

Vom Rad zur Weltraumfahrt

Transportprobleme hatte der Mensch schon immer. Hunderttausende von Jahren lang ging er zu Fuß. Wasserläufe und sogar Meerengen überquerte er schwimmend oder mit der Hilfe von Baumstämmen, Flößen und Einbaum-Kanus. So erschloß er sich Afrika, die riesige eurasische Landmasse, das bei Eiszeiten damit verbundene Amerika und selbst Australien.

Tragen und getragen werden

Solange er nomadisierender Jäger und Sammler war, genügten dem Menschen Arme und Schultern, um erbeutete Tiere und eßbares Pflanzenmaterial zum Lager zu bringen. Bei der Jagd im Team – seit dem 8. Jahrtausend v.Chr. mit Hunden – konnten auch große Tiere erlegt und zerlegt werden; Tragstangen ermöglichten die Aufteilung der Last auf mehrere Mann. Beim Übergang zur Landwirtschaft änderte sich vorerst nicht viel, denn der Bauer lebte inmitten seiner Äcker, die Transportbedürfnisse blieben gering. Doch mit der Domestikation des Rindes (ca. 6500 v.Chr.), des Esels (ca. 4000 v. Chr.) und des Pferdes (Ca, 2500 v.Chr.) gewann er neben Fleisch-, Leder- und Milchlieferanten gleich auch Last- und Reittiere. Damit konnte er landwirtschaftliche Produkte in die Städte bringen, die sich dank Spezialisierung und Arbeitsteilung entwickelt hatten. Dort konnte er Werkzeug und Geräte erwerben und auf dem Rücken seines genügsamen Esels wieder nach Hause reiten.

Man trug oder wurde getragen, Jahrtausende lang, sogar noch in den frühen Phasen der ältesten Hochkulturen. Vornehme Ägypter ließen sich Anfang des 3. Jahrtausends v.Chr. in Sänften herumtragen, obwohl das Rad, einer der wichtigsten Durchbrüche der Technikgeschichte, bereits existierte. Wir wissen nicht, wo und wann es „erfunden“ wurde. Zum Transport von Steinblöcken für den Tempel- und Pyramidenbau verwendeten die Ägypter große, hölzerne Lastschlitten: die Kufen begoß man mit Wasser um die Reibung zu reduzieren. Es war ein beispielloser Geistesblitz, immer wieder runde Baumstämme unter die Kufen zu schieben: so ließ sich das Schleifen in eine abrollende, viel reibungsärmere Bewegung umwandeln.

Von der Rolle zum Rad

Der entscheidende nächste Schritt war die Einsicht, daß eine oder zwei Rollen genügten, wenn sie an der Last drehbar befestigt waren. Zumindest für den Transport leichter Güter wurde die Rolle zum Vollrad mit einer Nabe, die sich um eine starre Achse drehte (die mitdrehende Achse erschwerte das Kurvenfahren und bewirkte eine starke Abnutzung). Man bemerkte bald, daß die Festigkeit solcher Räder viel höher war, wenn man das Rad aus Brettern zimmerte, die in der Längsrichtung des Baumes

geschnitten waren. Nicht evident war der Ersatz des Vollrades durch das leichtere Speichenrad, wie auch die Fertigung von Rädern aus Bronze und Eisen.

Man vermutet, daß schon die Sumerer im ausgehenden 4. Jahrtausend Wagen mit Rädern benutzten. Doch die erste bildliche Darstellung eines Wagens mit Vollrädern findet man auf einem Flachrelief aus Ur in Mesopotamien; es wurde auf 2600 v.Chr. datiert. Solche Räder waren auch im jungsteinzeitlichen Europa bekannt. Auf 2000 v. Chr. datierte Tonmodelle von Speichenrädern fand man wiederum in Mesopotamien. In Ägypten hatten sich um 1600 v.Chr. die mit Vollrädern versehenen, schwerfälligen Schleppschlitten zu relativ leichten Karren und Wagen (mit zwei bzw. vier Rädern) für den Transport von Menschen und Gütern entwickelt. Und unvermeidlicherweise gab es damals schon den für kriegerische Zwecke bestimmten, leichten und wendigen Streitwagen.

