



Um den Bezug zur arbeits- und produktionstechnischen Realität herzustellen, wird der Zeichengrundkurs auf computergestützte Zeichenverfahren übertragen. Aus der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Zeichenprogramme wurde exemplarisch das Programm Solid Edge® von Siemens ausgewählt. Je nach schulischer Ausstattung vorhandene Alternativen – wie Inventor®, AutoCAD® oder DesignCAD® – sind bei Bedarf auf die Arbeitsblätter übertragbar. Unter den Download-Inhalten (siehe Seite 121) findet sich eine Testlizenz des Programmes Solid Edge®. Alternativ kann diese unter [www.chip.de](http://www.chip.de) bezogen werden. Beim Einsatz des Programmes muss auf die Unterschiede der Programmoberflächen zwischen der V- bzw. der ST-Version geachtet werden. Die Abbildungen in diesem Heft entsprechen der ST-Version.

## Zu den einzelnen Arbeitsblättern

### AB 4 „Auf der Suche nach gutem Design“

Die auf dem Arbeitsblatt vorgestellten allgemein bekannten Design-Klassiker sollen die SuS zur Diskussion anregen. Daraus resultierend werden im Kontext der diskutierten Produkte die eigenen Emotionen formuliert. In den weiteren Aufgaben werden diese Emotionen verallgemeinert, um zu einer allgemein gültigen Aussage zu gelangen, was einen Design-Klassiker ausmacht. Die genannten „Klassiker“ sind als Beispiele zu sehen, die beliebig erweiterbar sind.

Die in der vierten Aufgabe genannten Begriffe „Funktionalität“, „Klarheit“, „Originalität“ und „Ganzheitlichkeit“, die als Kriterien guten Designs ausgewählt wurden, erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie entstammen auch nicht dem Sprachschatz eines Designers, sondern sind vielmehr allgemeiner Natur und für SuS verständlicher. Weitere mögliche Begriffe sind „Emotionalität“ und „Schönheit“, denn gutes Design muss berühren.

### AB 5 „Versuche zu Design“

Jedes bewusst gestaltete Produkt erzeugt während des Wahrnehmungsprozesses eine Reihe von Empfindungen, Stimmungen und Erinnerungen. Deswegen wird in den ersten Aufgaben die Symbolik von Farben und Formen eines Produkts behandelt. Die vorgestellten Symbole, Formen und Farben verstehen sich als Auswahl und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Nach der Klärung der genannten Designaspekte werden die erarbeiteten emotionalen Wirkungen mit bekannten Alltagsobjekten verknüpft. Durch die Zuordnung vorgegebener emotionaler Begrifflichkeiten auf unterschiedliche Fahrzeugfronten soll den SuS vor Augen geführt werden, wie breit die angebotene Produktvielfalt im Fahrzeugbereich ist und wie die Fahrzeughersteller über emotionale Aspekte bei den Kunden für Absatz sorgen möchten.

Der Schwerpunkt des Arbeitsblattes liegt in Aufgabe 4. Hier sollen die SuS die zuvor theoretisch erarbeiteten Ausdrucksformen zur Wirkung von Farben und Formen in einem praktischen Versuch umsetzen. Ähnlich wie bei der in Arbeitsblatt 3 beschriebenen Fertigung einer Maquette haben sich Knete oder Fimo zur Modellierung der Fahrzeugseite bewährt. Auch die bereits beschriebenen Werkzeuge lassen sich verwenden. Mit dieser Aufgabe sollen die eigenen Vorstellungen von Design und dessen Wirkung erfahrbar werden. Vermutlich wird das geschaffene Produkt geprägt sein durch Vorbilder aus der Erlebenswelt der SuS. Auch aus diesen Gründen sollte nicht auf die abschließende Versuchsauswertung verzichtet werden. Das neutrale und nicht personalisierte Betrachten und Diskutieren der Ergebnisse ist dabei von besonderer Bedeutung. Steht wenig Zeit zur Verfügung, lassen sich einige exemplarische Modelle für die Diskussion auswählen.

### AB 6 „Entwürfe skizzieren“

Der Schwerpunkt liegt hier auf der künstlerischen Gestaltung eines eigenen Fahrzeugmodells. Die zuvor erarbeiteten

Grundlagen sollen beim Skizzieren eines Kleinwagens, einer Limousine oder eines Vans einfließen. Für die Entwurfsarbeit sollten die Arbeitsblätter (Download-Link siehe Seite 121) pro SuS mehrere Male kopiert werden, damit möglichst viele Entwürfe und Überarbeitungen entstehen können. Die endgültige Form findet sich auch in der Praxis nur durch Versuch und Irrtum. Die Entwürfe dürfen bewusst variieren und sollten am Ende in eine saubere Skizze münden.

### AB 7 „Technische Zeichnungen“

Technische Zeichnungen gelten als internationales Kommunikationsmittel. Von der Planung über die Fertigung bis hin zur Reparatur wird auf dem gesamten Lebensweg eines Produktes auf dessen technische Zeichnungen zurückgegriffen.

Im Unterricht lässt sich technisches Zeichnen in Form eines Lehrgangs oder anhand konkreter Artefakte durchführen. Beide Methoden werden in der Fachdidaktik diskutiert und haben Vor- und Nachteile. Innerhalb eines Lehrgangs befassen sich die SuS ausführlich und konzentriert mit der Thematik. Dadurch werden sie angehalten, sauber und mit Ausdauer zu arbeiten. Zeichnen ohne konkreten Bezug ist jedoch schnell unmotivierend und langweilig. Technisches Zeichnen anhand konkreter Artefakte, Fertigungsaufgaben oder Konstruktionsaufgaben zu behandeln, ermöglicht den SuS einen direkten Bezug und den Transfer der Zeichnung in die Praxis. Es zeigt sich jedoch, dass kaum in die notwendige Tiefe der genormten Vorgaben eingedrungen werden kann und dass die Zeichenergebnisse oftmals sehr oberflächlich ausfallen.

Idealerweise verfügt jeder Schüler und jede Schülerin über eine DIN-A3-Zeichenplatte mit aufsteckbarem Lineal. Ein zusätzliches Geodreieck erleichtert das Arbeiten. Bei der Verwendung von Druckbleistiften ist darauf zu achten, dass durch die Minenführung der Stifte am Ansteckwinkel eine Ungenauigkeit beim Zeichnen entstehen kann.

Erfahrungsgemäß geht viel Zeit bei der Erstellung des Schriftfeldes verloren. Es empfiehlt sich, Zeichenblöcke mit vorgeprägten Schriftfeldern zu erwerben oder jeden SuS ein sauberes Blatt mit Schriftfeld fertigen zu lassen und dieses dann mehrmals zu kopieren. Auch Schriftschablonen erleichtern die Beschriftung des Schriftfeldes.

Grundbausteine des Zeichenkurses:

- Unterscheidung von Zeichnungsarten,
- Ausrüstung für das technische Zeichnen,
- Schriftfeld, Linienarten und Maßstäbe,
- grundlegende Zeichnungselemente,
- Symmetrien,
- komplexere Zeichnungen in Ansichten.

Übungen innerhalb des Zeichenkurses:

- einfache zweidimensionale Zeichnungen,
- Zeichnungen nach einer Abbildung,
- Zeichnungen nach einer Beschreibung,
- einfache Dreifafelprojektionen.

#### Praxistipp

Zur Vertiefung und zum Üben können zusätzliche technische Zeichnungen von Alltagsgegenständen der SuS angefertigt werden.



### AB 8 „Einführung in computergestütztes Konstruieren (CAD)“

In der industriellen Fertigung ist der Computer in Verbindung mit einer CAD-Software nicht mehr wegzudenken (CAD = computer aided design). Da die CAD-Zeichnung für viele automatisierte Fertigungsprozesse verwendet wird, sollte ein CAD-Grundlehrgang auch im Technikunterricht nicht fehlen. Die Einführung beginnt mit der Konstruktion der Seitenansicht des Modells. Nach deren Fertigstellung wird der gezeichnete Umriss um die dritte Dimension erweitert. Danach können Ecken und Kanten verrundet werden, Teile des Modells durch „ausschneiden“ entfernt oder durch „ausprägen“ weitere Formen an den Körper angesetzt werden.

SuS kommen in der Regel sehr gut mit dem CAD-Programm Solid Edge zurecht. In den meisten Fällen wird daher das Schülerarbeitsblatt ausreichen. Da CAD-Programme aber viele weitere Funktionen bereithalten, ist der vertiefte Umgang des Programmes durch die Lehrperson empfehlenswert. Das Programm Solid Edge und alle notwendigen Informationen und Anleitungen finden Sie unter den Download-Inhalten (siehe Seite 121).

### AB 9 „Ein Fahrzeug wird entworfen“

Hier soll der lange Prozess aufgezeigt werden, in dem neue Fahrzeugformen entwickelt werden. Dazu erarbeiten die SuS in der ersten Aufgabe die verschiedenen Entwicklungsphasen eines Fahrzeugs. Die einzelnen am Entwicklungsprozess beteiligten Bereiche müssen permanent abwägen zwischen dem Wünschenswerten, dem technisch Machbaren und dem Finanzierbaren. Daher wird darauf aufbauend in Aufgabe 2 das Spannungsfeld zwischen Entwickler, Designer und Ingenieur erarbeitet.

In den Aufgaben 3 und 4 werden abschließend die verschiedenen Phasen des Designprozesses beschrieben und in einer Stellungnahme durch die SuS bewertet. Die entsprechenden Abbildungen sind als Folien downloadbar (Seite 121) und können als Grundlage für ein Unterrichtsgespräch dienen.

## 4 Auf der Suche nach gutem Design

Unsere Welt ist von A bis Z durchgestaltet. Selbst einfache Gegenstände wie Türklinken oder Wasserflaschen transportieren über ihre Erscheinung eine visuelle Information, die wir meist unbewusst verstehen. Als Benutzer reflektieren wir die Gestaltung des Produkts aber meist nicht über ein Geschmacksurteil hinaus: Es gefällt uns oder es gefällt uns nicht.

Ein Designer hingegen weiß sehr genau, wie er die Dinge im Hinblick auf Form, Funktion und Zielgruppe gestalten muss.



**1. Anhand von Designklassikern versuchen wir zu verstehen, was gutes Design ausmacht, d. h. wann es gelingt, eine Gestaltung zu finden, die viele Menschen auch über einen größeren Zeitraum hinweg als gut, richtig, treffend und schön empfinden.**

Suche dir drei der folgenden Designklassiker aus und formuliere, was deiner Meinung nach an der Gestaltung so gut gelungen ist, dass das Produkt zum Klassiker wurde.

Arne Jacobsen, Stuhl Serie 7, 1950er Jahre



BIC-Feuerzeug, Louis Lucien Lepoix, 1972



Coca-Cola-Flasche, Earl R. Dean, 1915 (Entwurf)



McDonalds Pommes-Tüte, Designer unbekannt

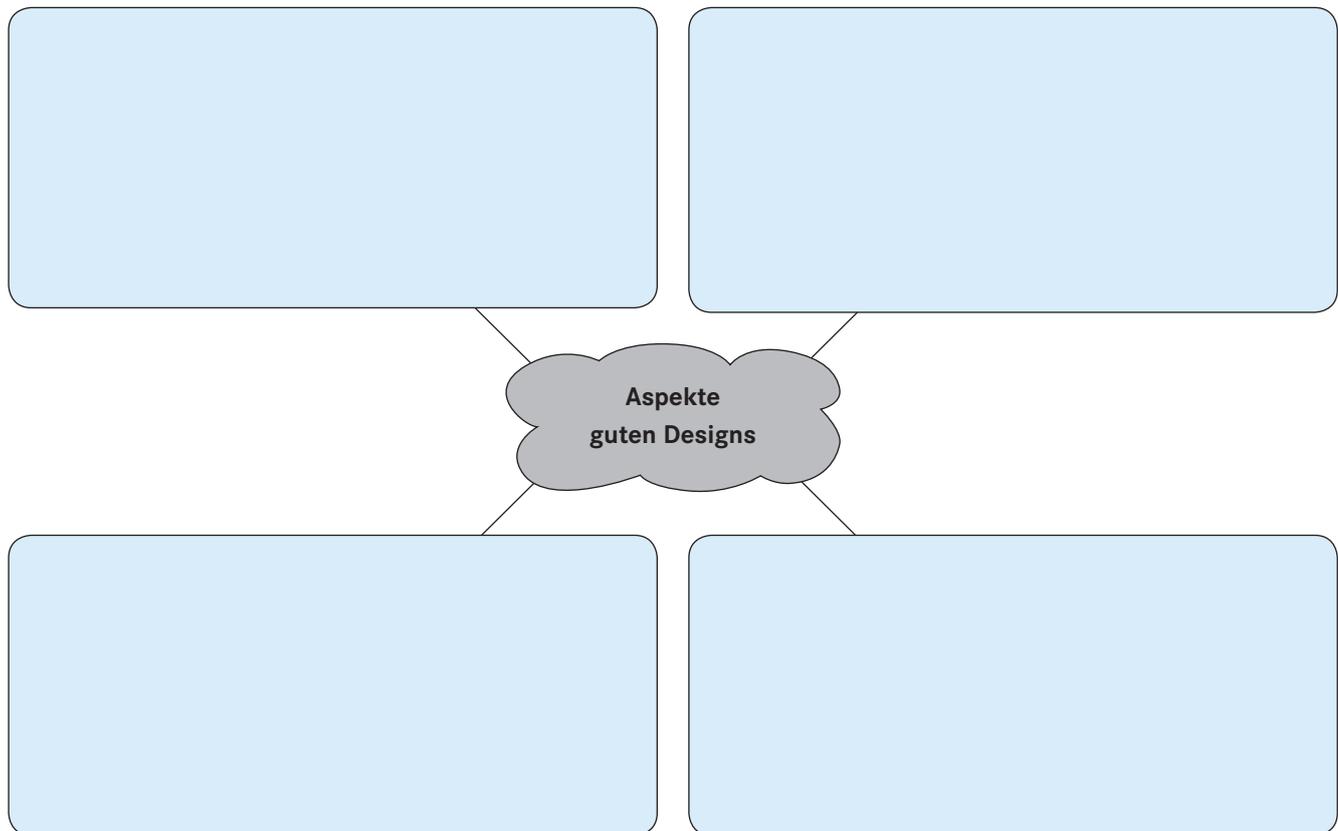


IKEA-Regal Billy, Gillis Lundgren, 1979



## 2. Was macht gutes Design über das persönliche Geschmacksurteil hinaus aus?

a) Finde vier Aspekte guten Designs und notiere sie im Schaubild.



b) Welche Begriffe hast du gewählt und welche deine Mitschülerinnen und Mitschüler? Um Gemeinsamkeiten und Unterschiede diskutieren zu können, überträgt jedes Mitglied der Gruppe einen seiner Aspekte an die Tafel. Entwickelt dann aus dem Tafelbild eine Mindmap und findet gemeinsame Überbegriffe.

## 3. Gutes Design – das Zeug zum Klassiker.

a) Beschreibe, was man unter einem Klassiker versteht.

---

---

b) Wann haben Produkte das Zeug zum Klassiker? Zähle Merkmale auf, die ein Produkt haben muss, damit es ein Klassiker werden kann.

---

---

c) Kennst du weitere Klassiker aus der Produktwelt? Zähle auf.

---

---

**4. Wie wird ein Designklassiker den Aspekten des guten Designs gerecht?**

Untersuche eines der oben vorgestellten Designobjekte mithilfe der im Folgenden vorgeschlagenen vier Begriffe. Trage deine Ergebnisse in die vier Felder ein.

**Klarheit:****Funktionalität:****Originalität:****Ganzheitlichkeit:**

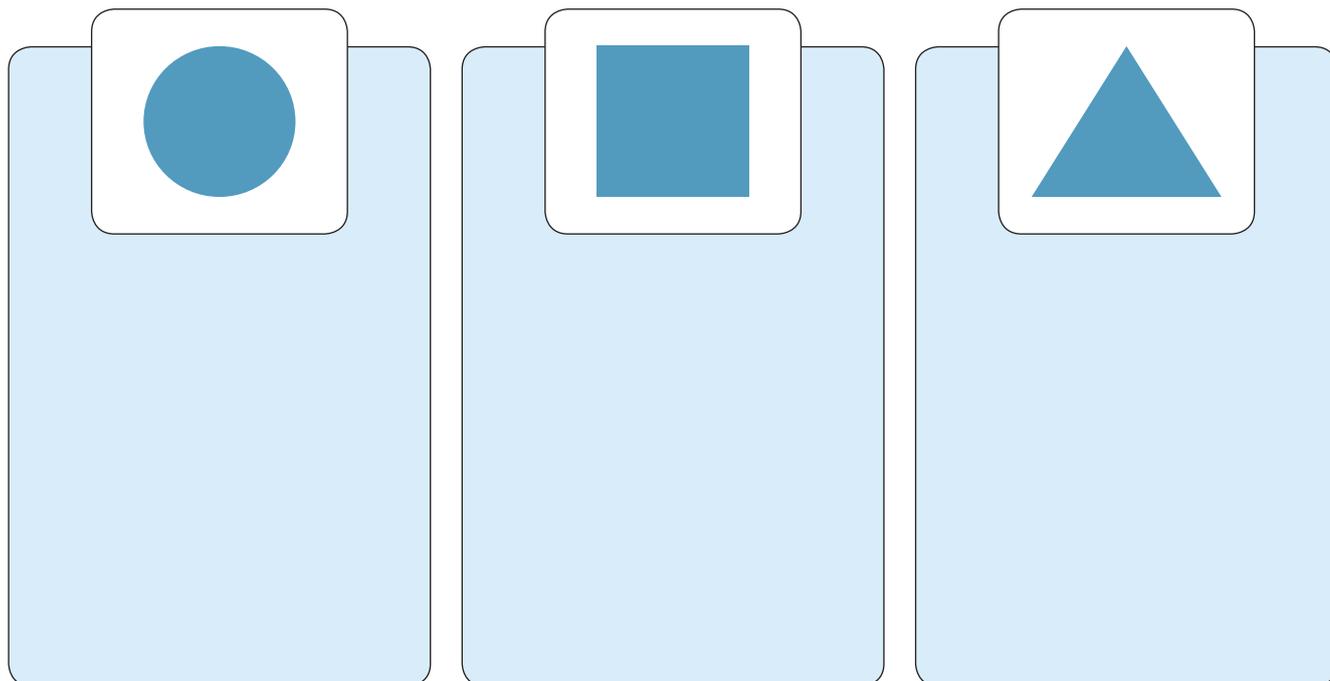
## 5 Versuche zu Design

Das Design eines Produkts beinhaltet viele und unterschiedliche Aspekte, die von Designern bei der Entwicklung eines Objekts einbezogen werden müssen. Funktion, Bedienbarkeit und die Lebensdauer eines Objekts haben – abhängig vom Design – Einfluss auf den Erfolg oder Misserfolg eines Produkts.

Die Wahrnehmung eines Gegenstands in unserem Gehirn ist mit einer Reihe von Empfindungen, Stimmungen und Erinnerungen verknüpft. Dies soll im Folgenden verdeutlicht werden.

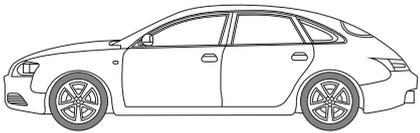
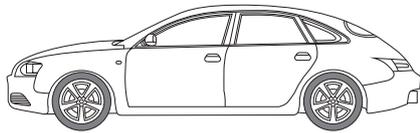
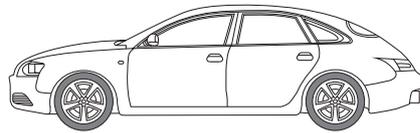
### 1. Symbolik und Assoziation.

Bei der Wahrnehmung von Formen verbinden wir eine Reihe von Emotionen mit dem Gegenstand. Beschreibe, welche Assoziationen die folgenden Formen in dir hervorrufen.



### 2. Wirkung von Farben.

a) Du hast sicher schon erlebt, dass blaues Licht kühlend und beruhigend, rotes Licht hingegen wärmend und anregend wirkt. Jede Farbe hat also eine andere Wirkung. Gestalte die Silhouetten der Fahrzeuge in den Farben Rot, Blau, Silber (Grau). Beschreibe in Stichworten, welche Wirkungen die drei Farben auf dich haben.

		
Rot:	Blau:	Silber:

b) Nenne Beispiele, in denen die Farben der oben gestalteten Fahrzeuge ihre Bedeutung ausstrahlen.

Rot:	Blau:	Silber:
------	-------	---------

### 3. Wirkung von Formen.

Auch die Form eines Gegenstands hat besondere Wirkungen auf die Menschen. Einerseits werden durch Linienführungen, andererseits durch den Kontrast von Materialformen Emotionen geweckt. Suche dir zwei der folgenden Fahrzeugfronten aus und beschreibe sie. Folgende Wörter können dabei helfen (du kannst auch andere Begriffe verwenden): **Einfachheit, Kraft, Aggression, Dynamik, Überlegenheit, Ruhe, Unkompliziertheit, Robustheit, Hochwertigkeit, Schnelligkeit, Wohlstand**



Fahrzeug Nr.

Fahrzeug Nr.

### 4. Versuch zur Wirkung von Farben und Formen.

#### Versuchsbeschreibung:

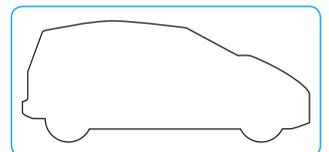
In der Gruppe soll die Wirkung eines individuellen Fahrzeugmodells verdeutlicht werden. Verschiedene Gestaltungsmerkmale werden dabei gegenübergestellt.

#### Materialliste:

verschiedenfarbige Knete oder Fimo, Modellierwerkzeuge wie Messer oder Spatel

#### Entwicklung des Fahrzeugmodells:

- Jedes Gruppenmitglied überlegt sich, was es mit seinem Fahrzeugmodell und der verwendeten Farbe ausdrücken möchte. Schreibt eure Gedanken in Stichworten auf.
- Nun formt jeder nach der abgebildeten Vorlage ein möglichst identisches Fahrzeugmodell.
- Jetzt beginnt der individuelle Teil des Designs: Jedes Gruppenmitglied gibt seinem Fahrzeug durch Formgebung eine individuelle Note. Dies könnte durch Sicken, Rundungen, Falze, Kanten, Ausformungen, Muster oder andere Elemente geschehen.



#### Auswertung der Versuchsergebnisse:

Positioniert alle Fahrzeuge auf einem Tisch, sodass nicht erkennbar ist, von wem welches Modell ist. Legt vor jedes Modell ein leeres Blatt Papier. Jedes Gruppenmitglied schreibt nun für jedes Modell ein oder zwei Stichwörter auf. Vergleicht diese Stichwörter mit den Notizen, die sich jeder zu Beginn gemacht hat.

## 6 Entwürfe skizzieren

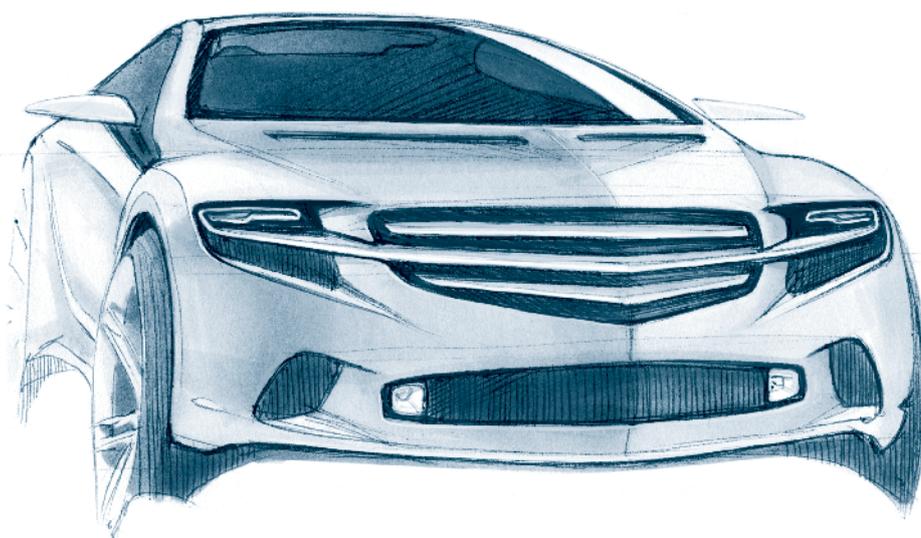
Jeder Anfang stellt eine besondere Herausforderung dar. So ist auch die Gestaltung eines neuen Fahrzeugs ein langwieriger Prozess, in dem viele Ideen geboren und wieder verworfen werden, bis man sich einem tragfähigen Ergebnis annähert. Der Entwurfsprozess folgt dabei einer Kette von Produktion und Reflexion: Ideen für die Gestaltung werden skizziert, man muss sie sehen, um sie beurteilen zu können. Anschließend wird man zum Betrachter und Kritiker seiner Arbeit und muss das Gute bewahren und die misslungenen Stellen verbessern oder noch mal ganz von vorne anfangen.

### 1. Gestalten eines eigenen Fahrzeugdesigns.

Von deiner Lehrkraft erhältst du schematische Vorgaben dreier Fahrzeugtypen – jeweils in ihren drei nicht maßstabsgetreuen Ansichten. Sie helfen dir einen Anfang für deinen Entwurf zu finden und die Proportionen besser zu treffen. Du kannst dich auch über diese Vorgaben hinwegsetzen, wenn sie dich zu sehr einschränken.

Wähle einen Fahrzeugtyp aus. Erinnere dich an die „Aspekte guten Designs“. Ist dir klar, was dein Fahrzeugtyp seinem Fahrer verspricht und was dieser von seinem Auto erwartet? Gestalte „dein“ Auto auf dieser Grundlage.

Skizziere mit dem Bleistift auf Kopien der Arbeitsblätter. Es sollen mehrere Entwürfe von „deinem“ Auto entstehen, sie können sich stark unterscheiden. Wähle dann die beste Lösung aus und perfektioniere sie. Verwende für deine Skizzen einen gut gespitzten Bleistift und einen sauberen Radiergummi. Beachte die folgenden Hinweise für die verschiedenen Ansichten.



#### Seitenansicht:

Die äußere Konturlinie (auch unten!) gibt dem Auto sein charakteristisches Erscheinungsbild. Platzangebot und gute Luftwiderstandswerte konkurrieren miteinander.

Die Bewegungsrichtung kann vom Design unterstützt werden. Oft haben Autos eine oder mehrere markante Längslinien (z. B. als geprägte Kanten oder auch als Zierleisten).

Die Unterteilung der Fensterfläche durch Streben trägt wesentlich zum Erscheinungsbild bei. Senkrechte Streben wirken klar und eher statisch, schräge Streben dynamisch.

Wie weit gehen die Stoßfänger um das Auto herum? Wie weit die Scheinwerfer und Rückleuchten? Wie sind die Rundungen der Kotflügel in die Gestaltung integriert?

#### Vorderansicht:

Das Gesicht! Wir sehen intuitiv die Scheinwerfer als „Augen“, aus Kühlergrill und Stoßstange machen wir Nase und Mund. Wie soll dein Auto wirken? Lächelt es, knurrt es grimmig oder saugt es gierig die Luft an?

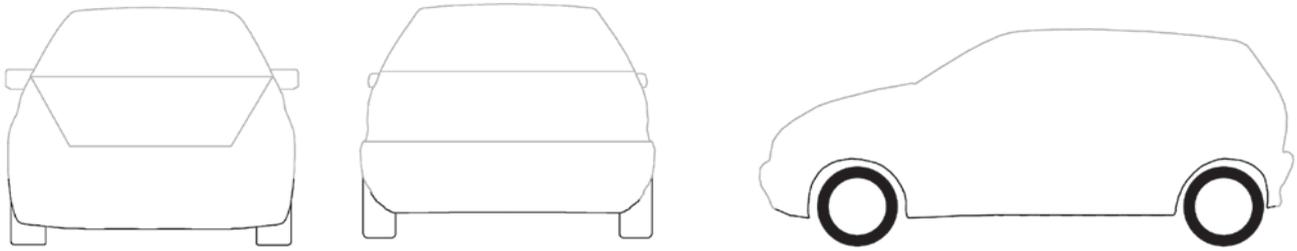
#### Rückansicht:

Die Funktionalität erwartet eine möglichst tiefe Ladekante von Kofferraum oder Heckklappe. Die Rückleuchten müssen groß genug sein, um ihre Funktion zu erfüllen. Das rechteckige Nummernschild muss integriert werden.

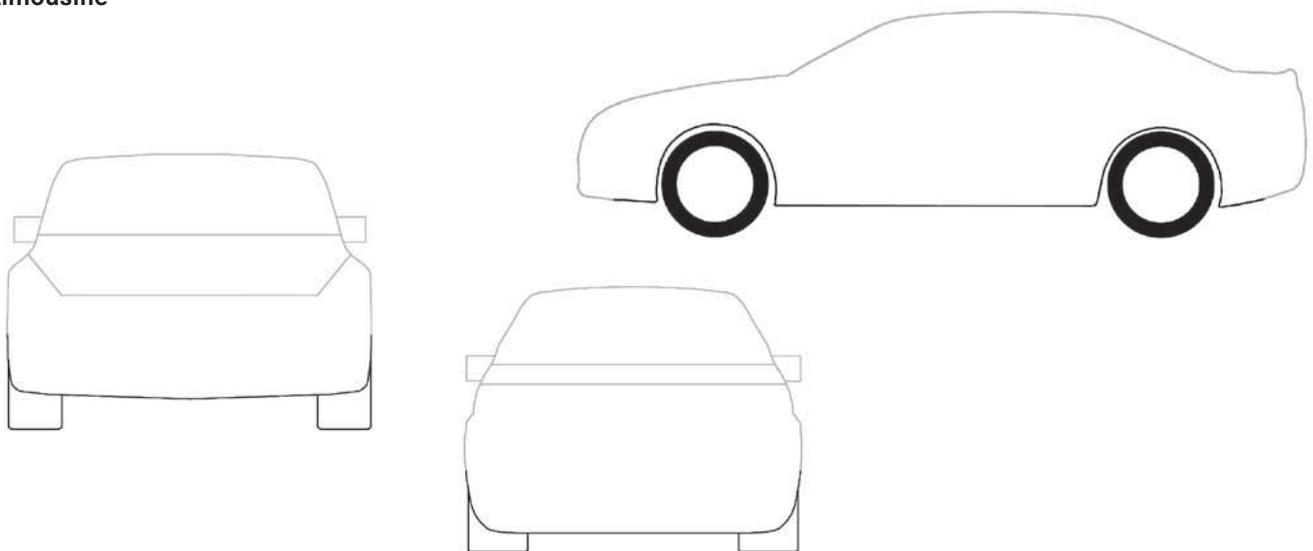
Diese Vorlagen finden Sie zum Ausdrucken im DIN-A4-Format unter den Downlad-Inhalten (siehe Seite 121). Sie können die Ausdrücke auf DIN-A4-Papier kopieren oder – was wir empfehlen – auf DIN-A3-Papier.

---

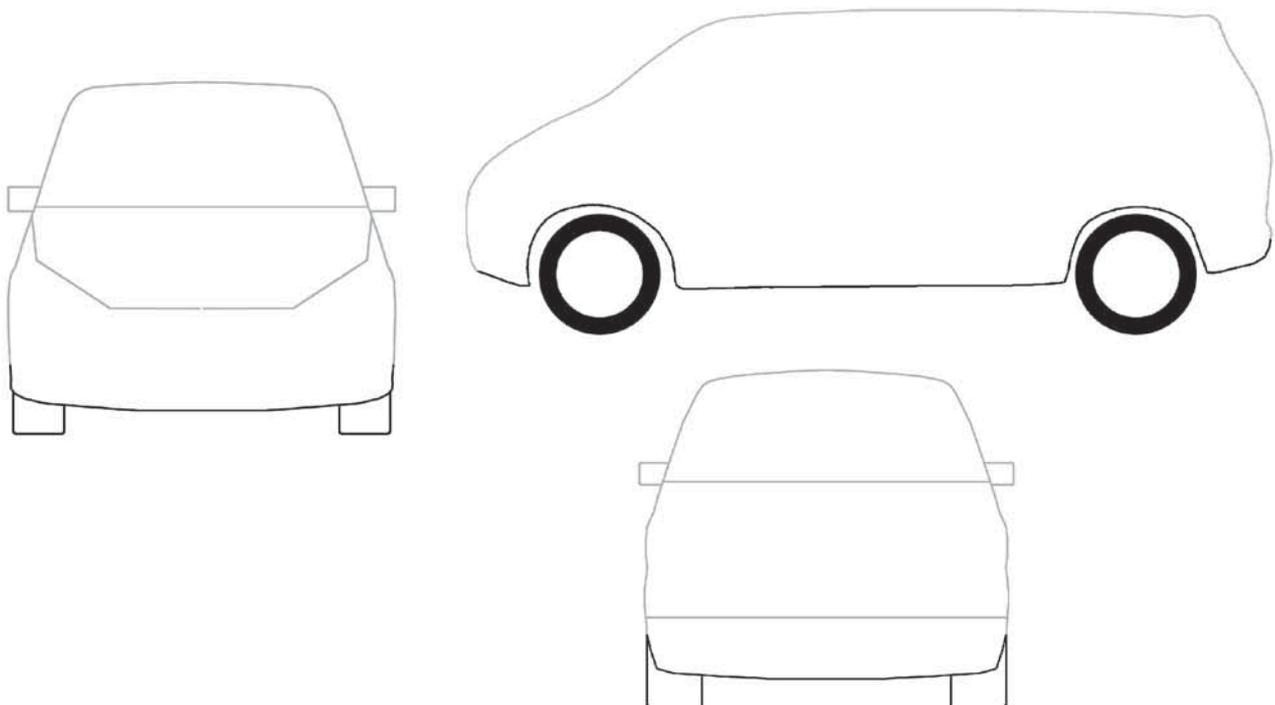
### Kleinwagen



### Limousine



### Van



# 7 Technische Zeichnungen

Bevor ein Produkt oder ein Werkstück produziert und ausgeliefert werden kann, fließen viele Informationen vom Designer zum Entwickler und zum Produzenten. In der Regel enthalten diese Informationen technische Sachverhalte, die nur in einfachen Fällen durch Sprache oder Schrift übermittelt werden. Normalerweise benutzt man technische Zeichnungen. Sie sind das wichtigste Informationsmittel, das zur Herstellung eines Bauteils oder einer ganzen Baugruppe erforderlich ist. Die Darstellung muss dabei eindeutig sein, sodass beim Lesen der Zeichnung keine Unklarheiten auftreten.

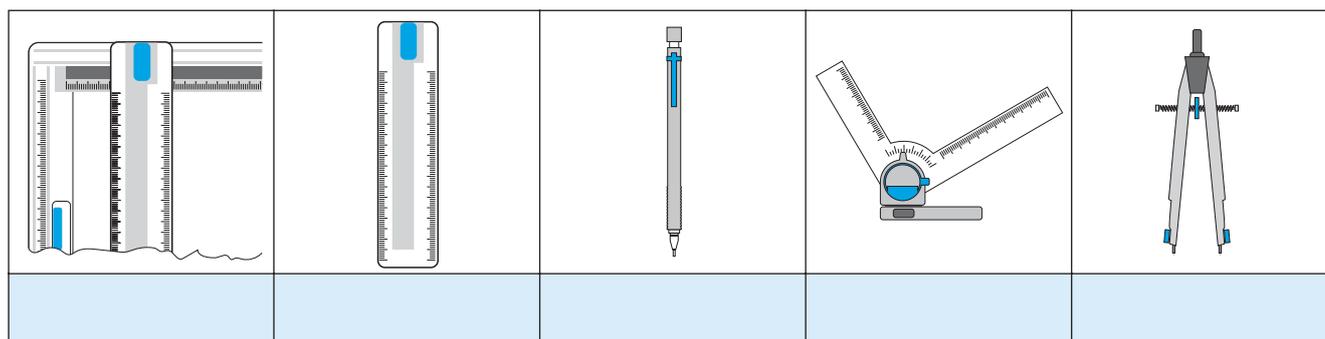


Technische Zeichnungen enthalten Informationen über Form, Größe, Materialbeschaffenheit, Aufbau und Funktion von Werkstücken und Baugruppen, damit die Menschen, die am Fertigungs-, Instandsetzungs- oder Wartungsprozess beteiligt sind, alle notwendigen Angaben besitzen. Heutzutage werden technische Zeichnungen mit dem Computer erstellt.

**1. Man unterscheidet – je nach Art der Darstellung oder dem Zweck der Zeichnung – verschiedene Ausführungen von technischen Zeichnungen. Ordne die Bezeichnung, die Beschreibung und die Abbildung einander zu (mit Linien verbinden).**

Entwurfszeichnung	Skizze	Fertigungszeichnung
	<p>Hier handelt es sich um vorwiegend freihändig erstellte Zeichnungen, die nicht an Regeln und Bestimmungen gebunden sind. Die Verwendung von kariertem Papier erleichtert das Zeichnen.</p>	
<p>Darstellung, über deren endgültige Ausführung noch nicht entschieden wurde. Sie enthält die für die Herstellung notwendigen Angaben, z. B. Abmessungen, die Lage und Maße von Aussparungen.</p>		<p>Für die Herstellung und Fertigung wird vor allem diese Zeichnung benötigt. Ihre Anfertigung erfordert große Exaktheit und Sauberkeit. Es müssen alle für die Fertigung notwendigen Angaben enthalten sein.</p>

**2. Für die Erstellung von technischen Zeichnungen mit der Hand – d. h. ohne Computer – benötigt man eine spezielle Ausrüstung. Benenne folgende Werkzeuge.**



**3. Technische Zeichnungen als internationale „Sprache“ müssen vereinbarte Regeln einhalten, damit sie ohne jeden Zweifel ausgewertet werden können. Sie sind also genormt.**

a) Nenne dir bekannte genormte Dinge aus dem Bereich des technischen Zeichnens.

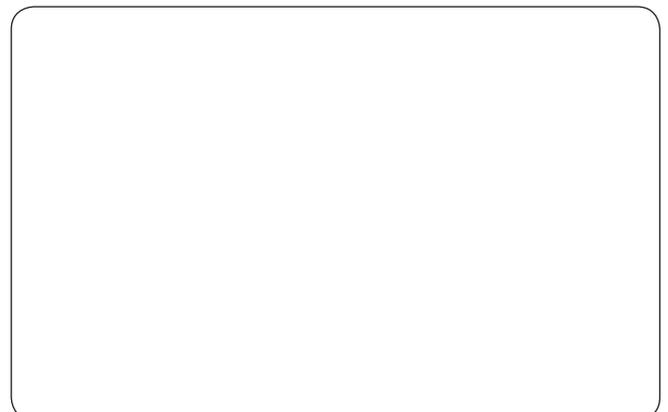
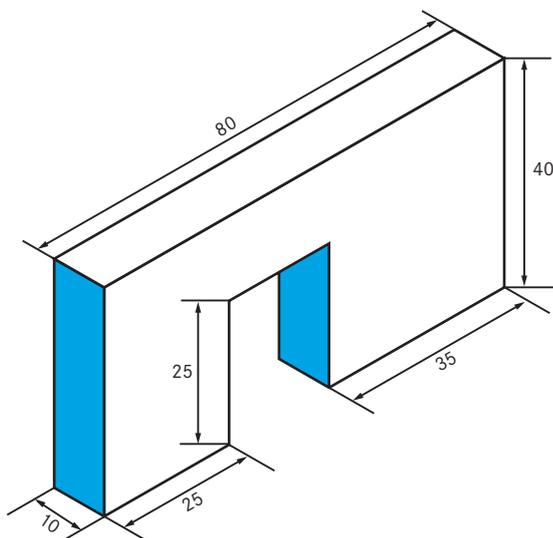
b) Technische Zeichnungen enthalten ein Schriftfeld, welches auf dem Blatt durch einen festgelegten Rand begrenzt ist. Zeichnungen von mehrteiligen Werkstücken erfordern außerdem eine Stückliste, die auf die Oberkante des Schriftfeldes gesetzt wird. In der Schule kann ein vereinfachtes Feld verwendet werden (Abb.). Beschreibe den Zweck eines Schriftfeldes.

Bl.-Nr.	Zeichnungsbenennung	Name		Maßstab
		Datum	Klasse	geprüft

c) Die Norm legt für jede Linienart Benennung, Linienbreite, Aussehen und Anwendung fest. Zeichne die entsprechenden Linienarten (Auswahl) in das vorgesehene Feld.

Benennung	Linienart	Anwendung	Breite
breite Volllinie		sichtbare Kanten und Umrisse	0,5 mm
schmale Volllinie		Bemaßungen, Hinweislinien, Schraffur	0,25 mm
Freihandlinie		Abbruchkanten	0,25 mm
Strichlinie		verdeckte Kanten und Umrisse	0,25 mm
schmale Strichpunktlinie		Mittellinien und Symmetrieachsen	0,25 mm
breite Strichpunktlinie		Schnittverlauf	0,5 mm

d) Platten mit einer Materialstärke bis zu 10 mm werden als flache Werkstücke bezeichnet und nur in einer Ansicht dargestellt. Die Dicke des Materials wird als Maßangabe in die fertige Zeichnung geschrieben. Zeichne folgendes Werkstück in das vorgesehene Feld. Entnimm die Maße dem Werkstück.

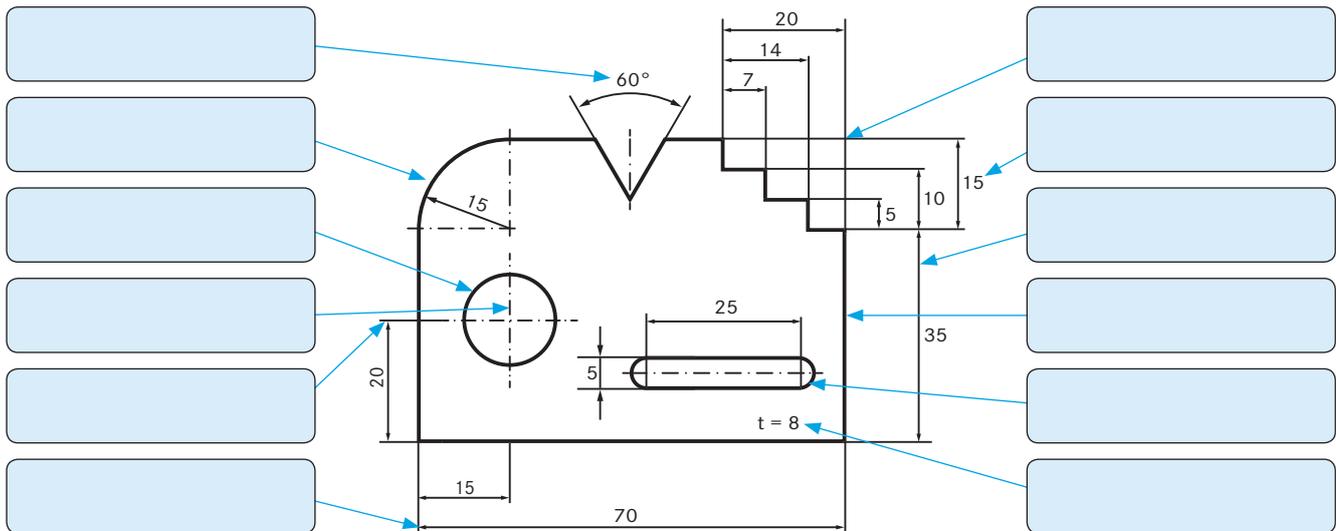


e) Zur Verkleinerung oder Vergrößerung eines Zeichnungsgegenstands wird dieser maßstäblich (M) gezeichnet. Ergänze die fehlenden Begriffe und Maßstäbe.

	Originalgröße	
<	=	>
	M 1:1	

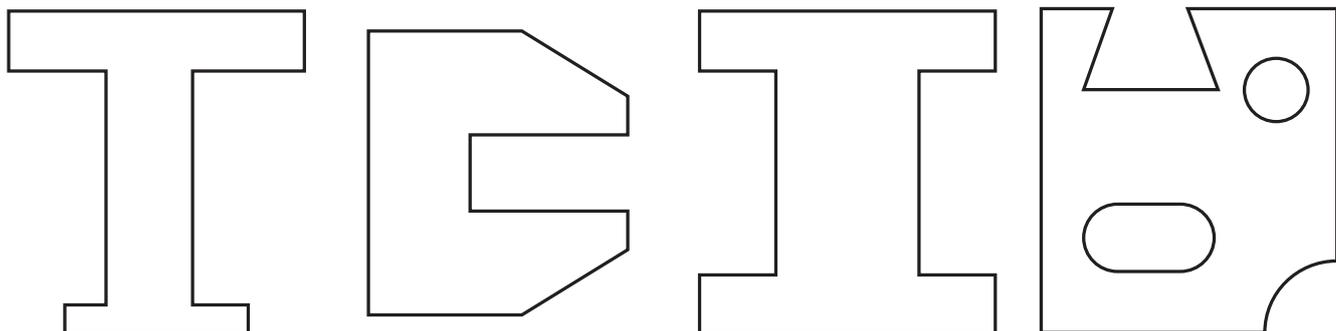
4. Benenne die Zeichnung mit den folgenden Zeichnungselementen.

Maßpfeile, Maßhilfslinien, Maßzahlen, Maßlinien, Winkelmaße, Dicke, Langloch, Durchmesser, Halbmesser, Stufenbemaßung, Symmetrieachsen, Körperkanten



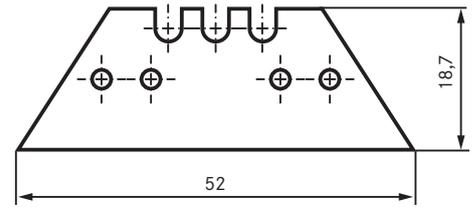
5. Wenn eine geometrische Figur oder ein Körper in deckungsgleiche Teile zerlegbar sind, wird dies als „symmetrisch“ bezeichnet.

Dies wird durch eine Symmetrieachse als Mittellinie gekennzeichnet. Die schmale Strichpunktlinie schneidet die Kanten des Werkstücks immer im Strich und ragt ca. 2 mm über die Körperkanten hinaus. Zeichne alle Symmetrieachsen in folgende Körper ein.



## 6. Einfache Technische Zeichnungen.

a) Zeichne die auswechselbare Messerklinge eines Teppichmessers in einem angemessenen Maßstab auf einem separaten Blatt. Nimm die Maße von einem Original oder aus der nebenstehenden Zeichnung. Bemaße sie fertigungsbezogen. Denke an eine ausgewogene Blatteinteilung und an das Schriftfeld.



b) Zeichne ein Bauteil nach folgender Beschreibung auf ein sauberes Blatt mit Schriftfeld:

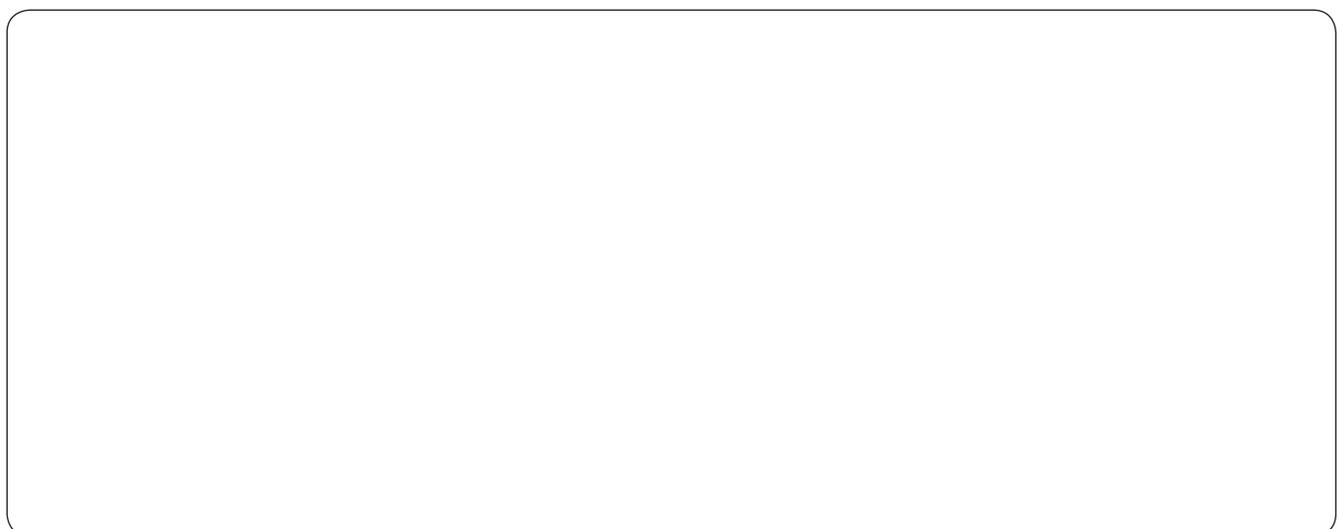
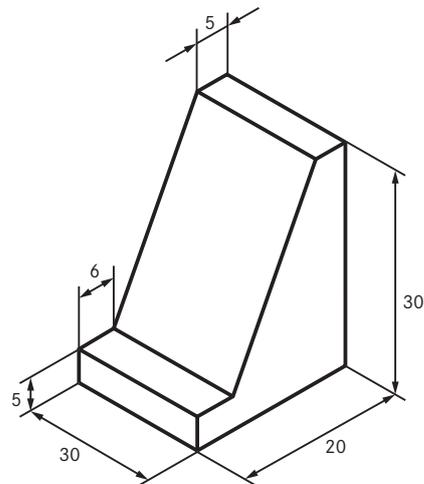
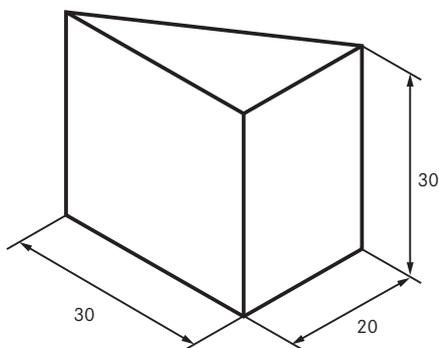
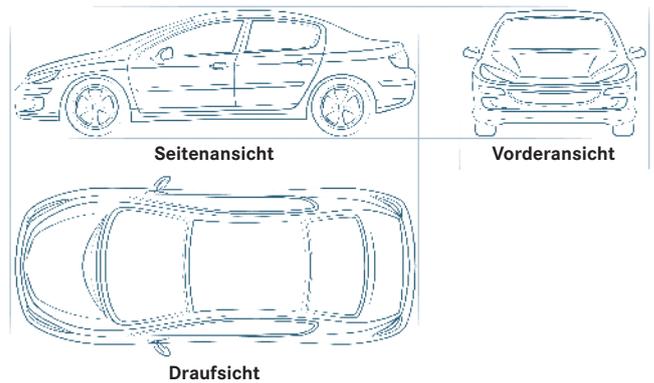
Das Grundmaß beträgt 30 mm x 50 mm x 0,2 mm. Zwei Bohrungen haben einen Durchmesser von je 2 mm. Ihre Bohrmittelpunkte liegen symmetrisch im Zentrum. Das Bauteil ist an den beiden oberen Kanten abgerundet mit  $r = 8$  mm. Zeichne das Teil in M 5:1 und bemaße es normgerecht.

## 7. Darstellung von komplexeren Gegenständen:

### Zeichnen von Ansichten.

Bei der Darstellung von komplizierteren Gegenständen mit einer größeren Tiefe sind mehrere Ansichten erforderlich. Meistens genügen zum eindeutigen Erkennen und Bemaßen des Objektes drei Ansichten.

Zeichne die beiden vorgegebenen Formen in jeweils drei Ansichten in einem geeigneten Maßstab in das Feld unten oder auf ein sauberes Blatt mit Schriftfeld.



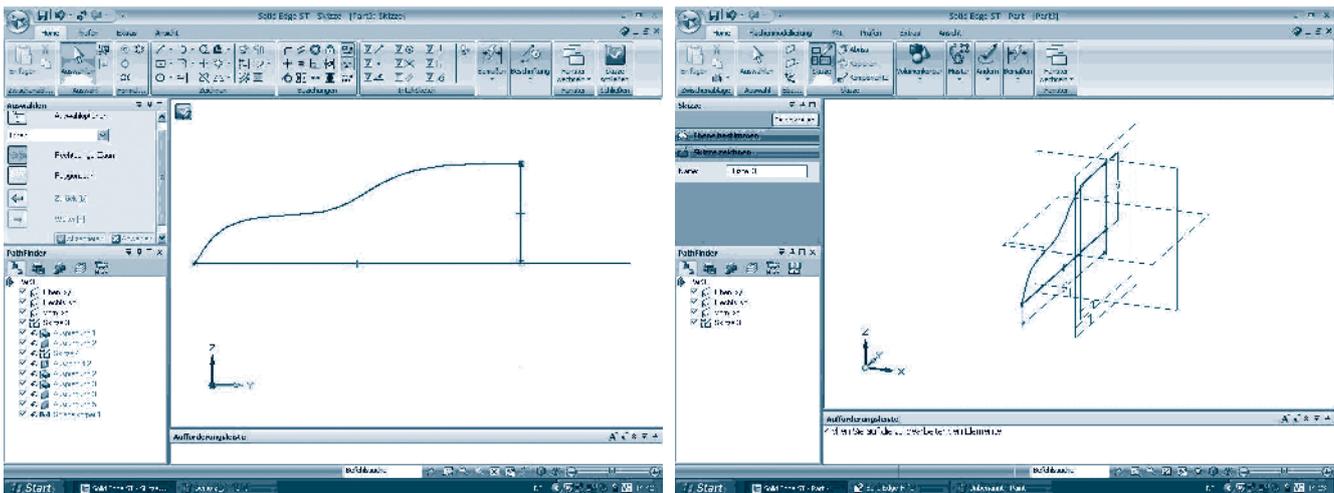
# 8 Einführung in computergestütztes Konstruieren (CAD)

CAD heißt Computer Aided Design, also computergestütztes Konstruieren. Mithilfe eines Computers und entsprechender CAD-Software wird ein virtuelles Modell eines zwei- oder dreidimensionalen Objekts erstellt.