Mitte des 3. Jahrtausends war das Rad in allen Hochkulturen der Alten Welt bekannt, d.h. in Nordafrika, im Zweistromland, in Indien und in China. Im vorkolumbianischen Zentralamerika (Mexiko) war das Prinzip des Rades bekannt, es wurden aber dort nur Spielzeugwägelchen gefertigt: Lasten mußte man tragen. Im Andengebiet Südamerikas verfügte man wenigstens über ein Tragtier: das zwischen 2500 und 1200 v.Chr. domestizierte Lama. Wegen seiner geringen Körpergröße (ca. 1,2 m Schulterhöhe) konnte man es aber nur mit 20 bis 30 kg belasten (zum Vergleich: ein Esel kann bis zu 90 kg tragen).

Den nordamerikanischen Indianern war das Rad kulturell so fremd, daß sie das von den Europäern übernommene Pferd nur als Reit- und Tragtier benutzten. Schwere Lasten hing man an eine lange Stange, deren Ende den Boden berührte und von einem Pferd geschleift wurde. Auf dem Eis war der leichte Hundeschlitten der Eskimos zum raschen Transport von Menschen und Jagdbeute dem Radfahrzeug ohnehin weit überlegen. Noch bis weit ins 20. Jahrhundert hinein war der Hundeschlitten das Transportmittel der Antarktis-Expeditionen. Auch auf dem australischen Kontinent, der bis zum Kommen der Europäer in einer steinzeitlichen Jäger- und Sammlerkultur verharrte, war das Rad völlig unbekannt, es gab auch keinerlei domestizierte Tiere.

Das Prinzip des Speichenrads mit Nabe, Speichen, Radkranz und Metallfelge hat sich bis heute nicht mehr verändert; Kutschenräder dieser Art werden weiterhin aus Holz gefertigt, sonst dominieren Stahl und Aluminium. Wichtige Verbesserungen waren die Erfindung des Rollenlagers durch die Kelten (ca. 6. Jh. v.Chr.) und der 1888 erstmals praktisch eingesetzte Luftreifen durch den schottischen Tierarzt John Boyd Dunlop

(1840-1921). Beim Auto hat sich, aus fabrikationstechnischen Gründen, das durchbrochene Metallvollrad durchgesetzt. Metallische Speichenräder findet man heute nur noch bei exklusiven Sport- und Luxuswagen, zur Gewichtseinsparung auch weiterhin beim Motorrad und Fahrrad.

Last- und Zugtiere

Die ersten Karren und Wagen wurden von Menschen gezogen. Diese Plackerei ersparten sie sich mit dem Einsatz des Ochsens als Zugtier. Das der Anatomie des Tieres vorzüglich angepaßte, auf dem Schultern ruhende Joch, an dem die Zugstange befestigt war, ermöglichte eine effiziente Kraftübertragung an die Last, sei es Pflug oder Wagen. Der Ochsenwagen ist langsam, bewegt er sich doch nur mit einer mittleren Geschwindigkeit von 4 bis 5 km/h. Doch ist der Ochse äußerst robust, folgsam und begnügt sich mit rauhem Gras und Stroh als Nahrung. Das Pferd ist wesentlich schneller, doch braucht es eine proteinreiche Nahrung; es ist heikler und empfindlicher als der Ochs.

Die Römer benutzten das Pferd vorwiegend als Pack- und Reittier, es konnte nur leichte Streit- und Sportwagen ziehen, weil man noch über kein geeignetes Geschirr verfügte. Erst das vermutlich in Gallien gegen Ende der Römerzeit erfundene Kummet verschob die Last vom empfindlichen Hals auf die Schultern des Tieres. Im Mittelalter setzten sich Pferd und Maultier als Zugtiere dank dem Kummet definitiv durch. Das asiatische Kamel und das um 1200 v.Chr. domestizierte afrikanisch-arabische Dromedar sind bis heute Reit- und Tragtiere geblieben. Dasselbe gilt für den nur gezähmten und nicht domestizierten asiatischen Elefanten, während das arktische Rentier auch Schlitten ziehen muß.

Einbaum, Floß und Boot

Aufgrund der hohen Kosten und der Risiken des Transports über Land, haben alle Hochkulturen, wo immer möglich die viel weniger aufwendige Flußschiffahrt eingeführt. Der Übergang vom Floß über den steinzeitlichen Einbaum zum Boot und zum Schiff, die man ruderte und/oder segelte, erfolgte erstaunlich rasch. Die Ägypter benutzten schon im 4. Jahrtausend v. Chr. Papyrusboote, die offensichtlich vom Floß aus Bündeln von Papyrusrohr abgeleitet wurden. In Mesopotamien entstanden die Guffas genannten Rundboote, die aus einem mit Tierfell bespannten Holzgerüst bestanden. Der Einbaum entwickelte sich zu dem aus hölzernen Planken zusammengefügteten Bretterboot, das man zu segeln lernte.

Auf dem Nil verkehrten schon um 2600 v.Chr. Boote mit beweglichen Segeln, die mit langen, am Heck befestigten Riemen gesteuert wurden. In Mesopotamien wurden die Boote flußaufwärts gestakt oder getreidelt, flußabwärts ließ man sie treiben. Auch in China gab es schon vor über 2000 Jahren eine rege Flußschiffahrt mit Dschunken, d.h. flachgängigen, aus Holzplanken gefertigten Segelbooten, die sich bis heute kaum verändert haben.

Daß die ägyptischen Papyrusboote durchaus seetüchtig waren, bezeugte der Abenteurer Thor Heyerdahl, der mit einem Nachbau über den Atlantik segelte. Doch die Ägypter wie auch alle anderen seefahrenden Völker der Antike blieben mit ihren Schiffen stets in der Nähe der Küste. Auch auf diese Weise kann man viel über die Welt lernen. So fuhr ein Ägypter namens Isesi 2400 v.Chr. durch das Rote Meer bis Somalien. Und Herodot berichtet, daß Necchos um 600 v.Chr. auf Geheiß des Pharaos ganz Afrika umsegelte. Bei Flaute mußte die Besatzung rudern. Dies galt auch für die Galeeren und Frachtensegler der Griechen, Römer und weiterer Mittelmeervölker, von denen sich nur die Phöniker in den Atlantik bis Madeira, die Kanarischen Inseln und nordwärts bis Cornwall hinauswagten.

Hochsee-Schiffahrt

Die Araber und Chinesen beherrschten die Hochsee schon um 1000 v.Chr. Im Indischen Ozean verkehrten damals die schweren arabischen Segelfrachter zwischen Basra und der afrikanischen Ostküste. Aus diesem Schiffstyp entwickelten sich die chinesischen Hochsee-Dschunken, die bis zu 1500 Personen aufnahmen und im Mittelalter regelmäßig zwischen Kanton und Ceylon verkehrten. Sie waren mit Kompaß (seit dem 12. Jh.), Senklot, Logleine und Seekarten ausgerüstet. Im China wurden im 6. Jh. n.Chr. auch große Landsegler gebaut, die bis zu 30 Personen transportierten und anscheinend pro Tag mehrere Hundert Kilometer zurücklegen konnten. Diese Erfindung, die anscheinend schon 1800 v.Chr. in Ägypten gemacht wurde, hatte aber keine langfristigen Konsequenzen.