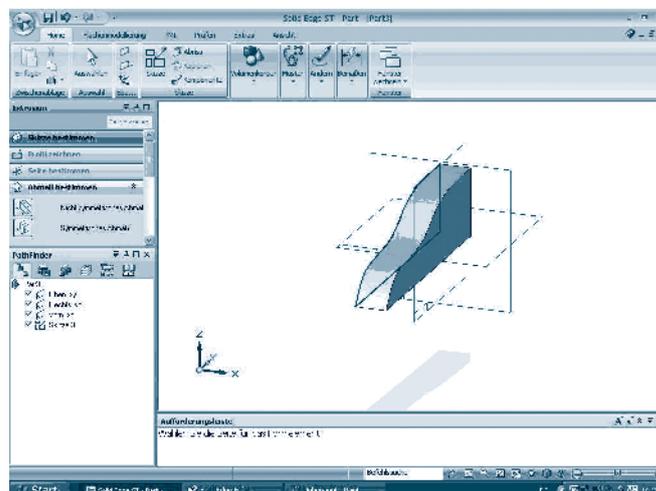
Ein Vorteil des CAD ist es, dass neu gezeichnete Strecken parallel zu einer schon vorhandenen Linie und Winkel in allen Größen automatisch angelegt werden können. Kreise, Rechtecke oder andere Formen mit vorgegebenen Maßen können jederzeit verändert werden, ohne dass man die Zeichnung von vorne beginnen muss.

Mithilfe der folgenden Kurzübersicht kannst du ein Automodell mit dem CAD-Programm „Solid Edge“ konstruieren.

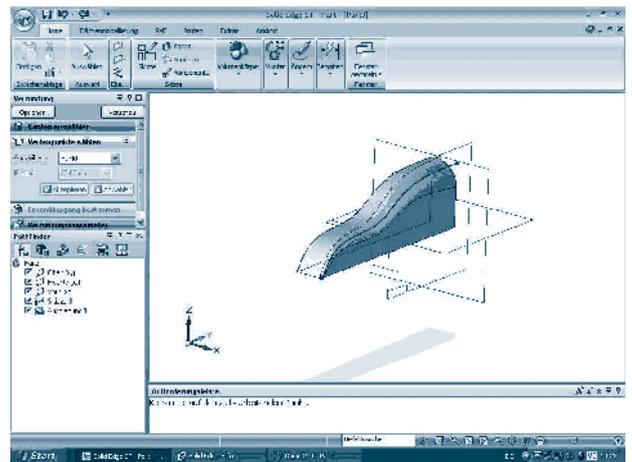
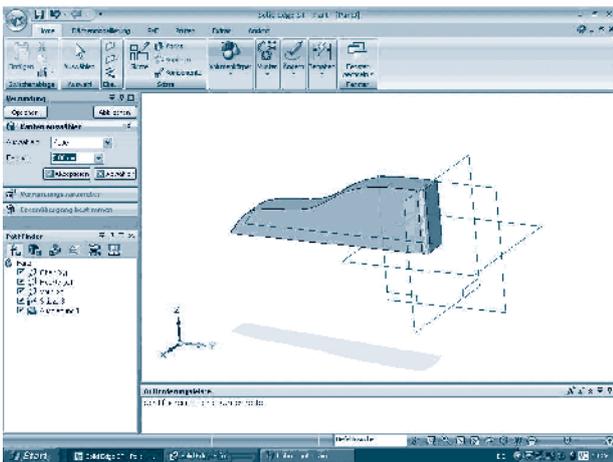
**1.** Wie beim herkömmlichen technischen Zeichnen beginnst du mit der Konstruktion des Querschnitts oder der Seitenansicht des Modells. Das Programm nennt eine Zeichnung „Skizze“. Die linke Abbildung zeigt das Erstellen einer solchen Skizze, bei der die Seitenansicht mit zwei Geraden und einer Kurve gezeichnet wurde. Für Kurven gibst du einige Punkte vor, das Programm zeichnet dann durch diese eine glatte Kurve. Die rechte Abbildung zeigt diese Skizze in der 3-D-Ansicht.



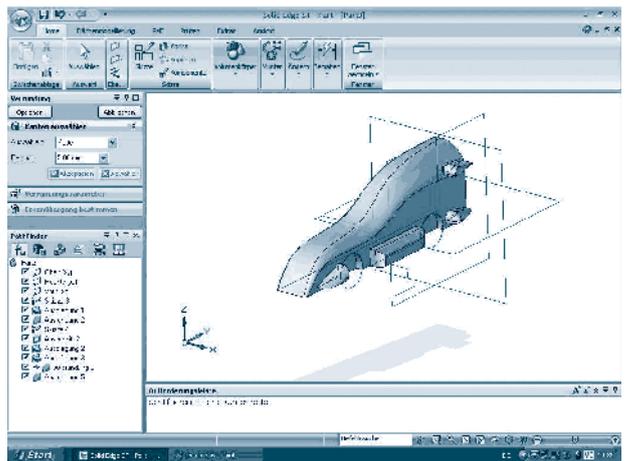
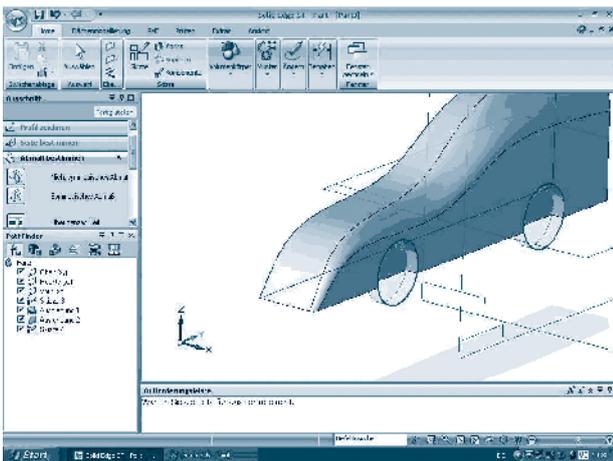
**2.** Im nächsten Schritt ziehst du mit einem Mausklick den gezeichneten Umriss zur Seite in die dritte Dimension. Dieser Vorgang nennt sich Extrusion oder Ausprägung.



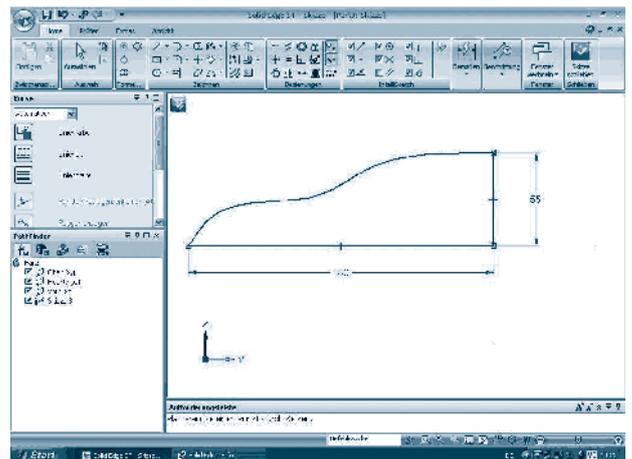
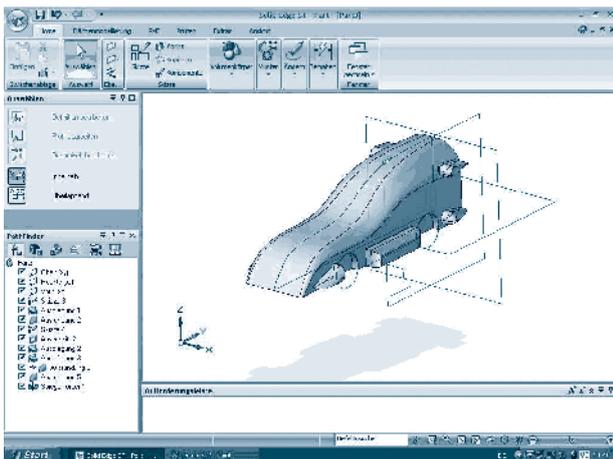
**3.** Nun rundest du die Kanten und Ecken deines Fahrzeugs mit beliebig einstellbarem Radius oder auch mit steigendem Radius ab.



**4.** Um Löcher für die Radkästen einzufügen oder einzelne Bereiche des Modells abzuschneiden, musst du die Funktion „ausschneiden“ oder „bohren“ verwenden. Wie in der linken Abbildung gezeigt, zeichnest du dazu Skizzen in beliebige Oberflächen. Weitere Teile, wie z. B. Seitenkästen oder Spoiler, kannst du durch die Funktion „ausprägen“ ebenfalls in eine Fläche einzeichnen.



**5.** Um beide Seiten des Fahrzeugs identisch zu gestalten, musst du nun das ganze Auto durch Spiegeln an der Mittelfläche duplizieren. Dieser Vorgang ist in der linken Abbildung dargestellt. Außerdem muss, wie in der rechten Abbildung gezeigt, jede technische Zeichnung bemaßt werden. Du kannst einerseits z. B. den Abstand oder Winkel zwischen zwei gezeichneten Strecken messen. Du kannst aber auch durch Eingabe eines bestimmten Wertes die Zeichnung im Nachhinein verändern.

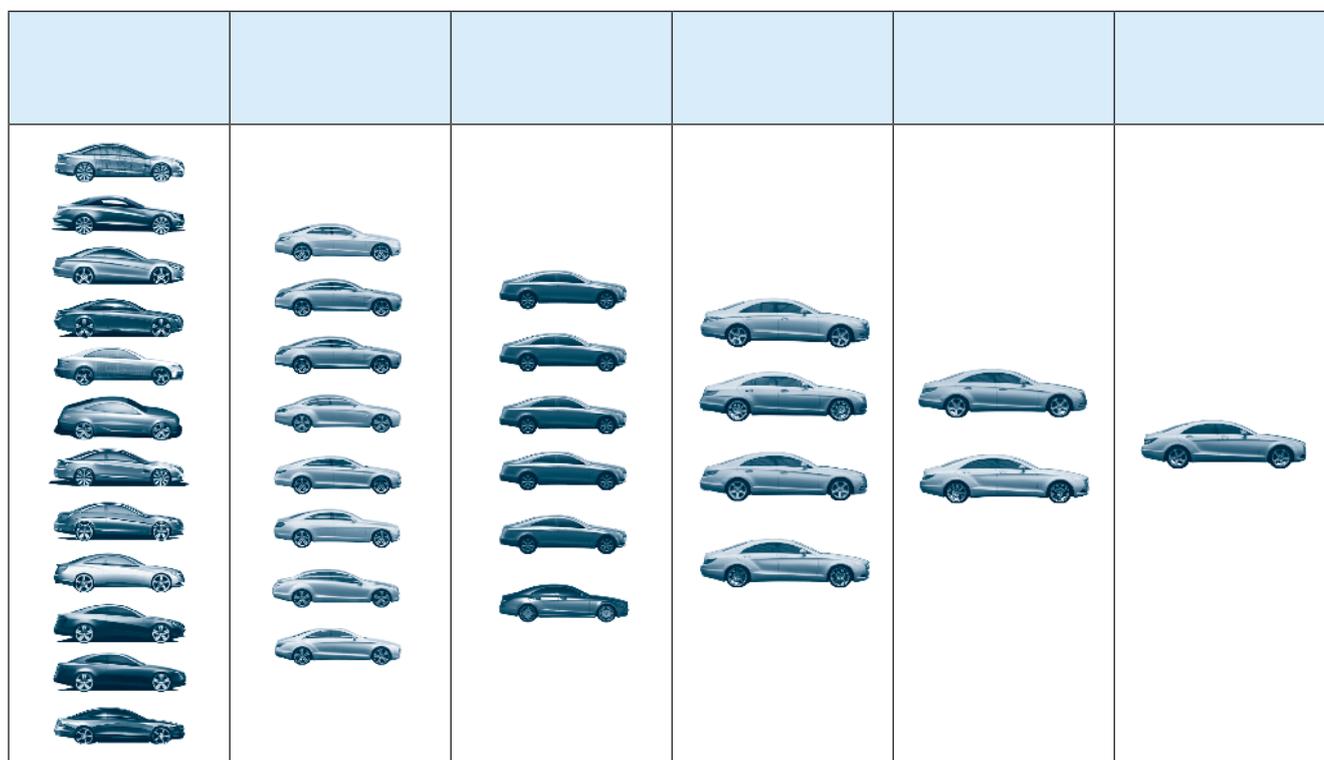


## 9 Ein Fahrzeug wird entworfen

Ein Fahrzeug wird nicht von einer einzelnen Person entworfen, sondern in einem langen Prozess entwickelt, an dem viele Menschen beteiligt sind. Die Kunst besteht darin, eine neue Fahrzeugform zu finden, die technische und zeitlose Trends berücksichtigt, aber auch das Markendesign des Fahrzeugherstellers weiterführt. Gleichzeitig sind die technisch und finanziell machbaren Realisierungsmöglichkeiten zu berücksichtigen.

### 1. Finde Überbegriffe für die Entwicklungsphasen eines Fahrzeugmodells und trage diese in die folgende Grafik ein.

1. In der Phase der Ideenfindung erstellen Designer unzählige Handskizzen als Entwürfe. Ab einem bestimmten Reifegrad werden einige ausgewählte Entwürfe in die dritte Dimension übertragen.
2. In der Modellphase entstehen zwischen vier und acht Tonmodelle im Maßstab 1:4.
3. Die überzeugendsten Modelle werden digitalisiert und zu Datenmodellen weiterentwickelt. An einer 7 m breiten Projektionswand optimiert man die Datenmodelle.
4. Die besten Datenmodelle werden als Modellauswahl in Originalgröße hergestellt. Diese sogenannte Themenauswahl wird gefräst, geschliffen und lackiert.
5. Weitere Prüfungen, Vergleiche und Entscheidungsrunden reduzieren die Auswahl zur Themenbestätigung auf zwei Modelle.
6. Nun wird auf höchster Ebene entschieden, welches als endgültiges Modell gefertigt wird (Designfreeze). Die Entscheidung für das neue Modell ist nach etwa zwei Jahren gefallen.



### 2. Entwickler, Designer und Ingenieur – Zusammenspiel und Spannungsfeld.

Beschreibe, warum zwischen den drei genannten Berufsfeldern bei der Entwicklung eines Fahrzeugs von einem „Spannungsfeld“ gesprochen werden kann.

---



---

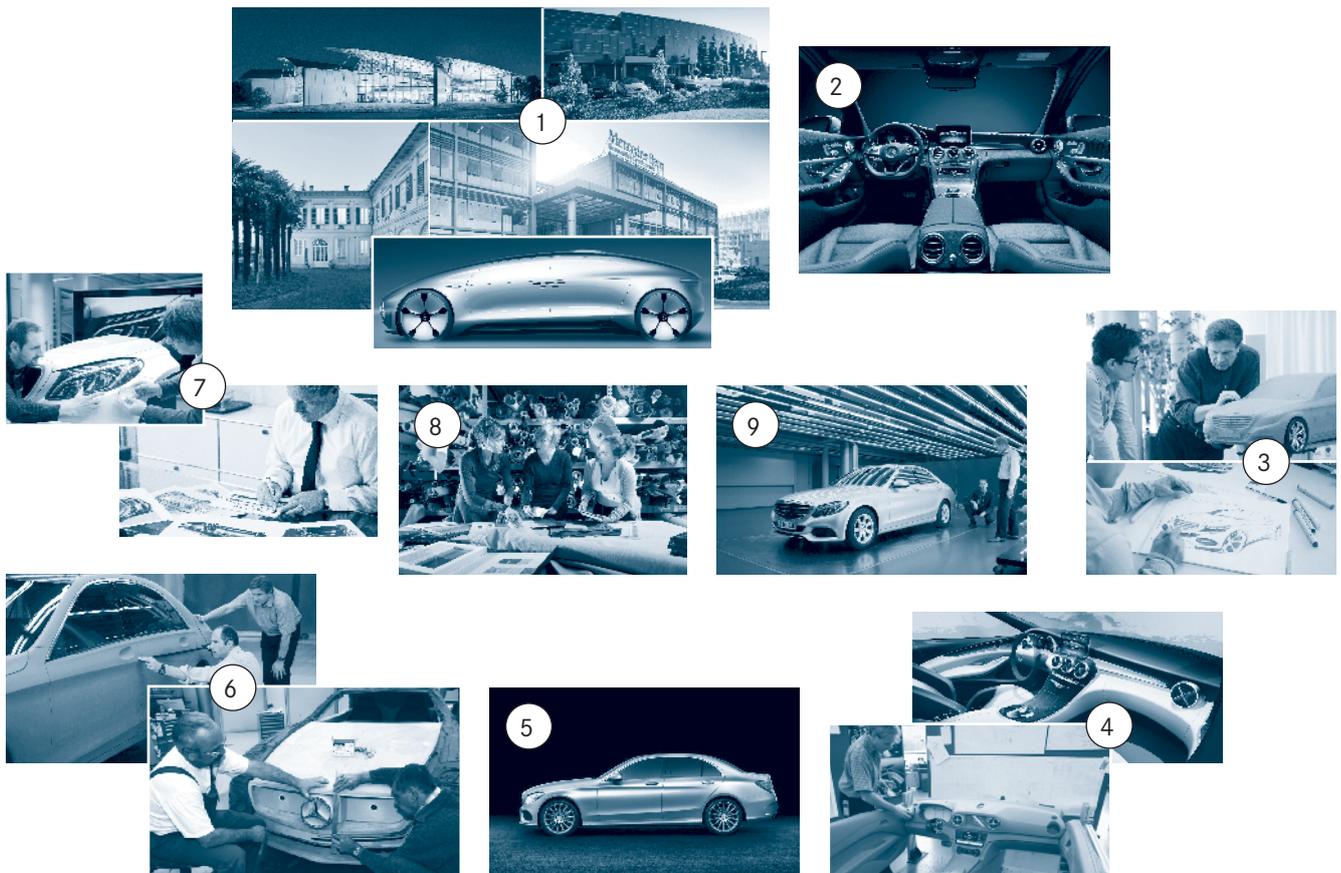


---



---

3. Die folgenden Abbildungen zeigen den Ablauf des Designprozesses eines Fahrzeugs. Ordne die vorgegebenen Nummern (1–9) in der Abbildung den Beschreibungen zu.



- |   |   |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Die Materialien und Farben für die Innenausstattung werden festgelegt.   | <input type="checkbox"/> Das Modell wird in Datenmodelle übertragen und alle technischen Randbedingungen werden überprüft.  |
| <input type="checkbox"/> An verschiedenen Standorten in der Welt werden Designkonzepte entwickelt. Diese Concept Cars gestatten sozusagen einen kleinen Blick in die Zukunft.                         | <input type="checkbox"/> Aktuelle Forschungsergebnisse und technische Entwicklungen (z. B. Bordcomputer, alternative Antriebe) können im sogenannten Showcar berücksichtigt werden. |
| <input type="checkbox"/> Das Design der Inneneinrichtung wird zunächst gezeichnet; die besten Entwürfe werden in 1:1-Modellen aufgebaut. Am Modell kann der Designer Gestaltung und Ergonomie prüfen. | <input type="checkbox"/> Der Gestaltung der Details (z. B. Leuchte) wird viel Aufmerksamkeit geschenkt.   |
| <input type="checkbox"/> Modelle in Originalgröße werden gebaut.  | <input type="checkbox"/> Nun wird ein Modell in Originalgröße gebaut, das dem genauen Abbild des zukünftigen Fahrzeugs entspricht.  |
| <input type="checkbox"/> Das Außendesign wird gezeichnet und in 1:4-Tonmodellen umgesetzt.  |   |

4. Welcher Schritt bei der Entwicklung eines neuen Autos ist für dich der interessanteste? Begründe deine Entscheidung.

---



---

# Lehrerinformationen Modul 3

Das dritte Modul vertieft gezielt die Inhalte der Aerodynamik. Die Aerodynamik selber ist in der Physik anzusiedeln, da sie schwerpunktmäßig auf die Gesetze der Strömungslehre und die Formgebung entsprechender Körper eingeht. Die Technik bedient sich im Sinne einer Produktoptimierung der Aerodynamik, um z. B. durch Formgebung sparsame oder schnelle Fahrzeuge zu entwickeln.

Neben der Erarbeitung der physikalischen Grundlagen der Strömungslehre werden die verschiedenen Nutzungsaspekte bei Fahrzeugen aufgezeigt, die diesen Erkenntnissen häufig entgegenstehen. Ein erster Schwerpunkt des Moduls liegt in den breit angelegten Versuchen zur Strömungslehre. Ein weiterer Schwerpunkt befasst sich mit dem Bau eines Windkanals, den die SuS mit einer eigens dafür konstruierten Styroporschneidemaschine selbst herstellen. Mit dem Windkanal sind die entstehenden Strömungen an den eigenen Fahrzeugmodellen der SuS darstellbar. Durch entsprechende Experimente lassen sich ein möglicher Strömungsabriss und entstehende Verwirbelungen sichtbar machen und mit der Optimierung der Fahrzeugmodelle verringern. Dabei wird zur Vereinfachung auf die räumliche Dimension der Fahrzeugmodelle verzichtet.

Das Modul endet mit der Erarbeitung der Grenzen des aerodynamischen Gestaltens. Dabei werden die Randbereiche der Aerodynamik insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten und durch den unverhältnismäßigen Energieanstieg diskutiert. Optimierungsaspekte aus der Bionik schlagen einen Bogen zu dem bereits bearbeiteten Thema.

## Zu den einzelnen Arbeitsblättern

### AB 10 „Wie sich Form und Funktion beeinflussen“

Designer unterscheiden bei Automobilen in One-Box-, Two-Box- und Three-Box-Fahrzeuge. Die Unterscheidung kann den Musterantworten in den Lösungen entnommen werden. Thematisiert werden könnte in diesem Zusammenhang auch ein nachgeordneter (Un-)Sicherheitsaspekt früherer One-Box-Autos: „Das Knie ist deine Knautschzone.“ Neben den Schwachpunkten der Modelle werden die Baukastensysteme im Fahrzeugbau diskutiert, die mittlerweile nahezu jeder Fahrzeughersteller verwendet.

### AB 11 „Grundlagen der Strömungslehre“

Dieses Arbeitsblatt knüpft zunächst an die Erfahrungen der SuS beim Fahrradfahren an. Darauf aufbauend werden verschiedene Radfahrtsituationen diskutiert und unabhängig von abstrakten physikalischen Herleitungen der Zusammenhang von Luftwiderstand zu Angriffsfläche und Geschwindigkeit qualitativ erfasst. Der quadratische Zusammenhang zwischen Luftwiderstandskraft  $F_w$  und Geschwindigkeit  $v$  wird qualitativ und im Diagramm halb quantitativ erarbeitet.

#### Praxistipp

Zur Vertiefung und mit geeigneten Schülergruppen lassen sich die Diagramme („Wie hoch ist die Dauerleistung?“) diskutieren, die Sie als Folien unter den Download-Inhalten finden (siehe Seite 121).



### AB 12 „Versuche zur Strömungslehre“

Die Versuche sind bewusst umfangreich gehalten worden. Durch eigene technische Experimente sollen die SuS ein möglichst umfassendes und breites Wissen zur Thematik aufbauen. Bei allen praktischen Arbeiten müssen die SuS eine Einweisung an den benötigten Werkzeugen und Maschinen erhalten. Die jeweils benötigten Materialien werden in den Stücklisten der Versuche beschrieben.

#### Praxistipp

Es wird – so weit es die Zeit zulässt – empfohlen, alle technischen Experimente zu behandeln. AB 12 eignet sich dabei besonders gut für eine Binnendifferenzierung. Sie können beispielsweise die technischen Experimente gruppendifferenziert durchführen lassen und die Ergebnisse hinterher in Form eines Vortrages dem Plenum zugänglich machen.



#### Luftwiderstandskraft bzw. Strömungswiderstandskraft $F_w$

Der Strömungswiderstand ist von der Querschnittsfläche  $A$  des Körpers, seiner Form und der Geschwindigkeit  $v$  abhängig. Damit ergibt sich für die Kraft  $F_w$ , die den Körper bremst: Luftwiderstandskraft:  $F_w = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho_L \cdot A \cdot v^2$  ( $\rho_L$ : Dichte der Luft)

Der sogenannte  $c_w$ -Wert hängt von der Form des Körpers ab. Er ist umso größer, je höher die Kraft ist, die die Luft auf den Körper ausübt, wenn sie um diesen herumfließt.

Der  $c_W$ -Wert wird experimentell über Windkanalmessungen bestimmt oder über Computersimulationen berechnet. Im Windkanal wird die Luftwiderstandskraft gemessen; bei bekannter Querschnittsfläche (Stirnfläche)  $A$ , der Luftdichte  $\rho_L$  und der im Windkanal eingestellten Luftgeschwindigkeit lässt sich die Formel nach dem  $c_W$ -Wert auflösen.

### (1) Teilversuch: Strömungswiderstände in Abhängigkeit von der Fläche

In diesem technischen Experiment soll untersucht werden, wie der Strömungswiderstand bei gleicher Anströmgeschwindigkeit mit Luft von der Fläche eines Körpers abhängt. In Absprache mit anderen MINT-Fächern, z.B. Mathematik/Informatik, wird eine Excel-Tabelle zur Erfassung und Protokollierung der Fläche und zur Erstellung des Diagramms empfohlen. Bei der Umsetzung der Messanordnung ist auf die möglichst reibungsarme Drehung des Stabes und die Einhaltung der rechten Winkel zu achten.

### (2) Teilversuch: Strömungswiderstände in Abhängigkeit von der Form

In diesem technischen Experiment soll untersucht werden, wie der Strömungswiderstand bei gleichbleibender Antriebskraft durch die Form eines Gegenstands im Wasser beeinflusst wird. Da bei den Versuchen mit den vorgegebenen geometrischen Formen die Form bzw. die Querschnittsfläche nicht exakt konstant bleibt, lassen sich in allen Schülerexperimenten nur qualitative Aussagen ableiten. Auch in diesem Versuch empfiehlt sich die Auswertung mit einem Tabellenkalkulationsprogramm.

### (3) Fallversuche zur Luftwiderstandsmessung I

Um den Zusammenhang von Luftwiderstand und Beschleunigung an einfachen Körpern zu messen, wird ein leichter Ball aus unterschiedlichen Höhen fallengelassen. Die Fallzeit wird jeweils mit der Stoppuhr oder einer Filmsequenz dokumentiert. Durch den Versuch und die Auswertung des entstandenen Graphen wird die Beschleunigung eines Körpers im freien Fall verdeutlicht.

### (4) Fallversuche zur Luftwiderstandsmessung II

Mit technischen Hilfsmitteln soll in Teamarbeit der  $c_W$ -Wert für einige einfache geometrische Grundformen bestimmt werden. Lichtschranken oder Videokameras können eingesetzt werden, um die Fallzeiten exakt zu bestimmen.

Die Fallexperimente mit und ohne Seilführung führen direkt zum abstrakten, dimensionslosen  $c_W$ -Wert. Es ist zu bedenken, dass die SuS mehr Zeit benötigen, das technische Experiment zu durchdringen als es durchzuführen.

Mit der Kamera in einem Smartphone kann man beispielsweise entweder aus der Einzelbildfolge oder mithilfe von Videoauswertungssoftware Datenpaare ermitteln.

Die Auswertung der Fallzeiten mit einer Filmsequenz bzw. den entstehenden Einzelbildfolgen (einfacher Handyfilm) lässt sich z.B. mit der Auswertungssoftware „Tracker“ vornehmen: [www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker](http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker). Die Anleitung des Freeware-Programms finden Sie zum Kopieren unter den Download-Inhalten (siehe Seite 121).

Im Tutorial wird erklärt, wie man mit dem Programm  $t$ - $h$ -Diagramme oder  $t$ - $v$ -Diagramme für die Geschwindigkeit erstellen kann. Einfacher ist es, das Programm nur für folgende Punkte zu nutzen:

- um den Film des Fallexperiments zu laden,
- um die Anzeige für das Bild auf die Zeit umzustellen (Bild 1: links unten auf dem Bildschirm mit der Maus auf die rote 000 klicken, dann auf Display und dann auf Zeit),

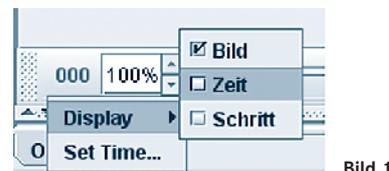


Bild 1

- um mit den Pfeiltasten die Bilder durchzugehen und die Zeiten in das Diagramm zu übertragen, zu denen der Körper eine der Markierungen passiert,
- um den Nullpunkt der Zeit auf das Bild des Films zu setzen, bei dem der Körper losgelassen wird (Bild 2: das schwarze Dreieck unter der Zeitleiste verschieben).

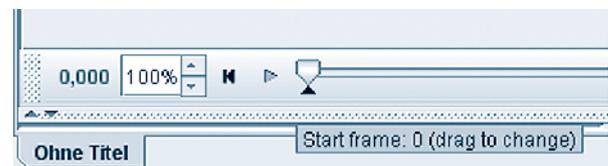


Bild 2

Bild 3 zeigt, wie der Bildschirm bei der Auswertung eines Films aussehen könnte. Links unten sieht man die Zeit, auf der Zeitleiste ist der Nullpunkt der Zeit mit dem kleinen schwarzen Dreieck nach rechts verschoben, das aktuelle Bild zeigt die Fallstrecke nach ca. einer halben Sekunde.

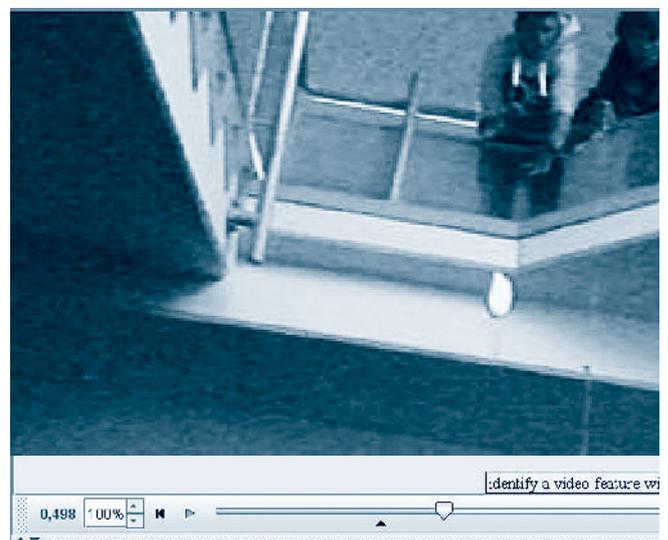


Bild 3

### AB 13 „Strömungswiderstände“

Mit dem Arbeitsblatt werden die Grundlagen für das Erfassen der Strömungswiderstände von Körpern gelegt. Zu Beginn erarbeiten die SuS den Zusammenhang von Druck und Energie. Danach folgen einfache Versuche (Versuch mit verschiedenen Luftballongrößen, Versuche mit einer Lufrakete und ein Auftriebsversuch mit einem Papierstreifen).

Energie ist im Gegensatz zum Druck eine Erhaltungsgröße. Daher ist es günstig, bei Vergleichen, Veränderungen oder Prozessen die Energiebilanz zu betrachten. Die SuS sollten den Energieerhaltungssatz aus der Physik kennen (im Vorfeld abklären), jedoch kennen sie noch nicht viele Energieformen und deren Berechnung.

#### Zusätzlicher Versuch zum Strömungswiderstand („Formen der Natur“)

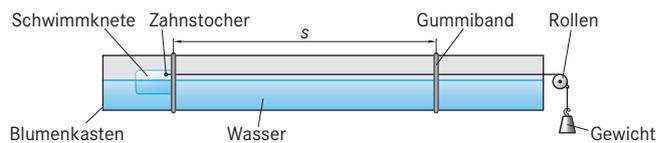
Die Überlegungen für Fahrzeuge nach dem One-, Two-, Three-Box-System und die Analogien aus dem Tierreich können im „Blumenkastenversuch“ unterstützt werden. Dazu werden verschiedene Tierformen (Kofferschiff, Wal, Hai) aus Schwimmknete geformt und mit einem gleichbleibenden Gewicht durch ein Wasserbad gezogen. Die Ermittlung der zugehörigen Zeiten zum Durchlaufen der Strecke ermöglichen eine Aussage über die Stromlinienform der Körper. Es ist darauf zu achten, dass bei allen Versuchskörpern die Masse/das Volumen der Schwimmknete gleichbleibt. Der größte Anteil des Druckwiderstands bei stumpfen Körpern (z. B. Automobil) liegt jedoch auf der „Rückseite“ des Körpers, entsteht also durch Überdruck!

Benötigte Materialien: Schwimmknete (ca. 200 ml), Hakengewicht (10 g bis 20 g), Blumenkasten aus Kunststoff (80 cm bis 100 cm), Bindfaden, Akkubohrschrauber, Bohrer (4 mm), 2 Zahnstocher, 2 Rollen, Stativ, Stoppuhr, 2 Gummibänder, Tischklemmen, Gießkanne, Schlauch, Eimer.

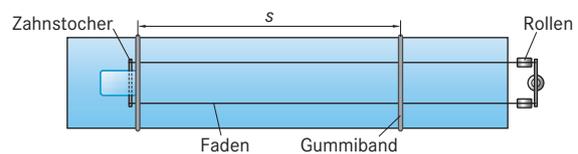
Der Versuch lässt sich folgendermaßen durchführen:

- In mittlerer Höhe werden seitlich zwei Löcher in den Blumenkasten gebohrt, welche ca. 2 cm weniger Abstand haben, als der Zahnstocher lang ist.
- Vor dem Blumenkasten werden mittels Tischklemmen zwei Rollen befestigt, welche den gleichen Abstand wie die Bohrungen haben und parallel zum Kasten verlaufen.
- Über beide Rollen läuft ein Bindfaden, welcher im Kasten und hinter den Rollen an den Enden des Zahnstochers befestigt ist.
- Innen wird der Zahnstocher fest an die Schwimmknete gedrückt und außen wird bifilar ein kleines Gewicht angehängt, um die Knete zu ziehen.
- Die beiden Gummibänder werden über den Kasten gespannt. Sie kennzeichnen die zurückzulegende Strecke  $s$  vom „Bug“ des Schwimmkörpers aus gemessen.

#### Seitenansicht



#### Draufsicht



- Der Kasten wird bis kurz unter die Lochhöhe aufgefüllt und nach der Versuchsdurchführung mit den verschiedenen Körperformen durch einen Schlauch wieder sicher geleert.

### AB 14 „Herstellung und Gebrauch eines Styroporschneiders“

Styropor ist ein preiswerter sowie einfach und schnell zu bearbeitender Werkstoff, der sich gut im Unterricht einsetzen lässt. Oftmals aber lösen sich beim Schneiden einzelne Teilchen vom Styropor, was zu unschönen Ergebnissen führt. Daher eignet sich ein Styroporschneider mit einem heißen Draht besser. Professionelle Geräte sind in der Regel teuer und können immer nur von einer Person gleichzeitig bedient werden. Mit einfachen Mitteln lässt sich jedoch ein funktionstüchtiger Styroporschneider selber herstellen.

Der Bau des Styroporschneiders gliedert sich in zwei Teile: der Herstellung des Gestells und der Herstellung des Schneidedrahts. Die entsprechende Materialliste steht auf dem Arbeitsblatt. Einzelne Materialien können kostengünstig im Handel, z. B. bei Conrad Electronic ([www.conrad.de](http://www.conrad.de)) bezogen werden; komplette Bausätze bei PCuS ([pcus@stefan-kruse.de](mailto:pcus@stefan-kruse.de)). Der benötigte Schmelzdraht für 2 AA-Zellen sollte 0,1 mm Durchmesser haben.

Beim Arbeiten mit dem Styroporschneider ist darauf zu achten, dass die SuS sich am Styroporschneider nicht verbrennen und keine Dämpfe einatmen (Räume gut lüften)!



#### Praxistipp

Lassen Sie die SuS einfache Übungen mit dem Schneider durchführen. Hier wird als Beispiel vorgeschlagen, die eigenen Initialen aus Styropor zu schneiden, aber auch andere Beispiele – je nach Vorliebe der SuS – sind denkbar.

### AB 15 „Bau eines Windkanalmodells“

Um die Aerodynamik von Körpern im Unterricht auch praktisch zu behandeln, werden u. a. Wassereperimente oder Strömungseinrichtungen mit Bindfäden verwendet. Möglich ist auch die Nutzung eines virtuellen Windkanals mit entsprechender Software (CFD-Software, siehe Exkurs). Professionelle Anlagen mit eingebrachtem Rauch sind groß und zu teuer. Mit wenigen Bauteilen lässt sich jedoch ein funktionierender Windkanal im Unterricht selber bauen. Die Materialliste dafür befindet sich auf dem Arbeitsblatt. Der komplette Bausatz kann bei PCuS ([pcus@stefan-kruse.de](mailto:pcus@stefan-kruse.de)) bezogen werden.

Styropor dient als Basis für den Kanal. Für eine gleichmäßige Strömungsrichtung des eingebrachten Rauchs wird eine lamellenartige Luftschleuse aus Trinkhalmen gefertigt. Um die Luftströmungen sichtbar zu machen, benötigt man Rauch. Zigarettenrauch ist nicht unterrichtsgerecht und Rauch aus einer Nebelmaschine ist zu aufwendig in der Herstellung, außerdem zu heiß. Als ideales Medium hat sich Trockeneis erwiesen. Dieses ist recht günstig im Internet, z. B. über Ebay, zu erwerben. Bitte beachten Sie: 5 kg Trockeneis sind trotz Isolierbox nur 2–3 Tage lagerfähig, weil das Material verdampft. Trockeneis ist festes Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), das unter normalem Luftdruck bei -78 °C sublimiert. Es ist schwerer als Luft und sammelt sich deshalb am Boden. In Konzentrationen von >5% wirkt es auch bei noch ausreichendem Sauerstoffgehalt der Atemluft erstickend. Deshalb auf gut belüftete Räume achten! Außerdem darf es nicht in direkten Kontakt mit Haut kommen (Kälteverbrennung!).



### AB 16 „Strömungen sichtbar machen“

Das Arbeitsblatt führt den Begriff des  $c_W$ -Werts ein und verdeutlicht die den Strömungswiderstand beeinflussenden Größen. Ein kurzer Exkurs in das Gesetz von Bernoulli macht die Zusammenhänge von Druck und Geschwindigkeit fassbarer. Im weiteren Verlauf des Arbeitsblattes wird beschrieben, wie mit dem selbst gebauten Windkanal (AB 15) Strömungen sichtbar gemacht werden können. Die SuS testen ihre eigenen Fahrzeugmodelle im Styropor-Windkanal und können dabei auch die entstehenden Verwirbelungen beobachten. Erfahrungen aus der Unterrichtspraxis zeigen, dass den SuS viel Zeit zum Experimentieren, Dokumentieren und vor allem Optimieren der eigenen Fahrzeugmodelle eingeräumt werden sollte.

Mit der letzten Aufgabe erfolgt der Bezug zu einer computergestützten Strömungsauswertung an einem Automobil. Die Aufgabe ist auch ohne CFD-Software zu bearbeiten (Computational Fluid Dynamics; dabei werden computergestützt mit Modellgleichungen Windkanalberechnungen simuliert).

Möchten Sie mit Ihren SuS tiefer in das Thema einsteigen ist es sinnvoll, mit einer CFD-Software die später im Modul 4 erstellten virtuellen Fahrzeugmodelle und deren Strömungseigenschaften zu testen. Hierzu bietet sich die kostenfreie Version der Software Caedium an. Diese wird auch im Projekt „Formel 1 in der Schule“ genutzt ([www.f1inschools.de](http://www.f1inschools.de)).

#### Exkurs: Arbeiten mit einer CFD-Software

Unter [www.symsscape.com](http://www.symsscape.com) erhält man für 30 Tage ein kostenloses CFD-Programm mit sehr ausführlichen Tutorials samt Erklärungen. Dazu wählt man das Caedium Professional Gesamtpaket, in dem diverse Add-ons wie Builder, RANS-Flow, Panel-Flow usw. inklusive sind. Zum Registrieren muss man Namen und E-Mail-Adresse angeben und erhält dann per Mail einen Code, der die Software für 30 Tage aktiviert. Das Programm steht für unterschiedliche Betriebssysteme zur Verfügung.

#### Installationstipps:

- [www.symsscape.com](http://www.symsscape.com) im Browser öffnen.
- Rechts in der Spalte auf „Free Trials“ klicken.
- Rechts in dem Kasten „Buy Caedium Professional“ unter dem Kalenderzeichen auf „Free Trial“ klicken.
- E-Mail-Adresse und Namen eingeben und im Testfeld die gewünschte Zahl als Ziffer eingeben, nicht mit Buchstaben!
- Das passende Installationspaket downloaden, das File für Windows heißt FullCaedium-Setup.exe (notfalls unter More → Downloads → Caedium Product Downloads, dort liegen dann die Installationspakete).

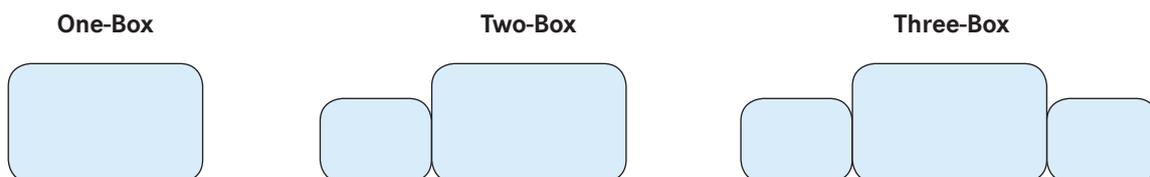
Die Software von Symsscape geht in ihren Möglichkeiten deutlich über den aerodynamischen Hintergrund der Unterrichtseinheit hinaus und bietet sich damit für längerfristige eigenständige Schülerarbeiten an. Im Unterrichtsverlauf empfiehlt es sich dagegen eher, mit den SuS einzelne Tutorials durchzugehen, nachzubauen und das Ergebnis qualitativ zu besprechen. Gute Englischkenntnisse sind für die Tutorials oder die Installationsanleitungen notwendig.

### AB 17 „Grenzen des aerodynamischen Gestaltens“

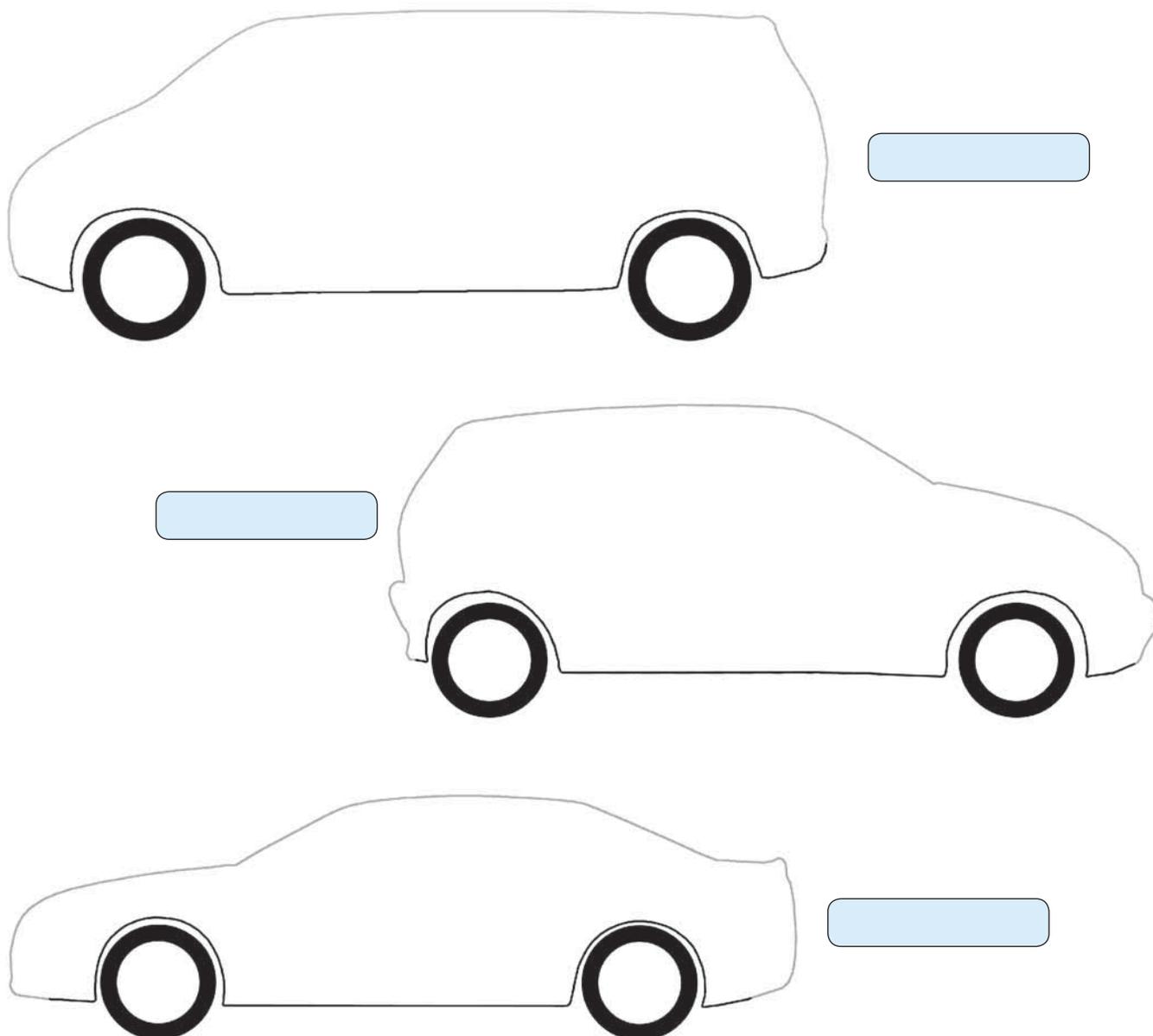
Mit dem letzten Arbeitsblatt in Modul 3 werden die Grenzen der aerodynamischen Optimierung von Fahrzeugen gezeigt. Die beiden ersten Aufgaben fassen das Gelernte zusammen, indem die SuS physikalische Zusammenhänge selbst formulieren. Anschließend wird der Kompromiss zwischen Fahrzeugaussehen und -funktionalität sowie der Größe des Luftwiderstands mithilfe einer modernen Fahrzeugstudie erarbeitet.

# 10 Wie sich Form und Funktion beeinflussen

Neben technischen Faktoren und modischen Tendenzen bestimmen immer auch die Funktion und der gewünschte Einsatzbereich die Form eines Gegenstands. Wenn Designer beispielsweise über die Funktionsbereiche von Automobilen sprechen, benutzen sie die Begriffe One-Box-, Two-Box- oder Three-Box-Auto. Damit sind die Funktionsbereiche Motorraum – Fahr-  
gastraum – Kofferraum gemeint:

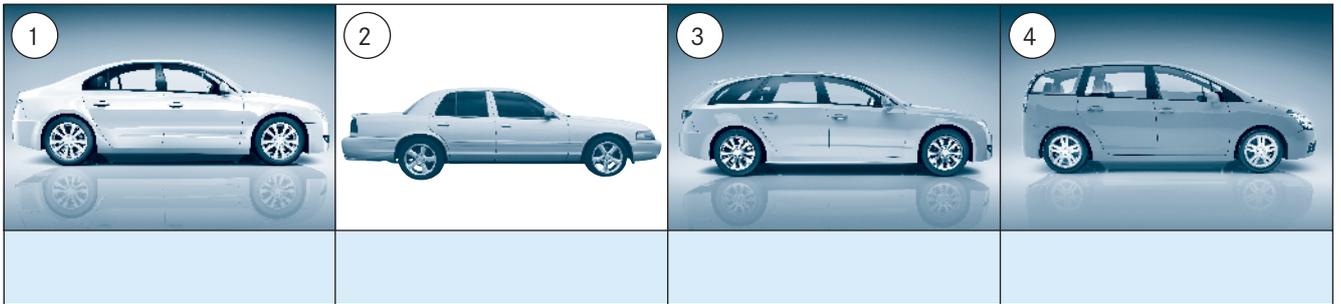


**1. Erkläre die Begriffe One-Box-, Two-Box- und Three-Box-Auto hinsichtlich Formgebung und Einsatzbereich. Schreibe den Text in die Umrisse der Fahrzeuge.**



**2. Schau dir die abgebildeten Fahrzeuge an: worin liegen die Unterschiede? Gehe davon aus, dass die einzelnen Modelle die gleiche Bodenplatte, ähnliche Motoren und ähnliche elektrische Fahrzeugkomponenten besitzen.**

**a)** Bezeichne folgende Fahrzeugtypen.



**b)** Bei welchen Modellen handelt es sich um ein One-, Two-, oder Three-Box-Auto? Welche Gesichtspunkte sind für den Verwendungszweck der Autos ausschlaggebend?

1		2	
3		4	

**3. Welche Aspekte des Designs sowie der Aerodynamik kannst du bei den gezeigten Autos feststellen? Erkennst du Schwachpunkte?**

	Design und Aerodynamik erkennbar durch:	Schwachpunkte:
1		
2		
3		
4		

# 11 Grundlagen der Strömungslehre

Du hast sicher schon bemerkt, dass beim Fahrradfahren oder beim Skifahren Kräfte an dir wirken: das Shirt flattert, die Haare wehen, und je schneller du wirst, umso schwieriger wird es, das Fahrrad oder die Ski zu beherrschen.



**1. Bei einer schnellen Fahrt mit einem Fahrzeug gibt es einige Effekte, die man am eigenen Körper spürt. Beschreibe, was du z.B. bei der schnellen Fahrt mit einer Achterbahn, in einem Cabrio, auf der Skipiste oder einem Fahrrad spürst.**

---

**2. Stell dir vor, du bist auf dem Fahrrad schnell einen Berg heruntergerollt und befindest dich nun auf einer langen, flachen Strecke. Was machst du, um ohne zu treten möglichst lange in Fahrt zu bleiben?**

---

**3. Wann spürst du den Fahrtwind in Abhängigkeit von deiner Sitzhaltung auf dem Fahrrad stärker: wenn du schnell oder wenn du langsam fährst?**

**a)** Formuliere einen „je-desto“-Satz über die Abhängigkeit des Luftwiderstands von deiner Geschwindigkeit.

---

**b)** Formuliere einen „je-desto“-Satz über die Abhängigkeit des Luftwiderstands von deiner Sitzhaltung.

---

**4. Fallschirmspringer beschleunigen zunächst und erreichen im Fallen eine maximale Geschwindigkeit. Wenn diese erreicht ist, ist der Luftwiderstand  $F_w$ , der den Fallschirmspringer bremst, gleich groß wie die Gewichtskraft  $F_G$ , die ihn zur Erde zieht.**

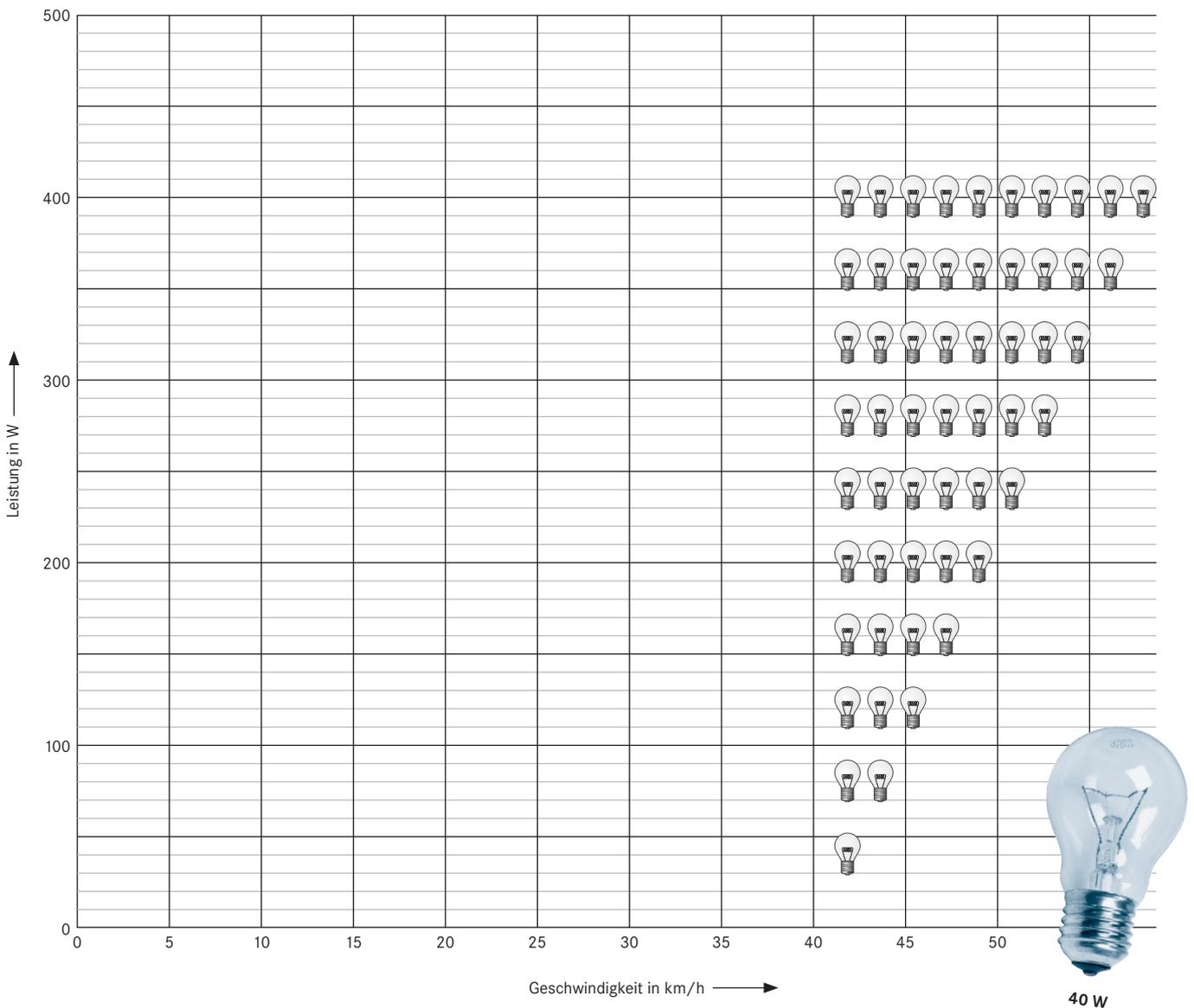
Vergleiche die beiden Bilder. In welcher Lage fallen die Fallschirmspringer schneller? Begründe die Antwort.