Im Atlantik kolonisierten die Wikinger im 8. bis 10. Jahrhundert Island, Grönland und kurzzeitig sogar Neufundland mit ihren hervorragend seetüchtigen Schiffen. Davon abgeleitet waren die Normannenschiffe, die sich ihrerseits zur Kogge, dem Handelsschiff der Hansezeit im 12. bis 16. Jh. weiterentwickelte. Parallel dazu entstand im Mittelmeerraum die Karavelle. Diese beiden Schiffstypen standen den großen Segelschiffen des 15. bis 19. Jh. zu Pate. Plankenbauweise und an Masten ausgespannte Segel blieben bis im 19. Jahrhundert die Grundprinzipien des Schiffbaus. Revolutionäre Neuerungen bedeuteten dann der Übergang zu vernietetem

bzw. verschweißten Eisen- oder Stahlkonstruktionen, sowie der Antrieb mit der 1765 von James Watt erfundenen Dampfmaschine (ab 1802), der Dampfturbine von de Laval (ab 1900), dem Dieselmotor (ab 1910) und der Gasturbine (ab 1956), letztere spezifisch für den Marinebereich zum Antrieb von Fregatten, Korvetten und Zerstörern.

Straßen und Kanäle

Landtransport, sei es mit Last- oder Zugtieren, war bis zum Kommen der Eisenbahn langsam und kostspielig; 40 km waren eine gute Tagesleistung, der Transport von Waren über 500 km verdoppelte ihren Preis. Dies lag an der geringen Leistung der Zug- und Packtiere wie auch am Zustand der Straßen. Wohl bauten die Römer zur militärischen Sicherung ihres Imperiums ein äußerst bemerkenswertes System von Fernstraßen, von denen 46 in Rom konvergierten. Das römische Straßennetz umfaßte 90'000 km Hauptstraßen und 200'000 km Nebenstraßen. Die längste Hauptstraße, die Via Sacra war 6000 km lang und führte von Nordengland nach Jerusalem. Der Unterbau dieser frostsicheren und gut drainierten, ein volles Jahrhundert lang nur eine minimale Wartung benötigenden Straßen, war bis zu 1,2 m dick.

Doch im Mittelalter zerfielen große Teile der römischen Straßen. Das Reisen und der Gütertransport wurden so beschwerlich, daß man wo immer möglich auf die Flußschifffahrt auswich, die mehr und mehr durch Kanäle erweitert und ergänzt wurde. Solche Bauten waren nichts Neues: schon die Ägypter, Mesopotamier und Chinesen der Antike hatten Kanäle gebaut, die mehrere Hundert Kilometer lang sein konnten. Karl der Große versuchte, den Rhein über den Main mit der Donau zu verbinden. Doch das Unternehmen scheiterte wegen den erheblichen Höhenunterschieden: die klassische Kammerschleuse war erst gegen Ende des 14. Jahrhunderts verfügbar.

Aber dann konnten große Kanalsysteme gebaut werden: im 15. Jh. in den Niederlanden, im 16. Jh. in Frankreich, im 17. Jh. in Preußen, im 18. Jh. in Großbritannien, Rußland und den USA. Sie wurden vom ersten Drittel des 19. Jh. an durch die Eisenbahn konkurrenziert: parallel dazu unternahmen alle Staaten enorme Anstrengungen, um das so lange vernachlässigte Straßennetz herzurichten und auszubauen. Viele kleine Kanäle verloren ihrer ursprüngliche Daseinsberechtigung, werden aber heute gerne von Privatbooten befahren.

Das eiserne Roß

Als schnelles Massenverkehrsmittel löste die Eisenbahn im 19. Jh. Entwicklungssprünge technischer, wirtschaftlicher und sogar politischer Art aus. Sie ging aus den Holzspurbahnen der spätmittelalterlichen Bergwerke hervor, auf denen Menschen oder Pferde die mit Erz beladenen Wagen bewegten. Als Gußeisen in großtechnischen Mengen verfügbar wurde, ersetzte man die wenig dauerhaften Holzschienen durch Eisenschienen. Zum Transport von Kohle im Revier Newcastle setzte sich diese Innovation im zweiten Drittel des 18. Jahrhunderts durch, bald auch in Shropshire und in den Kohlenrevieren von Südwales und Yorkshire. Um 1800 gab es in Großbritannien Schienenwege von insgesamt etwa 500 km Länge, auf denen von Pferden gezogene, mit Kohle beladene Waggons mit Spurkranz-Eisenrädern verkehrten. Es war naheliegend, auf diese effiziente Weise auch Personen zu transportieren. Eine öffentliche, zweigleisige Pferdeeisenbahn verkehrte 1803 auf der 16 km langen Strecke zwischen Wandsworth und Croydon im heutigen London.

Es fehlte also nur noch das „Dampfross“. Schon James Watt (1736-1819), der 1765 die Dampfmaschine erfunden hatte, dachte an deren Anwendung zum Bewegen von Schienenwagen; 1784 ließ er das Konzept der Lokomotive mit einer Niederdruck-Dampfmaschine patentieren. Doch war diese für den mobilen Betrieb zu groß und zu schwer. Erst zwanzig Jahre später baute der in Cornwall geborene Robert Trevithick (1771-1833) eine Lokomotive mit einer Hochdruck-Dampfmaschine, die in Südwales einen Zug von fünf Waggons beladen mit 10 Tonnen Roheisen auf 9 km/h beschleunigte. Doch die spröden gußeisernen Schienen hielten dem Gewicht der 5 Tonnen schweren Lokomotive nicht lange stand: es gab immer wieder Schienenbrüche, nach 5 Monaten wurde der Betrieb eingestellt. Die Lösung brachte erst die Entkohlung des Gußeisens zum zähen Stahl, der zu Schienen ausgewalzt wurde.

Von der „Rocket“ zum ICE

Zu einem echten Erfolg wurde die Lokomotive des britischen Ingenieurs George Stephenson (1781-1848). Das erste Exemplar, die „Rocket“ baute er 1814 zum Kohletransport im Newcastle-Revier. Als 1821 eine Pferdeeisenbahn zwischen Stockton und Darlington, 40 km südlich von Newcastle geplant wurde, überzeugte er die Aktionäre, sein Konzept einer Dampfisenbahn zu übernehmen. So fuhr 1825 der erste für die Personenförderung bestimmte Zug von sechs Wagen über die Strecke, gezogen von Stephensons „Locomotion“ - mit Geschwindigkeitsspitzen bis 24 km/h. Die Lokomotive war mit einem modern anmutenden Röhrenkessel ausgerüstet, der

eine große Heizfläche auf kleinem Raum verwirklichte. Fünf Jahre später wurde die etwa 35 km lange Eisenbahnlinie Liverpool-Manchester eröffnet; sie erwies sich als höchst profitabel.

Damit war der Durchbruch erzielt: in den folgenden Jahrzehnten überzog sich die ganze Welt mit einem immer dichter werdenden Schienennetz. Wenn man die Nebenstrecken ausklammert, beträgt dessen heutige Länge gut 1,5 Millionen Kilometer. In den USA mit seinen riesigen Distanzen, genügte es bald nicht mehr, den Passagieren Sitze anzubieten. So entwickelte George M. Pullman 1858 den nach ihm benannten, wirklich bequemen Schlafwagen. Diesel- und Elektrotraktion gab es schon zu Beginn des 20. Jh. Sie verdrängten die Dampftraktion in den Industrieländern nach dem Zweiten Weltkrieg definitiv; um 1970 waren Dampflokomotiven dort weitgehend verschwunden.

Vorläufige Höhepunkte der Bahntechnik sind die superschnellen Züge: Shinkansen in Japan (250 km/h), TGV in Frankreich (300 km/h), ICE in Deutschland (250 km/h). Bei den städtischen Straßenbahnen konnte sich die Dampftraktion wegen des Lärms und der Immissionen nicht durchsetzen: man verwendete anfänglich das Pferd als Zugmaschine (New York 1832, Paris 1854). Doch ein Vierteljahrhundert später wurde es durch den Elektromotor verdrängt: die erste elektrische Straßenbahn führte Werner von Siemens 1879 in Berlin vor.