5. Leichte Körper mit einem großen Luftwiderstand erreichen bereits bei kleinen Fallhöhen ihre Endgeschwindigkeit. Nenne mindestens drei Beispiele.

6. Ein normaler Radfahrer fährt mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 15 km/h. Er erbringt eine Leistung von 80 W. Ein gut trainierter Radrennfahrer schafft eine Dauergeschwindigkeit von 40 km/h und erbringt dabei eine Leistung von 400 W.

a) Übertrage die Geschwindigkeiten in das Diagramm. Eine Glühlampe symbolisiert 40 W.



b) Überlege, warum die Kurve nicht linear ansteigt.

# 12 Versuche zur Strömungslehre

## 1. Strömungswiderstände in Abhängigkeit von der Fläche.

### Ein technisches Experiment zur Flächenabhängigkeit des Strömungswiderstandes in Luft.

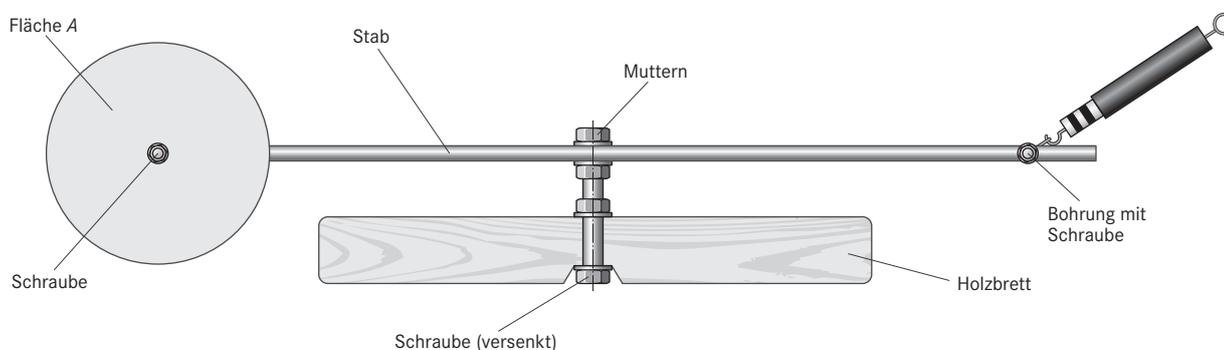
#### Versuchsbeschreibung:

Es soll untersucht werden, wie der Strömungswiderstand  $F_W$  (der Index W steht für „Widerstand“) bei gleicher Anströmgeschwindigkeit des Mediums (hier Luft) von der Fläche  $A$  eines Körpers abhängt.

#### Materialliste:

Akkuschrauber, Schraubendreher, Ringschlüssel M4,1 Holzbrett (30 cm x 15 cm x 2 cm), Schraube M4 (5 cm), Bohrer, Senker, Holzstab (40 cm x 1,5 cm x 1,5 cm), 2 Schrauben M4 (3 cm), 5 Muttern, Pappkarton, Fön, Stativmaterial, Gliedermaßstab, Federkraftmesser, Schnur.

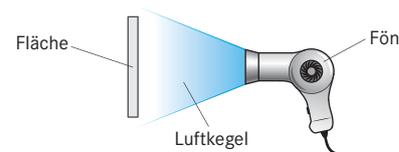
#### Abbildung des Versuchsaufbaus in Seitenansicht:



#### Aufbau der Versuchsreihe:

- Zeichne auf die Oberseite des Bretts die Diagonalen.
- Bohre dann „mittig“ durch das Brett (Unterlage verwenden).
- Bohre das untere Loch mit einem Senker kegelförmig auf.
- Stecke die Schraube durch und fixiere sie oben mit einer Mutter.
- Durchbohre den Holzstab mittig.
- Drehe den Holzstab um 90 Grad und durchbohre ihn jeweils 2 cm vor dem Ende.
- Fixiere den Holzstab (s. Skizze), aber zieh die obere Schraube nur so fest an, dass sich der Stab noch sehr leicht drehen lässt.
- Schneide fünf unterschiedlich große Kartonscheiben aus (Durchmesser 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm und 7 cm). Verwende einen Zirkel und perforiere den Mittelpunkt der Scheiben.
- Nun werden durch die äußeren Löcher Schrauben gedreht, wobei auf der linken Seite die kleinste Scheibe aus Karton festgeschraubt wird und rechts der Federkraftmesser gegengleich eingehängt wird.

Bei diesem technischen Experiment muss die Anströmgeschwindigkeit der Luft vergleichbar sein. Deshalb muss der Abstand des Föns immer gleich gehalten werden und der Winkel sollte immer senkrecht sein. Auch muss die angeströmte Fläche  $A$  deutlich kleiner sein als der Luftkegel des Föns.



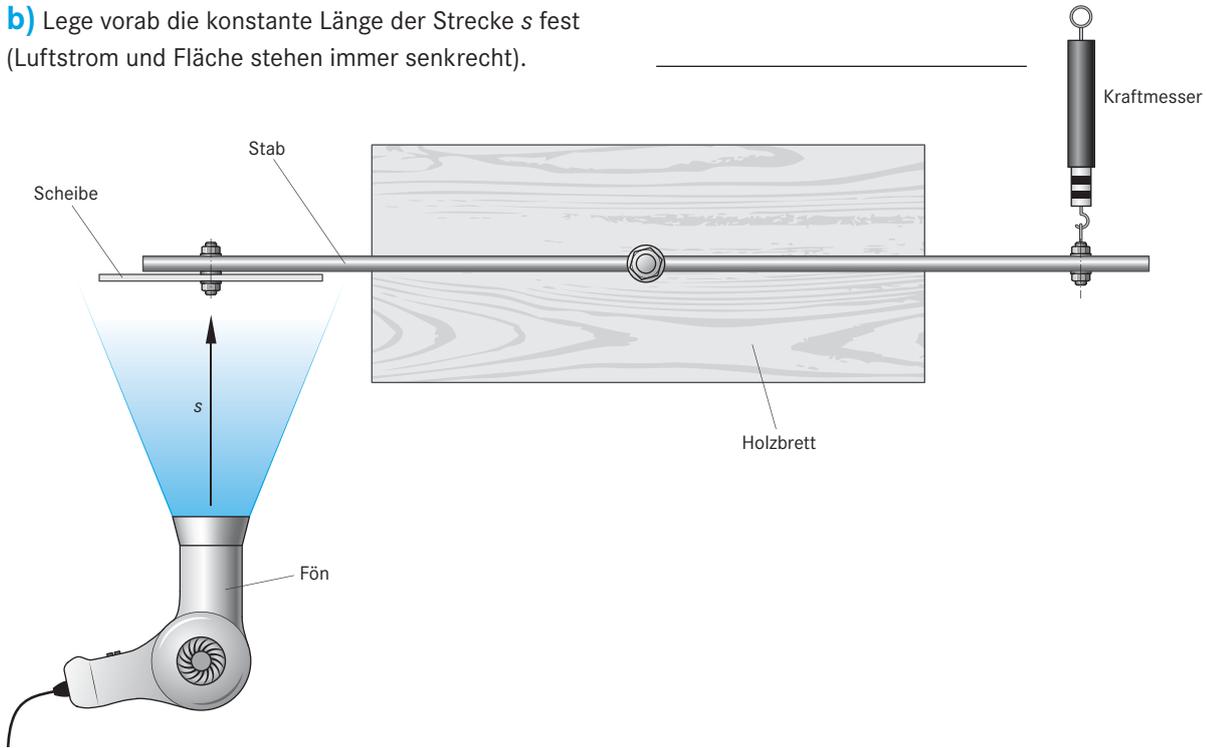
#### Hypothese des Versuchsergebnisses:

- a) Beschreibe, wie ein mögliches Ergebnis aussehen könnte.

**Durchführung der Versuchsreihen:**

Um ein gesichertes Ergebnis zu erzielen, werden mit jeder Scheibengröße drei Versuche gemacht. Daraus wird der Mittelwert bestimmt und alle Ergebnisse werden in das folgende Messprotokoll und das Diagramm eingetragen.

**b)** Lege vorab die konstante Länge der Strecke  $s$  fest (Luftstrom und Fläche stehen immer senkrecht).

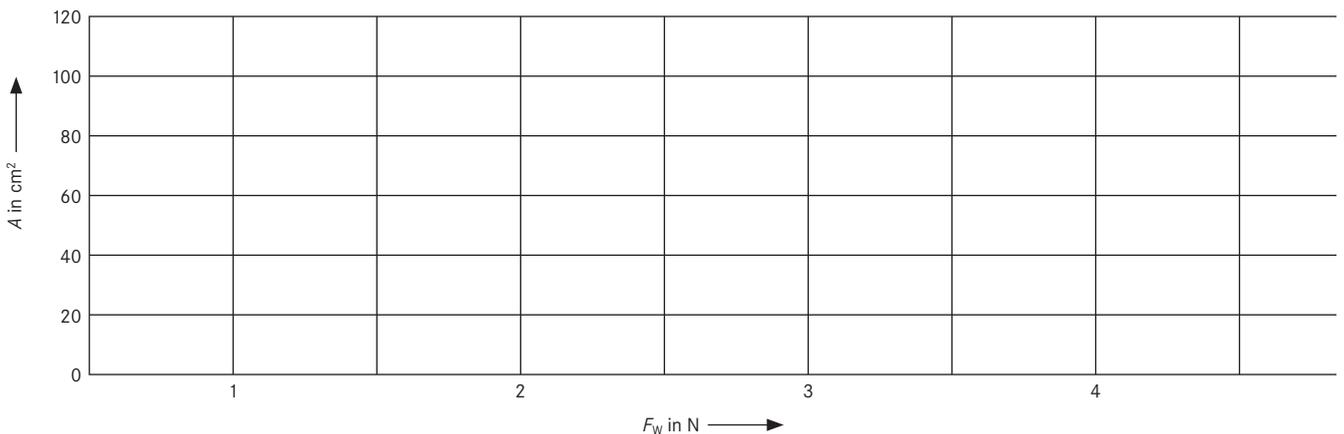


**Protokollierung der Versuchsreihen:**

**c)** Führe die Versuche durch und protokolliere deine Ergebnisse.

Scheibendurchmesser	Fläche $A$ in $\text{cm}^2$	Kraft $F_W$ in Newton (N) pro Versuch	Durchschnittskraft $F_W$ in Newton (N)
3 cm			
4 cm			
5 cm			
6 cm			
7 cm			

**d)** Stelle die Abhängigkeiten in einem  $F_W$ - $A$ -Diagramm dar.



**Überprüfung der Hypothesen und Formulierung eines Zusammenhangs:**

e) Beschreibe, in welchem Verhältnis die Angriffsfläche und der Luftwiderstand stehen.

---



---

**Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse in den Alltag:**

f) Nenne drei Beispiele, in denen dieser Zusammenhang deutlich wird. Verwende jeweils die Begriffe „kleiner Widerstand“ und „großer Widerstand“.

---



---



---



---

g) Welche Funktion hat in diesem Zusammenhang ein Spoiler auf einem Auto?

---



---

**2. Strömungswiderstände in Abhängigkeit von der Form.****Ein technisches Experiment zur Ermittlung des Strömungswiderstands im Wasser.****Versuchsbeschreibung:**

Es soll untersucht werden, wie der Strömungswiderstand  $F_W$  (der Index W steht für „Widerstand“) bei gleichbleibender Antriebskraft durch die Form eines Gegenstands in einem Medium (hier Wasser) beeinflusst wird.

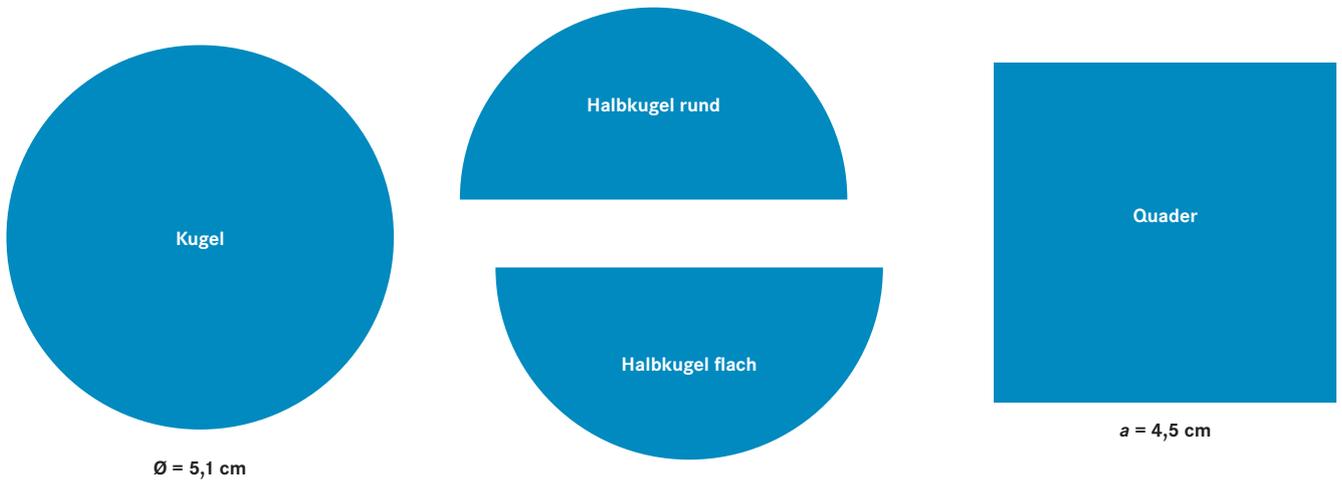
**Materialliste:**

Zylinder aus Plexiglas/Glas mit Boden oder Deckel, Knete, Stoppuhr, Haken, Hakengewicht, Schnur, Trinkhalm.

**Abbildung des Versuchsaufbaus in Seitenansicht:**

**Aufbau der Versuchsreihe:**

- Stelle den Glaszylinder mit der nach unten geschlossenen Seite auf.
- Befestige am Hakengewicht eine Schnur, welche senkrecht nach oben gezogen werden kann.
- Forme die Knete nach den Angaben in der folgenden Abbildung (Formen und Maße beachten) und stoße in der Mitte ein Stück Trinkhalm durch, damit die Führung nur wenig Reibung hat. (Die Halbkugeln erhält man durch Teilung der Kugel.)
- Führe den Faden durch den Trinkhalm in der Form und befestige ihn oben an einem Haken. Diesen hältst du genau in der Mitte der Glasröhre, die Knetform wird genau in Höhe des Wasserspiegels gehalten.
- Nach dem Loslassen der Knetform ist mit der Stoppuhr ihre Sinkdauer zu bestimmen.

**Hypothese des Versuchsergebnisses:**

a) Beschreibe, wie ein mögliches Ergebnis aussehen könnte.

---



---

**Durchführung und Protokollierung der Versuchsreihen:**

b) Ermittle die zugehörigen Sinkzeiten  $t_{\text{Sink}}$  der vier Knetformen zum Durchlaufen der Strecke  $s$  dreimal. Bestimme den Mittelwert der Versuchsreihen und trage die Zeiten in die Tabelle ein.

Konstant: Anströmfläche  $A = 20 \text{ cm}^2$  (gerundet)

Form	Strecke in cm	Zeit 1 in s	Zeit 2 in s	Zeit 3 in s	Mittelwert in s
Kugel					
Halbkugel rund					
Halbkugel flach					
Quader					

**Überprüfung der Hypothesen und Formulierung eines Zusammenhangs:**

c) Ordne die Formen nach ihrer Sinkzeit.

---

d) Gib den Strömungswiderstand der Formen in Prozent an. Lege die beste Form mit 100% zugrunde.

---

**Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse in den Alltag:**

e) Nenne drei Beispiele, in denen die Form beim Strömungswiderstand eine Rolle spielt.

---



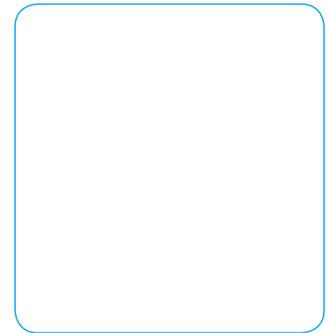
---

**Weiterführende Versuche:**

f) Überlege, wie sich die beste getestete Form noch optimieren lassen könnte. Experimentiere mit der Knete, achte aber darauf, dass sich die Querschnittsflächen  $A$  deiner Formen nicht verringern.

g) Zeichne die optimale Form auf, die du bei deinen Experimenten herausgefunden hast.

h) Welchen prozentualen Strömungswiderstand hat diese Form?




---

**3. Fallversuche zur Luftwiderstandsmessung I****Ein technisches Experiment zur Luftwiderstandsmessung unterschiedlich schwerer Körper.****Versuchsbeschreibung:**

Ein leichter Ball (Luftballon, Styroporkugel, Gummiball) wird aus unterschiedlichen Höhen (50 cm, 1 m, 2 m und 3 m) fallengelassen. Die Fallzeit wird dabei jeweils mit der Stoppuhr gemessen und dokumentiert. Für eine exakte Messung wird jeder Fallversuch dreimal durchgeführt und der Mittelwert der Versuche ermittelt. Alternativ kann man den Fall auch filmen und die einzelnen Bilder auswerten. Beobachte die Geschwindigkeit und beantworte folgende Fragen.

**Durchführung und Protokollierung der Versuchsreihen:**

a) Beschreibe die Geschwindigkeit während des Fallens.

---



---



---

b) Dokumentiere deine gemessenen Werte in einem Tabellenkalkulationsprogramm.

1	Fallhöhe	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Mittelwert
2					
3					
4					
5					

c) Wiederhole nun den Versuch mit einem kleinen, schweren Körper (Golfball, Flummi, Tennisball). Was wird passieren?

---



---

d) Dokumentiere deine gemessenen Werte in einem Tabellenkalkulationsprogramm.

11	Fallhöhe	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Mittelwert
12					
13					
14					
15					

e) Stelle die Fluggeschwindigkeiten der beiden Körper mit der Grafikfunktion des Tabellenkalkulationsprogramms dar. Verwende für jeden Graphen eine eigene Farbe. Beschreibe das Ergebnis.

---



---



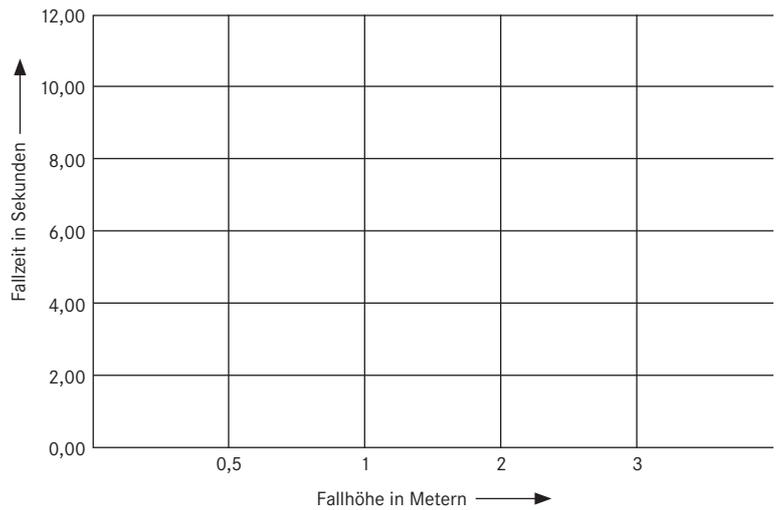
---



---



---



f) Sortiere die folgenden Gegenstände danach, wie stark sie im Fallen von der Luft gebremst werden. Gib dem Körper, der am stärksten gebremst wird, die Ziffer 1 und fahre fort bis zur Ziffer 8.

Styroporkugel	Fußball	zusammen- geknülltes Papier	mit Silikon gefüllter Tennisball
Luftballon	Golfball	Tennisball	kleine Stahlkugel

Begründung deiner Wahl – Formulierung eines Zusammenhangs:

---



---



---

#### 4. Fallversuche zur Luftwiderstandsmessung II

##### Ein technisches Experiment zur Luftwiderstandsmessung unterschiedlicher geometrischer Körper.

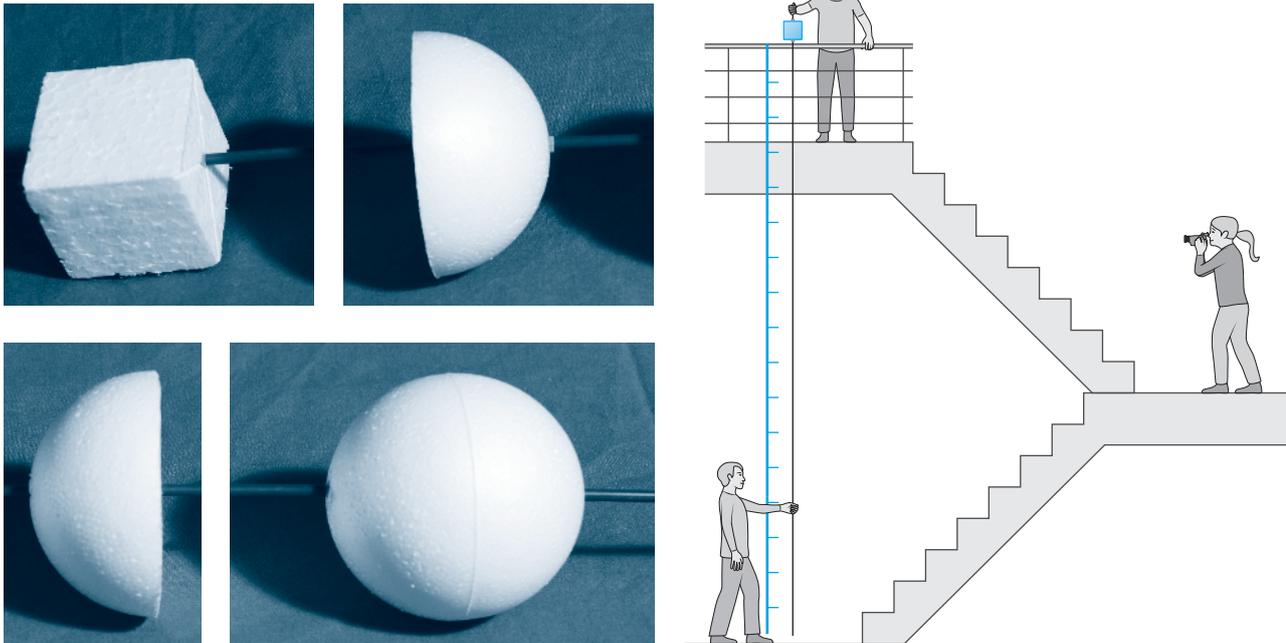
Mit technischen Hilfsmitteln lassen sich Fallversuche schneller und präziser durchführen. Beispielsweise können Lichtschranken dabei helfen, die Zeiten eines fallenden Körpers exakt zu bestimmen. Hervorragend eignen sich Videokameras oder Kameras in Smartphones, mit denen entweder aus der Einzelbildfolge oder mithilfe von Videoauswertungssoftware Datenpaare ermittelt werden können.

**Versuchsbeschreibung:**

In Teamarbeit soll der  $c_W$ -Wert für einige einfache geometrische Grundformen bestimmt werden: Kugel, Würfel, Halbkugel (rund, von vorne), Halbkugel (flach, von hinten).

**Materialliste:**

Angel- oder Drachenschnur, Trinkhalme, verschiedene Styroporkörper (Würfel, Kugel, Halbkugel), Waage, Smartphone oder Digitalkamera, Computer mit Tabellenkalkulationsprogramm und Tracker (o. ä. Videoauswertung), Paketschnur und Klebeband.

**Abbildung des Versuchsaufbaus in Seitenansicht:****Versuchsvorbereitung:**

Baut den Versuch wie abgebildet z. B. im Schultreppenhaus auf. Damit die Körper sich im Fallen nicht drehen, werden sie an einem Trinkhalm, der mittig durch die Styroporkörper gestochen wird, gerade nach unten fallengelassen. Als Führungsschnur verwendet man eine dünne, glatte, unelastische Schnur (z. B. Angelschnur).

Als Skalierung wird neben der Fallschnur eine weitere, dickere Schnur (Paketschnur) gespannt, welche alle 50 cm eine deutliche Markierung hat (im Bild blau). Die Markierung kann z. B. mit Klebeband gefertigt werden.

Filmt man nun den Fall des Körpers, kann auf den einzelnen Bildern die zurückgelegte Fallhöhe bestimmt werden.

**Versuchsdurchführung:**

- Eine Person steht ca. auf halber Höhe der Treppe und filmt. Nach dem Auslösen der Kamera gibt sie das Startzeichen.
- Die zweite Person steht oben und lässt nach Aufforderung den Versuchskörper fallen.
- Die dritte Person sorgt unten für die Schnurspannung.

Zur exakten Bestimmung der Fallgeschwindigkeit werden drei Versuchsreihen durchgeführt und daraus wird der Mittelwert bestimmt. Der Versuchskörper kann dazu an der dickeren Schnur mit Klebeband wieder hochgezogen werden, ohne dass der Trinkhalm aus der Führungsschnur entfernt werden muss.

**Durchführung und Protokollierung der Versuchsreihen:**

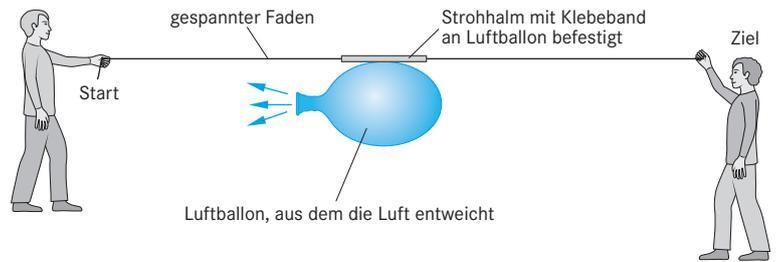
**a)** Lasst nun alle Versuchskörper dreimal fallen und tragt in der Tabelle die Höhe (alle Höhen sind gleich) und die Mittelwerte der Fallzeiten ein. Zeichnet dann die Werte in das Diagramm auf der folgenden Seite ein.

Versuchskörper	Höhe $h$ in m	Zeit $t$ in s
Würfel		
Kugel		
Halbkugel (rund, von vorne)		
Halbkugel (flach, von hinten)		





c) Bau einer Luftballonrakete: Spanne eine Schnur quer durchs Klassenzimmer und befestige einen Luftballon mit Tesafilm an einem Trinkhalm. Diese Konstruktion sollte möglichst leicht an der Schnur gleiten. Lass nun verschieden stark aufgeblasene und natürlich nicht zugeknottete Luftballons an der Schnur rasen. Was passiert? Begründe.




---



---



---

d) Halte für einen weiteren Versuch einen Papierstreifen wie in der Abbildung gezeigt an die Unterlippe und blase stark darüber. Was beobachtest du? Erkläre deine Beobachtung.




---



---



---

### 3. Luftströmung um ein Auto.

Luft verhält sich, wenn es um Strömungen geht, ähnlich wie Wasser. Stell dir vor, du schiebst deine flache Hand durchs Wasser nahe der Wasseroberfläche.

a) Beschreibe, was passiert. Vergleiche dies mit den Über- und Unterdruckbereichen an einem Auto.

---



---

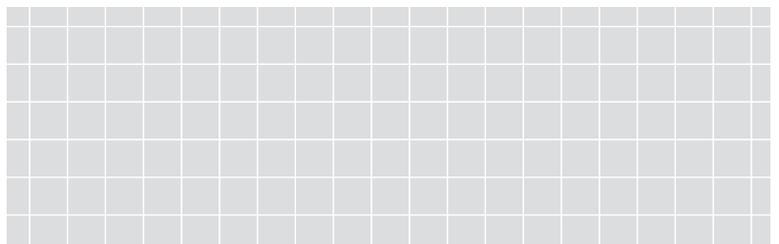


---

b) Ergänze den Satz:

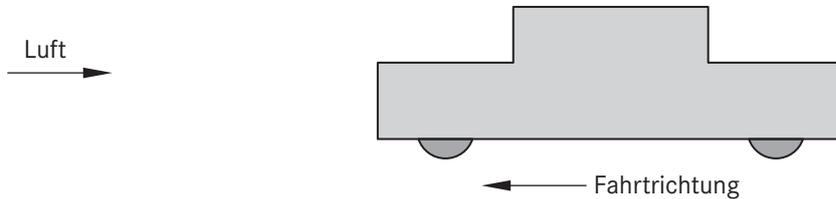
Vor dem Auto herrscht \_\_\_\_\_ Druck, hinter dem Auto \_\_\_\_\_ Druck.

c) Zeichne die optimale Form (Seitenansicht) für den Heckspoiler eines Autos, der den Luftwiderstand verringern soll.



d) Um nachzuweisen, wie Luft um ein Auto strömt, vereinfachen wir eine wirkliche Autoform auf ein Three-Box-Modell und betrachten, wo sich beim Losfahren und Beschleunigen Unter- bzw. Überdruckbereiche bilden. Wir vernachlässigen dabei die Strömung unter dem Auto und seitlich an der Karosserie.

Zeichne die Bereiche um das Auto dunkelblau ein, wo du Über- oder Staudruck erwartest, und hellblau, wo du Unterdruck erwartest. Erinnerung dich daran, wie es sich beim Fahrradfahren anfühlt.



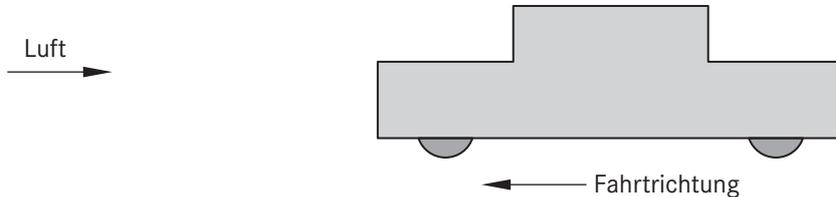
e) Wohin wird das Auto durch die Druckunterschiede beim Fahren „gedrückt“?

---



---

f) Ein fahrendes Auto muss gegen die „Druckbereiche“ fahren und benötigt dazu Energie. Überlege: Wie fließt die Luft um das Auto und seine „Luftdruckpolster“ herum? Beachte, dass die Überdruckbereiche auch Luft „wegdrücken“, während sie zu Unterdruckbereichen „hingedrückt“ werden. Ergänze die Abbildung um die Über- und Unterdruckbereiche analog zu Aufgabe d). Zeichne auch ein, wie der gesamte Luftstrahl um das Auto herumfließt.



g) Beschreibe, wie die Luft um die eckige Autoform herumfließt.

---



---

h) Die am Auto vorbeiströmende Luft fließt auch an den eingezeichneten Druckbereichen entlang. Überlege, was in diesen Druckbereichen passiert. Zeichne dies ebenfalls in die obige Skizze ein und schreibe hier einen Antwortsatz.

---

#### 4. Wirbel und Energie.

Wo sich Wirbel bilden, kann man sich anhand einfacher Formen vorstellen. Um die tatsächlichen Wirbel bei einem echten Auto zu bestimmen und ihre Stärke zu messen, benötigt man Windkanaltests oder Simulationsrechnungen mit dem Computer. Was bedeuten diese Wirbel jedoch konkret für ein Fahrzeug?

---

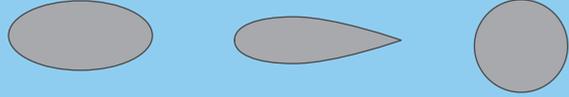
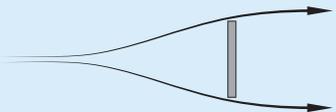


---

**5. Druck- und Strömungsverluste (Reibungsverluste).**

Der Luftwiderstand eines Körpers setzt sich einerseits aus den beschriebenen Druckverlusten und andererseits aus Reibungsverlusten an der Oberfläche zusammen. Je nach Form des Körpers ergeben sich mehr Druck- oder mehr Reibungsverluste.

**a)** In der Tabelle sind zwei Formen mit der herumströmenden Luft (Pfeile) vorgegeben. Es ergeben sich extreme prozentuale Werte bei den Widerstandsverlusten durch Druck bzw. Reibung. Zeichne die vorgegebenen drei Körper in der passenden Reihenfolge in die Tabelle ein.

	Widerstandsverluste prozentual aufgliedert in	
	Druck	Reibung
	≈ 100%	≈ 0%
	≈ 0%	≈ 100%

**b)** Zeichne analog zu den Bildern in Zeile 1 und 5 die Luftströmung in die Tabelle ein. Überlege auch, wo sich Wirbel bilden, und zeichne diese ein.

**c)** Schätze die dazugehörigen Widerstandsverlustwerte von Druck und Reibung und trage sie in den beiden rechten Tabellenspalten ein.

**d)** Betrachte die Formen in der Tabelle. Wann ist der Strömungswiderstand eines Körpers größer: wenn er eher Druck- oder eher Reibungsverluste erfährt?

---



---



---

**e)** Welche Form sollte ein Auto haben, damit es aerodynamisch ideal ist?

---



---

# 14 Herstellung und Gebrauch eines Styroporschneiders

Um ein einfaches Modell aus geschäumtem Polystyrol herzustellen, ist keine computergesteuerte Maschine notwendig. Aus wenigen Materialien lässt sich eine voll funktionsfähige Styroporschneidemaschine bauen. Baue mithilfe des folgenden Plans deinen eigenen Styroporschneider.

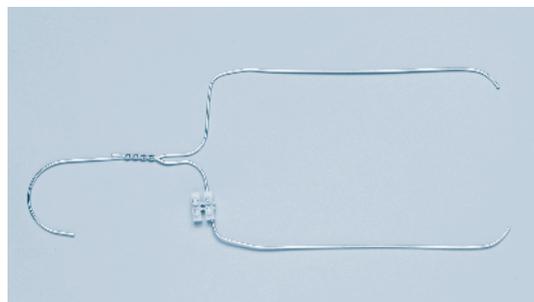
## Stückliste:

- 1 Batteriegehäuse für 2 AA-Batterien mit Schalter
- 2 AA-Batterien (Mignon) 1,5 V
- 1 Kleiderbügel aus Metall (Drahtbügel)
- 20 cm isolierter Draht, Ø 1 mm
- 2 Lüsterklemmen, doppelt
- 1 Lüsterklemme, einfach
- 10 cm Heizdraht, Ø 0,1 mm
- 1 Reißnagel, groß
- 1 Rolle Tesafilm (Klebeband)
- 1 Schraubendreher
- 1 Seitenschneider

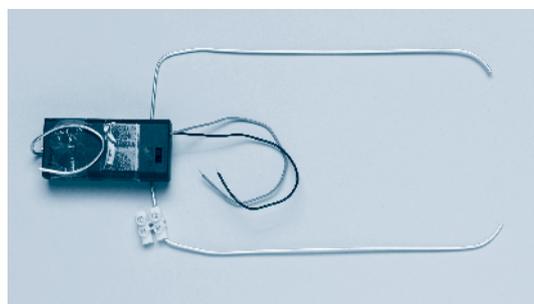


## 1. Herstellung des Gestells.

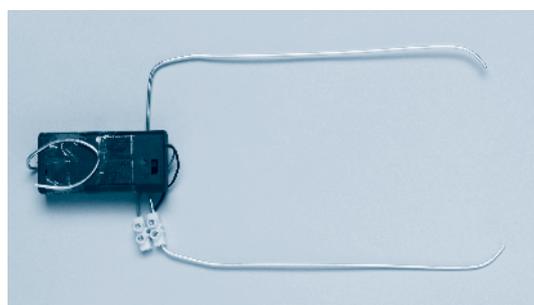
- Entferne an einem Kleiderbügel aus Metall die gerade Schiene mit einem Seitenschneider.
- Schiebe eine doppelte Lüsterklemme lose auf eine Seite des Bügels.
- Biege den Bügel so zurecht, dass eine U-förmige Zange entsteht.



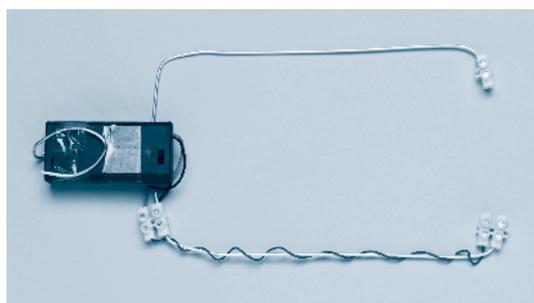
- Bestücke das Batteriegehäuse mit zwei passenden Batterien. Achtung, der Schalter muss auf „off“ stehen!
- Biege nun den Aufhänger des Bügels so um das Batteriegehäuse, dass es fixiert wird.
- Klebe das Gehäuse mit mehreren Lagen Tesafilm fest.



- Verschraube nun ein Anschlusskabel des Batteriegehäuses mit der losen Lüsterklemme auf dem Bügel.
- Verschraube das zweite Anschlusskabel des Batteriegehäuses mit dem freien Anschluss auf der gleichen Seite der Lüsterklemme.

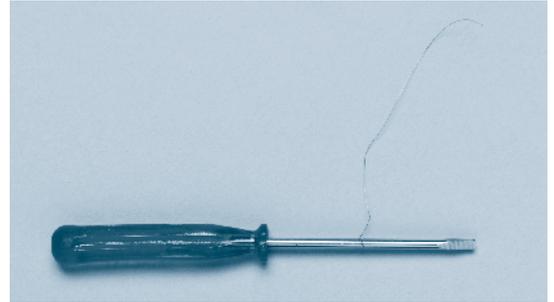


- Befestige ein Ende des isolierten Drahts auf dem letzten freien Anschluss der Lüsterklemme.
- Wickle den Draht um die Bügelseite mit der aufgeschobenen Lüsterklemme und verschraube ihn am Ende der Bügelseite mit einer weiteren doppelten Lüsterklemme. Die andere Seite der Klemme wird an den Bügel geschraubt.
- Befestige auf der anderen Seite des Bügels eine einfache Klemme.

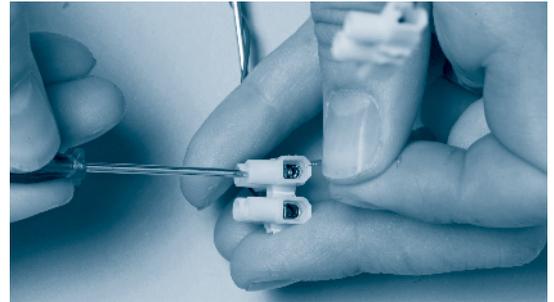


## 2. Herstellung des Schneidedrahts.

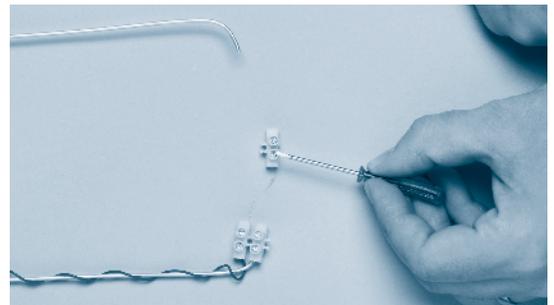
- Lege das Ende eines ca. 10 cm langen Stücks Heizdraht zu einer Schlaufe. Stecke den Schaft des Schraubendrehers in die Schlaufe und wickle sie mit ca. 15 Umdrehungen zu einer Schlinge.
- Verfahre auf der anderen Drahtseite ebenso. Der Abstand zwischen den beiden gedrehten Schlaufen sollte 3 cm bis 4 cm betragen. Schneide den überflüssigen Draht an beiden Schlaufenenden ab.



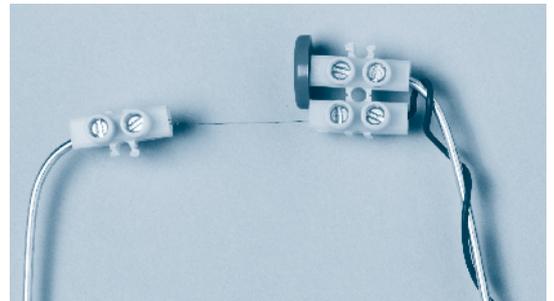
- Fädle nun die eine Schlinge in die doppelte Lüsterklemme ein. Dazu muss die Schraube der Klemme etwa bis zur Hälfte eingedreht werden. Dieser Vorgang erfordert Fingerspitzengefühl!
- Um später das Lösen der Schleife zu vermeiden, muss die Schraube ganz eingedreht und fest angezogen werden.



- Verfahre mit der zweiten Drahtseite ebenso an der noch freien einfachen Lüsterklemme auf der anderen Bügelseite. Für eine einfachere Montage ist es hilfreich, die Lüsterklemme noch einmal vom Bügel zu entfernen.



- Abschließend kann die zweite Lüsterklemme mit dem montierten Draht wieder auf dem Bügel befestigt werden. Damit der Draht bei der Montage nicht unter Spannung steht, kann man die Bügelenden leicht zusammendrücken (bei Bedarf mit einem Streifen Klebeband fixieren).
- Nun wird in den freien Anschluss der doppelten Lüsterklemme am Bügelende der Reißnagel verschraubt. Er dient beim Schneiden als Anlagefläche für das Styropor.



## 3. Übungen mit der Styroporschneidemaschine.

Um saubere Ergebnisse zu erhalten, kommt es darauf an, nach dem Einschalten des Schneiders den heißen Draht gleichmäßig durch das Styropor zu führen. Bewegt man den Draht zu langsam, brennt seine Hitze zu tief ins Styropor. Fährt man zu zügig durchs Material, kühlt der Draht zu schnell ab, bleibt stecken und kann reißen.

Schneide zur Übung deine Initialen in ca. 5 cm Höhe aus einem Styropor- oder Styrodurstück aus. Übe so lange, bis schöne flache Schnittflächen entstehen.



# 15 Bau eines Windkanalmodells

Um die Aerodynamik von Körpern messbar und damit bewertbar machen zu können, nutzt man in der Entwicklung entsprechender Produkte einen Windkanal. In der Regel sind diese Maschinen groß und sehr teuer. Mit wenigen Bauteilen lässt sich ein funktionierender Windkanal jedoch auch selber bauen.

Um die Luftströmungen sichtbar zu machen, eignen sich Rauch oder ein Stück Trockeneis. Für eine gleichmäßige Strömungsrichtung des Rauchs wird dieser durch eine lamellenartige Luftschleuse geleitet.

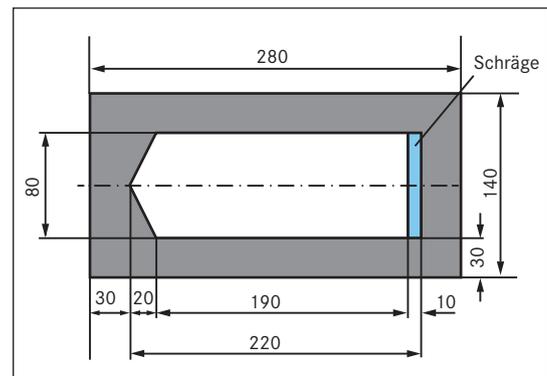


## Stückliste:

- 1 Styrodurplatte, 280 mm x 140 mm x 16 mm
- Styroporschneider
- Schere
- 5 Trinkhalme, Ø 8 mm
- 1 Kopierfolie, 210 mm x 120 mm
- 1 Tonpapier, schwarz, 210 mm x 120 mm
- Schaschlikspieß
- Schutzhandschuh
- Pinzette
- Stück Trockeneis
- Rolle Tesafilm (Klebeband)

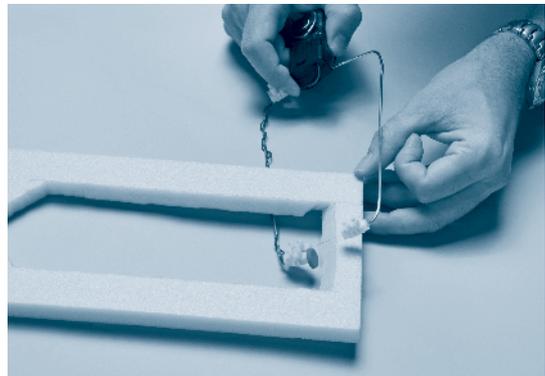
## 1. Herstellung des Windkanals.

- Zeichne die Form des Ausschnitts für den Windkanal (die Strömungskammer) auf die Styrodurplatte auf.



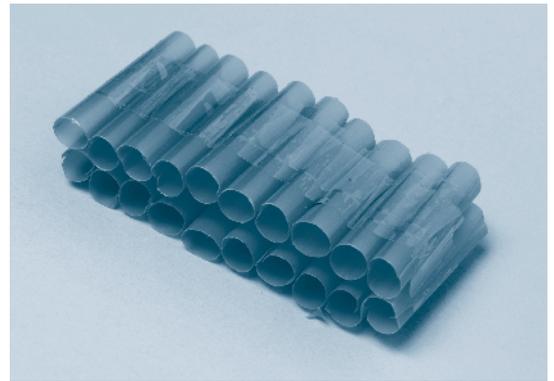
- Schneide nun die aufgezeichnete Kontur der Strömungskammer mit einem Styroporschneider aus. Das ausgeschnittene Stück wird später noch für die Automodelle benötigt!
- Schräge die hintere Seite der Strömungskammer ab (hier strömt später Rauch aus).

Achte auf gute Belüftung des Raums. Die entstehenden Dämpfe dürfen nicht eingeatmet werden!

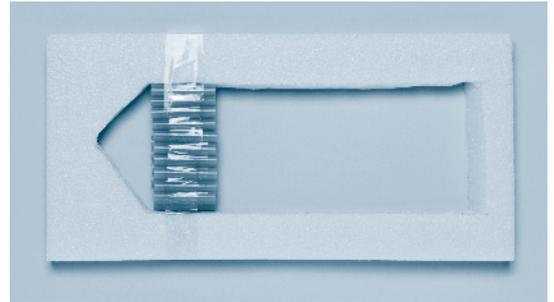


Die lamellenartige Luftscheule zur Erzeugung der gleichmäßigen Strömung lässt sich aus abgeschnittenen Trinkhalmstücken herstellen.

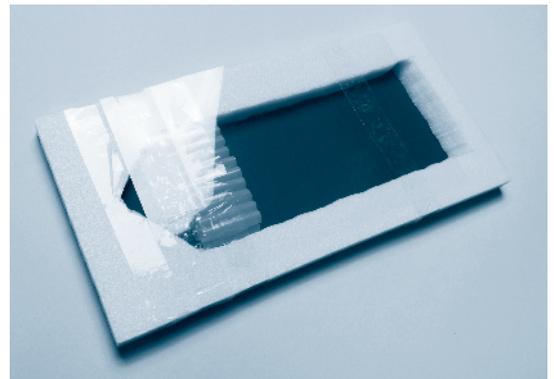
- Lege 4 Trinkhalme nebeneinander und klebe sie mit einem Streifen Klebeband zusammen.
- Schneide sie in 4 cm Länge ab. Wiederhole den Vorgang noch 3-mal, sodass du insgesamt 20 Halmstückchen erhältst.
- Lege die Lagen so übereinander, dass 10 Stücke nebeneinander und 2 übereinander liegen und befestige alles erneut mit einem Klebebandstreifen.



- Fixiere nun die Lamellen gleich hinter der Spitze im Windkanal mit Klebeband.



- Klebe auf die obere Seite (Schräge zeigt nach oben) die Kopierfolie. Lass auf der hinteren Seite des Windkanals einen Streifen offen. Hier kann später der Rauch austreten. Auch oberhalb der Lamellen darf die Folie nicht befestigt werden. Hier werden später das Trockeneis eingebracht und der Trinkhalm zum Lufteinblasen.
- Auf die untere Seite klebst du das Tonpapier, sodass der Boden des Windkanalmodells luftdicht verschlossen ist.



## 2. Herstellung der Fahrzeugmodelle.

- Zeichne auf den ausgeschnittenen Rest des Styrodurs die Konturen von drei verschiedenen Fahrzeugmodellen: ein Coupé, einen Van und eine Limousine. Die Modelle sollten etwa 5 cm bis 6 cm lang sein.
- Stecke ein Modell auf den Schaschlikspieß.

Nun kann es losgehen mit der Betrachtung von Strömungen. Wie genau, steht im nächsten Arbeitsblatt.



# 16 Strömungen sichtbar machen

Jeder Körper hat einen Strömungswiderstand. Dieser bezeichnet die Kraft, mit der sich der Körper z. B. der Luft bei einer Bewegung entgegensetzt. Die Größe des Strömungswiderstands setzt sich aus Reibungsverlusten an der Oberfläche des Körpers und aus Druckverlusten in Ablösegebieten und in Wirbeln zusammen, die sich um den Körper herum bilden. Um ein möglichst windschnittiges Fahrzeug zu bauen, versucht man daher, die Strömungsverluste, d. h. den  $c_w$ -Wert, so gering wie möglich zu halten.



## 1. Recherchiere im Internet oder einem geeigneten Nachschlagewerk:

a) Wofür steht die Abkürzung  $c_w$ -Wert?

---



---

b) Welche vier Faktoren beeinflussen den Strömungswiderstand eines Körpers?

## 2. Ordne die aufgeführten $c_w$ -Werte den abgebildeten Körpern zu.

0,03 | 0,08 | 0,25–0,40 | 0,45 | ca. 0,8 | 0,9




---



---



---



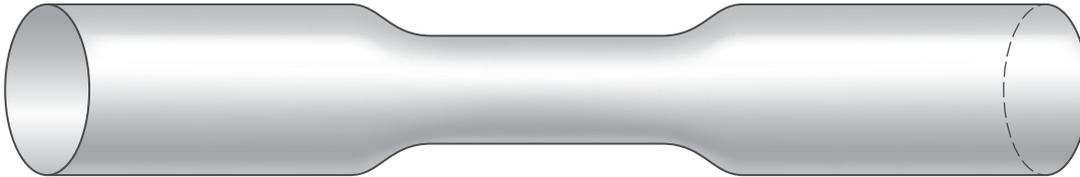
---

3. Die „Bernoulli-Gleichung“ beschreibt Zusammenhänge bestimmter Faktoren der Strömung, die auch den Luftwiderstand mitbestimmen. Recherchiere und notiere, was Daniel Bernoulli bereits im 18. Jahrhundert entdeckte.

4. Wie verhält sich der Druck in einem dünner werdenden Rohr, durch das Luft strömt? Ergänze die Abbildung nach den Regeln von Bernoullis Gesetz.

a) Trage Pfeile für die Fließgeschwindigkeit ein: kurze Pfeile = niedrige Fließgeschwindigkeit; lange Pfeile = hohe Fließgeschwindigkeit.

b) Ergänze die Abbildung um folgende Beschriftung: **hoher Druck – niedriger Druck – hohe Fließgeschwindigkeit – niedrige Fließgeschwindigkeit.**



#### 5. Sichtbarmachen von Strömungen im Windkanal.

Der von euch gebaute Windkanal soll nun genutzt werden, um Strömungen sichtbar zu machen und die getesteten Objekte so zu optimieren, dass die Strömungswiderstände geringer werden.

Die Strömung im Windkanal lässt sich mit Trockeneis sichtbar machen. Trockeneis ist festes Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ), das bei  $-78^\circ\text{C}$  ohne zu schmelzen in die Gasphase übergeht. Dabei sieht es aus wie weißer Rauch. Trockeneis riecht nicht. Wenn es sublimiert (ins Gasförmige übergeht), ändert es sein Volumen auf das 760-fache.

#### a) Vorbereitung

- Platziere ein Stück Trockeneis vor die Lamellen in den Kanal. **Achtung: Verwende Handschuhe und eine Pinzette. Das Eis darf nicht mit Haut in Verbindung kommen, es entstehen Verbrennungen! Achte auf eine gute Lüftung im Raum und atme das Gas nicht direkt ein.**
- Stecke einen Trinkhalm als Mundstück in die „Rauchkammer“ vor den Lamellen.
- Positioniere das aufgespießte Modell nun innerhalb des Windkanals.

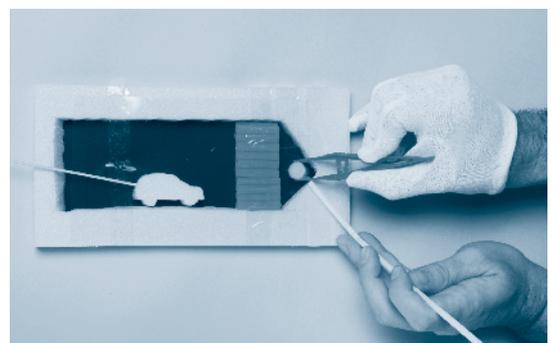
#### Sicherheit im Umgang mit Trockeneis

Beim Umgang mit Trockeneis sollten Handschuhe und Schutzbrille getragen werden. Hat Trockeneis über mehrere Sekunden Kontakt zur Haut, bleibt es an der Haut kleben und erzeugt Kälteverbrennungen.

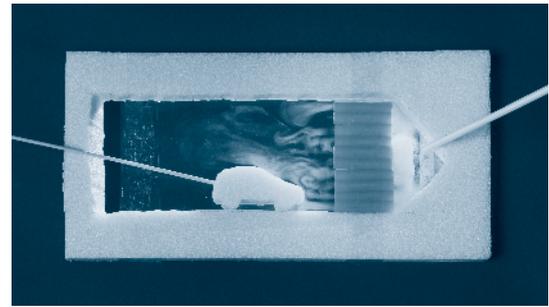
Bei zu hoher Konzentration von gasförmigem Trockeneis ( $\text{CO}_2$ ) besteht Erstickungsgefahr! Bei der Lagerung in geschlossenen Behältern kann sich außerdem gefährlicher Gasdruck aufbauen.