Fahrrad und Motorfahrzeuge

Das im 19. Jahrhundert stark verbesserte und ausgebaute Straßennetz förderte auch Erfindungen, die den Individualverkehr ermöglichten. So baute der Freiherr Drais von Sauerbronn 1817 ein zweirädriges Fahrzeug, auf dem man sich sitzend fortbewegen konnte; der Antrieb erfolgte durch Abstoßen mit den Füßen. Diese sog. Draisine war der Vorläufer des Fahrrads, das sich nach 1860 dank dem Pedalantrieb zu einem ungeheuer populären Fahrzeug entwickelte. Das Hochrad ermöglichte höhere Geschwindigkeiten, war aber wegen seiner Instabilität gefährlich. Um 1890 setzte sich das Sicherheitsrad durch, mit zwei etwa gleich großen Rädern und Antrieb des Hinterrads über eine Kette. Zudem wurden die bisherigen Vollgummireifen durch Luftreifen ersetzt: das moderne Fahrrad war geboren.

Den Wunsch, das mühsame Treten zu ersparen, erfüllte sich als erster der Franzose M. Perreaux, der 1868 ein Stahl-Fahrradgestell mit einem kleinen Dampfmotor versah. Gottlieb Daimler war der Konstrukteur des ersten deutschen Motorrads (1885): das Holzgestell mit Speichenrädern wurde von einem Petroleummotor angetrieben. Zehn

Jahre später baute Carl Benz ein Dreirad mit 1 PS-Benzinmotor, dessen Form sich noch stark an die Pferdekutsche anlehnte. Das 1898 von Albert de Dion und Georges Bouton in Frankreich gebaute Dreirad mit Benzinmotor und Luftreifen andererseits macht bereits einen modernen Eindruck.

Obwohl der Belgier Étienne Lenoir (1822-1900) schon 1863 Fahrversuche mit einem Gasmotorwagen machte, gilt Gottlieb Daimlers 1886 gebaute, vierrädrige Motorkutsche als Vorgängerin des Automobils: ihr Einzylindermotor hatte eine Leistung von 1 PS. Die neuen Benzinkutschen waren nicht nur eine Konkurrenz für die klassische Pferdekutsche, gab es doch schon lange dampfbetriebene Landfahrzeuge. Das erste, funktionierende Exemplar baute 1769 der französische Ingenieur Joseph Cugnot (1725-1804). Nach 1830 fuhren zahlreiche Dampfautos auf den Straßen Englands und der USA. Wegen ihres hohen Gewichts, der umständlichen Kohlefeuerung und des Wasserbedarfs konnten sie sich aber nicht langfristig durchsetzen, auch nicht als der flüssige Brennstoff Petrol verfügbar wurde.

Das Elektromobil als saubere und leise Alternative war in den 1880er Jahren in der Form von Lastwagen recht erfolgreich; zehn Jahre später folgten elektrische Personenwagen. Ihre Handikaps waren die geringe Reichweite und die langen Ladezeiten der damaligen Bleibatterien, abgesehen vom hohen Preis. Das „Rennen“ zwischen Dampfwagen, Elektromobil und Benziner war aber 1900 noch durchaus offen. Damals wurden in den USA 4000 Straßenfahrzeuge hergestellt; nur 22% davon waren Benzinwagen, 38% Elektromobile, 40% Dampfwagen. Doch während Elektro- und Dampfmotoren bereits ihre damaligen Grenzen erreicht hatten, war das Entwicklungspotenzial des Benziners immens: ab 1910 gab es kaum noch Alternativen. Nur im Bereich der Lastwagen, Baumaschinen und Schiffe setzte sich die von Rudolf Diesel (1858-1913) 1892 patentierte, selbstzündende Hochdruck-Verbrennungsmaschine aufgrund ihrer Sparsamkeit und Langlebigkeit sehr weitgehend durch. Von den Personenwagen andererseits sind weltweit weniger als 15% mit einem Dieselmotor ausgerüstet.