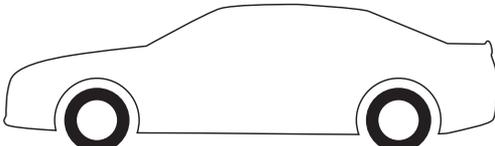
**Räume gut lüften.  
Dämpfe nicht einatmen.  
Direkten Hautkontakt vermeiden.  
Verbrennungsgefahr.  
(Kälteverbrennung)**

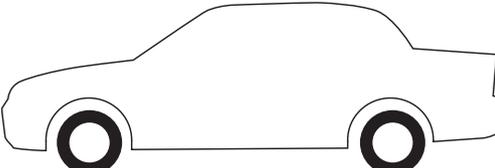


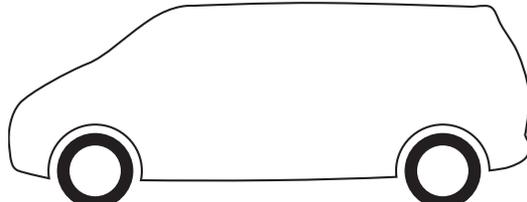
- Blase durch das Mundstück Atemluft in den Kanal. Durch die Reaktion des Wasserdampfs in deinem Atem mit dem Trockeneis wird „Rauch“ erzeugt. Dieser strömt über das Fahrzeugmodell.
- Mit dem Schaschlikspieß lässt sich das Modell in den Rauchschwaden bewegen. Dadurch kann die Darstellung des Strömungsverlaufs optimiert werden.



**b)** Teste alle Fahrzeugmodelle auf die gleiche Weise. Zeichne die entstandenen Strömungsbilder in die folgenden Vorlagen ein. Beschreibe die Strömungsbilder.

Fahrzeugtyp	
Skizze des Strömungsbilds	Beschreibung des Strömungsbilds
	

Fahrzeugtyp	
Skizze des Strömungsbilds	Beschreibung des Strömungsbilds
	

Fahrzeugtyp	
Skizze des Strömungsbilds	Beschreibung des Strömungsbilds
	

**c)** Wie müsste das optimale Strömungsbild eines Fahrzeugs aussehen?

---



---



---

## 6. Optimieren der Fahrzeugmodelle.

Die Natur hat z. B. für die Fortbewegung im Wasser oder in der Luft optimale Formen ausgebildet. Mit dem Wissen, welche Vögel besonders schnell und kraftsparend fliegen oder welche Meeresbewohner besonders schnell und ausdauernd schwimmen können, kannst du auch deine Fahrzeuge optimieren und die Ergebnisse im Windkanal überprüfen.



a) Ändere mit dem Styroporschneider und mit einem Skalpell deine Fahrzeugformen und teste sie so lange, bis ein optimales Strömungsbild entsteht. Dokumentiere das Endergebnis mit einem Fotohandy und klebe das Foto hier ein.

b) Beschreibe die Form deines Fahrzeugs.

## 7. Die beiden Abbildungen zeigen eine typische Darstellung von computergestützten Berechnungen über die Druckverteilung an einem Automodell.



a) Was bedeuten die Farben bezogen auf die Druckverteilung?

**Blau:**  
je dunkler, desto ...

**Grau:**  
je dunkler, desto ...

b) Welche Aussagen kannst du über die Strömungsverhältnisse treffen?

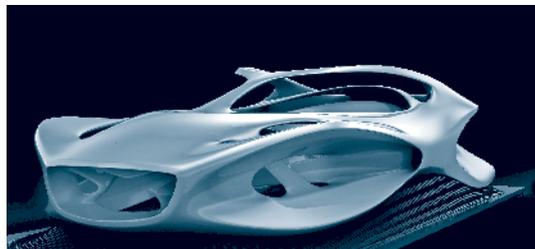
**Blau:**

**Grau:**

c) Beschreibe die Druckverteilung an dem Fahrzeug in eigenen Worten.

# 17 Grenzen des aerodynamischen Gestaltens

Wenn ein Team aus Ingenieuren und Designern ein Fahrzeug entwirft, müssen sie darauf achten, dass es möglichst wenig Energie verbraucht, egal, ob es sich um ein Elektro-, Benzin-, Diesel- oder Brennstoffzellenauto handelt. Großen Einfluss auf den Energieverbrauch hat neben dem Antriebsstrang die dynamische Formgebung des Fahrzeugs. Daher wird permanent versucht diese zu optimieren.



## 1. Begründe anhand des Strömungswiderstandes von Fahrzeugen, welche Fahrstrecke man wählen sollte, wenn man von A nach B möchte.

Ist es für den Energieverbrauch günstiger, die kürzere Strecke zu nutzen, die man langsam fahren muss, oder sollte man den Umweg über die Autobahn nehmen, bei dem man aber schneller am Ziel ist?

---



---



---

## 2. Wie verhält sich der Luftwiderstand bei doppelter Geschwindigkeit?

a) Er ist ...

... doppelt so hoch?

... dreimal so hoch?

... viermal so hoch?

... halb so hoch?

b) Begründe.

---



---

c) Was bedeutet dies für die Grenzen der Optimierung von Automobilen, mit denen man z. B. auf Langstrecken schnell fahren kann?

---



---



---

d) Was bedeutet dies für die Grenzen der Optimierung von innerstädtischer Mobilität?

---



---

**3.** Bei der Entwicklung und Konstruktion eines Autos gilt es, den Luftwiderstand möglichst klein zu halten.



**a)** Welche Faktoren können Autokonstruktoren verändern?

---



---

**b)** Welche Faktoren lassen sich nicht verändern und wovon hängen diese ab?

---



---



---

**4.** Ein möglichst langes „Raketenauto“ mit kleiner Querschnittsfläche hätte die aerodynamisch idealste Form. Was spricht in der Praxis dagegen?

---



---



---



---

**5.** Die Strömungswiderstände moderner Fahrzeuge sind bereits auf hohem Niveau optimiert. Welche Teile eines Serienfahrzeugs könnten unter aerodynamischen Gesichtspunkten noch verbessert, durch andere Lösungen ersetzt oder auch weggelassen werden?

---



---



---



---

# Lehrerinformationen Modul 4

Das vierte Modul behandelt Aspekte moderner Produktionstechnik, die im permanenten Austausch mit Aerodynamik und Design stehen.

Schwerpunkt des Moduls sind schulnahe Produktionsverfahren und exemplarische Werkstoffe.

## Praxistipp

Je nach der technischen Ausstattung in Ihrer Schule können die SuS unter Anleitung durch die Arbeitsblätter mit den unterschiedlichsten Materialien und Fertigungsverfahren arbeiten und gestalten.



## Zu den einzelnen Arbeitsblättern

### AB 18 „Die Arten der industriellen Fertigung“

Im Rahmen der industriellen Fertigung von Produkten unterscheidet man zwischen drei grundsätzlichen Fertigungsarten: der Einzelfertigung, der Serienfertigung und der Massenfertigung. Die Einzelfertigung befasst sich mit individuellen Produkten, z. B. Prototypen. Da die Arbeitsschritte von wenigen Arbeitskräften oft in Handarbeit oder Werkstattarbeit ausgeführt werden, ist diese Fertigungsart sehr teuer. In der Serienfertigung werden Produkte meist maschinell hergestellt. Da die Arbeitskräfte nur einzelne, genau festgelegte Arbeitsschritte ausführen, verringern sich die Produktionskosten. In der Massenfertigung werden Produkte meist vollautomatisiert in hoher Stückzahl hergestellt. Durch den Maschinen- und Bandeinsatz und die geringe Zahl von Arbeitskräften kann kostengünstiger produziert werden.

Darauf aufbauend werden Prinzipien einer Fertigungsorganisation erläutert und bearbeitet. Die gebräuchlichsten Organisationsformen sind: Werkbank, Werkstatt, Gruppenfertigung, Fließstraßenfertigung (typisch: Arbeitstakte sowie einzelne Arbeitsstationen; nach Taktende wird das Teil zur nächsten Station transportiert) und Fließband (keine separaten Arbeitsstationen mehr). In der Praxis kommen weitere Organisationsformen oder Mischformen vor. Aufgabe 3 stellt eine weitere Einteilungsart in der Fertigung vor: nach Art (Aufteilung in unterschiedliche Arbeitsvorgänge) oder Menge (Aufteilung in Teilmengen).

Aufgabe 4 vergleicht die erarbeiteten Prinzipien der industriellen Fertigung anhand von zwei Beispielen. Dabei werden die Vor- und Nachteile des in Werkstattfertigung produzierenden Kleinbetriebs mit einem im Fließstraßenprinzip produzierenden Großbetrieb gegenübergestellt.

### AB 19 „Fertigungsverfahren“

DIN 8580 behandelt die Einteilung der Fertigungsverfahren. Je nach Veränderung oder Behandlung der Werkstoffe oder Werkstücke unterscheidet die Norm sechs Hauptgruppen: Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaften ändern.

Dieses Arbeitsblatt behandelt alle für den technischen Unterricht relevanten Fertigungsverfahren. Die SuS finden konkrete Beispiele für diese Fertigungsverfahren aus ihrem Lebensumfeld.

Außerdem wird unterschieden in lösbare und nicht lösbare Fügeverfahren. Lösbare Verbindungen können ohne Zerstörung wieder aufgehoben werden (Verschrauben, Verstiften, Verbindungen über Kupplungen, konische Verbindungen, ...). Typisch für unlösbare Verbindungen ist, dass mindestens das Verbindungsmittel, wenn nicht sogar das Bauteil zerstört oder zumindest beschädigt wird. Alle stoffschlüssigen (Schweißen, Löten, Kleben) und viele formschlüssige Verbindungen gehören hierzu.

### AB 20 „Arbeits- und Produktionsabläufe“

In der industriellen Produktion wird die CAO (Computer Aided Organisation) eingesetzt. Diese ermöglicht eine exakte und vorausschauende Planung und eine Optimierung der Abläufe.

In der ersten Aufgabe wird anhand eines Zulieferbetriebs aus der Automobilindustrie eine einfache Arbeitsplatzplanung gestaltet. Die SuS müssen dazu an einem Produkt den Zeitbedarf, die dadurch resultierende Verteilung der Arbeitsplätze und die Positionierung der Arbeitsplätze an einer Fließbandanlage planen.

## Praxistipp

Bitte beachten Sie, dass die Abläufe bewusst einfach dargestellt sind, und weisen Sie die SuS darauf hin, dass die Aufgabe eine modellhafte Vorstellung widerspiegelt. Steht genügend Zeit zur Verfügung, können Sie Erfahrungen der SuS aus dem privaten Umfeld (Beruf der Eltern oder von Verwandten, Praktika) abfragen und mit der Darstellung im AB abgleichen.



In der zweiten Aufgabe sind die einzelnen Stationen einer Montagestraße für Fahrzeuge von der Anlieferung der Einzelteile bis zum Abtransport der fertigen Fahrzeuge zu bearbeiten. Der Schwerpunkt liegt darin, die Automatisierung und die sich daraus ergebenden Konsequenzen zu diskutieren.

## Informationen zu den AB 21–24

Auf diesen Seiten werden verschiedene Produktionsverfahren behandelt, die – angelehnt an industrielle Fertigungsverfahren – auch im Unterricht der Sekundarstufe I bearbeitet werden können. Einerseits unterscheidet sich die Ausstattung der Schulen mit Werkzeugen und Maschinen stark, andererseits ist bei der Umsetzung von praktischen Inhalten im Unterricht ein hoher Zeitaufwand zu kalkulieren. Aus diesen Gründen sind die Blätter so aufgebaut, dass sie unabhängig voneinander von der Lehrperson ausgewählt und ergänzt sowie beliebig zusammengestellt werden können.

### AB 21 „Ein Automodell aus Styropor schneiden“

Dieses Arbeitsblatt behandelt die praktische Produktion eines Automodells (z. B. des in Arbeitsblatt 6 gezeichneten) mit dem Werkstoff Styropor/Styrodur.

Im ersten Teil des Arbeitsblattes wird das Modell mit dem manuellen Styroporschneider gefertigt (Bauanleitung des Schneiders siehe AB 14). Weisen Sie die SuS auf die Sicherheitshinweise auf den jeweiligen Arbeitsblättern hin! Der komplette Bausatz der Schneidemaschine kann bei der Firma PCuS ([pcus@stefan-kruse.de](mailto:pcus@stefan-kruse.de)) einzeln oder als Klassensatz bezogen werden.

#### Praxistipp

Es hat sich gezeigt, dass es sinnvoll ist, den Styroporschneider nach jedem Schneidevorgang auszuschalten. Wird dies nicht beachtet, sind die Batterien recht schnell erschöpft, da zum Erhitzen des Schneidedrahtes ein hoher Strom nötig ist.

Im zweiten Teil des Arbeitsblattes wird das Schneiden eines Styropormodells mit einem computergestützten Koordinatentisch beschrieben. Das verwendete System FiloCut® besteht aus einer automatisierten 2-D-Schneideeinheit und der zugehörigen Software. Eine ausführliche Beschreibung von Maschine und Software finden Sie unter den Downloadinhalten (Seite 121). Das System kann u. a. bei der Firma LPE Technische Medien ([www.technik-lpe.eu](http://www.technik-lpe.eu)) bezogen werden.

### AB 22 „Ein Automodell aus Kunststoff drucken“

Zuerst erfolgt die Auseinandersetzung mit dem additiven Verfahren und dem prinzipiellen Aufbau eines 3-D-Druckers. Danach wird die Kompilierung des in AB 8 konstruierten CAD-Modells beschrieben. Wichtig ist, dass die Datei immer im STL-Format (Erklärung des Formats auf dem AB) vorliegt.

Zum Drucken wird das System „MakerBot Replicator®“ verwendet. Die Aufgaben zur Druckvorbereitung lassen sich problemlos auf andere Systeme übertragen.

Da das Thema für die SuS sehr motivierend ist empfiehlt es sich, möglichst viel Zeit zum Experimentieren und zum Optimieren der digitalen Modelle zur Verfügung zu stellen.

#### Praxistipp

Führen Sie ein Projekt mit verschiedenen Fertigungsverfahren durch, z. B. indem Sie sich mit Kollegen und anderen Klassen zusammentun. Oder Sie teilen Ihre Klasse und lassen jede Gruppe jeweils ein Automodell erstellen (je eine Gruppe für das Styroporauto, das 3-D-Auto und das gefräste Modell). Die Arbeiten/Ergebnisse müssen jeweils auf vorher verarbeitete Weise dokumentiert und vorgestellt werden.

### AB 23 „Ein Automodell aus Metall fräsen“

Es wird ausführlich beschrieben, wie die SuS mithilfe der computergestützten Fertigung aus dem Werkstoff Metall ein Automodell fräsen können. Nach der Erläuterung der Begriffe CAD, CAM und CNC wird der Aufbau eines CAM-Systems erarbeitet (hier das in vielen Schulen verwendete System Kosy®). Wegen der längeren Standzeit der Werkzeuge wird der Werkstoff Aluminium verwendet. Beachten Sie, dass Fräswerkzeuge gekühlt werden sollten.

Die Schritte zur Fertigung der Modelle werden ab Aufgabe 3 am Beispiel der Software nccad9® erläutert.

Aufgrund der sehr allgemein gehaltenen Beschreibung lässt sich das Beispiel problemlos auf andere CNC-Software übertragen, denn in der Praxis haben sich andere Systeme – z. B. eine ISEL-Fräsmaschine in Kombination mit der Software Galaad® – als vielseitiger erwiesen.

Beim Fräsen der Modelle ist mit einem hohen zeitlichen Aufwand (ca. 30 min pro Modell) zu rechnen.

### AB 24 „Optimierung von Produktionsverfahren und Werkstoffen“

Modul 4 endet mit den Optimierungsmöglichkeiten von Produkten und Produktion. Dazu werden in den ersten Aufgaben Herausforderungen und Vor- bzw. Nachteile der Produktionsoptimierung diskutiert. An einem konkreten Beispiel sollen sich die SuS in Aufgabe 3 in eine Produktoptimierung hineinversetzen. Aufgabe 4 befasst sich mit den modellübergreifenden Baukastensystemen der Automobilhersteller, die aus Gründen der Kostenersparnis auch in anderen Produktionsbereichen (Haushaltsgeräte, TV-Geräte, ...) längst üblich geworden sind.

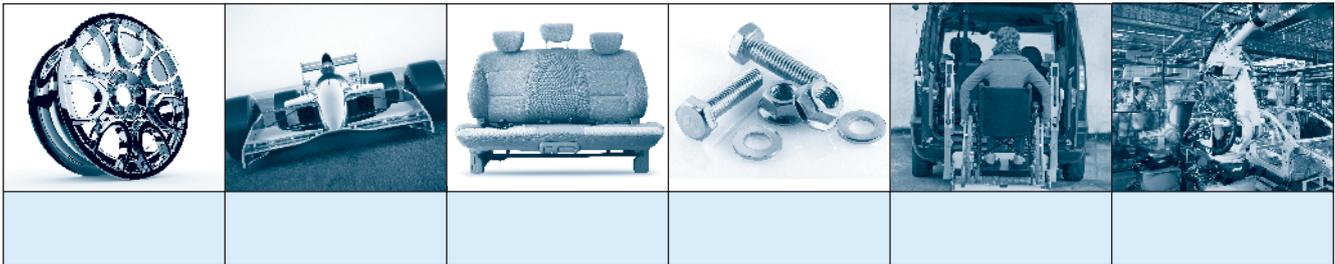
Aufgabe 5 streift das komplexe Thema „Industrie 4.0 – Die nächste Revolution“. Mithilfe des kurzen YouTube-Clips können sich die SuS das Thema selbstständig erschließen und diskutieren. Das gesamte Thema wird abgerundet durch Aufgaben zu Optimierungs- und Recyclingmöglichkeiten von Werkstoffen.

# 18 Die Arten der industriellen Fertigung

Je nach den Anforderungen an ein Produkt entscheidet man bei seiner Produktion zwischen Einzel- und Mehrfachfertigung. In der Einzelfertigung werden einzelne oder individuelle Produkte, z. B. Prototypen, in einzelnen Arbeitsschritten meist von wenigen Arbeitskräften produziert. Dies ist oftmals sehr teuer. In der Mehrfachfertigung werden Serien- oder Massenprodukte maschinell hergestellt, wobei die Arbeitskräfte nur noch einzelne Arbeitsschritte ausführen. Dadurch verringern sich die Produktionskosten.

**1. Die Fertigungsart beschreibt, wie Produkte produziert werden. Man unterscheidet zwischen Einzelfertigung (EF), Serienfertigung (SF) und Massenfertigung (MF).**

a) Ordne die Fertigungsarten den folgenden Produkten zu.



b) Nenne Unterscheidungskriterien, die bei der Produktion eine Rolle spielen.

**2. Das Ablaufprinzip einer Fertigungsorganisation beschreibt die Art und Weise, wie die Produktfertigung organisiert ist.**

Trage die möglichen Ablaufprinzipien nach Menge der produzierten Artikel in die folgende Tabelle ein und kreuze die geeigneten Fertigungsarten an.

**Fließband, Werkstatt, Werkbank, getaktete Fließstraßen, Gruppenfertigung**

	Ablaufprinzip der Fertigungsorganisation				
	Menge der produzierten Artikel nimmt zu				
Fertigungsart					
Einzelfertigung					
Serienfertigung					
Massenfertigung					

**3. Die Arbeiten innerhalb der Fertigung werden entweder nach der Menge oder nach der Art verteilt. In der Praxis kommen häufig Mischformen vor.**

a) Bei der Artteilung wird der Auftrag in mehrere Arbeitsvorgänge aufgeteilt, die dann von verschiedenen Mitarbeitern bearbeitet werden. Nenne Vor- und Nachteile.

Vorteile: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Nachteile: \_\_\_\_\_

b) Bei der Mengenverteilung wird der Auftrag in mehrere Teilmengen zerlegt. Jeder Mitarbeiter führt in seiner Teilmenge alle Arbeitsvorgänge aus.

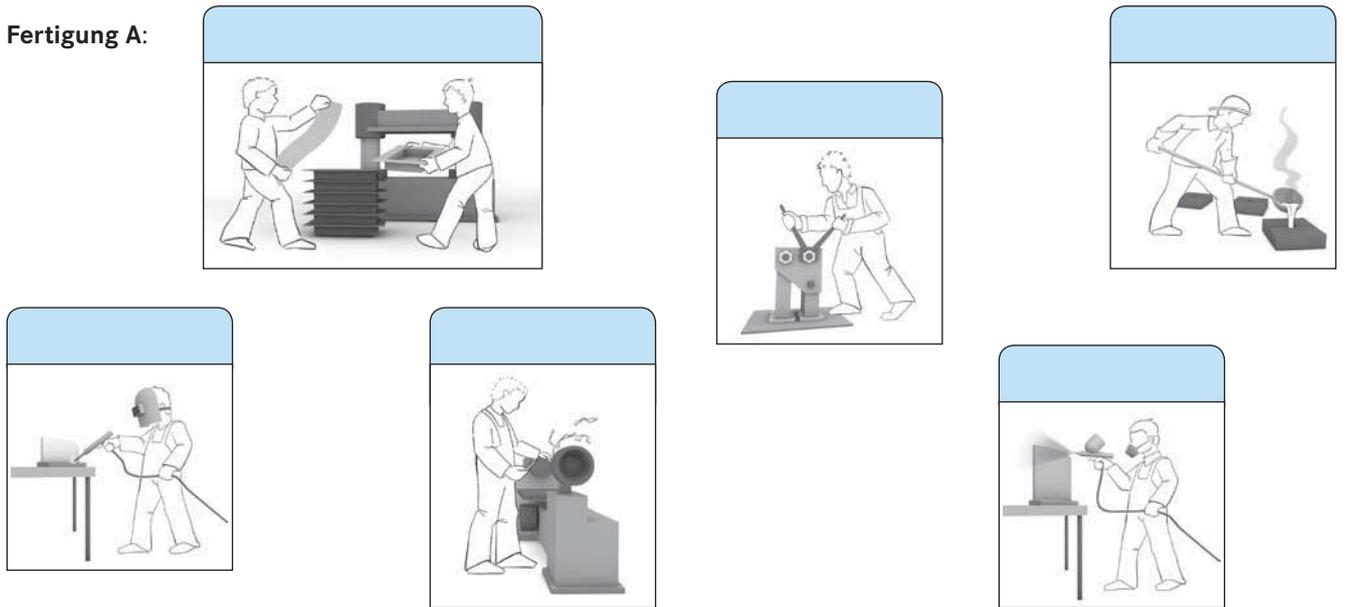
Vorteile: \_\_\_\_\_

Nachteile: \_\_\_\_\_

**4. Unterschiedliche Prinzipien der industriellen Fertigung im Vergleich.**

Im Folgenden sind zwei unterschiedliche Fertigungsarten dargestellt. Beschrifte die Abteilungen oder Stationen. Beschreibe, nach welchem Prinzip die Produktion organisiert ist und für welche Produkte diese Art der Fertigung geeignet ist.

**Fertigung A:**

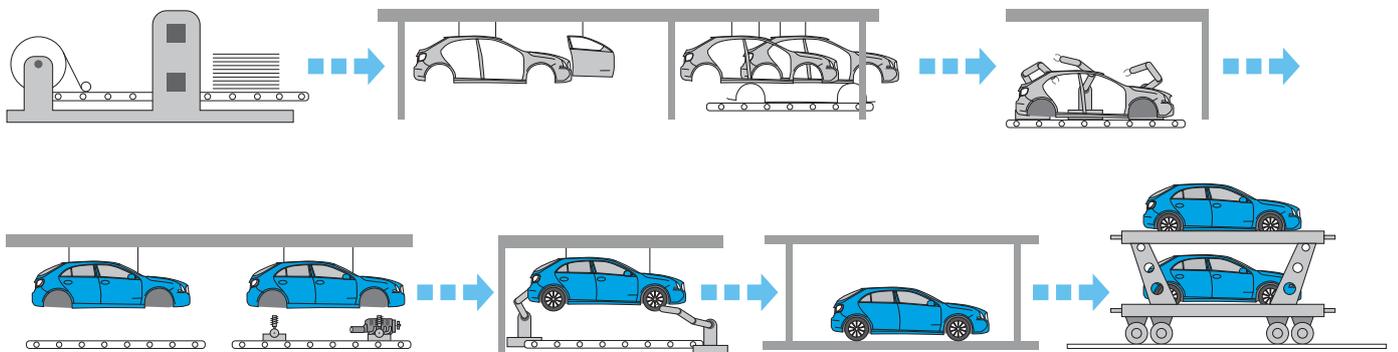


Diese Firma produziert nach dem Prinzip der \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Fertigung B:**



Diese Firma produziert nach \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# 19 Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren spielen eine entscheidende Rolle bei der Herstellung von Produkten. Durch Fertigungsverfahren werden Werkstoffe oder Werkstücke in ihren Eigenschaften – z. B. Größe, Form, Oberfläche – verändert. Nach DIN (Deutsches Institut für Normung) teilt man sie in sechs Hauptgruppen ein.

## 1. Ordne die aufgeführten Fertigungsverfahren zu und suche Beispiele.

**Fügen, Umformen, Beschichten, Trennen, Stoffeigenschaften ändern**

Beim \_\_\_\_\_  
entsteht aus flüssigem,  
plastischem oder pulvrigen  
Stoff ein fester Körper.



Beispiele: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Beim \_\_\_\_\_  
erhält ein fester Körper eine  
andere Form.



Beispiele: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

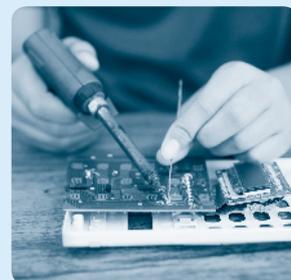
Beim \_\_\_\_\_  
werden größere oder  
kleinere Teile vom Körper  
abgetrennt.



Beispiele: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Beim \_\_\_\_\_  
werden Körper miteinander  
verbunden.



Beispiele: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

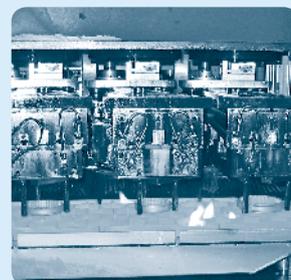
Beim \_\_\_\_\_  
erhält ein Körper eine fest  
haftende Schicht.



Beispiele: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Beim \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
wird ein Werkstoff z. B.  
härter oder weicher.



Beispiele: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**2. Anwendungen und Eigenschaften der Fertigungsverfahren.**

**a)** Beschreibe Anwendungen und Vor-/Nachteile von Gießverfahren beim Urformen.

	Anwendungen	Vorteile	Nachteile
Beim Sandformgießen benötigt jedes Werkstück eine eigene Form, da diese nach dem Guss zerstört wird.			
Beim Kokillengießen hingegen kann die verwendete Gießform wieder verwendet werden.			

**b)** Was geschieht beim Umformen von Blechen bei zu häufiger Biegung?

\_\_\_\_\_

**c)** Nenne die Unterschiede zwischen Zerteilen und Zerspanen beim Trennen.

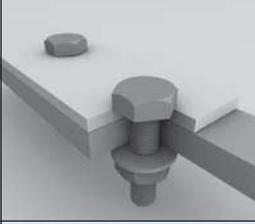
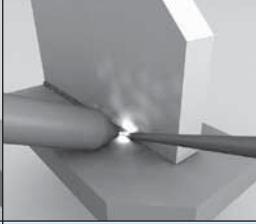
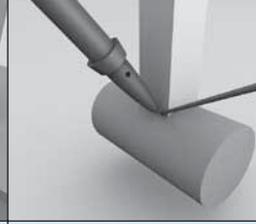
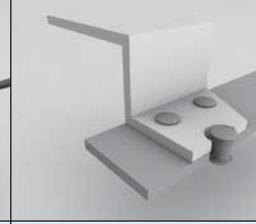
Beim Zerteilen \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Beim Zerspanen \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**d)** Beschreibe, um welche Fügeverfahren es sich bei den Abbildungen handelt. Welche sind lösbar und erlauben eine zerstörungsfreie Demontage, welche nicht?

				
<input type="checkbox"/> lösbar <input type="checkbox"/> unlösbar	<input type="checkbox"/> lösbar <input type="checkbox"/> unlösbar			

**e)** Beschreibe die Möglichkeiten für einen wirksamen Korrosionsschutz von Metallen.

- 1 \_\_\_\_\_
- 2 \_\_\_\_\_
- 3 \_\_\_\_\_
- 4 \_\_\_\_\_

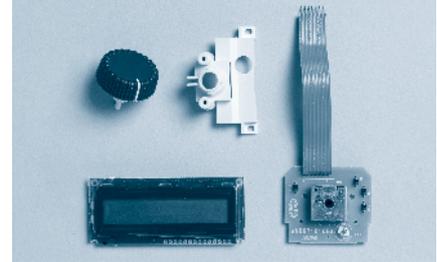


## 20 Arbeits- und Produktionsabläufe

Um die Arbeitsorganisation in der industriellen Produktion zu optimieren, wird die CAO (Computer Aided Organisation) eingesetzt. Diese ermöglicht eine exakte und vorausschauende Planung. Die CAO erfolgt in der Regel in Form eines schriftlichen Ablaufplans, der allen Beteiligten einen Überblick über die gesamte Fertigung ermöglicht.

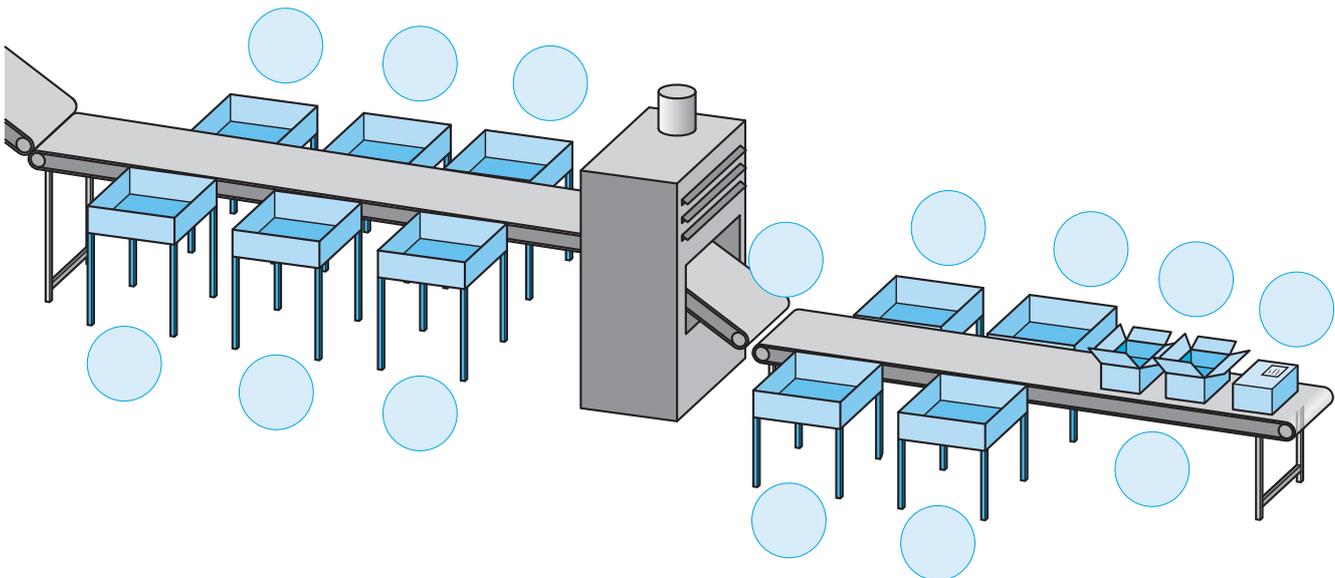
**1. Bei einem Zulieferbetrieb für Klimasysteme in Fahrzeugen werden unter anderem Bedienelemente für Klimaanlage produziert.**

**a)** In der Produktion sind für diesen Artikel 14 Arbeitsplätze vorgesehen. Plane die Verteilung der Arbeitsplätze in Abhängigkeit der notwendigen Arbeitsschritte.



Arbeitsschritte/Arbeitsplätze	benötigte Zeit pro 50 Blinker	Verteilung der 14 Arbeitsplätze
a) Unbestückte Steuerplatinen ins Magazin 1 der Lötanlage einfüllen.	9 min	
b) Lose Verbindungsleitungen ins Magazin 2 der Lötanlage einfüllen.	9 min	
c) Die gelötete Steuerplatine aus der Maschine entnehmen.	3 min	
d) Drehregler in die Platine einstecken und einkleben.	12 min	
e) Platine, Platinenhalterung und Display in einen Karton packen.	6 min	
f) Kartons folieren und etikettieren.	3 min	

**b)** Positioniere die vorhandenen Arbeitsplätze um die abgebildete Anlage (Ziffern a bis f einfügen).



**c)** An welchen Stellen könnte es zu Engpässen oder Zeitverzögerungen kommen?

---



---

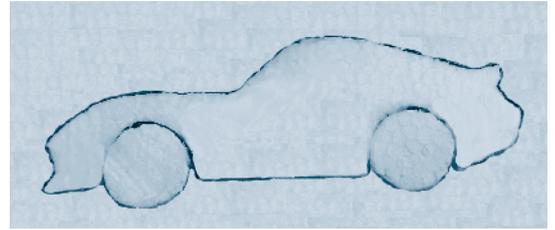




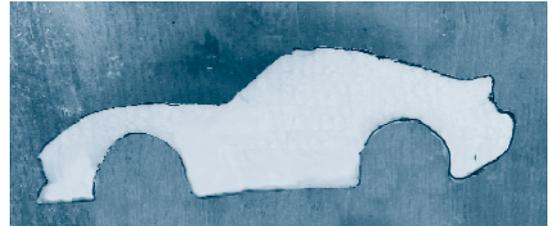
### 3. Herstellung eines Automodells mit einem manuellen Styroporschneider.

Für die Fertigung eines Fahrzeugmodells aus Styropor müssen folgende Schritte abgearbeitet werden: Schnittschablone erstellen, Schnittschablone auf die Styroporplatte übertragen, Styropor schneiden, Räder und ggf. optische Feinheiten oder weitere Anbauteile einarbeiten.

**a)** Übertrage dein in Arbeitsblatt 6 gezeichnetes Automodell oder eine mit dem Computer gezeichnete Form mit einem schwarzen Stift auf eine Styroporplatte. Die Größe und Dicke der Platte werden nach den Berechnungen aus Aufgabe 2 ermittelt.



**b)** Schneide nun das Automodell mit dem im Arbeitsblatt 14 gefertigten Styroporschneider aus. Achtung, der Draht des Styroporschneiders ist sehr heiß. Auch die entstehenden Dämpfe dürfen nicht eingeatmet werden.



**c)** Übertrage in einem zweiten Schritt die Draufsicht des Modells mit einem schwarzen Stift von oben auf die Styroporplatte. Dadurch können Spoiler und seitliche Taillierungen der Karosserie angedeutet werden. Schneide diese Formen erneut mit dem Styroporschneider aus.



**d)** Setze nun die Räder in die vorgesehenen Radkästen ein. Dazu empfiehlt es sich, eine schmale Holzleiste unter die Fahrzeugform zu kleben. Durch diese Leiste werden zwei Bohrungen für die Achsen der Räder gefertigt. Als Achsen können einfache Zahnstocher verwendet werden.



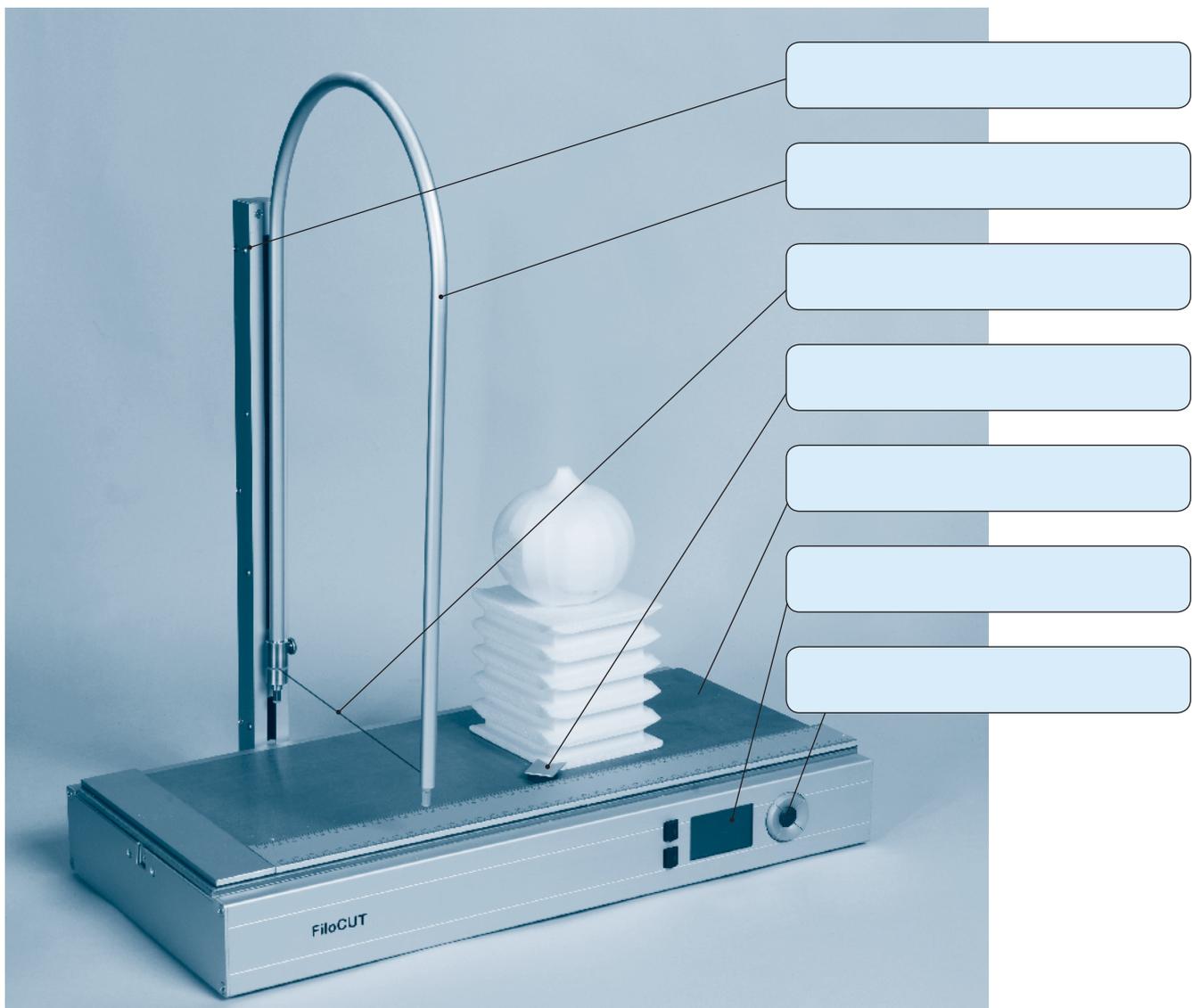
#### 4. Computergestützte Herstellung eines Automodells mit einem Styroporschneider.

Alternativ zu einem von Hand geführten Styroporschneider lässt sich mithilfe eines Computers und einer angeschlossenen automatisierten Styroporschneidemaschine ein Automodell auch vollautomatisch herstellen. Im Folgenden wird das System FiloCut verwendet.

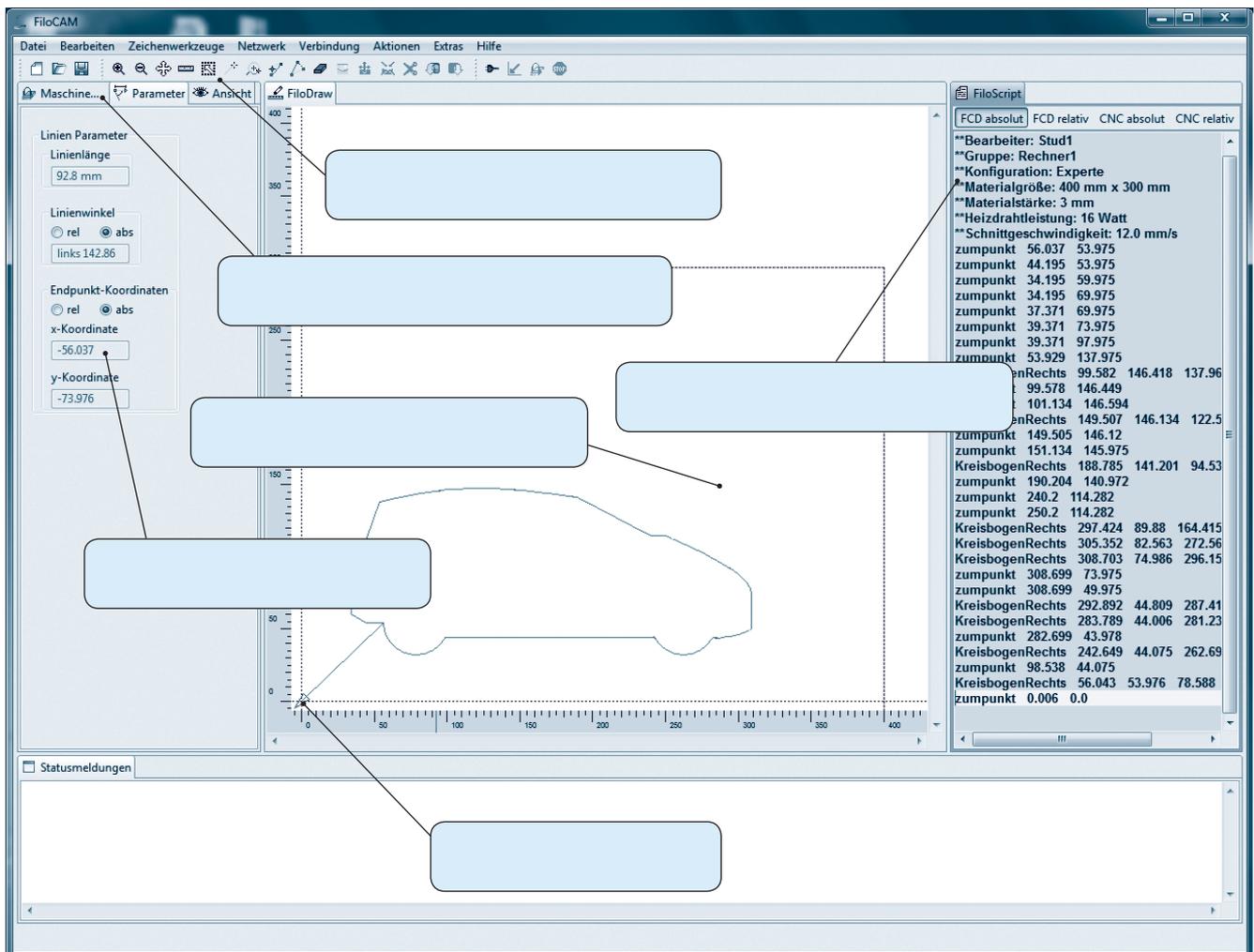
Eine computergestützte Styroporschneidemaschine besteht aus einer Bodenplatte, die sich vor- und zurückbewegt, und aus einem Haltegestell, an dem ein Bügel (ähnlich einer Laubsäge) auf- und abfährt. Zwischen den beiden Enden des Bügels ist ein spezieller Heizdraht gespannt. Durch die Bewegung in zwei Achsen lassen sich Profile aus einem Styropor- oder Styrodurblock herauschneiden. Dieser wird mit entsprechenden Halteklammern auf der Bodenplatte fixiert. Um komplexere dreidimensionale Gebilde zu fertigen, muss das Modell nach dem Schneiden gedreht und für jeden Schneidwinkel eine eigene Datei mit dem notwendigen Schneidprofil anfertigt werden.

Gesteuert wird die Maschine durch ein mitgeliefertes Programm (im vorgestellten Fall FiloCAM). Innerhalb des Programms lassen sich entweder mithilfe eines maschinenspezifischen Codes (G-Code) oder grafischer Konstruktionen Schnittbahnen erstellen. Alle Bahnen müssen miteinander verbunden sein und im Ursprung starten. Jeder Schnittpfad sollte idealerweise am Ende aus dem Material herausfahren, da ansonsten der Draht mitten im Material endet und mit der Handsteuerung herausgefahren werden muss. Alternativ kann die Maschine auch ohne Computer über ein manuelles Bedienfeld gesteuert werden.

a) Benenne die Teile der computergestützten Styroporschneidemaschine.

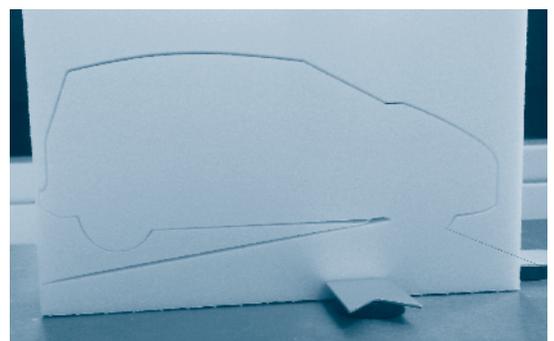


b) Hier siehst du die Oberfläche des CAD-Programms, mit dem die Datei zum Schneiden eines Styropormodells erzeugt werden kann. Benenne die Menüpunkte, die zur Bedienung der Software von Bedeutung sind. Verwende diese Begriffe: **Nullpunkt, Koordinateneingabe, Eingabefeld für G-Code, Eingabebereich für Zeichnung, Zeichenwerkzeuge, Übertragung zur Schneidemaschine**



c) Konstruktion und Fertigung eines automatisch gefertigten Styropormodells.

- Konstruiere ein Fahrzeugmodell mit dem Programm FiloCAM. Du kannst als Grundlage deine Zeichnung des Automodells in Arbeitsblatt 6 verwenden.
- Achte darauf, dass die Bahnen zusammenhängend gezeichnet werden.
- Bevor der Arbeitsvorgang in der Maschine gestartet werden kann, müssen im Bereich „Übertragung zur Schneidemaschine“ die Materialdaten und die Heizleistung des Drahts korrekt eingestellt werden.
- Zum Schneiden muss über das Menü der Maschine der Ursprung der Schneideeinheit angefahren werden.
- Dann wird das Styropor mit den magnetischen Halteklammern auf der Bodenplatte fixiert.
- Nach dem Schneiden kann die Styroporform entnommen werden.



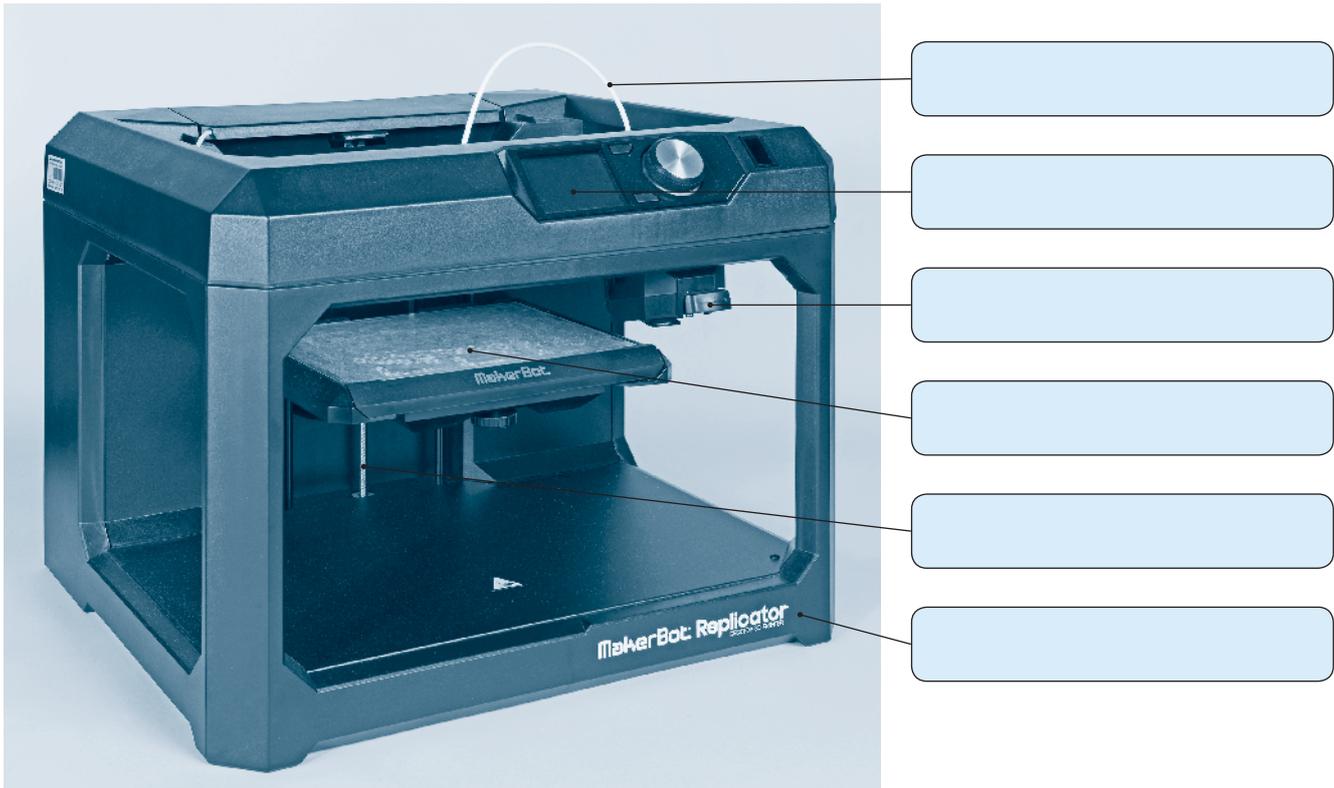
## 22 Ein Automodell aus Kunststoff drucken

Dreidimensionale Prototypen oder Ersatzteile lassen sich schnell und kostengünstig mit einem 3-D-Drucker fertigen. Als Rohstoffe für den „Druck“ können Kunststoff, Kunstharz oder auch Metalle verwendet werden.

### 1. Die Komponenten eines 3-D-Druckers für Kunststoff.

Ein 3-D-Drucker besteht aus dem Gehäuse und einer Düse (Extruder) sowie einer Grundplatte (Druckplattform), deren Höhe und Lage durch Führungsachsen verändert werden kann. Der Grundstoff für das Produkt wird der Düse als Filament (ein Polymerstrang) zugeführt. An der Düse wird der Kunststoff aufgeschmolzen und dosiert ausgegeben. Das Produkt wird dabei in dünnen Schichten nach und nach aufgebaut.

Benenne die einzelnen Komponenten des abgebildeten 3-D-Druckers.



### 2. Das Umwandeln der digitalen Daten.

Um einen 3-D-Druck durchzuführen, benötigt man ein digitales 3-D-Modell des gewünschten Produkts. Das Modell wird mit einer CAD-Software erstellt und im STL-Format gespeichert. Nach dem Überspielen der Datei teilt die Treibersoftware des Druckers das Modell in einzelne, etwa 0,1 mm dünne bzw. breite Schichten. Jede dieser Schichten wird dann scheinbarweise aufeinander „gedruckt“. Dabei wird das Filament Lage um Lage aufgebracht.

Recherchiere, was der Begriff „STL“ bedeutet und beschreibe die Eigenschaften von STL-Dateien.

---



---



---



---



---



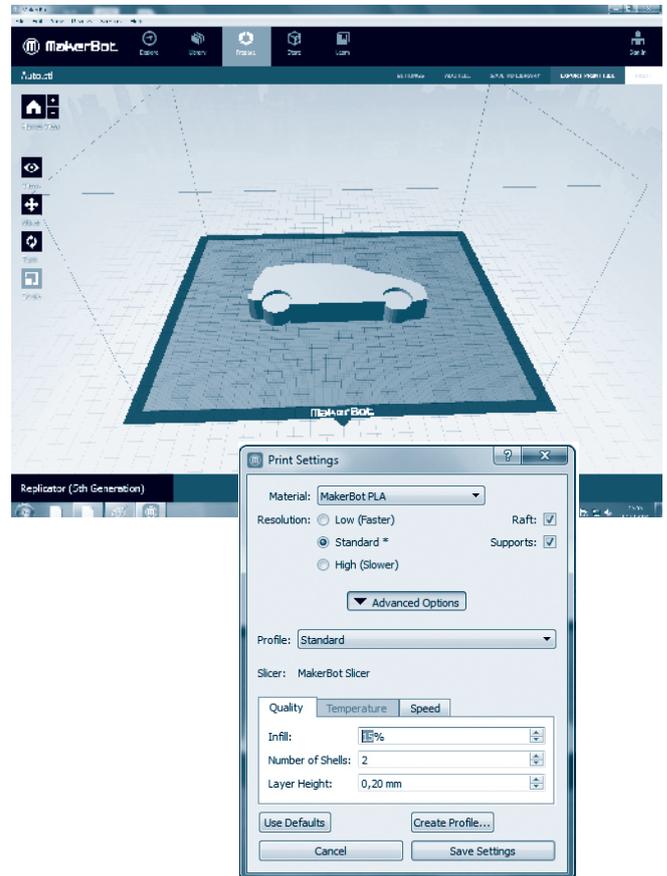
---

### 3. Einlesen und Aufbereiten der digitalen Daten in die Druckersoftware.

Die Software für einen 3-D-Drucker teilt die zu druckende Datei in einzelne Schichten. Außerdem wird über die Druckersoftware die Genauigkeit bzw. Auflösung des Drucks, die Dicke der einzelnen Schichten, eventuell benötigte Stützen für überhängende Teile und die Füllung des zu druckenden Produkts bestimmt.

Im folgenden Beispiel wird anhand des „MakerBot Replicators“ und der zugehörigen Software „MakerBot Desktop“ das Importieren und Einstellen einer zu druckenden Datei beschrieben.

1. Nach dem Öffnen der Druckersoftware wird die STL-Datei des erstellten Modells importiert.
2. Das Programm schlägt eine Position des Objekts auf der Grundplatte vor. Diese kann wie vorgeschlagen übernommen oder selbst angepasst werden.
3. Es besteht die Möglichkeit, das Modell zu betrachten, die Maße zu kontrollieren und eventuelle Skalierungen vorzunehmen.
4. Wenn mehrere Objekte in einem Durchgang gedruckt werden sollen, können weitere Modelle importiert oder mit copy und paste eingefügt und positioniert werden.
5. Bevor das Objekt gespeichert wird, können die Druckereinstellungen verändert werden. Je höher die Genauigkeit (und damit die Qualität des Endproduktes), desto länger ist die Druckdauer. Durch „Supports“ lassen sich überhängende Abschnitte des Produkts abstützen, die andernfalls in die Luft gedruckt werden müssten.
6. Nun kann entweder der Druck gestartet werden (wenn der Drucker direkt mit dem Computer verbunden ist) oder die Datei kann auf einen USB-Stick oder eine SD-Karte exportiert und danach an den Drucker übergeben werden.



### 4. Optimieren der digitalen Daten mit der Druckersoftware.

Bei bestimmten Vorgaben oder Wünschen lassen sich mit der Druckersoftware weitere spezielle Druckparameter optimieren. Beispielsweise kann die Ausfüllung des Innenraums des Produkts (Infill) eingestellt werden. Die Werte liegen zwischen 100 % und 0 %. Der erste Wert würde das Produkt massiv und damit sehr stabil, aber auch schwer machen, bei 0 % würden nur hauchdünne Außenbereiche gedruckt, das Ergebnis wäre also hohl. Um eine grundsätzliche Stabilität zu gewährleisten und Zeit und Material zu sparen, haben sich 10 % Infill bewährt. Als Standard Infill verwenden viele Druckerprogramme ein hexagonales Wabenmuster, da es bei wenig Material eine hohe Widerstandsfähigkeit bietet.

Um eine maximale Haftung des Filaments auf der Grundplatte (Druckplattform) zu garantieren, druckt der Drucker standardmäßig eine Bodenplatte, auf der das Produkt später aufliegt. Dies kann deaktiviert werden, wenn man Material sparen möchte.



## 7. Produzieren eines Modellautos.

a) Zeichne ein Modellfahrzeug mit den Maßen 100 mm x 50 mm x 15 mm in einem CAD-Programm. Vom Fahrzeug wird nur die Seitenansicht genutzt. Zur optischen Verfeinerung können die Räder hervorgehoben oder andere Konturen der Karosserie eingezeichnet werden. Speichere die Datei im STL-Format ab.

b) Beschreibe die notwendigen Schritte von der STL-Datei des CAD-Programms bis zum fertig gedruckten Modellauto.

c) Drucke das Fahrzeugmodell unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Arbeitsschritte aus. Verwende folgende Einstellungen: Standardauflösung, 10% Infill, Layerhöhe 0,2 mm.

d) Wie lässt sich das fertige Fahrzeug optimieren?

---

---

---

---



## 23 Ein Automodell aus Metall fräsen

Eines der Standardverfahren bei der computergestützten Fertigung von Produkten ist das CNC-Fräsen. Dabei wird eine Fräsmaschine auf einem Koordinatentisch durch einen Computer angesteuert und die eingespannten Materialien können sehr präzise bearbeitet werden. Die Ansteuerung der CNC-Maschine erfolgt mithilfe eines standardisierten Codes, dem G-Code. Mithilfe einer CAM-Software wird eine CAD-Zeichnung in diesen Code umgewandelt und an das Koordinatensystem gesendet. Meist wird mit dem Frässystem ein kombiniertes CAD/CAM-Programm mit grafischer Oberfläche geliefert. Dadurch lassen sich die Konturen des Werkstücks anhand grundlegender geometrischer Formen einfach zeichnen. Im Folgenden wird das System Kosy® verwendet, das ein kombiniertes CAD/CAM-System beinhaltet und mit der Software nccad® arbeitet.

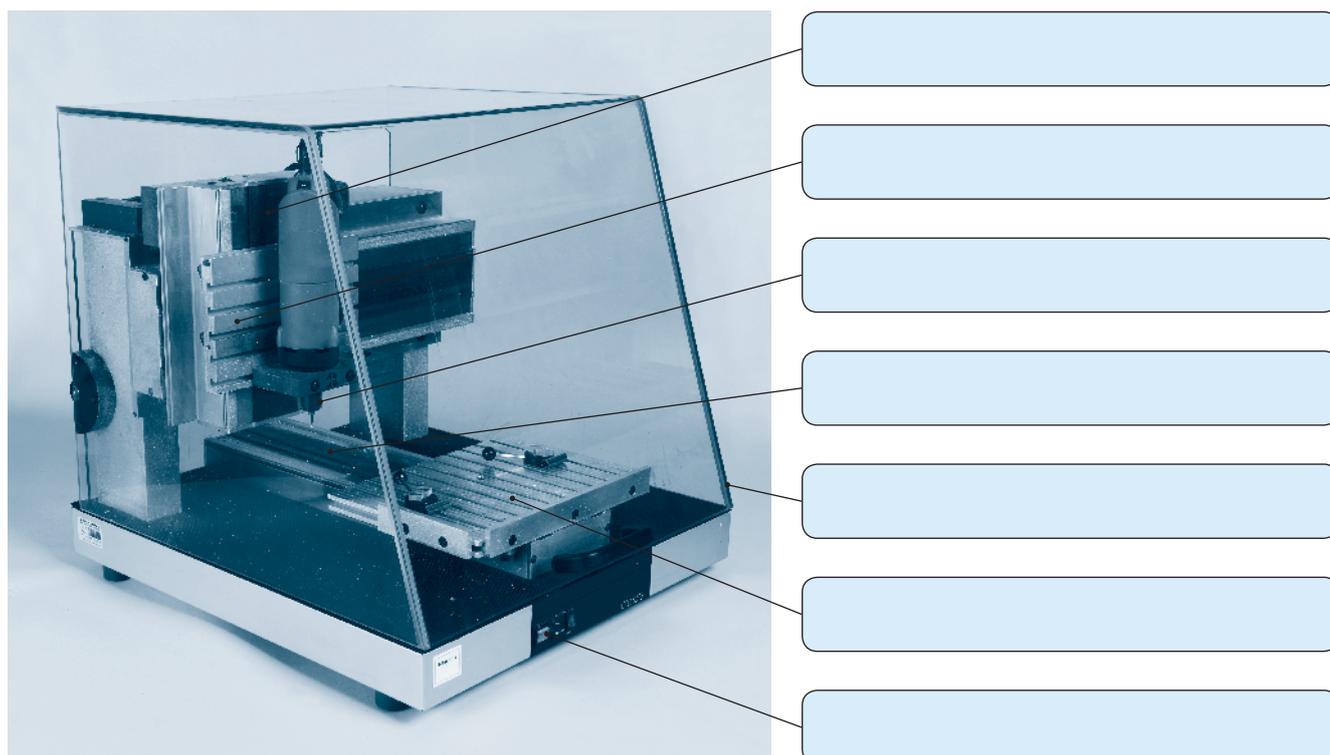
### 1. Erläutere die drei Begriffe aus dem Bereich der computergestützten Fertigung.

Benutze dazu diese Wortbausteine:

**Computer Aided Manufacturing, Computerized Numerical Control, Erstellen einer technischen Zeichnung mit einem Computer, Computer Aided Design, Verwendung einer Software zur Erstellung des Programmcodes für die computergestützte Fertigung, computergestützte Steuerung und Regelung von Werkzeugmaschinen**

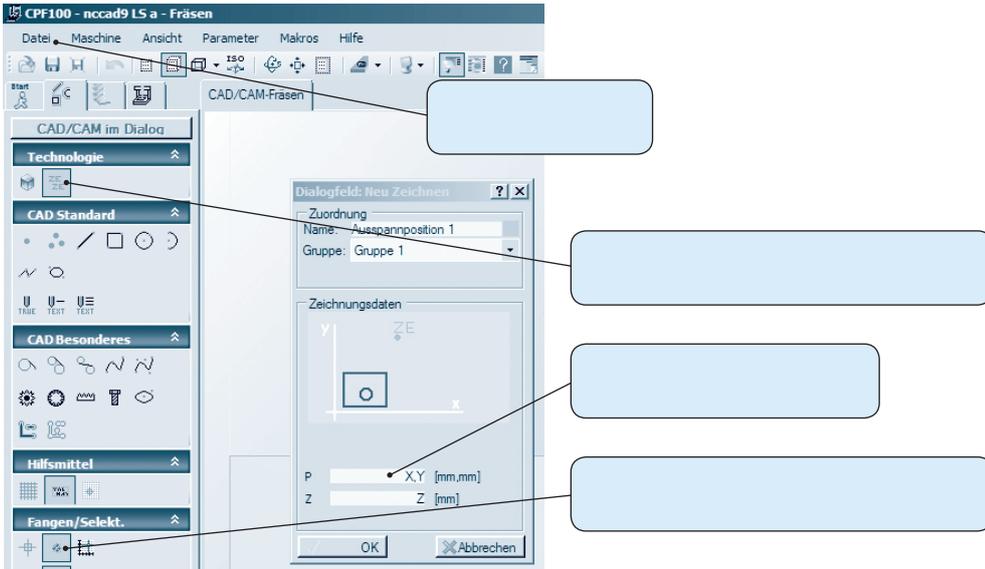
CAD	CAM	CNC
englische Bedeutung:	englische Bedeutung:	englische Bedeutung:
deutsche Übersetzung und Bedeutung:	deutsche Übersetzung und Bedeutung:	deutsche Übersetzung und Bedeutung:

### 2. Beschrifte die Komponenten eines Koordinatentisches mit Fräsmaschine.

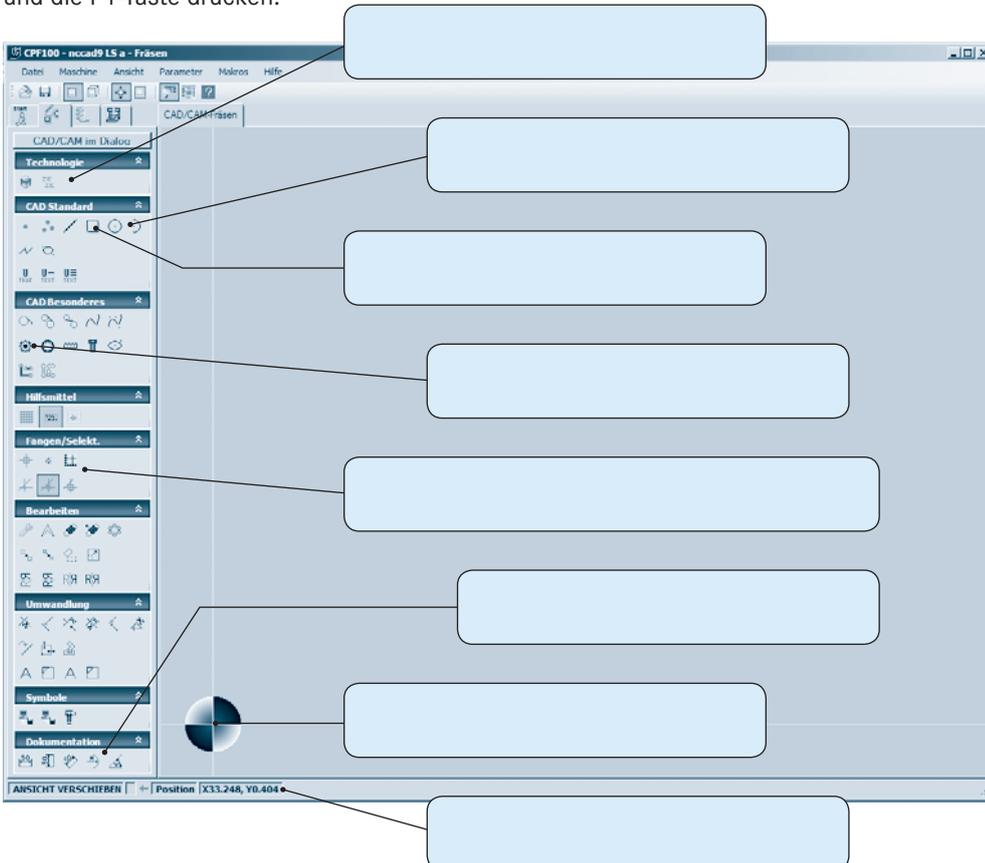


3. Aufbau und Handhabung eines CAD/CAM-Programms.

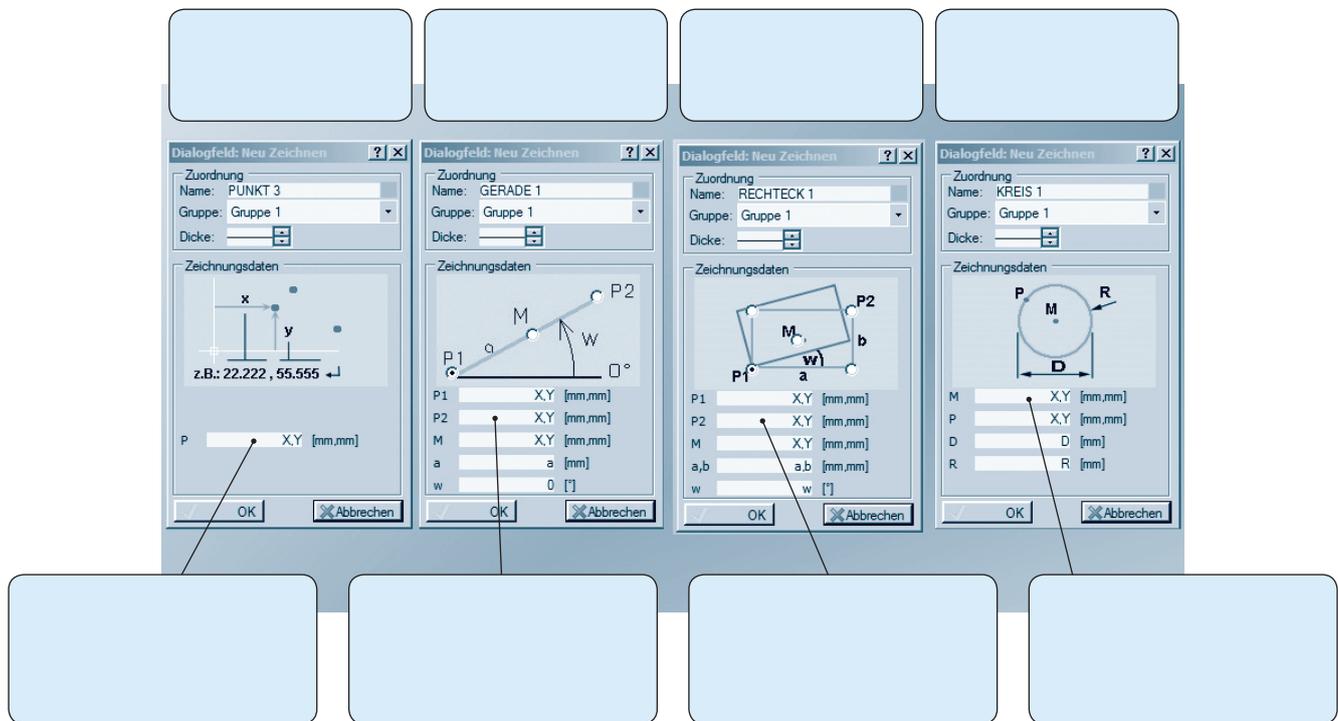
- a) Ergänze mithilfe des Programms nccad® die folgende Abbildung (Bildschirmkopie) und bearbeite die genannten Schritte.
- Öffne im Programm nccad® eine neue Datei.
  - Lege die Werkstückabmessungen und das Material fest.
  - Lege den Werkstücknullpunkt der neuen Zeichnung fest.
  - Lege die Ausspannposition des Fräasers fest.
  - Bevor du mit der Erstellung einer Zeichnung beginnst, lege das Raster (die Fangfunktion) fest. Dieses gibt an, in welchem Abstand man mit der Maus die Konstruktionspunkte setzen kann (also die Genauigkeit).



- b) Benenne die Teile der **Oberfläche** von nccad® (Bildschirmkopie) mithilfe des geöffneten Programms. Um mehr über die Elemente des Programms und ihre Funktionen zu erfahren, kannst du mit der Maus auf das entsprechende Symbol fahren und die F1-Taste drücken.

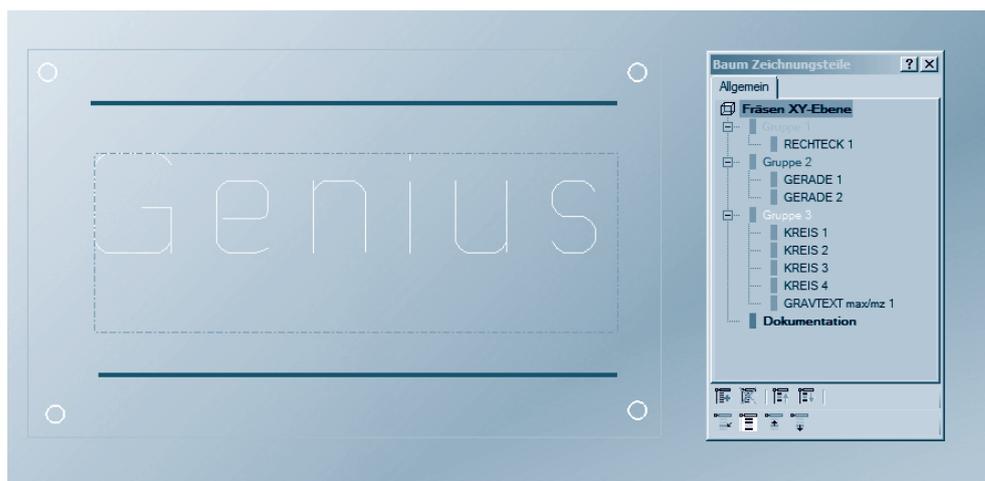


c) Nachdem du die Eigenschaften der Programmoberfläche kennst und die Grundeinstellungen vorgenommen wurden, solltest du die einzelnen **Zeichenwerkzeuge** (Icons) testen und kennenlernen. Beschrifte die folgenden Dialogfenster mithilfe des geöffneten Programms.



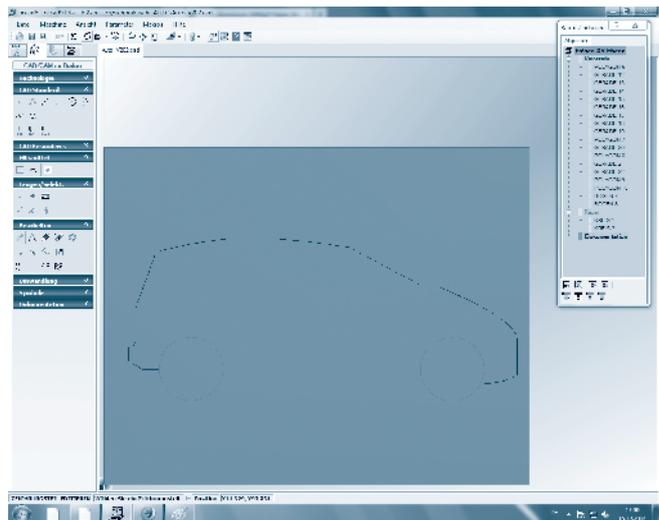
d) Innerhalb von Zeichnungen kannst du zur besseren Strukturierung verschiedene **Ebenen** (Layer) verwenden. So können beispielsweise die Kontur des gezeichneten Objekts, evtl. Texte oder die Bemaßungslinien in jeweils eigene Layer gezeichnet werden. Jeder Ebene müssen eigene Merkmale zugewiesen werden, z. B. Linienart, Frästiefe usw. Durch Ein- und Ausblenden der einzelnen Ebenen kannst du gezielt und übersichtlich die Darstellung der Zeichnung anpassen.

Erstelle eine Plakette mit deinen Initialen. Verwende für die Grundplatte und für die Buchstaben jeweils eine eigene Ebene.



#### 4. Zeichnen eines Fahrzeugmodells mit einem CAD-System.

Nachdem du die Eigenschaften der Programmoberfläche kennst und die wichtigen Grundeinstellungen vorgenommen hast, fertige nun die Zeichnung eines einfachen Automodells an. Die Maße des Fahrzeugs betragen ca. 100 mm x 50 mm. Die Räder sollen in sinnvollen Proportionen dazu stehen.

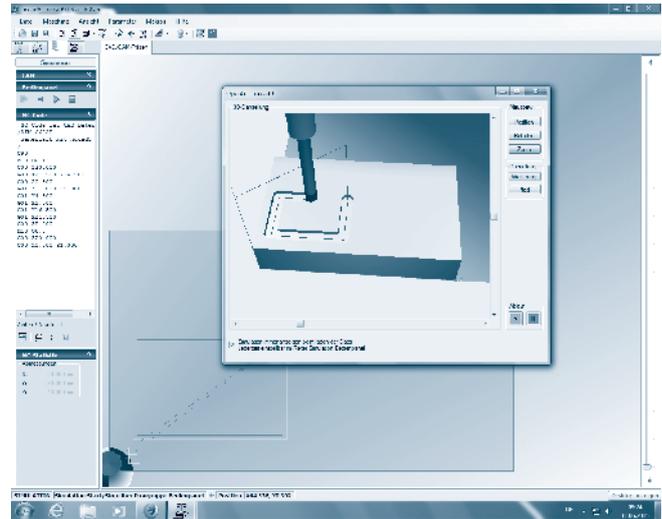


#### 5. Von der CAD-Zeichnung zur CAM-Datei.

Um eine Fräsmaschine mit einer CAD-Datei nutzen zu können, müssen zusätzliche Angaben, die sogenannten Technologiedaten, zugefügt werden. Dazu gehören Informationen, mit welcher Geschwindigkeit der Koordinatentisch gesteuert wird, wie tief der Fräser pro Bearbeitungsschritt ins Material eintauchen soll oder wie oft eine Bahn gefräst wird. Jedes Zeichnungsteil benötigt eigene Technologiedaten oder mehrere Teile werden gruppiert. Die Vorschub- und Drehgeschwindigkeit sowie die Frästiefe sind abhängig von Fräser und Material. Allgemein lässt sich sagen, dass bei härterem Material geringer Vorschub und niedrigere Drehgeschwindigkeit verwendet werden, während bei weichem Material hohe Drehgeschwindigkeit und schneller Vorschub gewählt werden.

a) Ergänze die Bildschirmkopie mit den **Technologiedaten** des Programms. Füge danach die Technologiedaten zu deiner Zeichnung hinzu. Verwende für Holz den Vorschub 180 und die Teilezustellung 1 und für Aluminium jeweils die halben Werte. Die Gesamttiefe des Fahrzeugs hängt ab von der Dicke des verwendeten Materials.

b) Wenn alle Technologiedaten und deren Parameter gesetzt sind, kann man die Fräsbahnen überprüfen und simulieren lassen. Dazu lässt sich im Feld **Simulation** auswählen, ob alle Achsen bei der Simulation einbezogen werden sollen. Teste dein Programm und korrigiere eventuelle Fehler.



c) Läuft die Simulation wie vorgesehen ab, wird die **Fräsmaschine vorbereitet** und eingerichtet. Führe dazu folgende Schritte aus:

- Zuerst spannst du den ausgewählten Fräser in das Spannfutter der Maschine ein. Dazu dreht man dieses mithilfe zweier Schraubenschlüssel auf und setzt den Fräser ein. Ein Teil des Fräserschafts sollte aus dem Bohrfutter herausragen. Anschließend muss das Bohrfutter wieder angezogen werden.
- Nun bereitet man den zu fräsenden Werkstoff vor. Um beim Ausfräsen den Frästisch nicht zu beschädigen, sollte man eine dünne Holz- oder Kunststoffunterlage mit doppelseitigem Klebeband auf den Tisch kleben.
- Dann fixiert man das Grundmaterial mithilfe der Exzenterspanner am Frästisch. Eventuell sind mehrere Spanner zu verwenden. Wenn das Material dennoch wackelt, hilft für zusätzliche Festigkeit auch hier eine Lage doppelseitiges Klebeband.
- Zum Schluss schließt du die Schutzhaube der Maschine.

d) Bei der Vorbereitung der technischen Zeichnung hast du bereits den Werkstücknullpunkt gesetzt. Er ist in der CAD-Ansicht durch einen Kreis in der linken unteren Ecke markiert und stellt die Position dar, von der aus der Fräser arbeitet. Es muss aber auch der **Nullpunkt der Fräsmaschine** definiert werden. Da einfache Maschinen diesen Punkt nicht automatisch ermitteln können, musst du ihn von Hand einstellen. Dazu klickst du im Menü „Maschine“ auf das Fenster „Handsteuerung“ und auf den Button „Referenzpunkt anfahren“. Damit stellt die Maschine die Position des Fräsers fest und fährt die Fräseinrichtung an die Endschalter der Achsmotoren. Nun kann man mithilfe der Tastatur über die Pfeiltasten für die X- und Y-Richtung und die Bild-Auf-und-Ab-Tasten für die Z-Richtung den Fräser auf den Werkstücknullpunkt fahren. Dazu legst du ein Blatt Papier auf das Werkstück und fährst den Fräser mit kleinen Schritten nach unten, bis das Papier nicht mehr bewegt werden kann. Mit der Tastenkombination STRG+Ende musst du abschließend die Koordinatenanzeige auf Null setzen und den Werkstücknullpunkt bestätigen. Um das Papier zu entfernen, kann der Fräser wieder nach oben bewegt werden.

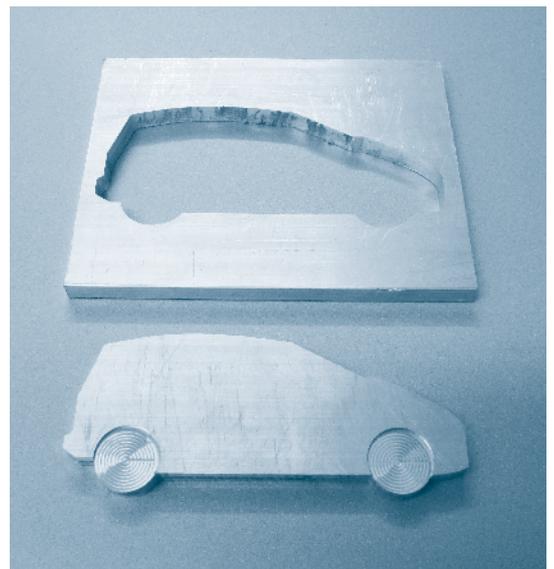
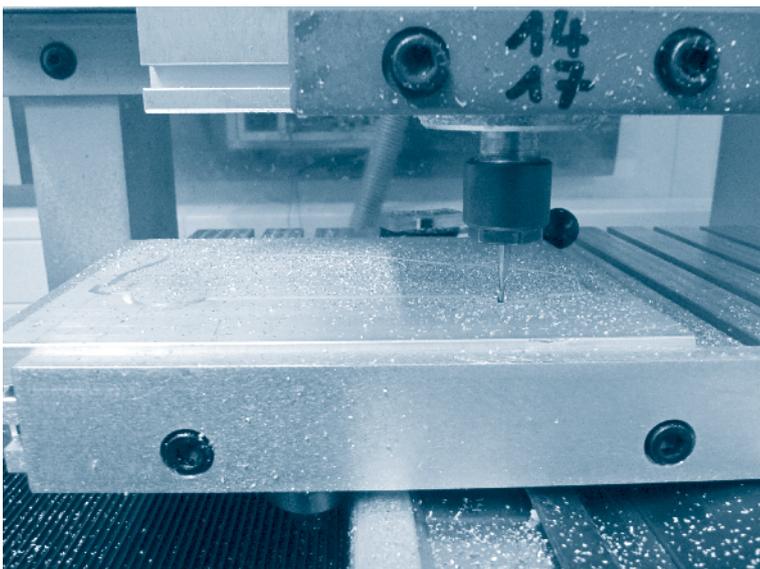


## 6. Fräsen eines Fahrzeugmodells.

Wenn du alle beschriebenen Schritte abgearbeitet hast, kannst du dein Fahrzeug fräsen.

a) Benenne vor dem Fräsen die wichtigsten Punkte im Menü „Handsteuerung“. Trage die korrekten Begriffe ein.

b) Starte nun im Menü „Maschine“ den Punkt „Handsteuerung“ und dort das Icon „Programm ausführen“. Wenn alles korrekt bearbeitet wurde, startet die Spindel der Fräsmaschine und der Produktionsprozess beginnt. Die Maschine sollte während des Fräsen jederzeit in Sichtweite sein, damit man bei Problemen eingreifen kann. Der Fräsvorgang lässt sich mit dem „Stop“-Icon stoppen.



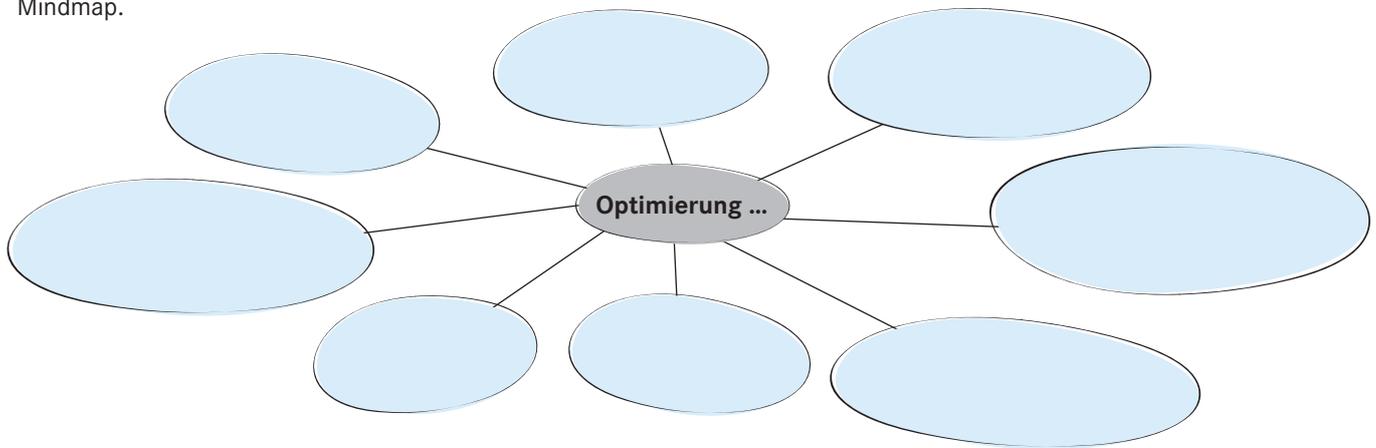
Beim Bearbeiten von Metall empfiehlt es sich sehr, den Fräser regelmäßig zu kühlen. Dazu sollte ein spezielles Bohrwasser verwendet werden. Mit einer Spritze oder einem Öl lässt sich die Flüssigkeit gefahrlos an den Fräser gießen.

# 24 Optimierung von Produktionsverfahren und Werkstoffen

Moderne Produktionsmethoden erlauben eine immer effizientere Produktion von Waren. Hat beispielsweise früher die Produktion eines Lastkraftwagens mehrere Wochen gedauert, kann ein modernes Fahrzeug bereits in einigen Stunden fertiggestellt werden. Nach wie vor ist es Ziel der industriellen Produktion, durch stetige Optimierung die Gesamtkosten zu senken und wettbewerbsfähig zu bleiben.

## 1. Optimierung der Produktion von Produkten.

a) Welche Komponenten und Aspekte können dazu beitragen, die Produktion von Produkten zu optimieren? Erstelle eine Mindmap.



b) Welche Gefahren könnten bei einer fortlaufenden Optimierung der industriellen Produktion entstehen?

---



---



---

## 2. Die Herausforderung einer Produktionsoptimierung.

Um als Hersteller auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig zu bleiben, muss in modernen Fabriken ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen den erbrachten Leistungen und den dafür aufgewendeten Kosten erreicht werden. Am Beispiel einer kleinen Firma lässt sich diese Herausforderung aufzeigen:

**Eine Firma stellt bisher jährlich 10 000 Fahrräder her. Auf einer Messe kann der Firmenchef einen Vertrag über die Lieferung von zusätzlich 30 000 Fahrrädern abschließen. Gemeinsam mit seinen 20 Arbeitskräften diskutiert der Chef Möglichkeiten, die Fertigung so zu verändern, dass die vierfache Menge an Fahrrädern produziert werden kann.**

a) Finde mindestens drei mögliche Lösungen für diese Herausforderung.

---



---



---

b) Welche Vorteile und welche Nachteile könnten bei einer so großen Steigerung der Produktion für die Arbeitnehmer entstehen?

Vorteile	Nachteile

3. Eine Mitarbeiterin sieht die Erweiterungspläne kritisch. Sie macht den Vorschlag, den Vertrag nicht abzuschließen, sondern das ganze Firmenkonzept zu ändern. Anstatt die Produktion zu erhöhen, schlägt sie vor, die Produktion zu verringern. Um trotzdem weiterhin Gewinne zu machen, soll sich die Firma spezialisieren. Sie schlägt vor Fahrräder zu fertigen, die aus hochwertigen Bauteilen bestehen, individuell auf die Kunden und ihre Wünsche abgestimmt werden und deshalb auch relativ teuer sind.

a) Welche Vorteile hätte dieses Konzept für die Kunden?

---



---



---

b) Welche Chancen und Risiken ergeben sich aus diesem Konzept?

Chancen:

---



---

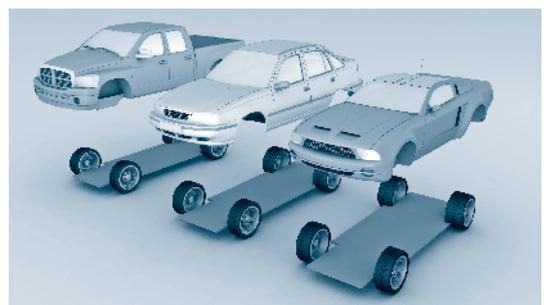
Risiken:

---

#### 4. Modellübergreifende Baukastensysteme.

Um die Produktionskosten zu senken, sind viele Fahrzeughersteller dazu übergegangen, in den unterschiedlichen Modellreihen die gleichen Komponenten zu verbauen (Plattformstrategie). Beispielsweise werden – ähnlich wie in einem Baukastensystem – eine Fahrzeugplattform oder Teile des Interieurs so konzipiert, dass die technischen Entwicklungen in unterschiedlichen Modellen verwendet werden können.

Recherchiere, welche Komponenten bei der Plattformstrategie in der Regel gleich sind.




---



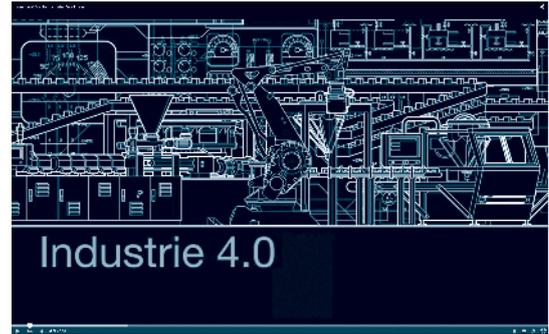
---

## 5. Industrie 4.0 – die nächste Revolution.

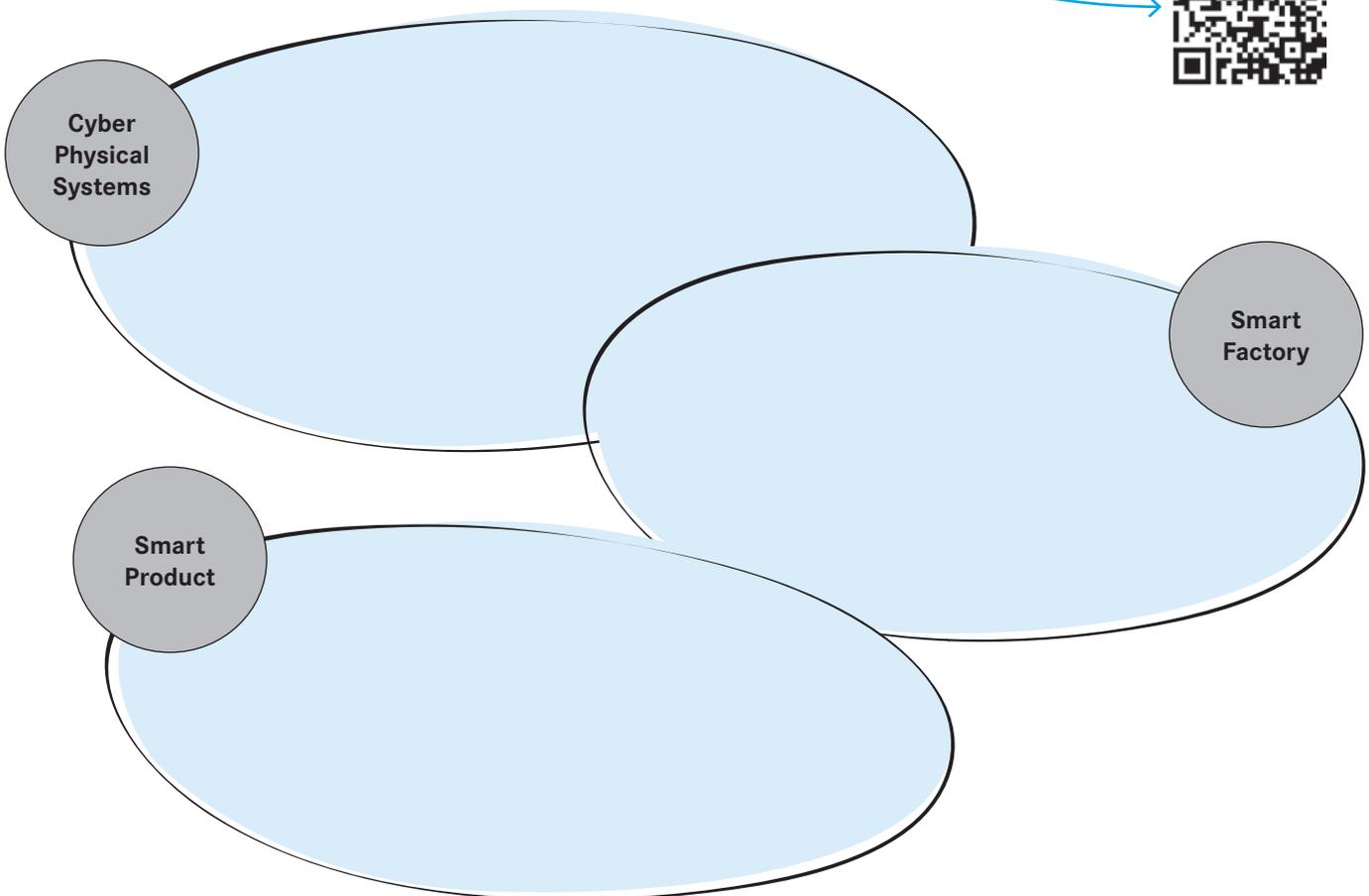
Moderne Industriekonzepte zielen auf die weitere Steigerung von Effizienz und Flexibilität im Unternehmen durch einen stärkeren Einsatz der Informationstechnik in allen Bereichen der Produktion. Dies beginnt beim Design und geht über die Auftragsbearbeitung und die Produktion bis hin zum Service. Dabei können die Stückkosten der einzelnen Produkte gesenkt und die Qualität erhöht werden.

In dem knapp vierminütigen Videoclip „Industrie 4.0 – die nächste Revolution“ auf YouTube wird die Fabrik der Zukunft beschrieben

([www.youtube.com/watch?v=RVsK0RCjGkw](http://www.youtube.com/watch?v=RVsK0RCjGkw)).



a) Schaue dir das Video an und beschreibe, was in einer Fabrik der Zukunft unter folgenden Begriffen verstanden wird.



b) Welche Rolle soll der Mensch in der modernen Produktion spielen?

---



---

c) Welche Vorteile soll eine moderne Smart Factory haben?

---



---



---

## 6. Die Optimierung von Werkstoffen.

Es gibt unterschiedliche Ansätze bei der Optimierung der Produktion im Hinblick auf die Materialart und den Materialeinsatz. Beschreibe Optimierungsmöglichkeiten bei Werkstoffen.

Werkstoff- menge	
Werkstoff- eigenschaft	
Werkstoff- platzierung	
Werkstoff- gewinnung	

## 7. Das Recycling von Werkstoffen.

Jährlich werden in Deutschland etwa ½ Million Fahrzeuge entsorgt. Seit 1998 ist ihre Verwertung in einer Verordnung geregelt. Sie besagt, dass Fahrzeuge bei einer anerkannten Annahmestelle fachgerecht zerlegt und die recycelbaren Teile wieder dem Produktionskreislauf zugeführt werden müssen.

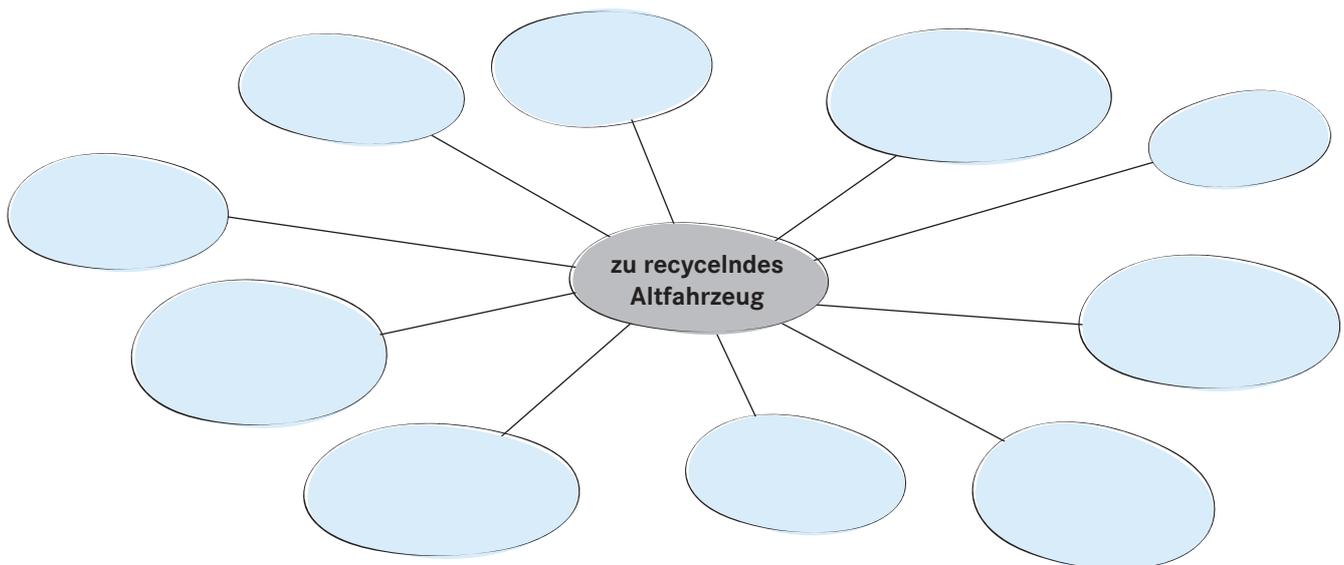
a) Beschreibe, was mit noch funktionierenden Komponenten eines Altfahrzeugs geschieht.

---



---

b) Erstelle eine Mindmap, welche Rohstoffe aus einem Fahrzeug zurückgewonnen werden können.



c) Welche Komponenten können nicht recycelt werden? Was geschieht mit ihnen?

---



---

# 1 Wie werden Produkte entwickelt?

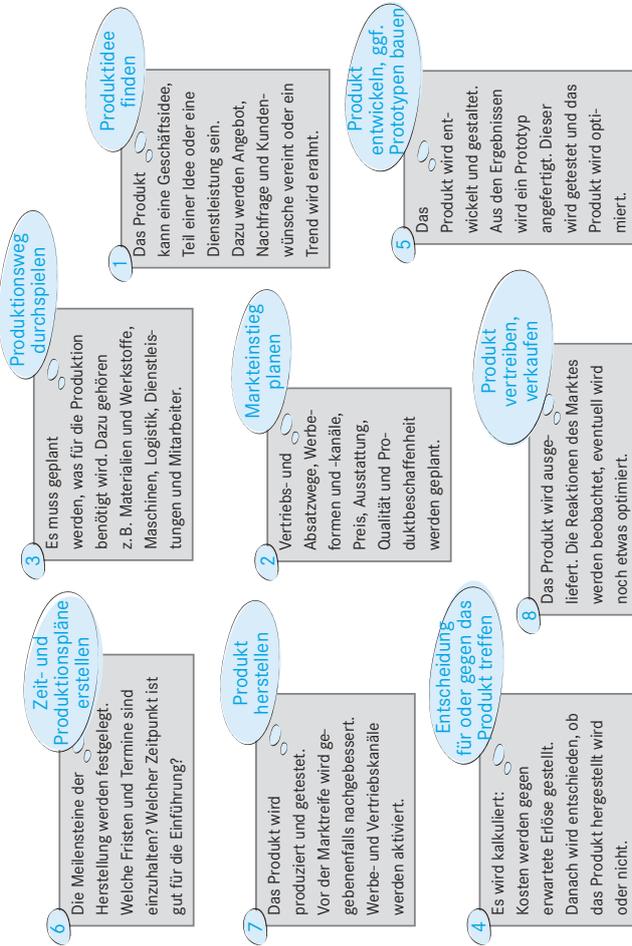
Täglich sind wir von einer Vielzahl von Produkten umgeben. Ihr Erscheinungsbild hängt von vielen Faktoren ab, die oftmals auf den ersten Blick für den Käufer gar nicht ersichtlich sind. Verschiedene Produktbereiche haben sich dabei im Laufe der industriellen Produktion als Trendsetter und „Motor“ für Entwicklungen durchgesetzt und prägen das Produktangebot und unser Konsumverhalten.



## 1. Von der Idee zum fertigen Produkt.

Manche Produkte entstehen durch Zufall, manchmal werden sie aber auch kopiert. Besser ist es, ein Produkt systematisch von der Idee bis zum Vertrieb zu entwickeln. Trage folgende Wortblöcke an den passenden Stellen ein und bringe die Blöcke in eine sinnvolle Reihenfolge (Ziffern von 1 bis 8 eintragen):

**Produktidee finden – Markteinstieg planen – Produktionsweg durchspielen – Entscheidung für oder gegen das Produkt treffen – Produkt entwickeln, ggf. Prototypen bauen – Zeit- und Produktionspläne erstellen – Produkt herstellen – Produkt vertreiben, verkaufen**



Hier finden Sie die Lösungen zu den vorhergehenden Arbeitsblättern.

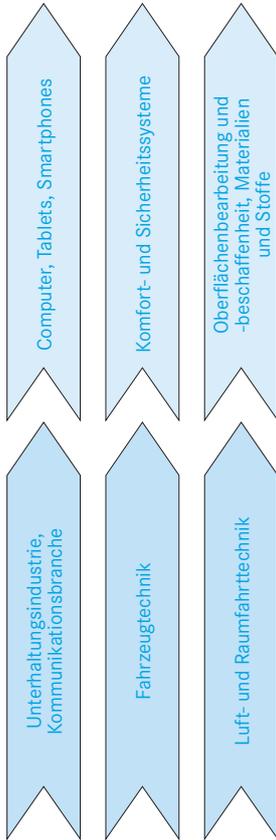
## 2. Manche Produkte sind ein Erfolg bei den Verbrauchern, andere verschwinden schnell wieder vom Markt. Was macht ein erfolgreiches Produkt aus?

Das Produkt kommt zur richtigen Zeit auf den Markt. Es spiegelt den Zeitgeist oder den Geschmack einer Epoche wider. Die Funktionalitäten des Produkts, der Preis und die Vertriebs- und Werbemaßnahmen sind auf die Bedürfnisse der Zielgruppe abgestimmt.

**3. In der industriellen Fertigung gibt es Bereiche, die maßgebliche technische Innovationen hervorbringen.**

Diese Bereiche geben Impulse und Anregungen, die viele andere Branchen beeinflussen.

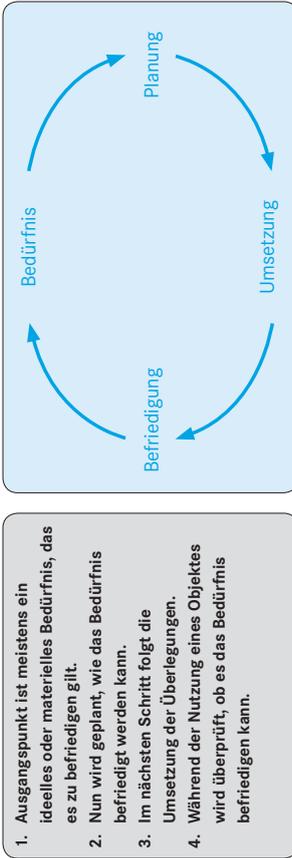
Nenne solche „Entwicklungsmotoren“ sowie Produkte aus diesen Bereichen, die durch den permanenten Bedarf an Innovation einer ständigen Weiterentwicklung unterworfen sind.



**4. Der Kreislauf von Wirtschaft und Technik.**

Kunden und Hersteller befinden sich in einem Zwiesspalt: Einerseits möchten Hersteller innovative, ausgereifte und langlebige Produkte anbieten. Andererseits ist es für das wirtschaftliche Überleben des Unternehmens wichtig, dass Kunden immer wieder Nachfolgeprodukte kaufen.

a) Finde für die folgenden Aspekte Überbegriffe und stelle diese in einem Kreislauf dar.



b) Formuliere an den folgenden Beispielen die Zusammenhänge.

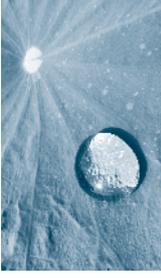
- Kunde → Bedürfnis: telefonieren → Befriedigung: Handy bzw. Smartphone kaufen
- Hersteller → Bedürfnis: Geld verdienen → Befriedigung: neues Produkt auf den Markt bringen

c) Welches ist der wichtigste Aspekt des Regelkreises für das Fortbestehen dieses Systems?

Der Regelkreis muss permanent von allen Beteiligten aufs Neue durchlaufen werden. Dazu müssen neue Bedürfnisse geschaffen werden und ausreichend Geld/Kapital muss vorhanden sein.

**2 Lernen von der Natur**

Um Produkte zu optimieren, versucht der Mensch auch aus der Natur zu lernen. Daraus entstand die Wissenschaftsdisziplin der Bionik, die sich damit beschäftigt, evolutionsbedingte Lösungen aus der Natur auf die Technik zu übertragen. Bekannte Beispiele sind die Übertragung des Vogelflugs auf Flugzeuge, der Knochenaufbau als Vorbild bei neuen Fachwerkstrukturen oder die Entwicklung selbstreinigender Fassadenfarbe nach dem Vorbild pflanzlicher Oberflächen (Lotuseffekt). Auch die Automobilindustrie hat von den Methoden der Bionik profitiert.



1. Bestimmte Meerestiere haben sich im Laufe der Evolution, auch durch die Art ihrer Fortbewegung, an bestimmte Lebensräume angepasst. Parallelen dazu lassen sich zu den Einsatzgebieten verschiedener Automobile aufzeigen.

<b>Kofferrschiff</b> Lebensraum: Riffe, ernährt sich von Kleinfischnahrung; wenige, passt in kleine Spalten, langsame Geschwindigkeit, großes Volumen	<b>Wal</b> Lebensraum: Weltmeeres; 30 km/h, meist konstante Geschwindigkeit, großes Volumen	<b>Hai</b> Lebensraum: Weltmeeres; 50 km/h, kann gut beschleunigen
<b>Van</b> Familientransporter, großes Ladevolumen, mittlere Autobahngeschwindigkeiten	<b>Sportcoupé</b> schnell, gute Beschleunigung, relativ geringes Platzangebot	<b>Kleinwagen</b> Stadtauto, passt in kleine Parklücken, ist aber nicht besonders schnell

a) Bilde Analogien zwischen Meerestieren und Fahrzeugen, indem du Linien vom Meerestier zum passenden Fahrzeug ziehst.

b) Beschreibe den Lebensraum der abgebildeten Meerestiere und parallel dazu den Einsatzbereich der Fahrzeuge. Inwiefern ist die jeweilige Fortbewegung für die Erschließung des Lebensraumes optimiert?

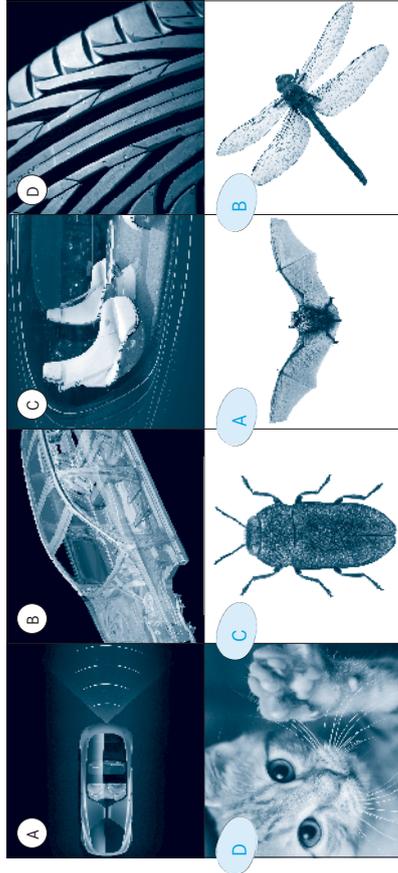
Meerestier	Fahrzeug
Der Kofferrschiff nimmt mit seiner Kleinfischnahrung viel Wasser auf, deshalb hat er ein relativ großes Körpervolumen.	Der Kleinwagen wird überwiegend als Stadtauto benutzt. Er ist wendig und passt in kleine Parklücken.
Der Wal legt große Strecken zurück. Er ernährt sich von Kleinstlebewesen und nimmt dabei riesige Wassermengen auf.	Der Van wird eingesetzt, wenn viele Personen oder viel Gepäck über längere Strecken transportiert werden müssen.
Der Hai ist ein Jäger und muss deshalb mit großer Beschleunigung auf seine Beute zuschießen können.	Der Sportwagen ist auf Geschwindigkeit, Beschleunigung und auffallendes Äußeres ausgelegt.

2. Ordne zu: Welche Parallelen siehst du bei den Meerestieren und den Autos?

- Kofferrschiff und Kleinwagen → klein und wendig
- Wal und Van → großes Volumen, gute Reisegeschwindigkeit über längere Entfernungen
- Hai und Sportcoupé → schnell, gute Beschleunigung

3. Die Fotos zeigen weitere Beispiele, bei denen die Automobilindustrie von der Natur gelernt hat.

a) Bilde Analogien und ordne zu (Buchstaben A bis D eintragen).

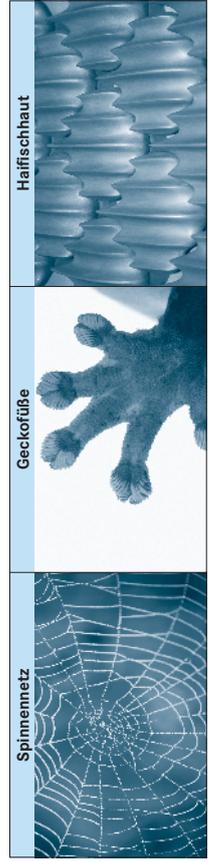


b) Beschreibe, welche Prinzipien, jeweils zugrunde liegen könnten.