Ballon, Luftschiff und Flugzeug

Es ist interessant festzustellen, daß der Mensch die Luft eroberte, lange bevor die erste Eisenbahn fuhr. Nach Vorversuchen mit Tieren ließen nämlich die Gebrüder Joseph und Etienne de Montgolfier (1740-1810 bzw. 1745-1799) im November 1783 den von ihnen gebauten, bemannten Heissluftballon bei Paris aufsteigen. Die Testpiloten waren Jean-François Pilâtre de Rozier und der Marquis d'Arlandes. Wenige Tage später gelang dem Physiker Jacques-Alexandre Charles (1746-1823) ein Flug mit seinem

Wasserstoffballon. Diese ersten Fluggeräte erregten ungeheures Aufsehen und bald wurden Ballons für die militärische Fernaufklärung eingesetzt.

Ihre hauptsächlichsten Nachteile, die mangelnde Steuerbarkeit und die Abhängigkeit vom Wind, überwand das von Henry Giffard (1825-1882) erfundene, von einer Dampfmaschine angetriebene, zigarrenförmige Luftschiff. Doch erst der Benzinmotor war leicht genug, um dem Luftschiff den erforderlichen Vortrieb zu geben. Erfolgreich im Luftschiffbau wurde Ferdinand Graf von Zeppelin, der ein starres Luftschiff mit Aluminiumgerüst, darin eingeschlossenen Gaszellen sowie Propellerantrieb konzipierte. Der 128 m lange Prototyp absolvierte seinen Jungfernflug 1900 über dem Bodensee; 1932 wurde ein regelmässiger Luftschiffverkehr zwischen Europa und Südamerika eingerichtet. Doch mit dem Brand des 245 m langen, wasserstoffgefüllten Zeppelins „Hindenburg“ südlich von New York mit 30 Todesopfern war die Ära der Luftschiffe abgeschlossen.

Das schnellere und besser lenkbare Flugzeug beherrschte ohnehin schon seit dem Ersten Weltkrieg den Himmel. Seine Anfänge gehen weit zurück, gilt doch der fast vergessene Sir George Cayley als Vater des Flugzeugs. Cayley experimentierte seit 1804 mit Gleitflugzeugen, 1849 soll ihm der erste „bemannte“ Flug gelungen sein: an Bord befand sich ein zehnjähriger Junge. Die Physik des Flugzeugflügels und den damit generierten Auftrieb klärte aber erst Otto Lilienthal auf (1848-1896), der 1891 einen ersten, 25 m langen Gleitflug durchführte. Sein Flugzeug war aus Weidenrohr und imprägniertem Baumwollstoff gebaut.

Von Lilienthals Publikationen fasziniert waren u.a. zwei amerikanische Fahrradmechaniker in Dayton (Ohio): Wilbur Wright (1867-1912) und sein Bruder Orville (1871-1948). Für ihren „Flyer 1“ bauten sie eigenhändig einen besonders leichten Benzinmotor. Dies ermöglichte im Dezember 1903 den ersten, 12 Sekunden dauernden Motorflug der Geschichte. Nachdem gezeigt worden war, daß ein motorbetriebenes Flugzeug technisch möglich war, konnte plötzlich jedermann solche Maschinen bauen. Im Ersten Weltkrieg wurden weltweit etwa 200'000 Flugzeuge gebaut, mit denen man die feindlichen Linien fotografierte, mit Maschinengewehren schoß und Bomben warf.