- A: Mithilfe von Ultraschall erstellen Fledermäuse im Dunkeln ein Bild ihrer Umwelt. Ultraschallsensoren sind auch in Automobilen eingebaut (z.B. Abstandshalter, Einparkhilfe).
- B: Libellen sind hervorragende Flieger mit sehr leichten, filigranen Flügeln. Deren Leichtbauweise ist Vorbild für die Konstruktion von Karosserien.
- C: Der Panzer eines Käfers ist extrem leicht, stabil und bietet eine perfekte Schutzschale. Die Konstrukturen von sicheren und leichten Sitzen haben sich davon inspirieren lassen.
- D: Katzen haben besondere Pfoten: In Kurven oder beim „Abbremsen“ verbreitern sich ihre Tatzen. Das sorgt für optimale Kraftübertragung und Haftung auf dem Untergrund. Ein Reifenhersteller hat sich dieses Prinzip für seine Reifen zunutze gemacht.

4. Die Bionik bietet viele Anregungen für Erfindungen – auch im Fahrzeugbau.

Hier findest du drei Konzepte aus der Natur, die möglicherweise im Fahrzeugbau berücksichtigt werden können. Suche dir ein Thema aus und erstelle einen Vortrag, in dem die wichtigsten Aspekte erläutert werden.

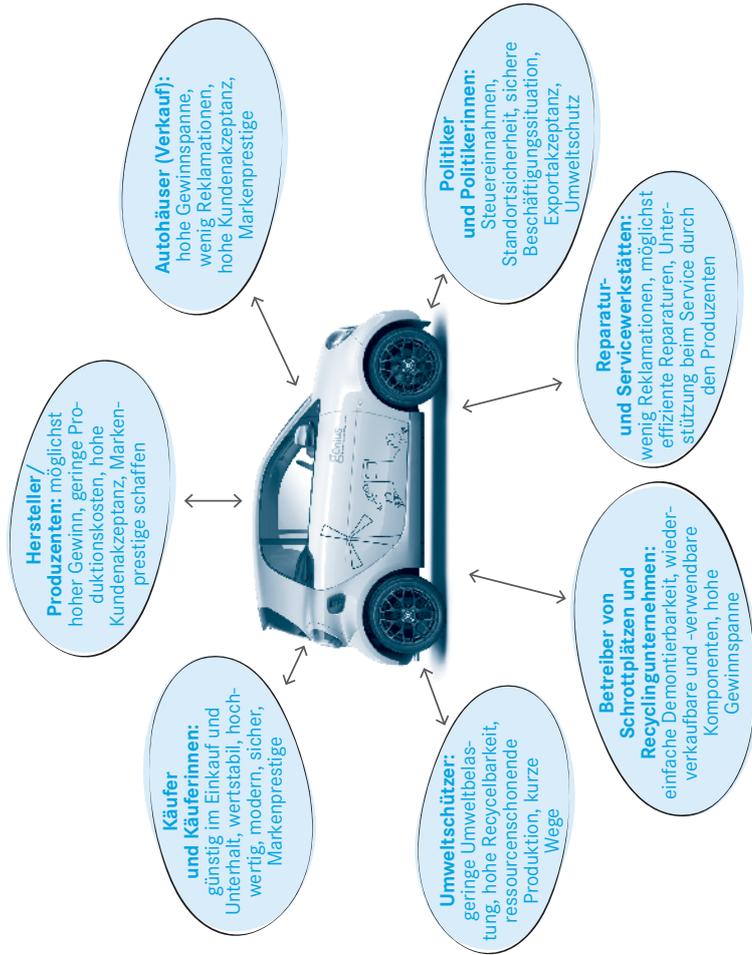


# 3 Aspekte der Automobilentwicklung

Von der ersten Idee bis zur Marktreife eines Fahrzeugs vergehen etwa vier bis fünf Jahre. Während dieses Prozesses spielen viele verschiedene Aspekte eine Rolle. Je nach Sichtweise der beteiligten Personengruppen können Wünsche und Ansprüche sehr unterschiedlich ausfallen. So wird beispielsweise jemand, der ein Auto kauft, andere Ansprüche an dieses Produkt stellen als die Herstellerfirma. Für den Erfolg eines Produktes gilt es, für alle Beteiligten die größtmögliche Schnittmenge an Übereinstimmungen zu finden.

1. Je nach Interessensgruppe müssen bei Planung und Herstellung, für die Nutzung und Stilllegung von Autos die unterschiedlichsten Sichtweisen berücksichtigt werden.

a) Welche Interessensgruppen sind am Thema „Auto“ beteiligt? Trage jeweils eine Gruppe in ein freies Feld ein und nenne deren unterschiedlichen Interessen.



b) Bildet kleine Teams. Jedes Team nimmt die Position einer Interessensgruppe ein. Informiert euch in der Gruppe über das Thema, welches ihr vertreten sollt, und bestimme einen Gruppensprecher. Führt dann eine Konferenzmoderation durch, eine Schlichterin/ ein Schlichter übernimmt die Moderation. Welche Sichtweisen sollten bei Planung, Fertigung, Nutzung und Bewertung eines Produktes berücksichtigt werden? Welche Gruppe hat die besten Argumente?

## 2. Wie wir uns Autos denken und gestalten.

Verschiedene Fahrzeugtypen haben sich im Laufe der Automobilgeschichte durchgesetzt und prägen bis heute unsere Vorstellungen.

a) Stelle dir ein eigenes Fahrzeugmodell vor und mache dir die Nutzung des Fahrzeuges bewusst. Realisiere deine Fahrzeugidee in Form einer Maquette. Das ist in der Sprache der Entwickler ein ca. 10 cm großer Entwurf eines Fahrzeugmodells aus Knete oder Ton. Dabei werden die Räder nur angedeutet, das Auto steht auf seinem Unterboden. Achte darauf, dass die Nutzung deiner Maquette später sichtbar ist.

b) Gruppiere die entstandenen Entwürfe zu Fahrzeugtypen und benenne diese.



Limousine



Van



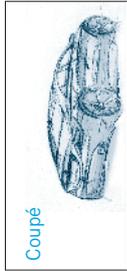
Kleinwagen



Lkw



Kombi



Coupé

c) Gib es Modelle, die sich keinem bekannten Typ zuordnen lassen? Wenn ja, wer kommt als Käufer infrage? Wenn nein, warum ist niemand auf eine neue Idee gekommen?

Schülerindividuelle Antwort: Vermutlich gibt es kein Modell, das sich gar nicht zuordnen lässt.

Außerdem schon Fahrgastzelle, Kofferraum und Motorraum geben der Gestaltung vieles vor. Möglich wären SUV, Rennfahrzeuge, Kleinwagen oder Busse.

3. Drei Fahrzeugtypen stellen sich vor: Limousine, Van und Kleinwagen.

Formuliere einen kleinen Text, in dem das Auto zu Wort kommt und erklärt, was es seinem Käufer verspricht.

Limousine: Ich bin schön und elegant. Ich bin bequem und sicher. Mit mir kannst du problemlos 200 fahren und trotzdem leise Musik hören. Da ich stattliche Abmessungen habe, ist mein Energieverbrauch recht hoch. Auch im Unterhalt koste ich mehr, aber das bin ich dir doch wert.

Van: Ich bin ein typischer Allrounder. Mit mir kann man jede Menge Dinge oder Menschen transportieren, einkaufen, verreisen oder umziehen. Du musst dir um mich keine Gedanken machen. Ich bin zuverlässig, außerdem recht günstig im Unterhalt.

Kleinwagen: Ich bin wendig, passe in jede Parklücke, verbrauche wenig Kraftstoff und koste auch sonst nur wenig. Dennoch bin ich auf den allermeisten deiner Wege vollkommen tauglich. Ich bin clever und leicht, aber manchmal vielleicht etwas holprig und rau.

## 4 Auf der Suche nach gutem Design

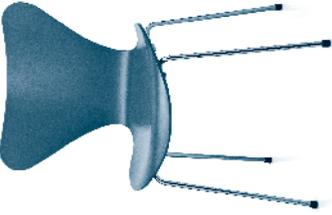
Unsere Welt ist von A bis Z durchgestaltet. Selbst einfache Gegenstände wie Türklinken oder Wasserflaschen transportieren über ihre Erscheinung eine visuelle Information, die wir meist unbewusst verstehen. Als Benutzer reflektieren wir die Gestaltung des Produkts aber meist nicht über ein Geschmacksurteil hinaus: Es gefällt uns oder es gefällt uns nicht.

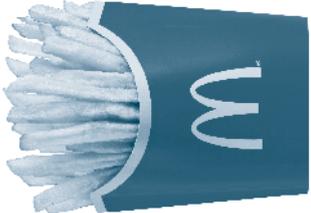
Ein Designer hingegen weiß sehr genau, wie er die Dinge im Hinblick auf Form, Funktion und Zielgruppe gestalten muss.



1. Anhand von Designklassikern versuchen wir zu verstehen, was gutes Design ausmacht, d.h. wann es gelingt, eine Gestaltung zu finden, die viele Menschen auch über einen größeren Zeitraum hinweg als gut, richtig, treffend und schön empfinden.

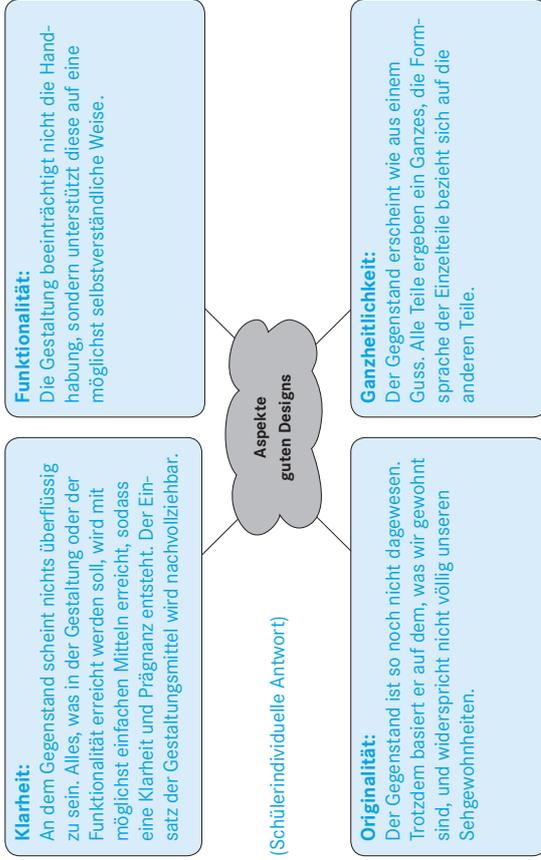
Suche dir drei der folgenden Designklassiker aus und formuliere, was deiner Meinung nach an der Gestaltung so gut gelungen ist, dass das Produkt zum Klassiker wurde.

<p>Arne Jacobsen, Stuhl Serie 7, 1950er Jahre</p>	 <p>Der Stuhl wirkt schlicht, aber trotzdem originell, v. a. durch die Teilierung seiner Sitzfläche, welche die Körperform aufgreift. Er scheint leicht zu sein, wirkt aber durch die durchgängige Sitzschale und die Stahlrohre auch stabil. Praktisch ist zudem, dass man ihn stapeln kann.</p>
<p>BIC-Feuerzeug, Louis Lucien Lepoix, 1972</p>	 <p>Das Feuerzeug ist so groß, dass es gut in der Hand liegt, auch sein ovaler Querschnitt schmeichelt der Hand beim Anfassen. Wie von selbst liegt der Daumen an der richtigen Stelle zum Anzünden. Trotzdem ist die Form denkbar einfach, nichts scheint überflüssig zu sein. Der Zünder sitzt in der Mittelachse – wo sonst?</p>

	<p><b>Coca-Cola-Flasche, Earl R. Dean, 1915 (Entwurf)</b></p> <p>Die Form der Kakaobaumfrucht inspirierte Dean zu diesem weltberühmten Design. Die Flasche liegt gut in der Hand und erinnert an den menschlichen Körper. Der Schriftzug ist beschwingt und dynamisch. Die äußere Wölbung der Flasche wiederholt sich in den Längsrippen.</p>
	<p><b>McDonalds Pommes-Tüte, Designer unbekannt</b></p> <p>Die Tüte nimmt sich durch den oberen Eingriff zurück und präsentiert den Inhalt! Der Schwung wiederholt sich variiert an der Standfläche und im Logo. Der ovale Querschnitt mit den Faizkanten schmeichelt der Hand und wirkt zugleich wie ein Kistchen (mit wertvollem Inhalt natürlich). Die Tüte lacht einen an!</p>
	<p><b>IKEA-Regal Billy, Gillis Lundgren, 1979</b></p> <p>„Ich bin nicht so wichtig, die Bücher und deren Inhalt sind es“, scheint uns dieses Regal zu sagen. Alle Bretter, mit Ausnahme des Bodens sind gleich dick. Alle Fächer gleich groß. Man erfasst alles auf einen Blick. Nichts lenkt ab. Das Regal hat man in einem Bruchteil einer Sekunde vergessen und man sieht nur noch seinen Inhalt. Es ist fast eine minimalistische Plastik.</p>

**2. Was macht gutes Design über das persönliche Geschmackurteil hinaus aus?**

a) Finde vier Aspekte guten Designs und notiere sie im Schaubild.



b) Welche Begriffe hast du gewählt und welche deine Mitschülerinnen und Mitschüler? Um Gemeinsamkeiten und Unterschiede diskutieren zu können, überträgt jedes Mitglied der Gruppe einen seiner Aspekte an die Tafel. Entwickelt dann aus dem Tafelbild eine Mindmap und findet gemeinsame Überbegriffe.

**3. Gutes Design – das Zeug zum Klassiker.**

a) Beschreibe, was man unter einem Klassiker versteht.

Unter Klassikern versteht man Produkte mit typischen Merkmalen, die für lange Zeit als formvollendet und harmonisch gelten. Klassiker bilden einen zeitlosen Gegensatz zur zeitabhängigen Mode.

b) Wann haben Produkte das Zeug zum Klassiker? Zähle Merkmale auf, die ein Produkt haben muss, damit es ein Klassiker werden kann.

Einfluss auf die Kultur, hoher überregionaler Bekanntheitsgrad über einen längeren Zeitraum hinweg, hohe Qualität, hoher Wiedererkennungswert, Innovationspotenzial

c) Nennst du weitere Klassiker aus der Produktwelt? Zähle auf.

- Lego, Chanel N° 5 Parfüm, Panton-Stuhl von Vitra, Sessel von Le Corbusier, VW Käfer, Glühlampe, Domino, Mona Lisa, Tizio-Lampe von Artemide, Levi's Jeans 501, Porsche 911, ...

#### 4. Wie wird ein Designklassiker den Aspekten des guten Designs gerecht?

Untersuche eines der oben vorgestellten Designobjekte mithilfe der im Folgenden vorgeschlagenen vier Begriffe. Trage deine Ergebnisse in die vier Felder ein.

(Schülerindividuelle Antwort; Musterlösung bezogen auf Arne Jacobsens Stuhl)

##### Klarheit:

Der Stuhl wirkt klar. Man erfasst sofort, wie und dass er funktioniert. Die Stahlrohre scheinen stabil zu sein, die Kunststoffkappen verhindern Kratzer, die Holzschale sieht einladend geformt aus. Mehr braucht ein Stuhl nicht. Nichts erscheint überflüssig.

##### Funktionalität:

Der Stuhl von Arne Jacobsen ist funktional. Natürlich kann man darauf Platz nehmen, die geschwungene Holzfläche schmiegt sich an den Körper und nimmt die Rundungen desselben auf – man sitzt bequem. Zudem kann man den Stuhl stapeln. Wenn er nicht gebraucht wird, nimmt er wenig Platz weg. Er ist stabil und trotzdem verhältnismäßig leicht und somit gut zu transportieren, um unterschiedlichen Nutzungen gerecht zu werden.

##### Originalität:

Der Stuhl ist originell: Die Idee des Stapelstuhls musste erst erfunden werden! Holz zu einer durchgehenden Sitzschale zu formen ist außerdem technisch aufwendig. Die Farbgebung ist variabel und so passt der Stuhl in verschiedene Räume. Diese Art Stuhl war unbekannt und hebt sich deutlich von einem typischen Schreinerstuhl ab.

##### Ganzheitlichkeit:

Schließlich ist der Stuhl ganzheitlich: Die geschwungene Form der Sitzschale wird von den Rundungen der Stahlrohre aufgenommen, sodass zwischen den Einzelteilen ein eleganter Übergang entsteht, obwohl sie aus unterschiedlichen Materialien bestehen und unterschiedliche Farben aufweisen. Die Taillierung der Sitzschale lässt den Stuhl leichter wirken, sodass kein zu starker Kontrast zu der Leichtigkeit der Stahlrohrunterkonstruktion entsteht.

## 5 Versuche zu Design

Das Design eines Produkts beinhaltet viele und unterschiedliche Aspekte, die von Designern bei der Entwicklung eines Objekts einbezogen werden müssen. Funktion, Bedienbarkeit und die Lebensdauer eines Objekts haben – abhängig vom Design – Einfluss auf den Erfolg oder Misserfolg eines Produkts.

Die Wahrnehmung eines Gegenstands in unserem Gehirn ist mit einer Reihe von Empfindungen, Stimmungen und Erinnerungen verknüpft. Dies soll im Folgenden verdeutlicht werden.

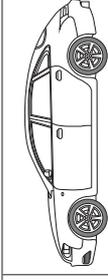
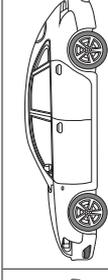
### 1. Symbolik und Assoziation.

Bei der Wahrnehmung von Formen verbinden wir eine Reihe von Emotionen mit dem Gegenstand. Beschreibe, welche Assoziationen die folgenden Formen in dir hervorrufen.

		
Ein Kreis hat keinen eindeutigen Anfang und kein Ende. Er wird mit Unendlichkeit und Sicherheit verbunden. Die runde Form wird als weich angesehen und vermittelt Geborgenheit („im Kreise von Freunden treffen“).	Das Quadrat wird mit Stärke verbunden, da es Stabilität, Sicherheit und eine markante Erscheinung ausdrückt. Das Quadrat ist ein Grundbaustein und wirkt ordnend gebend.	Mit einem Dreieck verbindet man Eigenschaften wie Dynamik und Spannung. Eine nach oben zeigende Spitze erzeugt Aufmerksamkeit. Das Dreieck wird oft als Richtungspfeil genutzt.

### 2. Wirkung von Farben.

a) Du hast sicher schon erlebt, dass blaues Licht kühlend und beruhigend, rotes Licht hingegen wärmend und anregend wirkt. Jede Farbe hat also eine andere Wirkung. Gestalte die Silhouetten der Fahrzeuge in den Farben Rot, Blau, Silber (Gau). Beschreibe in Stichworten, welche Wirkungen die drei Farben auf dich haben.

		
Rot: stimulierend, aktivierend, aufregend, belebend, vital, anregend, unruhig	Blau: harmonisch, beruhigend, spannend, still, sachlich, präzise	Silber: seriös, harmonisch, imponierend, sicher, modern, unkonventionell, stilvoll

b) Nenne Beispiele, in denen die Farben der oben gestalteten Fahrzeuge ihre Bedeutung ausstrahlen.

Rot: italienische Rennwagen, Feuerwehr	Blau: Polizei, THW	Silber: große Reiselimousinen
--	--------------------	-------------------------------

### 3. Wirkung von Formen.

Auch die Form eines Gegenstands hat besondere Wirkungen auf die Menschen. Einerseits werden durch Linienführungen, andererseits durch den Kontrast von Materialformen Emotionen geweckt. Suche dir zwei der folgenden Fahrzeugfronten aus und beschreibe sie. Folgende Wörter können dabei helfen (du kannst auch andere Begriffe verwenden): **Einfachheit, Kraft, Aggression, Dynamik, Überlegenheit, Ruhe, Unkompliziertheit, Robustheit, Hochwertigkeit, Schmelzigkeit, Wohlstand**



Fahrzeug Nr.   
(Schülerindividuelle Antwort)

Fahrzeug Nr.   
(Schülerindividuelle Antwort)

### 4. Versuch zur Wirkung von Farben und Formen.

#### Versuchsbeschreibung:

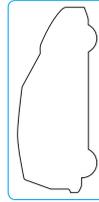
In der Gruppe soll die Wirkung eines individuellen Fahrzeugmodells verdeutlicht werden. Verschiedene Gestaltungsmerkmale werden dabei gegenübergestellt.

#### Materialliste:

verschiedenfarbige Knete oder Fimo, Modellierwerkzeuge wie Messer oder Spatel

#### Entwicklung des Fahrzeugmodells:

- Jedes Gruppenmitglied überlegt sich, was es mit seinem Fahrzeugmodell und der verwendeten Farbe ausdrücken möchte. Schreibt eure Gedanken in Stichworten auf.
- Nun formt jeder nach der abgebildeten Vorlage ein möglichst identisches Fahrzeugmodell.
- Jetzt beginnt der individuelle Teil des Designs: Jedes Gruppenmitglied gibt seinem Fahrzeug durch Formgebung eine individuelle Note. Dies könnte durch Sicken, Rundungen, Falze, Kanten, Ausformungen, Muster oder andere Elemente geschehen.



#### Auswertung der Versuchsergebnisse:

Positioniert alle Fahrzeuge auf einem Tisch, sodass nicht erkennbar ist, von wem welches Modell ist. Legt vor jedes Modell ein leeres Blatt Papier. Jedes Gruppenmitglied schreibt nun für jedes Modell ein oder zwei Stichwörter auf. Vergleicht diese Stichwörter mit den Notizen, die sich jeder zu Beginn gemacht hat.

## 7 Technische Zeichnungen

Bevor ein Produkt oder ein Werkstück produziert und ausgeliefert werden kann, fließen viele Informationen vom Designer zum Entwickler und zum Produzenten. In der Regel enthalten diese Informationen technische Sachverhalte, die nur in einfachen Fällen durch Sprache oder Schrift übermittelt werden. Normalerweise benutzt man technische Zeichnungen. Sie sind das wichtigste Informationsmittel, das zur Herstellung eines Bauteils oder einer ganzen Baugruppe erforderlich ist. Die Darstellung muss dabei eindeutig sein, sodass beim Lesen der Zeichnung keine Unklarheiten auftreten.



Technische Zeichnungen enthalten Informationen über Form, Größe, Materialbeschaffenheit, Aufbau und Funktion von Werkstücken und Baugruppen, damit die Menschen, die am Fertigungs-, Instandsetzungs- oder Wartungsprozess beteiligt sind, alle notwendigen Angaben besitzen. Heutzutage werden technische Zeichnungen mit dem Computer erstellt.

**1. Man unterscheidet – je nach Art der Darstellung oder dem Zweck der Zeichnung – verschiedene Ausführungen von technischen Zeichnungen. Ordne die Bezeichnung, die Beschreibung und die Abbildung einander zu (mit Linien verbinden).**

Entwurfszeichnung	Skizze	Fertigungszeichnung
	Hier handelt es sich um vorwiegend freihändig erstellte Zeichnungen, die nicht an Regeln und Bestimmungen gebunden sind. Die Verwendung von kariertem Papier erleichtert das Zeichnen.	
Darstellung, über deren endgültige Ausführung noch nicht entschieden wurde. Sie enthält die für die Herstellung notwendigen Angaben, z. B. Abmessungen, die Lage und Maße von Aussparungen.		Für die Herstellung und Fertigung wird vor allem diese Zeichnung benötigt. Ihre Anfertigung erfordert große Exaktheit und Sauberkeit. Es müssen alle für die Fertigung notwendigen Angaben enthalten sein.

**2. Für die Erstellung von technischen Zeichnungen mit der Hand – d. h. ohne Computer – benötigt man eine spezielle Ausrüstung. Benenne folgende Werkzeuge.**

Zeichenplatte	Zeichenschiene	Druckbleistift	Winkel	Zirkel

**3. Technische Zeichnungen als internationale „Sprache“ müssen vereinbarte Regeln einhalten, damit sie ohne jeden Zweifel ausgewertet werden können. Sie sind also genormt.**

**a)** Nenne dir bekannte genormte Dinge aus dem Bereich des technischen Zeichnens.

**Blattgrößen, Linienarten, Blatteinteilung, Schriftarten und -größen, Schriftfeld, Bemaßungen**

**b)** Technische Zeichnungen enthalten ein Schriftfeld, welches auf dem Blatt durch einen festgelegten Rand begrenzt ist. Zeichnungen von mehrteiligen Werkstücken erfordern außerdem eine Stückliste, die auf die Oberkante des Schriftfeldes gesetzt wird. In der Schule kann ein vereinfachtes Feld verwendet werden (Abb.). Beschreibe den Zweck eines Schriftfeldes.

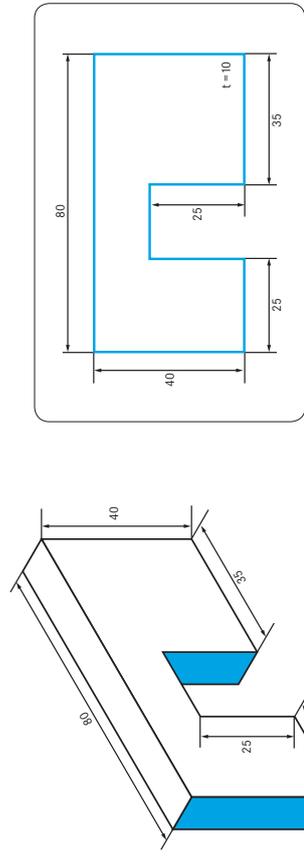
Bl.-Nr.:	Zeichnungsbemennung		Name		Maßstab
	Datum	Klasse	geprüft		

Es dient zur Einhaltung von Ordnung und zur schnellen Übersicht. Informationen, die nicht in der Zeichnung enthalten sind, können im Schriftfeld abgelegt werden.

**c)** Die Norm legt für jede Linienart Benennung, Linienbreite, Aussehen und Anwendung fest. Zeichne die entsprechenden Linienarten (Auswahl) in das vorgesehene Feld.

Benennung	Linienart	Anwendung	Breite
breite Volllinie		sichtbare Kanten und Umrisse	0,5 mm
schmale Volllinie		Bemaßungen, Hinweislinien, Schraffur	0,25 mm
Freihandlinie		Abbruchkanten	0,25 mm
Strichlinie		verdeckte Kanten und Umrisse	0,25 mm
schmale Strichpunktlinie		Mittellinien und Symmetrieachsen	0,25 mm
breite Strichpunktlinie		Schnittverlauf	0,5 mm

**d)** Platten mit einer Materialstärke bis zu 10 mm werden als flache Werkstücke bezeichnet und nur in einer Ansicht dargestellt. Die Dicke des Materials wird als Maßangabe in die fertige Zeichnung geschrieben. Zeichne folgendes Werkstück in das vorgesehene Feld. Entnimme die Maße dem Werkstück.

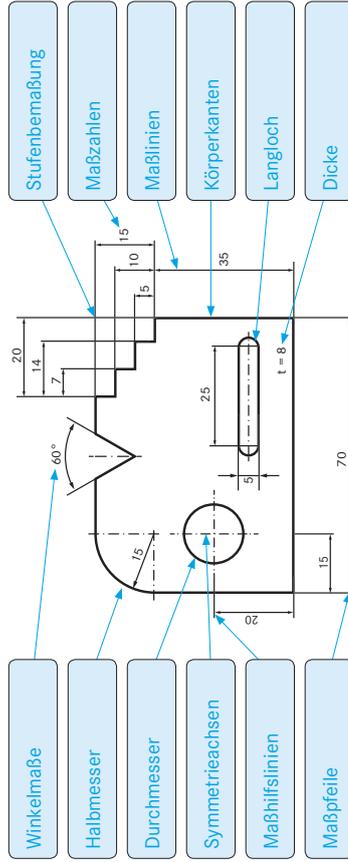


**e)** Zur Verkleinerung oder Vergrößerung eines Zeichnungsgegenstands wird dieser maßstäblich (M) gezeichnet. Ergänze die fehlenden Begriffe und Maßstäbe.

Verkleinerung	<	Originalgröße	=	Vergrößerung	>
M 1:2		M 1:1		M 2:1	

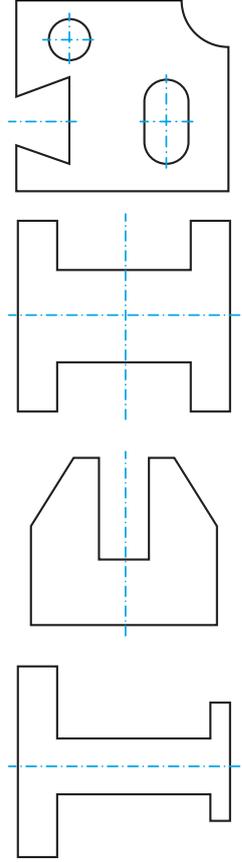
**4. Benenne die Zeichnung mit den folgenden Zeichnungselementen.**

**Maßpfeile, Maßhilfslinien, Maßzahlen, Maßlinien, Winkelmaße, Dicke, Langloch, Durchmesser, Halbmesser, Stufenbemaßung, Symmetrieachsen, Körperkanten**



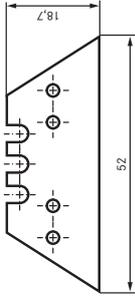
**5. Wenn eine geometrische Figur oder ein Körper in deckungsgleiche Teile zerlegbar sind, wird dies als „symmetrisch“ bezeichnet.**

Dies wird durch eine Symmetrieachse als Mittellinie gekennzeichnet. Die schmale Strichpunktlinie schneidet die Kanten des Werkstücks immer im Strich und ragt ca. 2 mm über die Körperkanten hinaus. Zeichne alle Symmetrieachsen in folgende Körper ein.



6. Einfache Technische Zeichnungen.

a) Zeichne die auswechselbare Messerklinge eines Teppichmessers in einem angemessenen Maßstab auf einem separaten Blatt. Nimm die Maße von einem Original oder aus der nebenstehenden Zeichnung. Bemaße sie fertigungsbezogen. Denke an eine ausgewogene Blattenteilung und an das Schriftfeld.



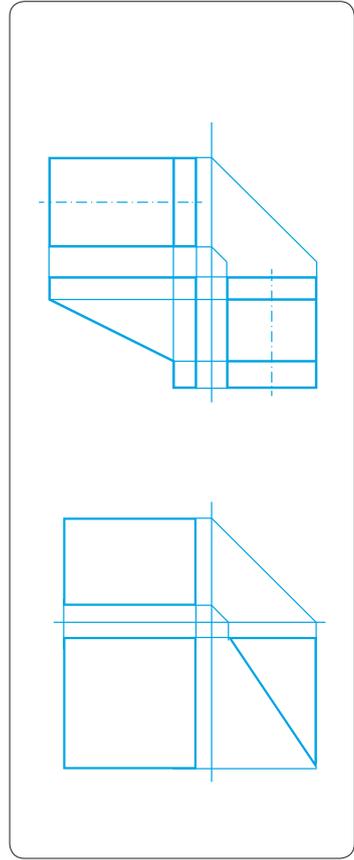
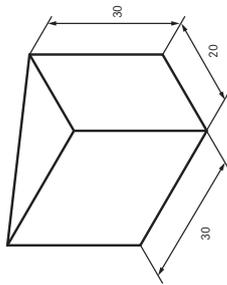
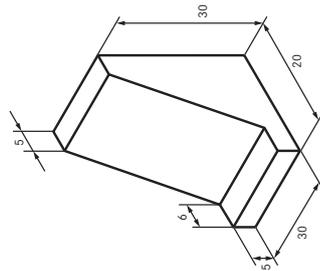
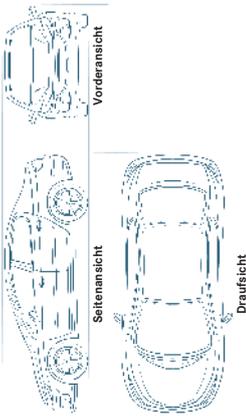
b) Zeichne ein Bauteil nach folgender Beschreibung auf ein sauberes Blatt mit Schriftfeld:

Das Grundmaß beträgt 30 mm x 50 mm x 0,2 mm. Zwei Bohrungen haben einen Durchmesser von je 2 mm. Ihre Bohrmittelpunkte liegen symmetrisch im Zentrum. Das Bauteil ist an den beiden oberen Kanten abgerundet mit  $r = 8$  mm. Zeichne das Teil in M 5:1 und bemaße es normgerecht.

7. Darstellung von komplexeren Gegenständen: Zeichnen von Ansichten.

Bei der Darstellung von komplizierteren Gegenständen mit einer größeren Tiefe sind mehrere Ansichten erforderlich. Meistens genügen zum eindeutigen Erkennen und Bemaßen des Objektes drei Ansichten.

Zeichne die beiden vorgegebenen Formen in jeweils drei Ansichten in einem geeigneten Maßstab in das Feld unten oder auf ein sauberes Blatt mit Schriftfeld.



9 Ein Fahrzeug wird entworfen

Ein Fahrzeug wird nicht von einer einzelnen Person entworfen, sondern in einem langen Prozess entwickelt, an dem viele Menschen beteiligt sind. Die Kunst besteht darin, eine neue Fahrzeugform zu finden, die technische und zeitlose Trends berücksichtigt, aber auch das Markendesign des Fahrzeugherstellers weiterführt. Gleichzeitig sind die technisch und finanziell machbaren Realisierungsmöglichkeiten zu berücksichtigen.

- 1. Finde Überbegriffe für die Entwicklungsphasen eines Fahrzeugmodells und trage diese in die folgende Grafik ein.** In der Phase der Ideierung erstellen Designer unzählige Handskizzen als Entwürfe. Ab einem bestimmten Reifegrad werden einige ausgewählte Entwürfe in die dritte Dimension übertragen.
- In der Modellphase entstehen zwischen vier und acht Tonmodelle im Maßstab 1:4.
- Die überzeugendsten Modelle werden digitalisiert und zu Datenmodellen weiterentwickelt. An einer 7 m breiten Projektionswand optimiert man die Datenmodelle.
- Die besten Datenmodelle werden als Modellauswahl in Originalgröße hergestellt. Diese sogenannte Themenauswahl wird gefräst, geschliffen und lackiert.
- Weitere Prüfungen, Vergleiche und Entscheidungsrunden reduzieren die Auswahl zur Themenbestätigung auf zwei Modelle.
- Nun wird auf höchster Ebene entschieden, welches als endgültiges Modell gefertigt wird (Designfreeze). Die Entscheidung für das neue Modell ist nach etwa zwei Jahren gefallen.

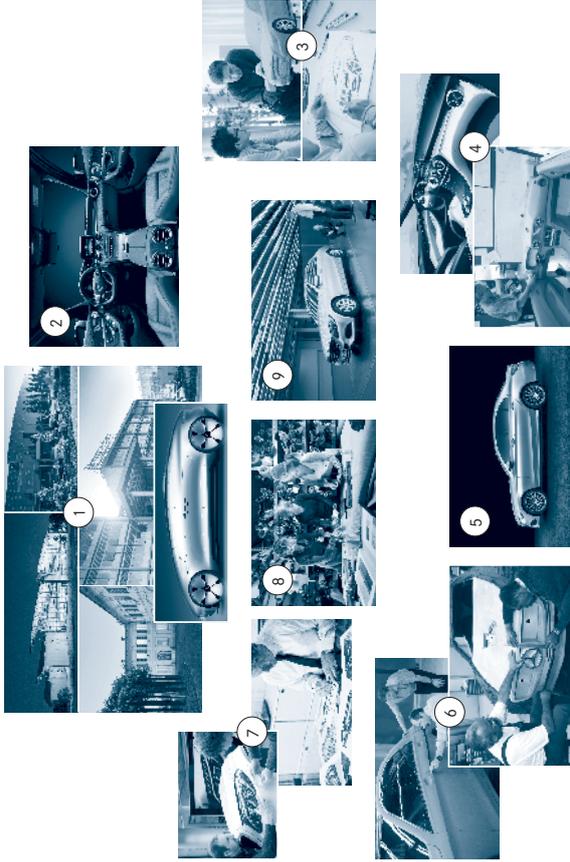
1. Entwürfe	2. Tonmodelle 1:4	3. Datenmodelle	4. Modelle 1:1 Themenauswahl	5. Modelle 1:1 Themenbestätigung	6. Designfreeze

2. Entwickler, Designer und Ingenieur - Zusammenspiel und Spannungsfeld.

Beschreibe, warum zwischen den drei genannten Berufsfeldern bei der Entwicklung eines Fahrzeugs von einem „Spannungsfeld“ gesprochen werden kann.

Entwickler müssen ihre Ideen im vorgegebenen Kostenrahmen umsetzen und dabei oftmals Kompromisse eingehen. Designer müssen bei der Umsetzung der Ideen den Mittelweg zwischen aktuellem Trend und zeitlosem Design finden. Ingenieure haben die Aufgabe, die kreativen Vorschläge vor dem Hintergrund der technisch machbaren Möglichkeiten umzusetzen.

3. Die folgenden Abbildungen zeigen den Ablauf des Designprozesses eines Fahrzeugs. Ordne die vorgegebenen Nummern (1–9) in der Abbildung den Beschreibungen zu.



8 Die Materialien und Farben für die Innenausstattung werden festgelegt.

1 An verschiedenen Standorten in der Welt werden Designkonzepte entwickelt. Diese Concept Cars gestalten sozusagen einen kleinen Blick in die Zukunft.

4 Das Design der Inneneinrichtung wird zunächst gezeichnet; die besten Entwürfe werden in 1:1-Modellen aufgebaut. Am Modell kann der Designer Gestaltung und Ergonomie prüfen.

6 Modelle in Originalgröße werden gebaut.

3 Das Außendesign wird gezeichnet und in 1:4-Tonmodellen umgesetzt.

5 Das Modell wird in Datenmodelle übertragen und alle technischen Randbedingungen werden überprüft.

2 Aktuelle Forschungsergebnisse und technische Entwicklungen (z. B. Bordcomputer, alternative Antriebe) können im sogenannten Showcar berücksichtigt werden.

7 Der Gestaltung der Details (z. B. Leuchte) wird viel Aufmerksamkeit geschenkt.

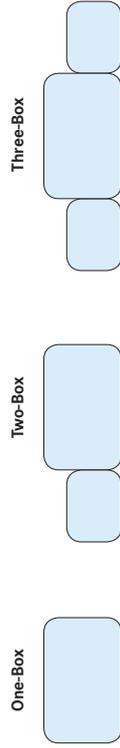
9 Nun wird ein Modell in Originalgröße gebaut, das dem genauen Abbild des zukünftigen Fahrzeugs entspricht.

4. Welcher Schritt bei der Entwicklung eines neuen Autos ist für dich der interessanteste? Begründe deine Entscheidung.

Schülerindividuelle Antwort, z. B. die Datenmodelle weiterzuentwickeln finde ich am interessantesten, da ich gerne am Computer mit dreidimensionalen Darstellungen arbeite.

## 10 Wie sich Form und Funktion beeinflussen

Neben technischen Faktoren und modischen Tendenzen bestimmen immer auch die Funktion und der gewünschte Einsatzbereich die Form eines Gegenstands. Wenn Designer beispielsweise über die Funktionsbereiche von Automobilen sprechen, benutzen sie die Begriffe One-Box-, Two-Box- oder Three-Box-Auto. Damit sind die Funktionsbereiche Motorraum – Fahrergastraum – Kofferraum gemeint:



1. Erkläre die Begriffe One-Box-, Two-Box- und Three-Box-Auto hinsichtlich Formgebung und Einsatzbereich. Schreibe den Text in die Umrisse der Fahrzeuge.

**One-Box-Auto**  
Ein Fahrzeug, das nach dem One-Box-Prinzip konstruiert wurde, sieht aus wie aus einer Box gebaut, z. B. ein Kleinwagen oder ein Van. Der Motor befindet sich meist unter dem Fahrzeug. Dadurch kann der gesamte Raum besser genutzt werden.

**Two-Box-Auto**  
Ein Fahrzeug, das nach dem Two-Box-Prinzip konstruiert wurde, hat neben der Fahrgastzelle einen deutlich erkennbaren Motorraum, aber keinen erkennbaren Kofferraum, z. B. ein Kompaktfahrzeug mit Heckklappe.

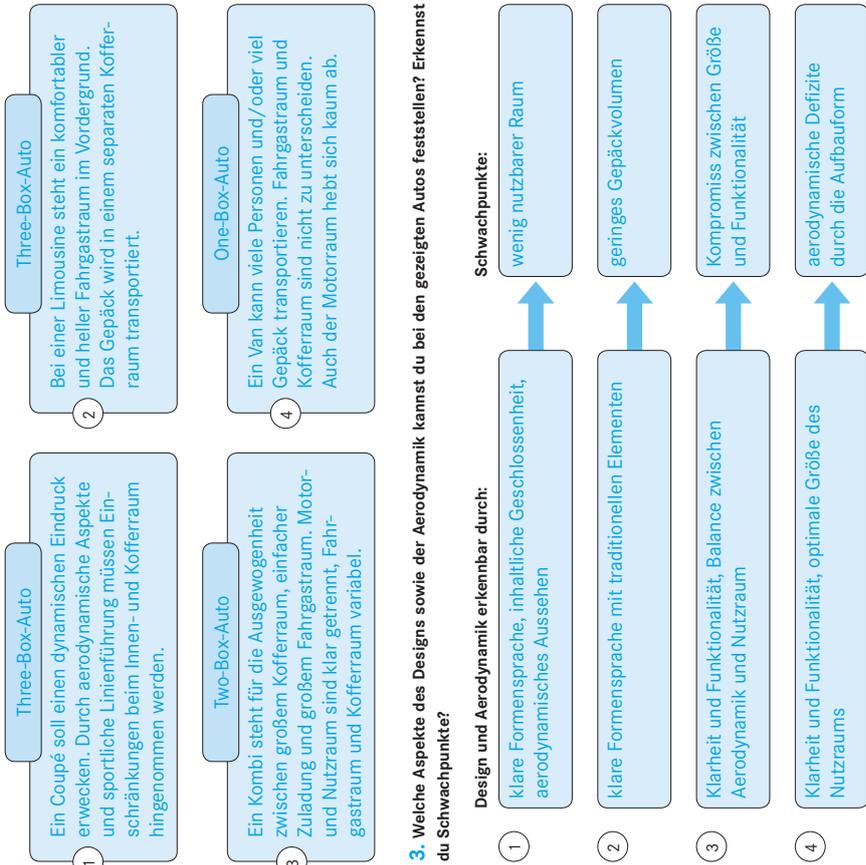
**Three-Box-Auto**  
Bei einem Three-Box-Fahrzeug sind Motorraum, Fahrgastzelle und Kofferraum deutlich voneinander zu unterscheiden, z. B. eine Limousine oder ein Coupé.

2. Schau dir die abgebildeten Fahrzeuge an: worin liegen die Unterschiede? Gehe davon aus, dass die einzelnen Modelle die gleiche Bodenplatte, ähnliche Motoren und ähnliche elektrische Fahrzeugkomponenten besitzen.

a) Bezeichne folgende Fahrzeugtypen.



b) Bei welchen Modellen handelt es sich um ein One-, Two-, oder Three-Box-Auto? Welche Gesichtspunkte sind für den Verwendungszweck der Autos ausschlaggebend?



# 11 Grundlagen der Strömungslehre

Du hast sicher schon bemerkt, dass beim Fahrradfahren oder beim Skifahren Kräfte an dir wirken: das Shirt flattert, die Haare wehen, und je schneller du wirst, umso schwieriger wird es, das Fahrrad oder die Ski zu beherrschen.



1. Bei einer schnellen Fahrt mit einem Fahrzeug gibt es einige Effekte, die man am eigenen Körper spürt. Beschreibe, was du z. B. bei der schnellen Fahrt mit einer Achterbahn, in einem Cabrio, auf der Skipiste oder einem Fahrrad spürst.

Man fühlt die Beschleunigung, die Kräfte in den Kurven und den Fahrtwind.

2. Stell dir vor, du bist auf dem Fahrrad schnell einen Berg heruntergerollt und befindest dich nun auf einer langen, flachen Strecke. Was machst du, um ohne zu treten möglichst lange in Fahrt zu bleiben?

Ich beuge mich so weit wie möglich nach vorne und mache mich flach und lang. Von vorne gesehen, biete ich dem Fahrtwind so am wenigsten Widerstand.

3. Wann spürst du den Fahrtwind in Abhängigkeit von deiner Sitzhaltung auf dem Fahrrad stärker: wenn du schnell oder wenn du langsam fährst?

a) Formuliere einen „je-desto“-Satz über die Abhängigkeit des Luftwiderstands von deiner Geschwindigkeit.

Je schneller ich fahre, desto größer ist der Luftwiderstand.

b) Formuliere einen „je-desto“-Satz über die Abhängigkeit des Luftwiderstands von deiner Sitzhaltung.

Je kleiner und windschnittiger ich mich mache, desto weniger spüre ich den Luftwiderstand. Ich kann dadurch schneller fahren.

4. Fallschirmspringer beschleunigen zunächst und erreichen im Fallen eine maximale Geschwindigkeit. Wenn diese erreicht ist, ist der Luftwiderstand  $F_w$ , der den Fallschirmspringer bremst, gleich groß wie die Gewichtskraft  $F_g$ , die ihn zur Erde zieht.

Vergleiche die beiden Bilder. In welcher Lage fallen die Fallschirmspringer schneller? Begründe die Antwort.



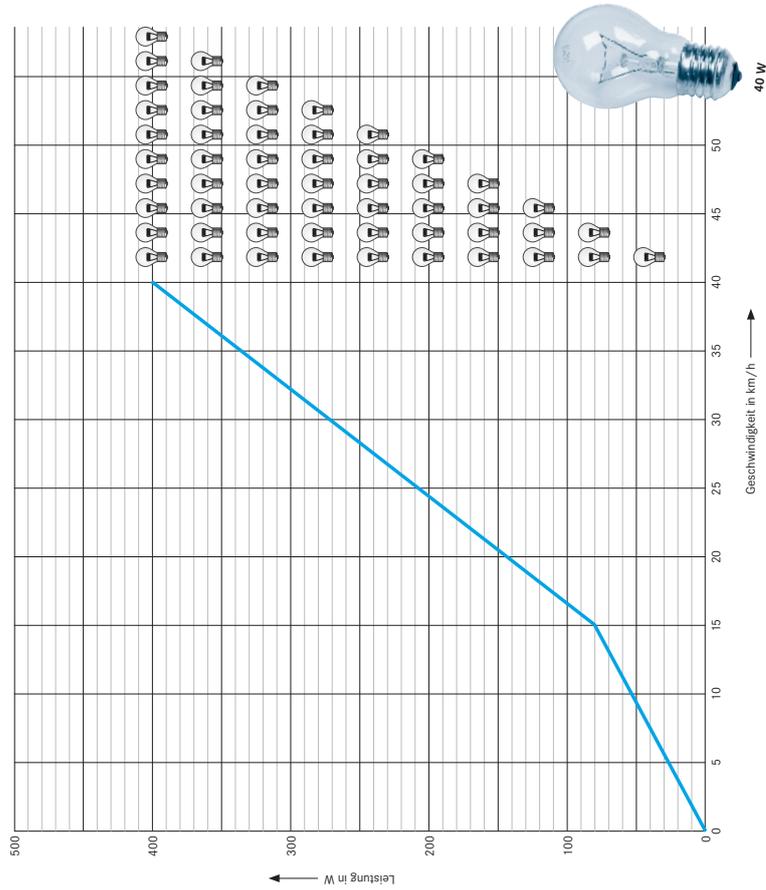
Je größer die Fläche des Fallschirmspringers ist, die er dem Wind entgegensezt, desto größer ist sein Luftwiderstand. Daher fallen die flach liegenden Fallschirmspringer langsamer als die mit dem Kopf voraus fliegenden Fallschirmspringer.

5. Leichte Körper mit einem großen Luftwiderstand erreichen bereits bei kleinen Fallhöhen ihre Endgeschwindigkeit. Nenne mindestens drei Beispiele.

Blätter, Schneeflocken, Federn, Plastiktüten, Luftballons, leicht zerknülltes Papier

6. Ein normaler Radfahrer fährt mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von 15 km/h. Er erbringt eine Leistung von 80 W. Ein gut trainierter Radrennfahrer schafft eine Dauergeschwindigkeit von 40 km/h und erbringt dabei eine Leistung von 400 W.

a) Übertrage die Geschwindigkeiten in das Diagramm. Eine Glühlampe symbolisiert 40 W.



b) Überlege, warum die Kurve nicht linear ansteigt.

Die Geschwindigkeit steigt nicht linear an, weil der Luftwiderstand mit zunehmender Geschwindigkeit viel schneller steigt.

# 12 Versuche zur Strömungslehre

## 1. Strömungswiderstände in Abhängigkeit von der Fläche.

Ein technisches Experiment zur Flächenabhängigkeit des Strömungswiderstandes in Luft.

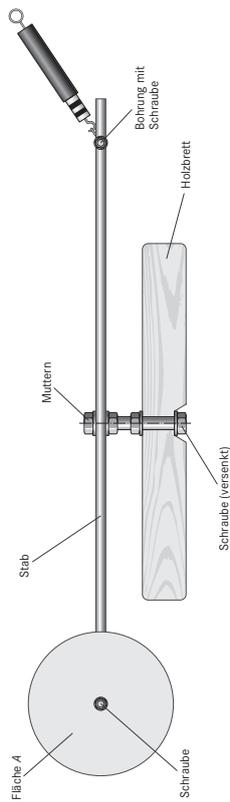
### Versuchsbeschreibung:

Es soll untersucht werden, wie der Strömungswiderstand  $F_w$  (der Index  $w$  steht für „Widerstand“) bei gleicher Anströmgeschwindigkeit des Mediums (hier Luft) von der Fläche  $A$  eines Körpers abhängt.

### Materialliste:

- Akkuschrauber, Schraubendreher, Ringschlüssel M4, 1 Holzbrett (30 cm x 15 cm x 2 cm), Schraube M4 (5 cm), Bohrer, Senker, Holzstab (40 cm x 1,5 cm x 1,5 cm), 2 Schrauben M4 (3 cm), 5 Muttern, Pappkarton, Föhn, Stativmaterial, Gliedermaßstab, Federkraftmesser, Schnur.

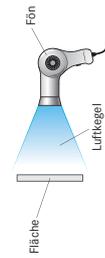
### Abbildung des Versuchsaufbaus in Seitenansicht:



### Aufbau der Versuchsreihe:

- Zeichne auf die Oberseite des Bretts die Diagonalen.
- Bohre dann „mittig“ durch das Brett (Unterlage verwenden).
- Bohre das untere Loch mit einem Senker kegelförmig auf.
- Stecke die Schraube durch und fixiere sie oben mit einer Mutter.
- Durchbohre den Holzstab mittig.
- Drehe den Holzstab um 90 Grad und durchbohre ihn jeweils 2 cm vor dem Ende.
- Fixiere den Holzstab (s. Skizze), aber zieh die obere Schraube nur so fest an, dass sich der Stab noch sehr leicht drehen lässt.
- Schneide fünf unterschiedlich große Kartonscheiben aus (Durchmesser 3 cm, 4 cm, 5 cm, 6 cm und 7 cm). Verwende einen Zirkel und perforiere den Mittelpunkt der Scheiben.
- Nun werden durch die äußeren Löcher Schrauben gedreht, wobei auf der linken Seite die kleinste Scheibe aus Karton festgeschraubt wird und rechts der Federkraftmesser gegengleich eingehängt wird.

Bei diesem technischen Experiment muss die Anströmgeschwindigkeit der Luft vergleichbar sein. Deshalb muss der Abstand des Föns immer gleich gehalten werden und der Winkel sollte immer senkrecht sein. Auch muss die angeströmte Fläche  $A$  deutlich kleiner sein als der Luftkegel des Föns.



### Hypothese des Versuchsergebnisses:

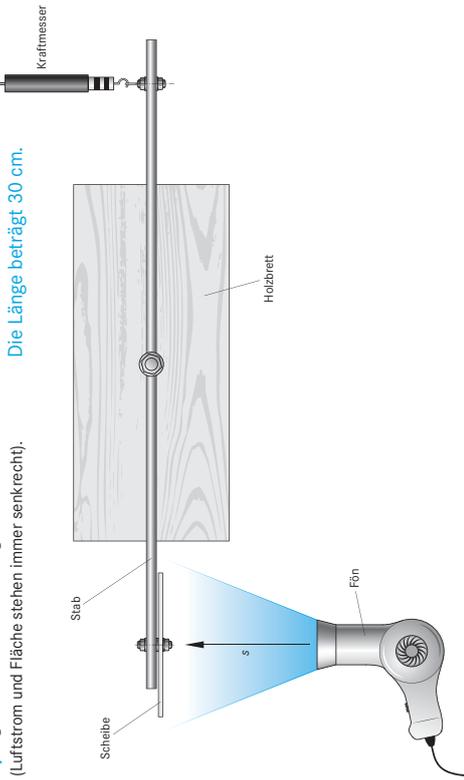
a) Beschreibe, wie ein mögliches Ergebnis aussehen könnte.

Vermutlich wird jede Scheibe durch den Luftstrom nach hinten gedrückt. Mit zunehmender Scheibengröße wird am Kraftmesser auch ein zunehmender Wert angezeigt werden.

**Durchführung der Versuchsreihen:**

Um ein gesichertes Ergebnis zu erzielen, werden mit jeder Scheibengröße drei Versuche gemacht. Daraus wird der Mittelwert bestimmt und alle Ergebnisse werden in das folgende Messprotokoll und das Diagramm eingetragen.

**b)** Lege vorab die konstante Länge der Strecke  $s$  fest (Luftstrom und Fläche stehen immer senkrecht).



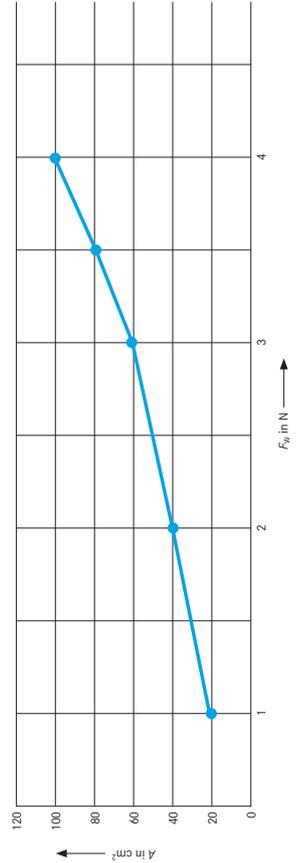
**Protokollierung der Versuchsreihen:**

**c)** Führe die Versuche durch und protokolliere deine Ergebnisse.

Scheibendurchmesser	Fläche $A$ in $\text{cm}^2$	Kraft $F_W$ in Newton (N) pro Versuch	Durchschnittskraft $F_W$ in Newton (N)
3 cm			
4 cm			
5 cm			
6 cm			
7 cm			

Die Lösungen für den Versuch fallen individuell je nach Versuchsaufbau aus.

**d)** Stelle die Abhängigkeiten in einem  $F_W$ - $A$ -Diagramm dar.



**Überprüfung der Hypothesen und Formulierung eines Zusammenhangs:**

**e)** Beschreibe, in welchem Verhältnis die Angriffsfläche und der Luftwiderstand stehen.

Je größer die Angriffsfläche  $A$  für den Luftstrom, desto größer ist auch die Kraft  $F_W$  des Luftwiderstands.

**Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse in den Alltag:**

**f)** Nenne drei Beispiele, in denen dieser Zusammenhang deutlich wird. Verwende jeweils die Begriffe „kleiner Widerstand“ und „großer Widerstand“.

1. Auf dem Rad gebückt (kleiner Widerstand) oder aufrecht fahren (hoher Widerstand)
2. Die Bremsklappen eines Flugzeugs (eingeklappt kleiner Widerstand, ausgeklappt großer Widerstand)
3. Fallschirmspringer ohne geöffneten Schirm (kleiner Widerstand) und mit geöffnetem Schirm (großer Widerstand)

**g)** Welche Funktion hat in diesem Zusammenhang ein Spoiler auf einem Auto?

Durch den Spoiler wird ein Anpressdruck erzeugt, damit das Fahrzeug bei hoher Geschwindigkeit ausreichend Straßenhaftung hat.

**2. Strömungswiderstände in Abhängigkeit von der Form.**

Ein technisches Experiment zur Ermittlung des Strömungswiderstands im Wasser:

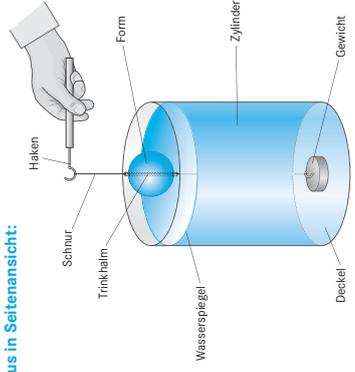
**Versuchsbeschreibung:**

Es soll untersucht werden, wie der Strömungswiderstand  $F_W$  (der Index  $W$  steht für „Widerstand“) bei gleichbleibender Antriebskraft durch die Form eines Gegenstands in einem Medium (hier Wasser) beeinflusst wird.

**Materialliste:**

Zylinder aus Plexiglas/Glas mit Boden oder Deckel, Knete, Stoppuhr, Haken, Hakengewicht, Schnur, Trinkhalm.

Abbildung des Versuchsaufbaus in Seitenansicht:



**Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse in den Alltag:**

- e) Nenne drei Beispiele, in denen die Form beim Strömungswiderstand eine Rolle spielt.

Karosserieform bei einem Auto, Tragflächenprofil bei einem Flugzeug, Verkleidung an einem Motorrad, hinten spitz zulaufender Fahrradrahmen

**Weiterführende Versuche:**

- f) Überlege, wie sich die beste getestete Form noch optimieren lassen könnte. Experimentiere mit der Knete, achte aber darauf, dass sich die Querschnittsflächen  $A$  deiner Formen nicht verringern.



- g) Zeichne die optimale Form auf, die du bei deinen Experimenten herausgefunden hast.

- h) Welchen prozentualen Strömungswiderstand hat diese Form?

längliche Tropfenform = 50 %

**3. Fallversuche zur Luftwiderstandsmessung I**

Ein technisches Experiment zur Luftwiderstandsmessung unterschiedlich schwerer Körper.

**Versuchsbeschreibung:**

Ein leichter Ball (Luftballon, Styroporkugel, Gummiball) wird aus unterschiedlichen Höhen (50 cm, 1 m, 2 m und 3 m) fallen gelassen. Die Fallzeit wird dabei jeweils mit der Stoppuhr gemessen und dokumentiert. Für eine exakte Messung wird jeder Fallversuch dreimal durchgeführt und der Mittelwert der Versuche ermittelt. Alternativ kann man den Fall auch filmen und die einzelnen Bilder auswerten. Beobachte die Geschwindigkeit und beantworte folgende Fragen.

**Durchführung und Protokollierung der Versuchsreihen:**

- a) Beschreibe die Geschwindigkeit während des Fallens.

Zum Beginn des Falls hat der Ball kaum Geschwindigkeit. Er wird im Verlauf des Falls schneller und hat die größte Geschwindigkeit, bevor er am Boden aufkommt. Bei großer Fallhöhe erreicht der Ball bereits vor dem Boden seine Endgeschwindigkeit, d. h. er wird nicht schneller.

- b) Dokumentiere deine gemessenen Werte in einem Tabellenkalkulationsprogramm.

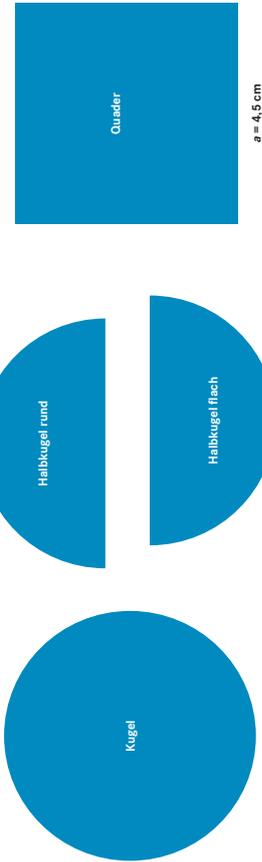
1	Fallhöhe	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Mittelwert
2	0,5	1,5	1,4	1,6	1,50
3	1	2,9	3	2,8	2,90
4	2	5,6	5,7	5,4	5,57
5	3	11,2	11,4	10,9	11,17

- c) Wiederhole nun den Versuch mit einem kleinen, schweren Körper (Golfball, Flummi, Tennisball). Was wird passieren?

Da die Gewichtskraft der Körper größer ist als die Luftwiderstandskraft, wird der Ball während des Flugs beschleunigt. Auch bei großer Fallhöhe erreicht der Ball seine Endgeschwindigkeit vermutlich nicht.

**Aufbau der Versuchsreihe:**

- Stelle den Glaszylinder mit der nach unten geschlossenen Seite auf.
- Befestige am Hakengewicht eine Schnur, welche senkrecht nach oben gezogen werden kann.
- Forme die Knete nach den Angaben in der folgenden Abbildung (Formen und Maße beachten) und stoße in der Mitte ein Stück Trinkhalm durch, damit die Führung nur wenig Reibung hat. (Die Halbkugeln erhält man durch Teilung der Kugel.)
- Führe den Faden durch den Trinkhalm in der Form und befestige ihn oben an einem Haken. Diesen hältst du genau in der Mitte der Glasröhre, die Knetform wird genau in Höhe des Wasserspiegels gehalten.
- Nach dem Loslassen der Knetform ist mit der Stoppuhr ihre Sinkdauer zu bestimmen.



**Hypothese des Versuchsergebnisses:**

- a) Beschreibe, wie ein mögliches Ergebnis aussehen könnte.

Die Sinkgeschwindigkeit der Formen ist vermutlich von ihrer Querschnittsfläche abhängig.

Das bedeutet, dass kleine Formen ohne Ecken schneller sinken werden.

**Durchführung und Protokollierung der Versuchsreihen:**

- b) Ermittle die zugehörigen Sinkzeiten  $t_{\text{Sink}}$  der vier Knetformen zum Durchlaufen der Strecke  $s$  dreimal. Bestimme den Mittelwert der Versuchsreihen und trage die Zeiten in die Tabelle ein.  
Konstant: Anströmfläche  $A = 20 \text{ cm}^2$  (gerundet)

Form	Strecke in cm	Zeit 1 in s	Zeit 2 in s	Zeit 3 in s	Mittelwert in s
Kugel	40	2,1			
Halbkugel rund	40	1,9			
Halbkugel flach	40	3,8			
Quader	40	3,2			

Achtung! Die Schülerlösungen können je nach Höhe des Gefäßes und Größe der Formen abweichen.

**Überprüfung der Hypothesen und Formulierung eines Zusammenhangs:**

- c) Ordne die Formen nach ihrer Sinkzeit.

Halbkugel runde Seite – Kugel – Quader – Halbkugel flache Seite

- d) Gib den Strömungswiderstand der Formen in Prozent an. Lege die beste Form mit 100% zugrunde.

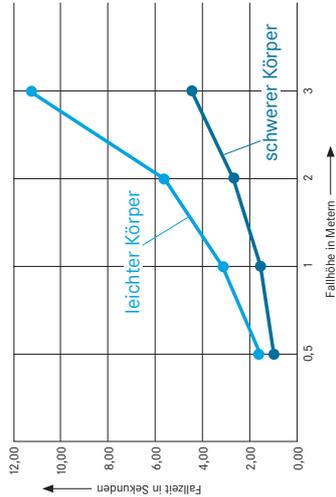
Halbkugel runde Seite = 100%, Kugel = 110%, Quader = 170%, Halbkugel flache Seite = 200 %

d) Dokumentiere deine gemessenen Werte in einem Tabellenkalkulationsprogramm.

11	Fallhöhe	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Mittelwert
12	0,5	0,8	0,7	0,8	0,77
13	1	1,5	1,4	1,3	1,40
14	2	2,6	2,5	2,6	2,57
15	3	4,8	4,6	4,5	4,63

e) Stelle die Fluggeschwindigkeiten der beiden Körper mit der Grafikfunktion des Tabellenkalkulationsprogramms dar. Verwende für jeden Graphen eine eigene Farbe. Beschreibe das Ergebnis.

Die Graphen verlaufen nicht linear, das heißt, beide Körper beschleunigen noch im Fall. Der leichte Körper weniger (längere Fallzeit), der schwere stärker (kürzere Fallzeit).



f) Sortiere die folgenden Gegenstände danach, wie stark sie im Fallen von der Luft gebremst werden. Gib dem Körper, der am stärksten gebremst wird, die Ziffer 1 und fahre fort bis zur Ziffer 8.

2  
Styroporkugel

3  
zusammengeknülltes Papier

4  
Tennisball

5  
Fußball

6  
mit Silikon gefüllter Tennisball

7  
Golfball

8  
kleine Stahlkugel

Begründung deiner Wahl – Formulierung eines Zusammenhangs:

Je größer die Gewichtskraft eines Körpers im Vergleich zur Luftwiderstandskraft ist, desto weniger wird der Körper gebremst. Je schwerer ein Körper ist und je kleiner seine Querschnitts- oder Stirnfläche ist, desto schneller beschleunigt er im Fallen.

#### 4. Fallversuche zur Luftwiderstandsmessung II

Ein technisches Experiment zur Luftwiderstandsmessung unterschiedlicher geometrischer Körper.

Mit technischen Hilfsmitteln lassen sich Fallversuche schneller und präziser durchführen. Beispielsweise können Lichtschranken dabei helfen, die Zeiten eines fallenden Körpers exakt zu bestimmen. Hervorragend eignen sich Videokameras oder Kameras in Smartphones, mit denen entweder aus der Einzelbildfolge oder mithilfe von Videoauswertungssoftware Datenpaare ermittelt werden können.

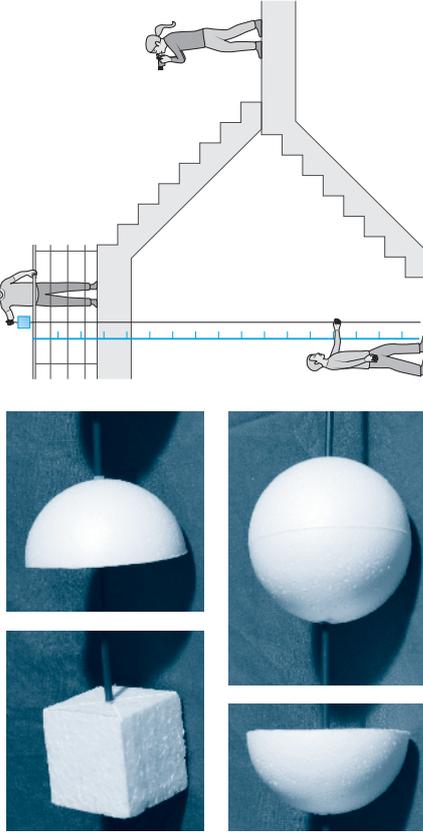
#### Versuchsbeschreibung:

In Teamarbeit soll der  $c_{WV}$ -Wert für einige einfache geometrische Grundformen bestimmt werden: Kugel, Würfel, Halbkugel (rund, von vorne), Halbkugel (flach, von hinten).

#### Materialliste:

Angebl- oder Drachentfiegelschnur, Trinkhalme, verschiedene Styroporkörper (Würfel, Kugel, Halbkugel), Waage, Smartphone oder Digitalkamera, Computer mit Tabellenkalkulationsprogramm und Tracker (o. ä. Videoauswertung), Paketschnur und Klebeband.

Abbildung des Versuchsaufbaus in Seitenansicht:



#### Versuchsvorbereitung:

Baut den Versuch wie abgebildet z. B. im Schultreppenhaut auf. Damit die Körper sich im Fallen nicht drehen, werden sie an einem Trinkhalm, der mittig durch die Styroporkörper gestochen wird, gerade nach unten fallengelassen. Als Führungsschnur verwendet man eine dünne, glatte, unelastische Schnur (z. B. Angelschnur).

Als Skalierung wird neben der Fallschnur eine weitere, dickere Schnur (Paketschnur) gespannt, welche alle 50 cm eine deutliche Markierung hat (im Bild blau). Die Markierung kann z. B. mit Klebeband gefertigt werden.

Filmt man nun den Fall des Körpers, kann auf den einzelnen Bildern die zurückgelegte Fallhöhe bestimmt werden.

#### Versuchsdurchführung:

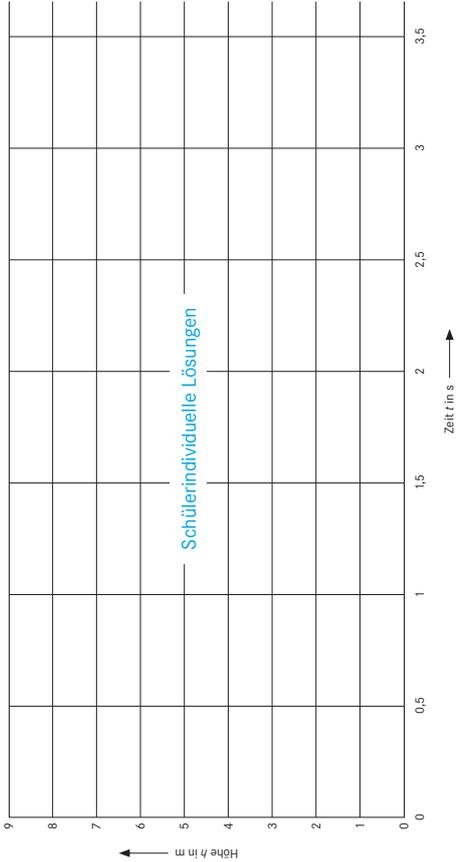
- Eine Person steht ca. auf halber Höhe der Treppe und filmt. Nach dem Auslösen der Kamera gibt sie das Startzeichen.
- Die zweite Person steht oben und lässt nach Aufforderung den Versuchskörper fallen.
- Die dritte Person sorgt unten für die Schnurspannung.

Zur exakten Bestimmung der Fallgeschwindigkeit werden drei Versuchsreihen durchgeführt und daraus wird der Mittelwert bestimmt. Der Versuchskörper kann dazu an der dickeren Schnur mit Klebeband wieder hochgezogen werden, ohne dass der Trinkhalm aus der Führungsschnur entfernt werden muss.

#### Durchführung und Protokollierung der Versuchsreihen:

a) Lässt nun alle Versuchskörper dreimal fallen und trägt in der Tabelle die Höhe (alle Höhen sind gleich) und die Mittelwerte der Fallzeiten ein. Zeichnet dann die Werte in das Diagramm auf der folgenden Seite ein.

Versuchskörper	Höhe h in m	Zeit t in s
Würfel	Schülerindividuelle Lösungen	
Kugel		
Halbkugel (rund, von vorne)		
Halbkugel (flach, von hinten)		



Bei dem technischen Experiment interessiert vor allem, welche Endgeschwindigkeit der Körper erreicht. Erreicht der Körper seine Endgeschwindigkeit während des Falls, ist die Luftwiderstandskraft genauso groß wie die Gewichtskraft des Körpers. Es gilt also:

$$F_w = F_G \quad \frac{1}{2} c_w \cdot \rho_L \cdot A \cdot v^2 = m \cdot g$$

**Formulierung eines Zusammenhangs und Übertragung der Erkenntnisse:**

Bis auf den  $c_w$ -Wert lassen sich alle Werte in der Gleichung ( $A$ ,  $v$ ,  $m$ ,  $g$ ) bestimmen. Zur Ermittlung der Endgeschwindigkeit muss man das Diagramm interpretieren.

Das hier abgebildete Beispiel zeigt zwei Fallkurven, zum einen den reibungslosen freien Fall und zum anderen einen Fall mit Luftwiderstand.

Im Diagramm erhält man die konstante Geschwindigkeit des fallenden Körpers im Bereich der Geraden zwischen zwei Messpunkten als Steigungsdreieck oder als mathematische Formel.

b) Trage die Formel hier ein:

$$v = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

c) Bestimme nun den jeweiligen  $c_w$ -Wert. Nutze dazu die oben stehende Gleichung und löse sie nach  $c_w$  auf.

Weitere Angaben:  $\rho_L = 1,2041 \text{ kg/m}^3$ ;  $g = 9,81 \text{ N/kg} = 9,81 \text{ m/s}^2$

Versuchskörper	Masse	Fläche	Endgeschwindigkeit	$c_w$ -Wert
Würfel				über 2
Kugel				0,45
Halbkugel (rund, von vorne)				0,34
Halbkugel (flach, von hinten)				1,33

d) Welcher Körper hat den besten  $c_w$ -Wert? Notiere die Körper nach aufsteigendem Wert.

Halbkugel (rund, von vorne) – Kugel – Halbkugel (flach, von hinten) – Würfel

# 13 Strömungswiderstände

Die Größe des Luftwiderstands eines Körpers hängt davon ab, wie schwierig es für die Luft ist, um diesen Körper herumzuströmen. Ob sich der Körper durch die Luft bewegt oder ob die Luft mit gleicher Geschwindigkeit um ihn herumfließt, ist dabei egal. Man braucht umso mehr Energie, je mehr Luft bewegt wird und je schneller diese Luft relativ zu dem Körper bewegt wird.



**1. Der Zusammenhang von Druck und Energie.**

Allgemein lässt sich Druck als die Kraft bezichnen, die an einer Fläche anliegt:

$$p = \frac{F}{A}$$

So lässt sich auch der Druck in einem Gasvolumen, z. B. einem aufgeblasenen Luftballon, an seiner Oberfläche messen. Man sollte sich aber klarmachen, dass das gesamte Gasvolumen „unter Druck steht“.

Wenn man die Formel zur Berechnung des Drucks  $p = \frac{F}{A}$  um eine Strecke  $s$  erweitert, ergibt sich  $p = \frac{F \cdot s}{A \cdot s}$

a) Bedenke, dass Kraft · Strecke = Arbeit bzw. Energie ist. Schreibe die entsprechende Formel auf.

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot s}{A \cdot s} = \frac{E_{\text{mech}}}{V}$$

b) Löse die Gleichung nach der Energie auf.

$$E_{\text{mech}} = p \cdot V$$

c) Was bedeutet das?

Druck ist die gespeicherte Energie pro Gasvolumen.

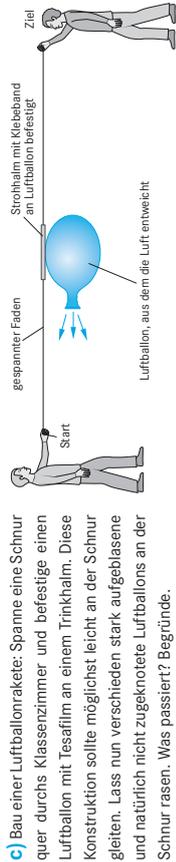
**2. Versuche zum Druck.**

a) Blase einen Luftballon erst nur wenig auf, dann auf den doppelten Durchmesser. Achte auf den Druck, den du nach dem ersten großen Widerstand gegen das Aufblasen im Mund spürst. Ändert er sich? Begründe deine Antwort.

Der Druck ändert sich kaum. Je weiter man einen Luftballon aufbläst, desto weniger Druck hat das Gas innen.

b) Die gespeicherte Energie in dem Ballon ist proportional zum Druck und proportional zum Gasvolumen. Was bedeutet dieser Zusammenhang, wenn man ihn auf einen nur wenig bzw. einen groß aufgeblasenen Luftballon überträgt?

Ein wenig aufgeblasener Ballon speichert wenig Energie und hat viel Druck, bei einem groß aufgeblasenen Ballon verhält es sich andersherum.



**c)** Bau einer Luftballonrakete: Spanne eine Schnur quer durchs Klassenzimmer und befestige einen Luftballon mit Tesafilm an einem Trinkhalm. Diese Konstruktion sollte möglichst leicht an der Schnur gleiten. Lass nun verschieden stark aufgeblasene und natürlich nicht zugeknötelte Luftballons an der Schnur rasen. Was passiert? Begründe.

Der größere Ballon kommt mehr als doppelt so weit. Wenn einmal die Trägheit der zu bewegenden Masse des Ballons überwunden ist, hält die Fluggeschwindigkeit an. Durch das Schrumpfen des Ballons im Flug verringert sich außerdem der Luftwiderstand.



**d)** Halte für einen weiteren Versuch einen Papierstreifen wie in der Abbildung gezeigt an die Unterlippe und blase stark darüber. Was beobachtest du? Erkläre deine Beobachtung.

Das Blatt hebt sich an. Die über dem Blatt strömende Luft hat eine höhere Geschwindigkeit als die unterhalb. Dadurch ist der Druck oberhalb niedriger als unterhalb. Weil unter dem Blatt mehr Druck besteht, hebt es sich an.

**3. Luftströmung um ein Auto.**

Luft verhält sich, wenn es um Strömungen geht, ähnlich wie Wasser. Stell dir vor, du schiebst deine flache Hand durchs Wasser nahe der Wasseroberfläche.

**a)** Beschreibe, was passiert. Vergleiche dies mit den Über- und Unterdruckbereichen an einem Auto.

Vor der Hand staut sich das Wasser hoch und hinter der Hand sinkt es ab. Je höher das Wasser vor der Hand steht, desto höher ist der Druck dort. Übertragen auf ein Auto bedeutet dies, dass beim Fahren der Druck vor dem Auto höher ist als dahinter. Hinter der Hand steht das Wasser im Verhältnis zum „normalen“ Pegel sehr wahrscheinlich niedriger → Unterdruck. Der „hält die Hand fest“.

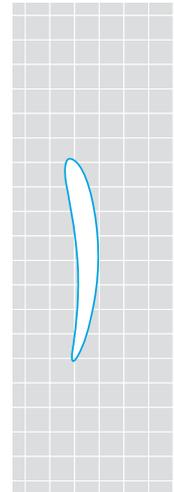
**b)** Ergänze den Satz:

Vor dem Auto herrscht **mehr**

Druck, hinter dem Auto **weniger**

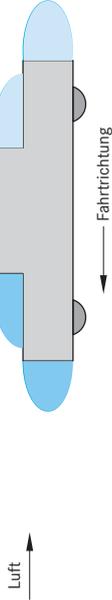
Druck.

**c)** Zeichne die optimale Form (Seitenansicht) für den Heckspoiler eines Autos, der den Luftwiderstand verringern soll.



**d)** Um nachzuweisen, wie Luft um ein Auto strömt, vereinfachen wir eine wirkliche Autoform auf ein Three-Box-Modell und betrachten, wo sich beim Losfahren und Beschleunigen Unter- bzw. Überdruckbereiche bilden. Wir vernachlässigen dabei die Strömung unter dem Auto und seitlich an der Karosserie.

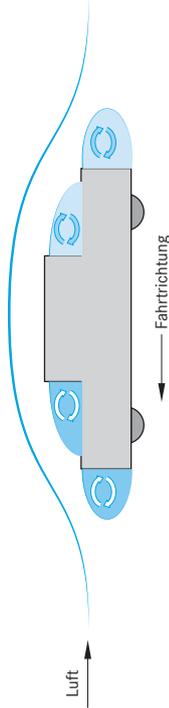
Zeichne die Bereiche um das Auto dunkelblau ein, wo du Über- oder Staudruck erwartest, und hellblau, wo du Unterdruck erwartest. Ermittle dich daran, wie es sich beim Fahrradfahren anfühlt.



**e)** Wohin wird das Auto durch die Druckunterschiede beim Fahren „gedrückt“?

Das Auto wird beim Fahren durch die beiden entstehenden Druckbereiche nach hinten gedrückt. Es wird also gebremst.

**f)** Ein fahrendes Auto muss gegen die „Druckbereiche“ fahren und benötigt dazu Energie. Überlege: Wie fließt die Luft um das Auto und seine „Luftdruckpolster“ herum? Beachte, dass die Überdruckbereiche auch Luft „wegdrücken“, während sie zu Unterdruckbereichen „hingedrückt“ werden. Ergänze die Abbildung um die Über- und Unterdruckbereiche analog zu Aufgabe d). Zeichne auch ein, wie der gesamte Luftstrahl um das Auto herumfließt.



**g)** Beschreibe, wie die Luft um die eckige Autoform herumfließt.

Durch die Druckgebiete fließt die Luft nicht direkt der eckigen Form nach, sondern sie fließt rund um das Auto herum. Sie macht also weniger Kurven.

**h)** Die am Auto vorbeiströmende Luft fließt auch an den eingezeichneten Druckbereichen entlang. Überlege, was in diesen Druckbereichen passiert. Zeichne dies ebenfalls in die obige Skizze ein und schreibe hier einen Antwortsatz.

Die vorbeiströmende Luft dreht den gestauchten Bereich. Es bilden sich Wirbel.

**4. Wirbel und Energie.**

Wo sich Wirbel bilden, kann man sich anhand einfacher Formen vorstellen. Um die tatsächlichen Wirbel bei einem echten Auto zu bestimmen und ihre Stärke zu messen, benötigt man Windkanaltests oder Simulationsrechnungen mit dem Computer. Was bedeuten diese Wirbel jedoch konkret für ein Fahrzeug?

Entstehende Wirbel kosten Energie, die nicht in Bewegungsenergie des Autos umgesetzt wird, d. h. Wirbel bremsen.

**5. Druck- und Strömungsverluste (Reibungsverluste).**

Der Luftwiderstand eines Körpers setzt sich einerseits aus den beschriebenen Druckverlusten und andererseits aus Reibungsverlusten an der Oberfläche zusammen. Je nach Form des Körpers ergeben sich mehr Druck- oder mehr Reibungsverluste.

a) In der Tabelle sind zwei Formen mit der herumströmenden Luft (Pfeile) vorgegeben. Es ergeben sich extreme prozentuale Werte bei den Widerstandsverlusten durch Druck bzw. Reibung. Zeichne die vorgegebenen drei Körper in der passenden Reihenfolge in die Tabelle ein.

	Widerstandsverluste prozentual aufgliedert in	
	Druck	Reibung
	≈ 100 %	≈ 0 %
	90 %	10 %
	60 %	40 %
	10 %	90 %
	≈ 0 %	≈ 100 %

b) Zeichne analog zu den Bildern in Zeile 1 und 5 die Luftströmung in die Tabelle ein. Überlege auch, wo sich Wirbel bilden, und zeichne diese ein.

c) Schätze die dazugehörigen Widerstandsverlustwerte von Druck und Reibung und trage sie in den beiden rechten Spalten ein.

d) Betrachte die Formen in der Tabelle. Wann ist der Strömungswiderstand eines Körpers größer: wenn er eher Druck- oder eher Reibungsverluste erfährt?

Druckverluste sorgen eher für einen großen Strömungswiderstand. Körper mit relativ kleiner Querschnittsfläche und großer Länge haben relativ höhere Reibungsverluste, insgesamt aber deutlich weniger Strömungswiderstand.

e) Welche Form sollte ein Auto haben, damit es aerodynamisch ideal ist?

Das Auto sollte sehr viel länger sein als hoch oder breit.

**16 Strömungen sichtbar machen**

Jeder Körper hat einen Strömungswiderstand. Dieser bezeichnet die Kraft, mit der sich der Körper z. B. der Luft bei einer Bewegung entgegensezt. Die Größe des Strömungswiderstands setzt sich aus Reibungsverlusten an der Oberfläche des Körpers und aus Druckverlusten in Ablösegebieten und in Wirbeln zusammen, die sich um den Körper herum bilden. Um ein möglichst windschnittiges Fahrzeug zu bauen, versucht man daher, die Strömungsverluste, d. h. den  $c_w$ -Wert, so gering wie möglich zu halten.



**1. Recherchiere im Internet oder einem geeigneten Nachschlagewerk:**

a) Wofür steht die Abkürzung  $c_w$ -Wert?

Man kann diesen Wert auch „Luftwiderstandsbeiwert“ oder „Strömungswiderstandskoeffizient“ nennen. Der  $c_w$ -Wert beschreibt die aerodynamische Formgüte („Windschlipfigkeit“) eines Körpers.

b) Welche vier Faktoren beeinflussen den Strömungswiderstand eines Körpers?

die Form (je länger ein Körper im Verhältnis zur Querschnittsfläche ist, desto besser ist üblicherweise der $c_w$ -Wert)	das Medium, in dem der Körper sich bewegt (Wasser bremsst z. B. mehr als Luft)
die Querschnittsfläche A des umströmten Körpers	die Geschwindigkeit v des umströmten Körpers

**2. Ordne die aufgeführten  $c_w$ -Werte den abgebildeten Körpern zu.**

0,03 | 0,08 | 0,25–0,40 | 0,45 | ca. 0,8 | 0,9



0,45      0,08      0,03      ca. 0,8      0,25–0,40      0,9

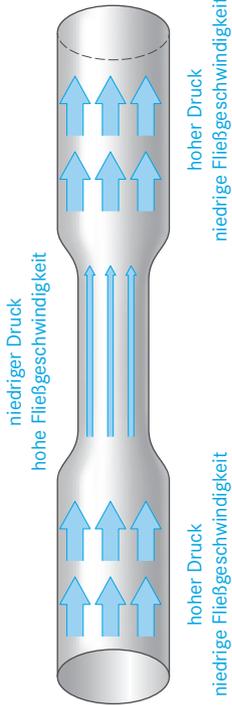
**3. Die „Bernoulli-Gleichung“ beschreibt Zusammenhänge bestimmter Faktoren der Strömung, die auch den Luftwiderstand mitbestimmen. Recherchiere und notiere, was Daniel Bernoulli bereits im 18. Jahrhundert entdeckte.**

Nach der Bernoulli-Gleichung führt eine Beschleunigung der Strömung zu einer Abnahme des Drucks; umgekehrt führt eine Verlangsamung der Strömung zu einer Druckerhöhung.

4. Wie verhält sich der Druck in einem dünner werdenden Rohr, durch das Luft strömt? Ergänze die Abbildung nach den Regeln von Bernoullis Gesetz.

a) Trage Pfeile für die Fließgeschwindigkeit ein: kurze Pfeile = niedrige Fließgeschwindigkeit; lange Pfeile = hohe Fließgeschwindigkeit.

b) Ergänze die Abbildung um folgende Beschriftung: hoher Druck – niedriger Druck – hoher Druck – niedrige Fließgeschwindigkeit – niedrige Fließgeschwindigkeit.



5. Sichtbarmachen von Strömungen im Windkanal.

Dervon euch gebaute Windkanal soll nun genutzt werden, um Strömungen sichtbar zu machen und die getesteten Objekte so zu optimieren, dass die Strömungswiderstände geringer werden.

Die Strömung im Windkanal lässt sich mit Trockeneis sichtbar machen. Trockeneis ist festes Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), das bei -78 °C ohne zu schmelzen in die Gasphase übergeht. Dabei sieht es aus wie weißer Rauch. Trockeneis riecht nicht. Wenn es sublimiert (ins Gasförmige übergeht), ändert es sein Volumen auf das 760-fache.

Sicherheit im Umgang mit Trockeneis

Beim Umgang mit Trockeneis sollten Handschuhe und Schutzbrille getragen werden. Hat Trockeneis über mehrere Sekunden Kontakt zur Haut, bleibt es an der Haut kleben und erzeugt Kälteverbrennungen.

Bei zu hoher Konzentration von gasförmigem Trockeneis (CO<sub>2</sub>) besteht Erstöckungsgefahr! Bei der Lagerung in geschlossenen Behältern kann sich außerdem gefährlicher Gasdruck aufbauen.

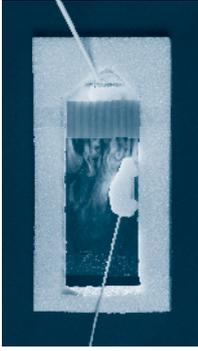


a) Vorbereitung

- Platziere ein Stück Trockeneis vor die Lamellen in den Kanal. **Achtung: Verwende Handschuhe und eine Pinzette. Das Eis darf nicht mit Haut in Verbindung kommen, es entstehen Verbrennungen! Achte auf eine gute Lüftung im Raum und atme das Gas nicht direkt ein.**
- Stecke einen Trinkhalm als Mundstück in die „Rauchkammer“ vor den Lamellen.
- Positioniere das aufgespießte Modell nun innerhalb des Windkanals.



- Blase durch das Mundstück Atemluft in den Kanal. Durch die Reaktion des Wasserdampfs in deinem Atem mit dem Trockeneis wird „Rauch“ erzeugt. Dieser strömt über das Fahrzeugmodell.
- Mit dem Schaschlikspieß lässt sich das Modell in den Rauchschwaden bewegen. Dadurch kann die Darstellung des Strömungsverlaufs optimiert werden.



b) Teste alle Fahrzeugmodelle auf die gleiche Weise. Zeichne die entstandenen Strömungsbilder in die folgenden Vorlagen ein. Beschreibe die Strömungsbilder.

<p><b>Fahrzeugtyp</b> Coupé</p>	<p><b>Beschreibung des Strömungsbilds</b></p>
<p><b>Skizze des Strömungsbilds</b></p>	<p>Die Strömungslinien verlaufen in einer gleichmäßigen Bahn über das Fahrzeug. Vor und nach dem Fahrzeug gibt es leichte Verwirbelungen.</p>
<p><b>Fahrzeugtyp</b> Limousine</p>	<p><b>Beschreibung des Strömungsbilds</b></p>
<p><b>Skizze des Strömungsbilds</b></p>	<p>Die Strömungslinien verlaufen im oberen Teil der Karosserie recht gleichmäßig. Vor und nach dem Fahrzeug gibt es leichte Verwirbelungen.</p>
<p><b>Fahrzeugtyp</b> Van</p>	<p><b>Beschreibung des Strömungsbilds</b></p>
<p><b>Skizze des Strömungsbilds</b></p>	<p>Die Strömungslinien verlaufen insbesondere im vorderen und hinteren Bereich des Fahrzeuges sehr verwirbelt. An der Windschutzscheibe entsteht eine Stelle ohne Rauch.</p>

c) Wie müsste das optimale Strömungsbild eines Fahrzeuges aussehen?

Das Gas müsste gleichmäßig über die Fahrzeuge strömen. Es dürften keine Wirbel, Überdruckzonen (Gaskonzentration) oder Unterdruckzonen (gasfreie Stellen) entstehen.

### 6. Optimieren der Fahrzeugmodelle.

Die Natur hat z. B. für die Fortbewegung im Wasser oder in der Luft optimale Formen ausgebildet. Mit dem Wissen, welche Vögel besonders schnell und kraftsparend fliegen oder welche Meeresbewohner besonders schnell und ausdauernd schwimmen können, kannst du auch deine Fahrzeuge optimieren und die Ergebnisse im Windkanal überprüfen.

a) Ändere mit dem Styroporschneider und mit einem Skalpell deine Fahrzeugformen und teste sie so lange, bis ein optimales Strömungsbild entsteht. Dokumentiere das Ergebnis mit einem Fotohandy und klebe das Foto hier ein.

b) Beschreibe die Form deines Fahrzeuges.

Das Auto hat eine längliche, fast tropfenartige Form, ähnlich wie ein Pinguin mit Rädern.

7. Die beiden Abbildungen zeigen eine typische Darstellung von computergestützten Berechnungen über die Druckverteilung an einem Automodell.



a) Was bedeuten die Farben bezogen auf die Druckverteilung?

**Blau:**  
je dunkler, desto ... **mehr Überdruck**

**Grau:**  
je dunkler, desto ... **mehr Unterdruck**

b) Welche Aussagen kannst du über die Strömungsverhältnisse treffen?

**Blau:**  
bedeutet langsamere Strömung oder Luftstau

**Grau:**  
bedeutet schnellere Strömung und damit Unterdruck

c) Beschreibe die Druckverteilung an dem Fahrzeug in eigenen Worten.

An den Stirnflächen und an der hinteren Scheibe gibt es kleinere Überdruckzonen, hinter dem Auto aber deutlich weniger Unterdruckzonen. Da Überdruck vor dem Auto und Unterdruck hinter dem Auto bremsend wirken, formt man Autos z. B. durch die schräge Windschutzscheibe so, dass diese unerwünschten Drücke möglichst klein werden.

## 17 Grenzen des aerodynamischen Gestaltens

Wenn ein Team aus Ingenieuren und Designern ein Fahrzeug entwirft, müssen sie darauf achten, dass es möglichst wenig Energie verbraucht, egal, ob es sich um ein Elektro-, Benzin-, Diesel- oder Brennstoffzellenauto handelt. Großen Einfluss auf den Energieverbrauch hat neben dem Antriebsstrang die dynamische Formgebung des Fahrzeuges. Daher wird permanent versucht diese zu optimieren.



1. Begründe anhand des Strömungswiderstandes von Fahrzeugen, welche Fahrstrecke man wählen sollte, wenn man von A nach B möchte.

Ist es für den Energieverbrauch günstiger, die kürzere Strecke zu nutzen, die man langsam fahren muss, oder sollte man den Umweg über die Autobahn nehmen, bei dem man aber schneller am Ziel ist?

Da die Energieverluste von den Strömungsverlusten und der gefahrenen Strecke abhängen, ist der kurze Weg besser. Erstens hängt der Verbrauch von der gefahrenen Strecke ab und zweitens ist der Luftwiderstand bei hoher Geschwindigkeit viel höher.

2. Wie verhält sich der Luftwiderstand bei doppelter Geschwindigkeit?

a) Er ist ...

... doppelt so hoch?

... dreimal so hoch?

... viermal so hoch?

... halb so hoch?

b) Begründe.

Der Luftwiderstand ist viermal so groß, da die Geschwindigkeit quadratisch in die Formel eingeht.

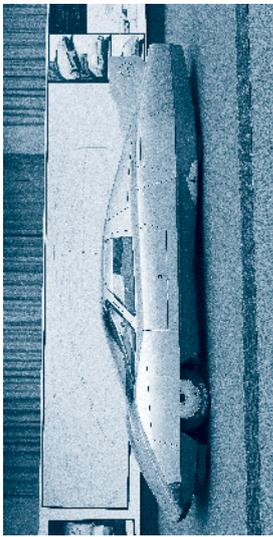
c) Was bedeutet dies für die Grenzen der Optimierung von Automobilen, mit denen man z. B. auf Langstrecken schnell fahren kann?

Da der Luftwiderstand bei Verdoppelung der Geschwindigkeit um das Vierfache steigt, macht sich der  $c_w$ -Wert bei höheren Geschwindigkeiten stärker bemerkbar. Bereits bei einer Geschwindigkeit von ca. 80 km/h stecken etwa 50% des gesamten Energieaufwands im Luftwiderstand.

d) Was bedeutet dies für die Grenzen der Optimierung von innerstädtischer Mobilität?

Bei Fahrten in der Stadt (häufiges Bremsen und Anfahren, hohe Verkehrsdichte) spielt Aerodynamik kaum eine Rolle. Hier sollten andere Methoden zur Energieeinsparung genutzt werden.

3. Bei der Entwicklung und Konstruktion eines Autos gilt es, den Luftwiderstand möglichst klein zu halten.



a) Welche Faktoren können Autokonstrukture verändern?

Sie können die Querschnittsfläche möglichst klein halten. Eine große Fahrzeuglänge ist vorteilhaft für den  $c_w$ -Wert. Den größten Einfluss auf den  $c_w$ -Wert hat aber die Formgebung selbst.

b) Welche Faktoren lassen sich nicht verändern und wovon hängen diese ab?

Nicht verändern lassen sich die Geschwindigkeit (weil Autofahrer normalerweise so schnell fahren möchten, wie es erlaubt ist) sowie die Dichte der Luft (diese hängt vom Wetter ab und dem Ort, an dem man sich befindet, z. B. der Höhe über dem Meeresspiegel).

4. Ein möglichst langes „Raketenauto“ mit kleiner Querschnittsfläche hätte die aerodynamisch idealste Form. Was spricht in der Praxis dagegen?

Die Querschnittsfläche eines modernen Autos besteht fast nur aus der Fahrgastzelle, den aus dem Rumpf ragenden Rädern und den Rückspiegeln. Würde man die Fahrgastzelle verkleinern und die Passagiere hintereinander setzen, müsste das Auto deutlich länger werden. Dies hätte zwar Vorteile bezüglich des  $c_w$ -Wertes, aber Nachteile bei der Handhabung (Parkplatzsuche, Wendigkeit, ...).

5. Die Strömungswiderstände moderner Fahrzeuge sind bereits auf hohem Niveau optimiert. Welche Teile eines Serienfahrzeugs könnten unter aerodynamischen Gesichtspunkten noch verbessert, durch andere Lösungen ersetzt oder auch weggelassen werden?

Der Unterboden und die Felgen könnten noch optimiert werden. Auf Eyecatcher wie z. B. ein Kühleremblem könnte man verzichten. Eine Dachreling könnte weggelassen werden. Anbauteile an der Karosserie – z. B. Türgriffe oder Seitenspiegel – könnten durch elektronische Systeme ersetzt werden.

# 18 Die Arten der industriellen Fertigung

Je nach den Anforderungen an ein Produkt entscheidet man bei seiner Produktion zwischen Einzel- und Mehrfachfertigung. In der Einzelfertigung werden einzelne oder individuelle Produkte, z. B. Prototypen, in einzelnen Arbeitsschritten meist von wenigen Arbeitskräften produziert. Dies ist oftmals sehr teuer. In der Mehrfachfertigung werden Serien- oder Massenprodukte maschinell hergestellt, wobei die Arbeitskräfte nur noch einzelne Arbeitsschritte ausführen. Dadurch verringern sich die Produktionskosten.

1. Die Fertigungsart beschreibt, wie Produkte produziert werden. Man unterscheidet zwischen Einzelfertigung (EF), Serienfertigung (SF) und Massenfertigung (MF).

a) Ordne die Fertigungsarten den folgenden Produkten zu.

SF	EF	SF	MF	EF	SF

b) Nenne Unterscheidungskriterien, die bei der Produktion eine Rolle spielen.

Menge bzw. Stückzahl, Qualität, Preis, Ort der Fertigung, Art des Absatzes

2. Das Ablaufprinzip einer Fertigungsorganisation beschreibt die Art und Weise, wie die Produktfertigung organisiert ist.

Trage die möglichen Ablaufprinzipien nach Menge der produzierten Artikel in die folgende Tabelle ein und kreuze die geeigneten Fertigungsarten an.

Fließband, Werkstatt, Werkbank, getaktete Fließstraßen, Gruppenfertigung

Fertigungsart	Ablaufprinzip der Fertigungsorganisation				
	Werkbank	Werkstatt	Gruppenfertigung	getaktete Fließstraßen	Fließband
Einzelfertigung	X		X		
Serienfertigung		X	X	X	
Massenfertigung				X	X

3. Die Arbeiten innerhalb der Fertigung werden entweder nach der Menge oder nach der Art verteilt. In der Praxis kommen häufig Mischformen vor.

a) Bei der Artteilung wird der Auftrag in mehrere Arbeitsvorgänge aufgeteilt, die dann von verschiedenen Mitarbeitern bearbeitet werden. Nenne Vor- und Nachteile.

Vorteile: Einsatz von Mitarbeitern mit geringerer Qualifikation möglich, großer Rationalisierungseffekt durch schnelle Arbeitsabfolge

Nachteile: einseitige Beanspruchung der Mitarbeiter, monotone Arbeit, geringe Flexibilität

**b)** Bei der Mengenverteilung wird der Auftrag in mehrere Teilmengen zerlegt. Jeder Mitarbeiter führt in seiner Teilmenge alle Arbeitsvorgänge aus.

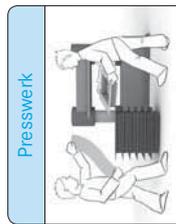
Vorteile: **hohe Flexibilität, geringe Störungsauswirkung, abwechslungsreichere Arbeit**

Nachteile: **lange Einarbeitung, höhere Löhne, weniger Rationalisierungsmöglichkeiten**

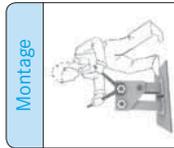
#### 4. Unterschiedliche Prinzipien der industriellen Fertigung im Vergleich.

Im Folgenden sind zwei unterschiedliche Fertigungsarten dargestellt. Beschreibe die Abteilungen oder Stationen. Beschreibe, nach welchem Prinzip die Produktion organisiert ist und für welche Produkte diese Art der Fertigung geeignet ist.

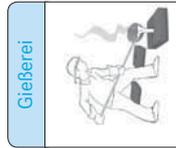
##### Fertigung A:



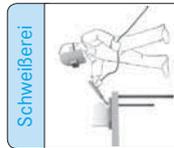
Presswerk



Montage



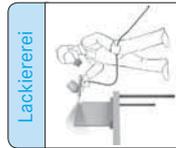
Gießerei



Schweißerei



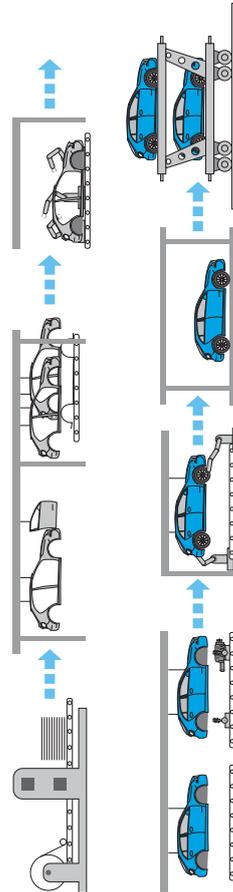
Dreherei



Lackiererei

Diese Firma produziert nach dem Prinzip der **Werkstattfertigung**. Alle Arbeitsschritte werden in speziellen Abteilungen durchgeführt. Durch hohe Flexibilität in der Produktion eignet sich diese Fertigungsform für kleine Stückzahlen, z. B. die Kleinserienfertigung von Prototypen.

##### Fertigung B:



Diese Firma produziert nach dem Prinzip einer **Fließfertigung (Reihenfertigung; Grobserienfertigung)**. Alle Arbeitsschritte werden innerhalb einer (getakteten) Produktionsstraße durchgeführt. Wegen der hohen Investitionskosten lohnt sich diese Fertigung erst bei hohen Stückzahlen.

## 19 Fertigungsverfahren

Fertigungsverfahren spielen eine entscheidende Rolle bei der Herstellung von Produkten. Durch Fertigungsverfahren werden Werkstoffe oder Werkstücke in ihren Eigenschaften – z. B. Größe, Form, Oberfläche – verändert. Nach DIN (Deutsches Institut für Normung) teilt man sie in sechs Hauptgruppen ein.

### 1. Ordne die aufgeführten Fertigungsverfahren zu und suche Beispiele. Fügen, Urformen, Beschichten, Umformen, Trennen, Stoffeigenschaften ändern



Beim **Urformen** entsteht aus flüssigem, plastischem oder pulverigem Stoff ein fester Körper.

Beispiele: **Gießen, Sintern**



Beim **Umformen** erhält ein fester Körper eine andere Form.

Beispiele: **Biegen, Walzen, Treiben, Eindrücken, Tiefziehen, Schmieden**



Beim **Trennen** werden größere oder kleinere Teile vom Körper abgetrennt.

Beispiele: **Drehen, Bohren, Sägen, Feilen, Schneiden, Reiben, Fräsen, Hobeln**



Beim **Fügen** werden Körper miteinander verbunden.

Beispiele: **Nieten, Kleben, Schweißen, Löten, Schrauben, Füllen, Einpressen**



Beim **Beschichten** erhält ein Körper eine fest haftende Schicht.

Beispiele: **Galvanisieren, Lackieren, Emaillieren, Verchromen, Feuerverzinken**



Beim **Stoffeigenschaften ändern** wird ein Werkstoff z. B. härter oder weicher.

Beispiele: **Glühen, Härten, Anlassen, Magnetisieren, Vergüten**

2. Anwendungen und Eigenschaften der Fertigungsverfahren.

a) Beschreibe Anwendungen und Vor-/Nachteile von Gießverfahren beim Urformen.

Anwendungen	Vorteile	Nachteile
Beim Sandformgießen benötigt jedes Werkstück eine eigene Form, da diese nach dem Guss zerstört wird.	auch für riesige Formen geeignet; relativ schnell umsetzbar	nicht sehr präzise; raue Oberfläche
Beim Kokillengießen hingegen kann die verwendete Gießform wieder verwendet werden.	hohe Stückzahlen möglich; günstig bei Massenproduktion	aufwendige und teure Herstellung der Gießform

b) Was geschieht beim Urformen von Blechen bei zu häufiger Biegung?

Das Material wird an der Biegestelle spröde und bricht.

c) Nenne die Unterschiede zwischen Zerteilen und Zerspanen beim Trennen.

Beim Zerteilen wird ein Gegenstand durch Schneidvorgänge, beispielsweise mit einem Messer oder mit einer Schere, ohne Spanabtragung getrennt.

Beim Zerspanen (z.B. beim Sägen eines Gegenstandes) werden Stoffteilchen (Späne) mit dem Schneidkeil des Trennwerkzeugs vom Werkstück abgetrennt.

d) Beschreibe, um welche Fügeverfahren es sich bei den Abbildungen handelt. Welche sind lösbar und erlauben eine zerstörungsfreie Demontage, welche nicht?

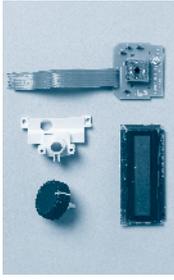
Schrauben	Schweißen	Kleben	Löten	Nieten
<input checked="" type="checkbox"/> lösbar <input type="checkbox"/> unlösbar	<input type="checkbox"/> lösbar <input checked="" type="checkbox"/> unlösbar			

e) Beschreibe die Möglichkeiten für einen wirksamen Korrosionsschutz von Metallen.

- Einölen (wasserabweisend /schmierend)
- Aufbringen von Lack (Schutzschicht)
- Galvanisieren (z.B. Verzinken)
- Emallieren (farbiger Glasüberzug)

20 Arbeits- und Produktionsabläufe

Um die Arbeitsorganisation in der industriellen Produktion zu optimieren, wird die CAO (Computer Aided Organisation) eingesetzt. Diese ermöglicht eine exakte und vorausschauende Planung. Die CAO erfolgt in der Regel in Form eines schriftlichen Ablaufplans, der allen Beteiligten einen Überblick über die gesamte Fertigung ermöglicht.

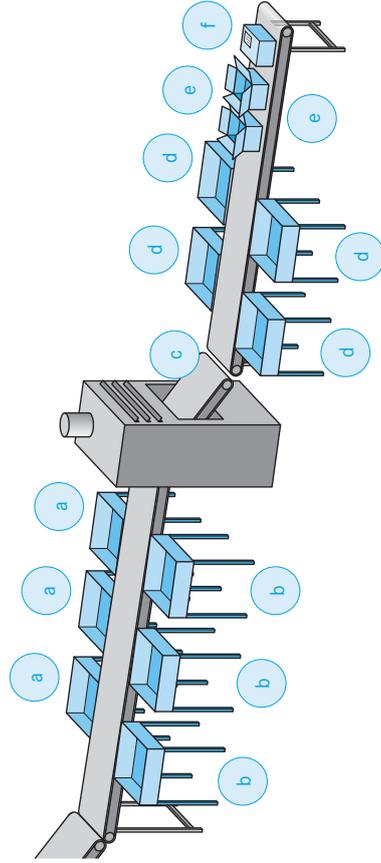


1. Bei einem Zulieferbetrieb für Klimasysteme in Fahrzeugen werden unter anderem Bedienelemente für Klimaanlage produziert.

a) In der Produktion sind für diesen Artikel 14 Arbeitsplätze vorgesehen. Plane die Verteilung der Arbeitsplätze in Abhängigkeit der notwendigen Arbeitsschritte.

Arbeitsschritte/Arbeitsplätze	benötigte Zeit pro 50 Blinker	Verteilung der 14 Arbeitsplätze
a) Unbestückte Steuerplatinen ins Magazin 1 der Lötanlage einfüllen.	9 min	3
b) Lose Verbindungsleitungen ins Magazin 2 der Lötanlage einfüllen.	9 min	3
c) Die gelötete Steuerplatine aus der Maschine entnehmen.	3 min	1
d) Drehregler in die Platine einstecken und einkleben.	12 min	4
e) Platine, Platinenhalterung und Display in einen Karton packen.	6 min	2
f) Kartons folieren und etikettieren.	3 min	1

b) Positioniere die vorhandenen Arbeitsplätze um die abgebildete Anlage (Ziffern a bis f einfügen).



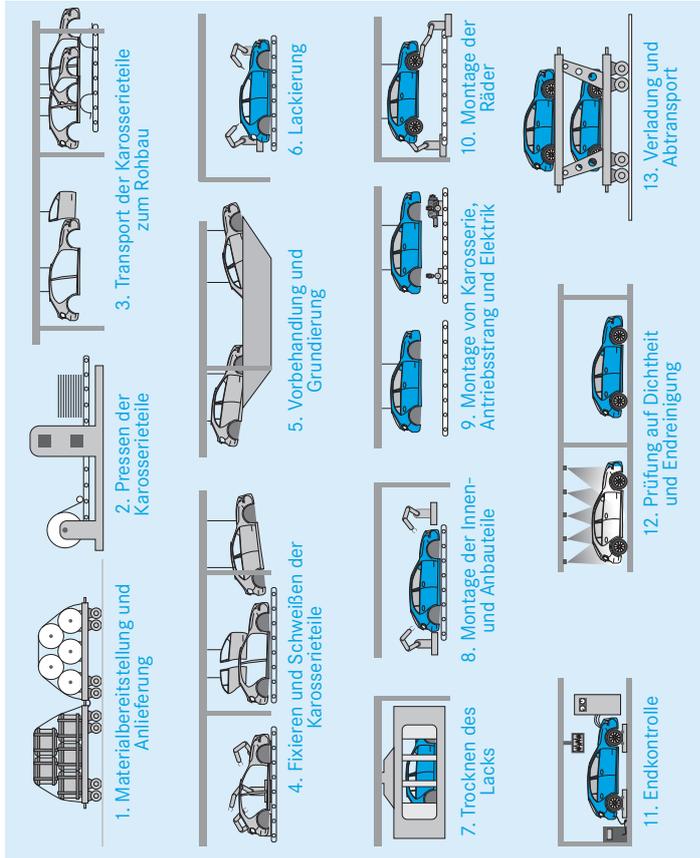
c) An welchen Stellen könnte es zu Engpässen oder Zeitverzögerungen kommen?

Bei unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten der Gruppen a) und b) könnte es zu Stauungen kommen. Bei einem Ausfall von c) und f) muss eine Ersatzkraft (Springer) zur Verfügung stehen.

2. In der folgenden Grafik sind in vereinfachter Weise die einzelnen Stationen einer Automobilfertigung von der Materialbereitstellung bis zum Abtransport der fertigen Fahrzeuge dargestellt.

a) Kopiere diese Seite. Schneide die einzelnen Stationen aus der Kopie aus und bringe sie auf einem separaten Blatt in die richtige Reihenfolge. Benenne anschließend die Phasen der Produktion mit den folgenden Bezeichnungen:

**Montage von Karosserie, Antriebsstrang und Elektrik – Prüfung auf Dichtheit und Endreinigung – Montage der Räder – Materialbereitstellung und Anlieferung – Lackierung – Pressen der Karosserieteile – Transport der Karosserieteile zum Rohbau – Fixieren und Schweißen der Karosserieteile – Endkontrolle – Vorbehandlung und Grundierung – Trocknen des Lacks – Montage der Innen- und Anbauteile – Verladung und Abtransport**



b) Wo werden Arbeiten von Menschen verrichtet?

In der Prüfung und Qualitätssicherung und dort, wo die Montage nicht automatisiert werden kann, arbeiten Fachkräfte und angelernte Kräfte. Auch die Wartung und Pflege von komplizierten Maschinen ist nur mit Fachkräften möglich.

c) Welche Arbeitsplätzebereiche fehlen hier?

Es fehlen Verwaltung, kaufmännischer Bereich, die Entwicklungs- und Konstruktionsabteilung sowie Verkauf und Service. Außerdem fehlt der größte Teil der Zulieferindustrie.

## 21 Ein Automodell aus Styropor schneiden

Während des Entwicklungs- und Designprozesses beim Autobau werden die Fahrzeugform, Design und Aerodynamik ständig optimiert. Dazu gehören Computersimulationen und Tests in virtuellen Windkanälen. Um eine  $c_w$ -Wert-Messung aber auch in wirklichen Windkanälen durchführen zu können, werden Modelle im Maßstab 1:1 angefertigt.

Dein in Arbeitsblatt 6 gezeichnetes Automodell wird nun in ein Styropormodell umgesetzt. Mit diesem Modell kann man Fallversuche wie in Arbeitsblatt 12 zur  $c_w$ -Wert-Messung durchführen.

1. Recherchiere im Internet oder anderen geeigneten Quellen.

a) Styropor und Styrodur sind Handelsnamen einer verbreiteten Kunststoffart. Beschreibe, um welche Kunststoffart es sich handelt.

Styropor und Styrodur werden unter dem Begriff „expandierter Polystyrol-Hartschaum“ (EPS) bzw. „extrudierter Polystyrol-Hartschaum“ (XPS) verkauft.

b) Welche Eigenschaften hat diese Art Kunststoff?

Polystyrol ist ein geschäumter Werkstoff, der aus 1 mm–3 mm großen, zusammengebackenen Schaumkügelchen besteht. Er ist thermoplastisch verarbeitbar, leicht brennbar, wasserabweisend und wird von Lösungsmitteln (z. B. Benzin) zerstört.

c) Wo wird diese Kunststoffart häufig eingesetzt?

Zur Wärmedämmung, bei Verpackungen, um empfindliche Waren zu schützen.

2. Planung eines Styropormodells.

a) Bestimme einen Maßstab für dein Modell, indem du realistische Größen für dein Auto annimmst (z. B. durch Ausmessen eines Autos auf dem Schulparkplatz) und diese im Maßstab umrechnest. Das Styropormodell sollte nicht größer als 200 mm (Länge), 80 mm (Breite) und 50 mm (Höhe) sein.

b) Plane nun die Räder des Fahrzeugs und deren Maßstab. Damit die Proportionen des Fahrzeugs bei der späteren Montage stimmen, sollte die Größe der Räder bereits vor dem Schneiden festgelegt werden. Dazu kannst du entweder fertige Kunststoffräder besorgen oder dir diese selbst aus einem geeigneten Rundmaterial ablängen. Berechne mit der nebenstehenden Maßstabsberechnung, ob die Proportionen deiner Räder passen oder passe die Karosserie entsprechend der Radgröße an.

Beispielrechnung (Dreisatz):	
200 mm $\hat{=}$ 4500 mm (4,5 m Autolänge)	
1 mm $=$ x	
x = 22,5 mm	
Das Fahrzeug hat einen Maßstab von 1:22,5	

**Sicherheit beim Schneiden von Styropor/Styrodur:**

Styropor oder Styrodur lassen sich sehr gut mit einem heißen Draht schneiden.

Hierbei besteht Verbrennungsgefahr.

Außerdem entstehen giftige

Dämpfe, die man

nicht einatmen darf.



Räume gut lüften.  
Dämpfe nicht einatmen.  
Verbrennungsgefahr.

73 21 Ein Automodell aus Styropor schneiden

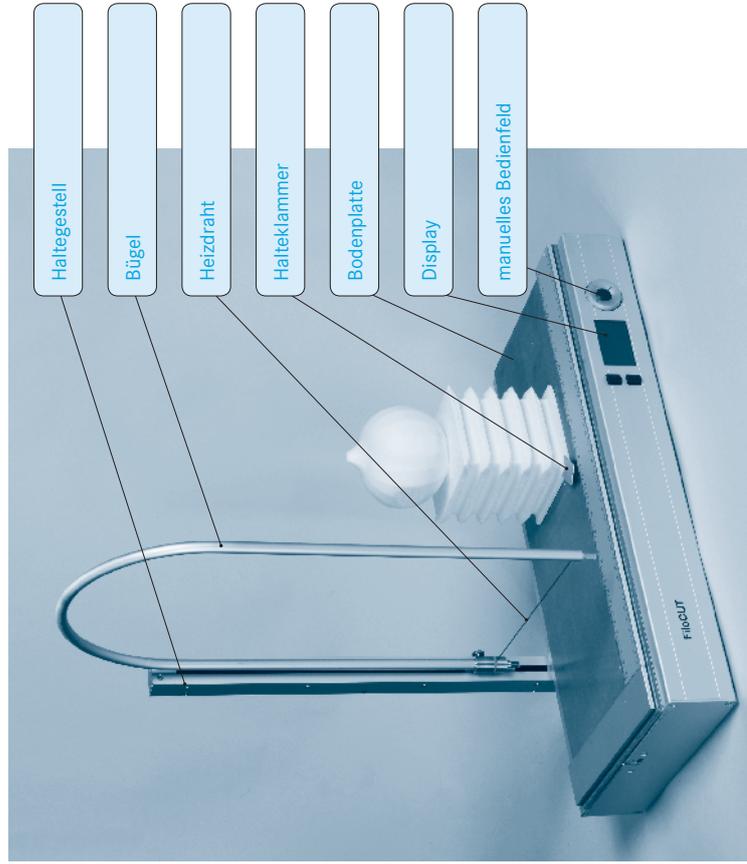
4. Computergestützte Herstellung eines Automodells mit einem Styroporschneider.

Alternativ zu einem von Hand geführten Styroporschneider lässt sich mithilfe eines Computers und einer angeschlossenen automatisierten Styroporschneidemaschine ein Automodell auch vollautomatisch herstellen. Im Folgenden wird das System FiloCut verwendet.

Eine computergestützte Styroporschneidemaschine besteht aus einer Bodenplatte, die sich vor- und zurückbewegt, und aus einem Haltegestell, an dem ein Bügel (ähnlich einer Laubsäge) auf- und abfährt. Zwischen den beiden Enden des Bügels ist ein spezieller Heizdraht gespannt. Durch die Bewegung in zwei Achsen lassen sich Profile aus einem Styropor- oder Styrodurblock heraus schneiden. Dieser wird mit entsprechenden Halteklammern auf der Bodenplatte fixiert. Um komplexere dreidimensionale Gebilde zu fertigen, muss das Modell nach dem Schneiden gedreht und für jeden Schneidwinkel eine eigene Datei mit dem notwendigen Schneidprofil anfertigt werden.

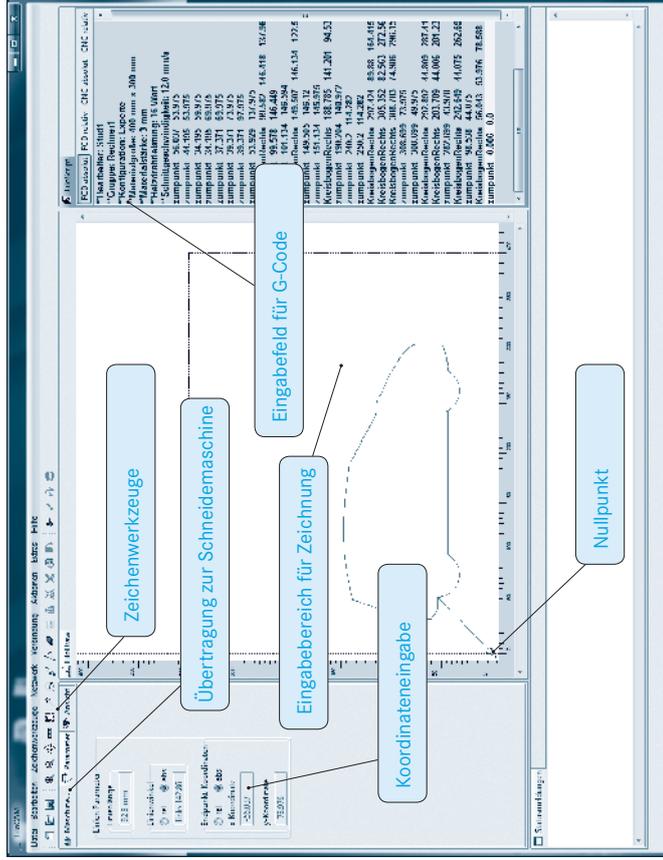
Gesteuert wird die Maschine durch ein mitgeliefertes Programm (im vorgestellten Fall FiloCAM). Innerhalb des Programms lassen sich entweder mithilfe eines maschinenspezifischen Codes (G-Code) oder grafischer Konstruktionen Schnittbahnen erstellen. Alle Bahnen müssen miteinander verbunden sein und im Ursprung starten. Jeder Schnittpfad sollte idealerweise am Ende aus dem Material herausfahren, da ansonsten der Draht mitten im Material endet und mit der Handsteuerung herausgehoben werden muss. Alternativ kann die Maschine auch ohne Computer über ein manuelles Bedienfeld gesteuert werden.

a) Benenne die Teile der computergestützten Styroporschneidemaschine.



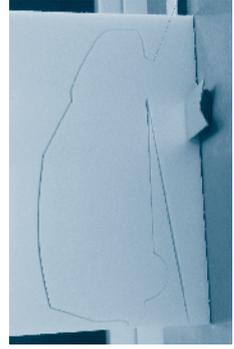
74 21 Ein Automodell aus Styropor schneiden

b) Hier siehst du die Oberfläche des CAD-Programms, mit dem die Datei zum Schneiden eines Styropormodells erzeugt werden kann. Benenne die Menüpunkte, die zur Bedienung der Software von Bedeutung sind. Verwende diese Begriffe: Nullpunkt, Koordinateneingabe, Eingabefeld für G-Code, Eingabebereich für Zeichnung, Zeichenwerkzeuge, Übertragung zur Schneidemaschine



c) Konstruktion und Fertigung eines automatisiert gefertigten Styropormodells.

- Konstruiere ein Fahrzeugmodell mit dem Programm FiloCAM. Du kannst als Grundlage deine Zeichnung des Automodells in Arbeitsblatt 6 verwenden.
- Achte darauf, dass die Bahnen zusammenhängend gezeichnet werden.
- Bevor der Arbeitsvorgang in der Maschine gestartet werden kann, müssen im Bereich „Übertragung zur Schneidemaschine“ die Materialdaten und die Heizleistung des Drahts korrekt eingestellt werden.
- Zum Schneiden muss über das Menü der Maschine der Ursprung der Schneideinheit angefahren werden.
- Dann wird das Styropor mit den magnetischen Halteklammern auf der Bodenplatte fixiert.
- Nach dem Schneiden kann die Styroporform entnommen werden.



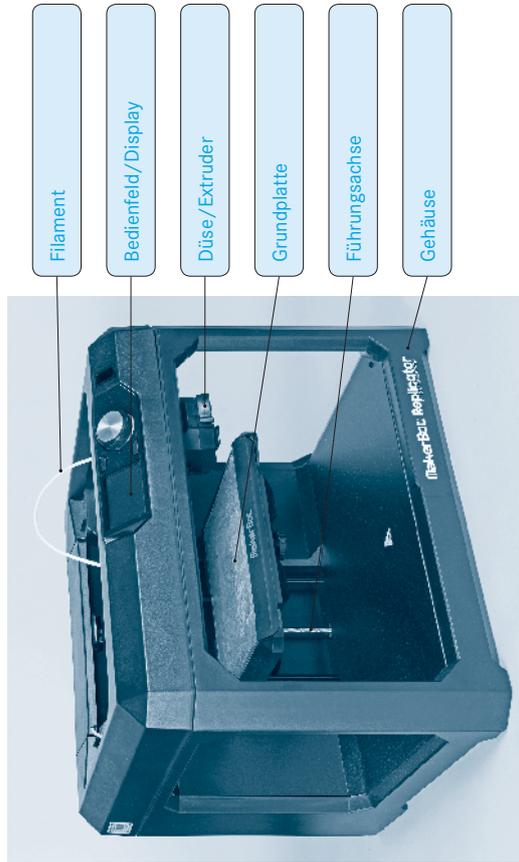
## 22 Ein Automodell aus Kunststoff drucken

Dreidimensionale Prototypen oder Ersatzteile lassen sich schnell und kostengünstig mit einem 3-D-Drucker fertigen. Als Rohstoffe für den „Druck“ können Kunststoff, Kunstharz oder auch Metalle verwendet werden.

### 1. Die Komponenten eines 3-D-Druckers für Kunststoff.

Ein 3-D-Drucker besteht aus dem Gehäuse und einer Düse (Extruder) sowie einer Grundplatte (Druckplattform), deren Höhe und Lage durch Führungssachsen verändert werden kann. Der Grundstoff für das Produkt wird der Düse als Filament (ein Polymerstrang) zugeführt. An der Düse wird der Kunststoff aufgeschmolzen und dosiert ausgegeben. Das Produkt wird dabei in dünnen Schichten nach und nach aufgebaut.

Benenne die einzelnen Komponenten des abgebildeten 3-D-Druckers.



### 2. Das Umwandeln der digitalen Daten.

Um einen 3-D-Druck durchzuführen, benötigt man ein digitales 3-D-Modell des gewünschten Produkts. Das Modell wird mit einer CAD-Software erstellt und im STL-Format gespeichert. Nach dem Überspielen der Datei teilt die Treibersoftware des Druckers das Modell in einzelne, etwa 0,1 mm dünne bzw. breite Schichten. Jede dieser Schichten wird dann schichtenweise aufeinander „gedruckt“. Dabei wird das Filament Lage um Lage aufgebracht.

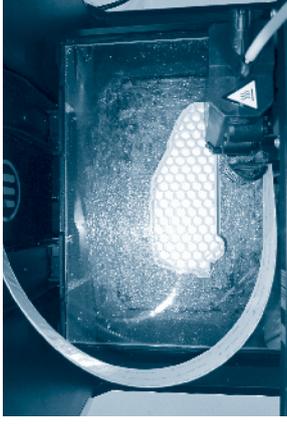
Recherchiere, was der Begriff „STL“ bedeutet und beschreibe die Eigenschaften von STL-Dateien.

STL bedeutet „Surface Tesselation Language“ (Tesselation = engl. für Mosaik, Kachelung, Parkettierung) oder „Standard Triangulation Language“ (deutsch sinngemäß „Sprache zur Beschreibung der Oberfläche durch Dreiecke“). Das Datenformat dient zur Bereitstellung geometrischer Informationen aus Datenmodellen zur Fertigung eines dreidimensionalen Produktes mittels computergestützter Fertigung.

### 5. Drucken des Produkts.

Über den Befehl PRINT wird der Druckprozess gestartet. Nach einer gewissen Aufwärmzeit der Düse reinigt sich der Druckkopf an einer vorgegebenen Stelle auf der Grundplatte und beginnt dann mit dem Druckvorgang. Dieser kann je nach Objektgröße und Einstellungen bis zu einem Tag dauern.

Nach Abschluss des Drucks wird mit einem Schraubendreher das fertiggestellte Produkt vorsichtig mitsamt der Bodenplatte von der Druckplattform gelöst. Danach lässt sich das Objekt an den entsprechenden Sollbruchstellen auch von der mitgedruckten Bodenplatte ablösen.



### 6. Berechnen der Druckkosten und des Zeitaufwands beim Drucken.

Bei der Produktion von gedruckten Teilen spielen die Druckkosten und der benötigte Zeitaufwand eine entscheidende Rolle.

a) Berechne, wie lange das Drucken eines Würfels mit  $1000 \text{ cm}^3$  dauert, wenn der Drucker für eine Schicht von 0,1 mm Dicke 19 Sekunden benötigt.

$$\frac{1000 \text{ mm}^3}{0,1 \text{ mm}} = 10000; 10000 \cdot 19 \text{ sec} = 5,28 \text{ Stunden (5 h, 16 min und 40 sec)}$$

b) Bestimme das Gewicht des Würfels mit einer Wandstärke von 1 mm, wenn 10 Meter Filament mit 1,75 mm Durchmesser etwa 30 g wiegen.

$$\text{Volumen Würfel: } 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen Hohlraum: } 9,8 \text{ cm} \cdot 9,8 \text{ cm} \cdot 9,8 \text{ cm} = 941 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen benötigtes Material: } 1000 \text{ cm}^3 - 941 \text{ cm}^3 = 59 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volumen von 10 m Filament: } \pi \cdot r^2 \cdot \text{Länge; } 3,14 \cdot (0,875 \text{ mm})^2 \cdot 10 \text{ m} = 24 \text{ cm}^3$$

$$\text{Gewicht der Figur: } 24 \text{ cm}^3 \triangleq 30 \text{ g; } \rightarrow 59 \text{ cm}^3 \triangleq 74 \text{ g}$$

$$\text{(Benötigte Filamentmenge: } 24 \text{ cm}^3 \triangleq 10 \text{ m; } 59 \text{ cm}^3 \triangleq 24,6 \text{ m)}$$

c) Was kostet das Material für den Würfel, wenn 1 kg Filament 28,00 € kosten?

$$\text{Gewicht der Figur: } 74 \text{ g, } 1000 \text{ g Filament kosten } 28,00 \text{ €}$$

$$\text{Materialkosten des Würfels: } \frac{28,00 \text{ €} \cdot 74 \text{ g}}{1000 \text{ g}} = 2,07 \text{ €}$$

### 7. Produzieren eines Modellautos.

a) Zeichne ein Modellfahrzeug mit den Maßen 100 mm x 50 mm x 15 mm in einem CAD-Programm. Vom Fahrzeug wird nur die Seitenansicht genutzt. Zur optischen Verfeinerung können die Räder hervorgehoben oder andere Konturen der Karosserie eingezeichnet werden. Speichere die Datei im STL-Format ab.

b) Beschreibe die notwendigen Schritte von der STL-Datei des CAD-Programms bis zum fertig gedruckten Modellauto.

- Öffnen der Druckersoftware.
- Importieren der STL-Datei in die Druckersoftware.
- Positionieren des Fahrzeugmodells auf der Grundplatte.
- Kontrolle der Maße und eventuelle Skalierungen.
- Anpassen der Druckeinstellungen (Genauigkeit, Supports und Infill).
- Exportieren der Datei auf einen USB-Stick.
- Laden der Datei vom USB-Stick in den Drucker.
- Starten des Druckvorgangs.
- Entnehmen des fertigen Modells und Entfernen der mitgedruckten Bodenplatte.

c) Drucke das Fahrzeugmodell unter Berücksichtigung der zuvor beschriebenen Arbeitsschritte aus. Verwende folgende Einstellungen: Standardauflösung, 10% Infill, Layerhöhe 0,2 mm.

d) Wie lässt sich das fertige Fahrzeug optimieren?

Die Oberfläche könnte abgezogen oder poliert werden, die Kanten könnten entgratet werden, das Fahrzeug könnte bemalt werden.



## 23 Ein Automodell aus Metall fräsen

Eines der Standardverfahren bei der computergestützten Fertigung von Produkten ist das CNC-Fräsen. Dabei wird eine Fräsmaschine auf einem Koordinatensystem durch einen Computer angesteuert und die eingespannten Materialien können sehr präzise bearbeitet werden. Die Ansteuerung der CNC-Maschine erfolgt mithilfe eines standardisierten Codes, dem G-Code. Mithilfe einer CAM-Software wird eine CAD-Zeichnung in diesen Code umgewandelt und an das Koordinatensystem gesendet. Meist wird mit dem Frässystem ein kombiniertes CAD/CAM-Programm mit grafischer Oberfläche geliefert. Dadurch lassen sich die Konturen des Werkstücks anhand grundlegender geometrischer Formen einfach zeichnen. Im Folgenden wird das System Kosy® verwendet, das ein kombiniertes CAD/CAM-System beinhaltet und mit der Software nccad® arbeitet.

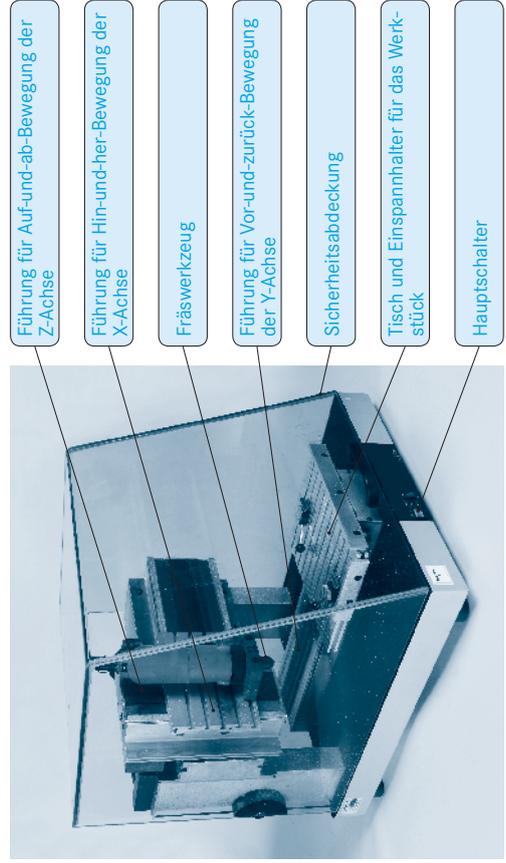
### 1. Erläutere die drei Begriffe aus dem Bereich der computergestützten Fertigung.

Benutze dazu diese Wortbausteine:

**Computer Aided Manufacturing, Computerized Numerical Control, Erstellen einer technischen Zeichnung mit einem Computer, Computer Aided Design, Verwendung einer Software zur Erstellung des Programmcodes für die computergestützte Fertigung, computergestützte Steuerung und Regelung von Werkzeugmaschinen**

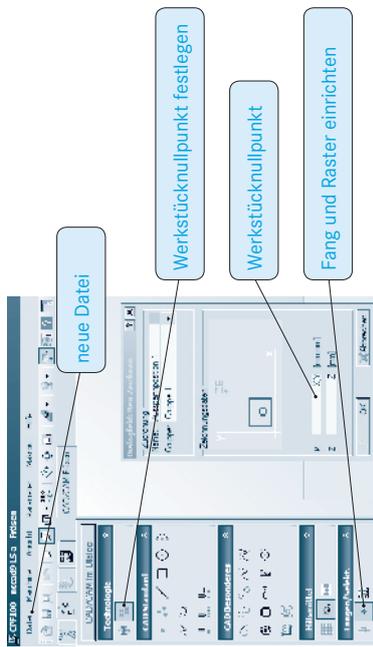
CAD	CAM	CNC
<p>englische Bedeutung: Computer Aided Design</p> <p>deutsche Übersetzung und Bedeutung: Erstellen einer technischen Zeichnung mit einem Computer</p>	<p>englische Bedeutung: Computer Aided Manufacturing</p> <p>deutsche Übersetzung und Bedeutung: Verwendung einer Software zur Erstellung des Programmcodes für die computergestützte Fertigung</p>	<p>englische Bedeutung: Computerized Numerical Control</p> <p>deutsche Übersetzung und Bedeutung: Computergestützte Steuerung und Regelung von Werkzeugmaschinen</p>

### 2. Beschrifte die Komponenten eines Koordinatentisches mit Fräsmaschine.

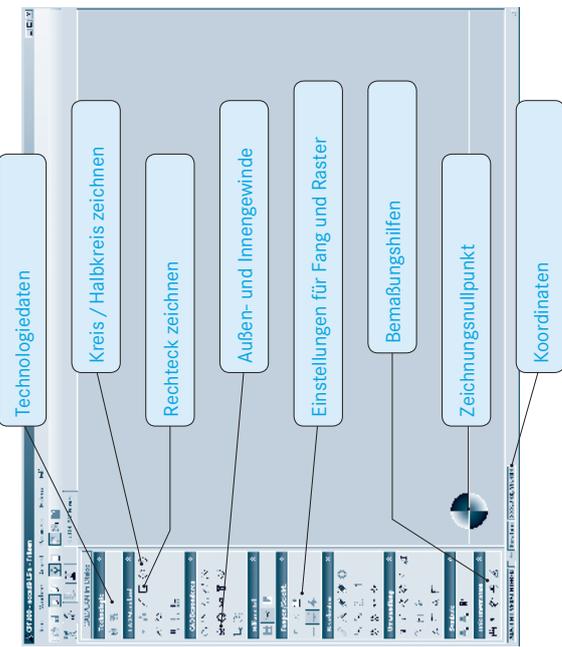


3. Aufbau und Handhabung eines CAD/CAM-Programms.

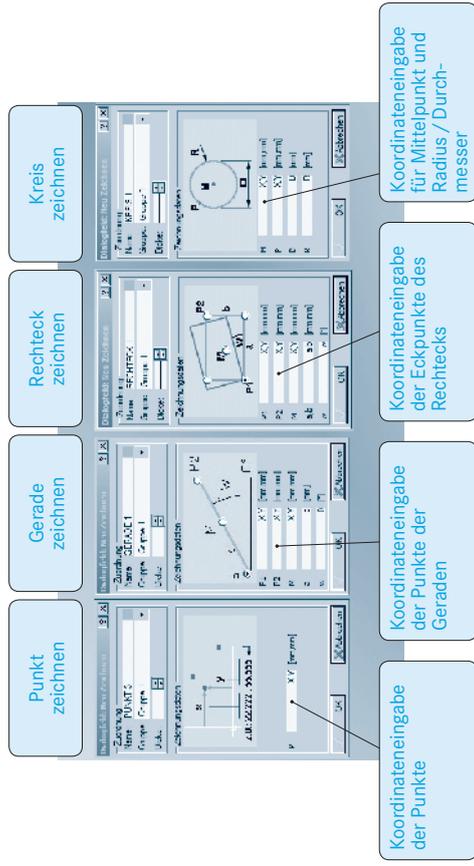
- a) Ergänze mithilfe des Programms nccad® die folgende Abbildung (Bildschirmkopie) und bearbeite die genannten Schritte.
  - Öffne im Programm nccad® eine neue Datei.
  - Lege die Werkstückabmessungen und das Material fest.
  - Lege den Werkstücknullpunkt der neuen Zeichnung fest.
  - Lege die Aussparung des Fräasers fest.
  - Bevor du mit der Erstellung einer Zeichnung beginnst, lege das Raster (die Fangfunktion) fest. Dieses gibt an, in welchem Abstand man mit der Maus die Konstruktionspunkte setzen kann (also die Genauigkeit).



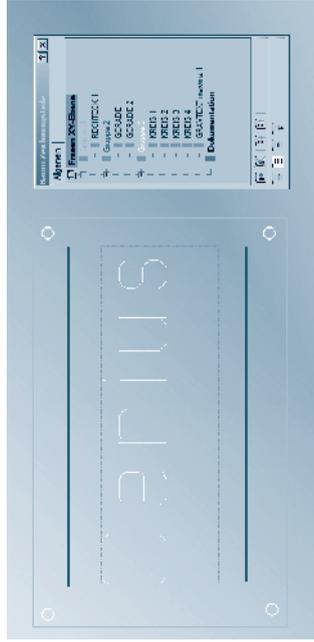
- b) Benenne die Teile der Oberfläche von nccad® (Bildschirmkopie) mithilfe des geöffneten Programms. Um mehr über die Elemente des Programms und ihre Funktionen zu erfahren, kannst du mit der Maus auf das entsprechende Symbol fahren und die F1-Taste drücken.



- c) Nachdem du die Eigenschaften der Programmoberfläche kennst und die Grundeinstellungen vorgenommen wurden, solltest du die einzelnen Zeichenwerkzeuge (Icons) testen und kennenlernen. Beschrifte die folgenden Dialogfenster mithilfe des geöffneten Programms.

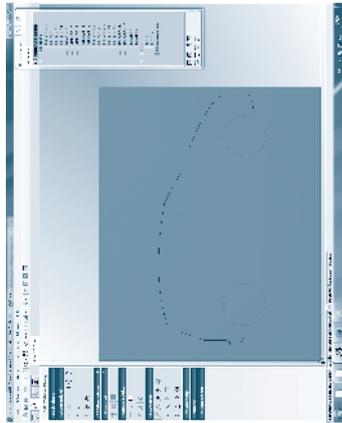


- d) Innerhalb von Zeichnungen kannst du zur besseren Strukturierung verschiedene Ebenen (Layer) verwenden. So können beispielsweise die Kontur des gezeichneten Objekts, evtl. Texte oder die Bemaßungslinien in jeweils eigene Layer gezeichnet werden. Jeder Ebene müssen eigene Merkmale zugewiesen werden, z. B. Linienart, Frästiefe usw. Durch Ein- und Ausblenden der einzelnen Ebenen kannst du gezielt und übersichtlich die Darstellung der Zeichnung anpassen. Erstelle eine Plakette mit deinen Initialen. Verwende für die Grundplatte und für die Buchstaben jeweils eine eigene Ebene.



**4. Zeichnen eines Fahrzeugmodells mit einem CAD-System.**

Nachdem du die Eigenschaften der Programmoberfläche kennst und die wichtigen Grundeinstellungen vorgenommen hast, fertige nun die Zeichnung eines einfachen Automodells an. Die Maße des Fahrzeugs betragen ca. 100 mm x 50 mm. Die Räder sollen in sinnvollen Proportionen dazu stehen.



**5. Von der CAD-Zeichnung zur CAM-Datei.**

Um eine Fräsmaschine mit einer CAD-Datei nutzen zu können, müssen zusätzliche Angaben, die sogenannten Technologiedaten, zugefügt werden. Dazu gehören Informationen, mit welcher Geschwindigkeit der Koordinatentisch gesteuert wird, wie tief der Fräser pro Bearbeitungsschritt ins Material eintauchen soll oder wie oft eine Bahn gefräst wird. Jedes Zeichnungsteil benötigt eigene Technologiedaten oder mehrere Teile werden gruppiert. Die Vorschub- und Drehgeschwindigkeit sowie die Frästiefe sind abhängig von Fräser und Material. Allgemein lässt sich sagen, dass bei härterem Material geringerer Vorschub und niedrigere Drehgeschwindigkeit verwendet werden, während bei weichem Material hohe Drehgeschwindigkeit und schneller Vorschub gewählt werden.

a) Ergänze die Bildschirmaufnahme mit den **Technologiedaten** des Programms. Füge danach die Technologiedaten zu deiner Zeichnung hinzu. Verwende für Holz den Vorschub 180 und die Teilzahlstellung 1 und für Aluminium jeweils die halben Werte. Die Gesamttiefe des Fahrzeugs hängt ab von der Dicke des verwendeten Materials.

**Auswahl der Fräsmaschine**

**Fräserwerkzeug**

**Angaben über Anfang und Ende der Fräs-bahn**

**Vorschub**

**Auswahl der Fräsmaschine**

**markierter Layer / Bauteil**

**Position des Fräasers an der Bahn**

**Frästiefe pro Durchgang**

**6. Fräsen eines Fahrzeugmodells.**

Wenn du alle beschriebenen Schritte abgearbeitet hast, kannst du dein Fahrzeug fräsen.

a) Benenne vor dem Fräsen die wichtigsten Punkte im Menü „Handsteuerung“. Trage die korrekten Begriffe ein.

**Ausspannposition anfahren**

**Maschinennullpunkt anfahren**

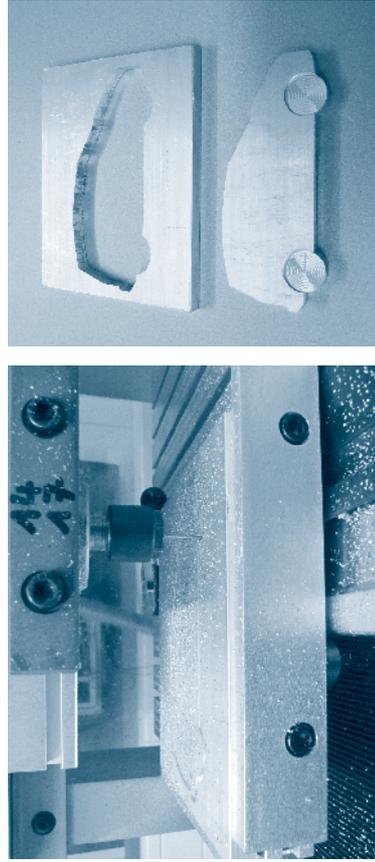
**Fräsvorgang starten**

**Koordinaten für den Werkstücknullpunkt**

**Stromversorgung für Fräse, Absaugung, ...**

**Fräsvorgang stoppen**

b) Starte nun im Menü „Maschine“ den Punkt „Handsteuerung“ und dort das Icon „Programm ausführen“. Wenn alles korrekt bearbeitet wurde, startet die Spindel der Fräsmaschine und der Produktionsprozess beginnt. Die Maschine sollte während des Fräsens jederzeit in Sichtweite sein, damit man bei Problemen eingreifen kann. Der Fräsvorgang lässt sich mit dem „Stop“-Icon stoppen.



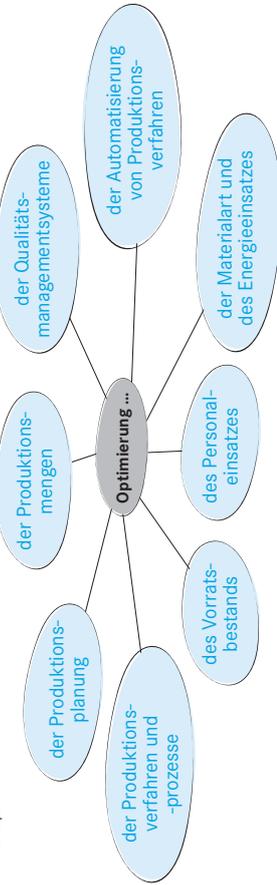
Beim Bearbeiten von Metall empfiehlt es sich sehr, den Fräser regelmäßig zu kühlen. Dazu sollte ein spezielles Bohrwasser verwendet werden. Mit einer Spritze oder einem Ölser lässt sich die Flüssigkeit gefahrlos an den Fräser gießen.

## 24 Optimierung von Produktionsverfahren und Werkstoffen

Moderne Produktionsmethoden erlauben eine immer effizientere Produktion von Waren. Hat beispielsweise früher die Produktion eines Lastertrawagens mehrere Wochen gedauert, kann ein modernes Fahrzeug bereits in einigen Stunden fertiggestellt werden. Nach wie vor ist es Ziel der industriellen Produktion, durch stetige Optimierung die Gesamtkosten zu senken und wettbewerbsfähig zu bleiben.

### 1. Optimierung der Produktion von Produkten.

a) Welche Komponenten und Aspekte können dazu beitragen, die Produktion von Produkten zu optimieren? Erstelle eine Mindmap.



b) Welche Gefahren könnten bei einer fortlaufenden Optimierung der industriellen Produktion entstehen?

Es wird evtl. nicht mehr genug Geld verdient (Die Wertschöpfung ist nicht mehr gegeben.). Damit verbunden kann die Zukunft des Unternehmens gefährdet sein. Es werden immer weniger Arbeitskräfte beschäftigt.

### 2. Die Herausforderung einer Produktionsoptimierung.

Um als Hersteller auf dem Weltmarkt konkurrenzfähig zu bleiben, muss in modernen Fabriken ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen den erbrachten Leistungen und den dafür aufgewendeten Kosten erreicht werden. Am Beispiel einer kleinen Firma lässt sich diese Herausforderung aufzeigen:

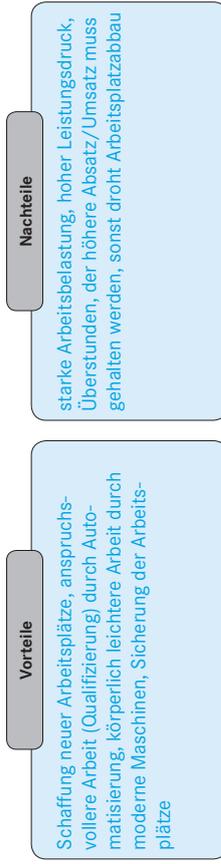
**Eine Firma stellt bisher jährlich 10 000 Fahrräder her. Auf einer Messe kann der Firmenchef einen Vertrag über die Lieferung von zusätzlich 30 000 Fahrrädern abschließen. Gemeinsam mit seinen 20 Arbeitskräften diskutiert der Chef Möglichkeiten, die Fertigung so zu verändern, dass die vierfache Menge an Fahrrädern produziert werden kann.**

a) Finde mindestens drei mögliche Lösungen für diese Herausforderung.

Neue Mitarbeiter/innen werden eingestellt. – Verbesserte technische Verfahren werden angewendet, die ein schnelleres Arbeiten ermöglichen. – Durch Investitionen wird der Einsatz von modernen Fertigungstechniken zur Automatisierung der Produktion ermöglicht. – Die Organisationsformen der Fertigung im Betrieb werden verändert. – Die Produktion wird in Länder mit niedrigeren Lohnkosten verlagert.

### 86 24 Optimierung von Produktionsverfahren und Werkstoffen

b) Welche Vorteile und welche Nachteile könnten bei einer so großen Steigerung der Produktion für die Arbeitnehmer entstehen?



3. Eine Mitarbeiterin sieht die Erweiterungspläne kritisch. Sie macht den Vorschlag, den Vertrag nicht abzuschließen, sondern das ganze Firmenkonzert zu ändern. Anstatt die Produktion zu erhöhen, schlägt sie vor, die Produktion zu verringern. Um trotzdem weiterhin Gewinne zu machen, soll sich die Firma spezialisieren. Sie schlägt vor, Fahrräder zu fertigen, die aus hochwertigen Bauteilen bestehen, individuell auf die Kunden und ihre Wünsche abgestimmt werden und deshalb auch relativ teuer sind.

a) Welche Vorteile hätte dieses Konzept für die Kunden?

Die Kunden können wählen zwischen verschiedenen Rahmenmodellen, Lackierungen, Schaltungen, Lichtanlagen, Pedalen, Sätteln, Lenkern, Laufrädern und Reifen. Die Räder werden individuell auf den Benutzer eingestellt (Rahmengröße, Sattelhöhe usw.) und die einzelnen Komponenten speziell auf die Bedürfnisse des Kunden abgestimmt.

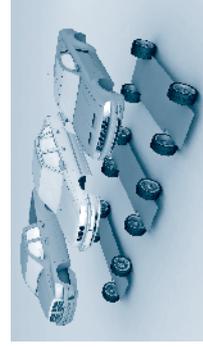
b) Welche Chancen und Risiken ergeben sich aus diesem Konzept?

Chancen: „Marktlücke“; hohe Zufriedenheit bei Kunden und Mitarbeitern; Qualitätsprodukte und qualifizierte Arbeit

Risiken: durch die Spezialisierung wird nur eine spezielle, kaufkräftige Käuferschicht angesprochen; das Unternehmen wird dadurch konkurrenzunfähig

### 4. Modellübergreifende Baukastensysteme.

Um die Produktionskosten zu senken, sind viele Fahrzeughersteller dazu übergegangen, in den unterschiedlichen Modellreihen die gleichen Komponenten zu verbauen (Plattformstrategie). Beispielsweise werden – ähnlich wie in einem Baukastensystem – eine Fahrzeugplattform oder Teile des Interieurs so konzipiert, dass die technischen Entwicklungen in unterschiedlichen Modellen verwendet werden können. Recherchiere, welche Komponenten bei der Plattformstrategie in der Regel gleich sind.



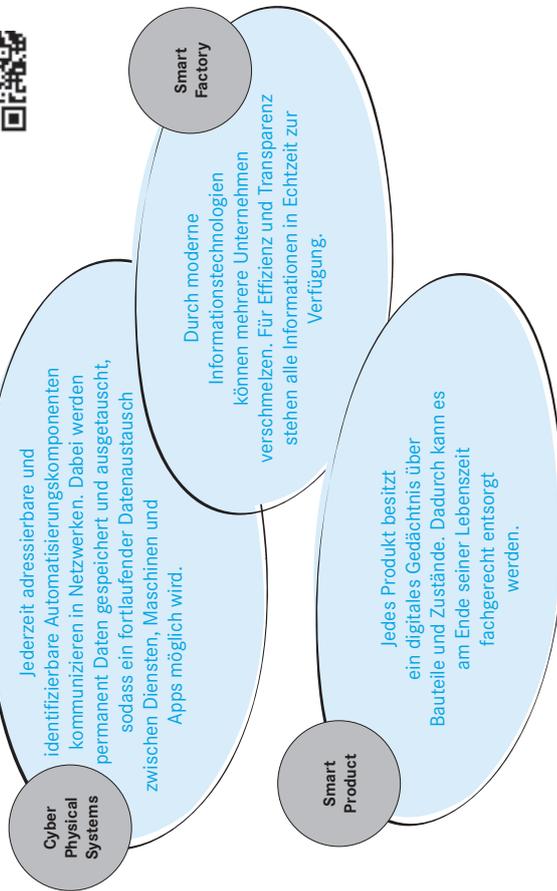
Bodenplatte, Motor, Getriebe, Radaufhängung, Teile der Elektrik/Elektronik bzw. des Kabelbaums, Sicherheits- und Komfortsysteme

**5. Industrie 4.0 – die nächste Revolution.**

Moderne Industrie-konzepte zielen auf die weitere Steigerung von Effizienz und Flexibilität im Unternehmen durch einen stärkeren Einsatz der Informationstechnik in allen Bereichen der Produktion. Dies beginnt beim Design und geht über die Auftragsbearbeitung und die Produktion bis hin zum Service. Dabei können die Stückkosten der einzelnen Produkte gesenkt und die Qualität erhöht werden. In dem knapp vierminütigen Videoclip „Industrie 4.0 – die nächste Revolution“ auf YouTube wird die Fabrik der Zukunft beschrieben ([www.youtube.com/watch?v=RVsKORCjGkw](http://www.youtube.com/watch?v=RVsKORCjGkw)).



a) Schaue dir das Video an und beschreibe, was in einer Fabrik der Zukunft unter folgenden Begriffen verstanden wird.



b) Welche Rolle soll der Mensch in der modernen Produktion spielen?

Menschen kommunizieren über Schnittstellen mit den Systemen und können über virtuelle Umgebungen Fehler schneller erkennen.

c) Welche Vorteile soll eine moderne Smart Factory haben?

Individualisierte Produkte zu den Kosten einer Massenfertigung, gezielte Prozessplanung, niedrige Stückpreise, signifikante Produktionssteigerung, Senkung der Energiekosten, Schonung von Ressourcen, Erhöhung der Effizienz/Sicherheit und Transparenz

**6. Die Optimierung von Werkstoffen.**

Es gibt unterschiedliche Ansätze bei der Optimierung der Produktion im Hinblick auf die Materialart und den Materialeinsatz. Beschreibe Optimierungsmöglichkeiten bei Werkstoffen.

<b>Werkstoffmenge</b>	Je weniger Material verbaut wird, desto leichter und kostengünstiger wird das Produkt.
<b>Werkstoffeigenschaft</b>	Moderne Werkstoffe haben optimierte Eigenschaften. Z. B. besitzt kohlefaserverstärkter Kunststoff eine höhere Zugfestigkeit als Stahl und ist um ein Vielfaches leichter.
<b>Werkstoffplatzierung</b>	Mit modernen Konstruktionsverfahren kann man ermitteln, wo in einem Produkt belastete oder unbelastete Stellen vorhanden sind. Entsprechend wird mehr oder weniger Material verbaut.
<b>Werkstoffgewinnung</b>	Zunehmend wird recyceltes Material verbaut. Die Kosten hierfür sind in der Regel geringer als die von neu gewonnenen Rohstoffen.

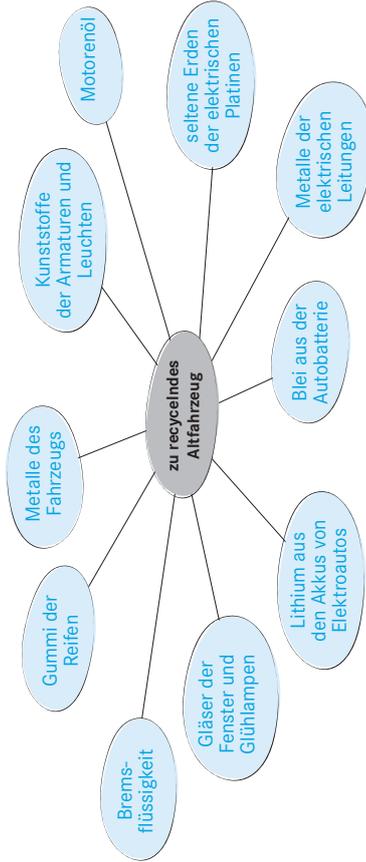
**7. Das Recycling von Werkstoffen.**

Jährlich werden in Deutschland etwa 1/2 Million Fahrzeuge entsorgt. Seit 1998 ist ihre Verwertung in einer Verordnung geregelt. Sie besagt, dass Fahrzeuge bei einer anerkannten Abnahmestelle fachgerecht zerlegt und die recycelbaren Teile wieder dem Produktionskreislauf zugeführt werden müssen.

a) Beschreibe, was mit noch funktionierenden Komponenten eines Altfahrzeugs geschieht.

Alle Komponenten, die noch funktionstüchtig sind, werden ausgebaut, eventuell runderneuert und als gebraucht weiterverkauft.

b) Erstelle eine Mindmap, welche Rohstoffe aus einem Fahrzeug zurückgewonnen werden können.



c) Welche Komponenten können nicht recycelt werden? Was geschieht mit ihnen?

Verbundwerkstoffe, Schaumstoffe und verunreinigte Flüssigkeiten sind zu teuer für eine Wiederaufbereitung. Die Stoffe werden z. B. auf Deponien gelagert oder verbrannt.

**Bildquellennachweis**

**9, 11** (außer rechts unten), **12 Mitte und unten** (außer Haifischhaut), **22, 25, 38, 39, 49, 57 unten Nr. 1–4, 65** (außer Nr. 5), **67**: thinkstockphotos; **11 rechts unten, 12 oben, 13, 14, 19, 23, 31, 32, 55 oben, 57 oben, unten Nr. 5–6, 60 unten, 61, 62, 65 Nr. 5**: Daimler AG; **17, 18 Mitte, 22 unten, 53, 54, 55 unten, 56, 58, 59, 60 oben, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 83 unten, 84 unten**: Till Traub (Rechte liegen bei Daimler AG); **12 rechts unten**: Hochschule Bremen Bionik-Innovations-Centrum HSB; **17 Mitte**: Fritz Hansen A/S; **17 unten**: BiC Group; **18 oben**: Coca Cola Deutschland; **18 unten**: IKEA Deutschland; **29, 30, 34, 47, 72**: Dr. Tilmann Berger; **50**: Stuttgarter Wochenblatt; **72, 74, 76, 80, 81, 82, 83 oben, 84 oben**: Dr. Stefan Kruse

**3. Auflage Dezember 2018**

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis § 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung des Verlages.

Auf verschiedenen Seiten dieses Heftes befinden sich Verweise (Links) auf Internetadressen. Haftungsnotiz: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich die Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Seiten treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail (p.woehner@klett-mint.de) davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Nachweis gelöscht wird.

Eine Zusammenarbeit der Genius-Initiative der Daimler AG und der Klett MINT GmbH

© Daimler AG, Stuttgart und Klett MINT GmbH, Stuttgart

**Autor:** Dr. Stefan Kruse, Schwäbisch-Gmünd

**Unter Verwendung von Materialien aus:**

Design und Aerodynamik – Kreativität und Strömungslehre. Lehrermaterial und Kopiervorlagen mit CD-ROM. Gymnasium Klassen 8 bis 10.

**Autoren:** Dr. Tilmann Berger, Sindelfingen; Helmut Graf, Wörth; Hans-Harald Hanson, Sindelfingen; Dr. Adelheid Löbert, Sindelfingen; Alexander Möbner, Sindelfingen; Volker Rust, Karlsruhe; Jürgen Springer, Karlsruhe

**Redaktion:** Hanne Lier, Medienwerk Lier, Stuttgart

**Projektkoordination und Herstellung:** Petra Wöhner

**Umschlag und CI:** Schwarz Gruppe Grafikdesign, Stuttgart

**Gestaltung Inhalt:** Bettina Herrmann, Stuttgart

**Illustrationen:** Alexander Schmitt, as-illustration, Rimpar; Grafische Produktionen Neumann, Rimpar; Daniel Scherer, Landau

**Bildbearbeitung:** Till Traub, Bildwerkstatt, Leonberg

**Presswerk:** Osswald GmbH & Co, Leinfelden-Echterdingen

**Reproduktion und Druck:** Medienhaus Plump, Rheinbreitbach

Wir reduzieren unseren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, indem wir die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die beim Druck, bei der Druckfarbenherstellung und beim Transport entstehen, ermitteln und dann durch den Kauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten neutralisieren. Mit dem Erlös der Zertifikate werden Klimaschutzprojekte finanziert. Diese Teilnahme an der Klimaschutzinitiative der deutschen Druckindustrie wird mit dem Zertifikat „Print geprüft“ aufgezeichnet.

Printed in Germany

Ziel des FSC® (Forest Stewardship Council®) ist es, die Wälder weltweit verantwortungsvoll zu bewirtschaften, bedrohte Arten zu schützen sowie die Lebensumstände der lokalen Bevölkerung zu verbessern. Wir beziehen das Papier für den Druck aus einer nachhaltigen Forstwirtschaft, die keinen Raubbau duldet und keine Abholzung betreibt.

ISBN 978-3-942406-09-3



9 783942 406093

# Download-Inhalte aus Design, Aerodynamik und Produktionstechnik

Alle Arbeitsblätter und Lösungen sind als Download abrufbar unter:

[www.genius-community.com/dap-material](http://www.genius-community.com/dap-material)

Hier finden Sie auch Folien, Hinweise und Download-Link zu FiloCut® und das Programm Solid Edge®

## Überblick

**Gesamtes Heft als PDF**

### Software

Solid Edge® SE4  
FiloCut® Sharewareversion –  
Link zum Download und ergänzende  
Hinweise zu Kapitel 21

### Modul 1: Wie Produkte entstehen

Lehrerinformationen  
Arbeitsblätter 1 bis 3  
Lösungen

### Modul 2: Design

Lehrerinformationen  
Arbeitsblätter 4 bis 9  
Lösungen  
6 Entwürfe skizzieren\_Vorlagen.pdf  
9 Folie Designprozess  
9 Folie Formfindung

### Modul 3: Aerodynamik

Lehrerinformationen  
Arbeitsblätter 10 bis 17  
Lösungen  
11 Dauerleistung\_Leistungsvergleich.jpg  
11 Dauerleistung\_Widerstand.jpg  
12 Trackeranleitung.pdf

### Modul 4: Produktionstechnik

Lehrerinformationen  
Arbeitsblätter 18 bis 24  
Lösungen  
21 Ergänzende Hinweise zu FiloCut.docx