Die wichtigsten Meilensteine der weiteren Entwicklung des Flugzeugs waren in der Zwischenkriegszeit die Ganzmetallkonstruktion aus hochfesten Aluminiumlegierungen, die Druckkabine, das einziehbare Fahrwerk und der Verstellpropeller. Dazu kam gegen Ende des Zweiten Weltkriegs das Strahltriebwerk. Mit den heutigen,

hocheffizienten Jets fliegen Hunderten von Passagieren ohne Zwischenhalt mit einer Geschwindigkeit von 900 bis 1000 km/h um die halbe Erde. Die britisch-französischen Concorde flog 1976 bis 2000 sogar mit doppelter Schallgeschwindigkeit jeweils 100 Passagiere über den Atlantik. Doch nach einem tragischen Unfall in Paris wurde der Concorde die Fluglizenz entzogen. Mit Überschall fliegen heute nur noch Militärmaschinen.

„Sputnik“ und Raumstation

Der Weltraum war für den Menschen die letzte und schwierigste Herausforderung. Konventionelles Fliegen versagt, weil es dort keine

tragende und als Oxydationsmittel für den Treibstoff wirkende Luft gibt. Man ist darum auf die Rakete angewiesen, bei welcher der Rückstoß gerichtet ausgeworfener, heißer (u.U. ionisierter) Gase den Vortrieb erzeugt. Als Feuerwerkskörper und Waffe wurden Raketen schon im 12. bis 13. Jh. von den Chinesen verwendet. In Europa hatten militärische Raketen nie eine große Bedeutung, weil man über zielsichere und hochwirksame Kanonen verfügte. Nur in der Sowjetunion wurde die Raketentechnik als Alternative zur Artillerie weiterentwickelt, was zur gefürchteten „Stalinorgel“ führte, die bis zu 48 Raketengeschosse gleichzeitig abschießen konnte. Auf der Basis theoretischer Arbeiten des Russen K.E. Ziolkowski, der Amerikaners R.H. Goddard und des Deutschen H. Oberth entwickelte während des Zweiten Weltkriegs ein Team unter Wernher von Braun die Flüssigkeitsrakete A4 (sog. V2) zum Einsatz gegen England mit einer Nutzlast von 980 kg Sprengstoff.

Diese Arbeiten hatten keinen Einfluß auf den Ausgang des Krieges, dienten aber sowohl den USA wie der damaligen UdSSR als Basis für die Entwicklung taktischer und strategischer Raketen mit konventionellen und nuklearen Sprengsätzen. Viel besser als die USA begriff die Sowjetunion die propagandistische Bedeutung der Raumfahrt: kurz nacheinander brachte sie den ersten künstlichen Satelliten („Sputnik“, 1957), das erste Lebewesen (eine Hündin namens „Laika“, 1957) und den ersten Menschen (Jurij Gagarin, 1961) auf eine Erdumlaufbahn. Die USA holten bald auf: die Krönung ihres zivilen Raumfahrtprogramms war die Landung von Neil Armstrong und Edwin Aldrin im Juli 1969 auf dem Mond. Es war ein grandioses, 24 Milliarden Dollar kostendes Abenteuer, doch irgendwelchen Nutzen brachte die Erkundung des Mondes durch insgesamt 12 Menschen der Apollo-Expeditionen nicht. Äußerst wertvoll für die Forschung waren jedoch die Proben von Mondgestein, die zur Erde zurückgebracht wurden

Eine enorme Bedeutung haben andererseits die Fernmelde-, Wetter- und Fernerkundungssatelliten erlangt. Wissenschaftlich von höchstem Interesse war auch die Erforschung des Sonnensystems mit unbemannten Raumsonden. Von den 70er Jahren an wurden die seit Jahrtausenden nur als Lichtpunkte bekannten Planeten, ihre Monde und Ringe (mit Ausnahme des Doppelplaneten Pluto-Charon) mit hoher Auflösung abgebildet und wo möglich kartografisch erfaßt. Den Großteil dieser neuen Erkenntnisse brachten die beiden amerikanischen Voyager-Sonden, die 1979 den Jupiter, 1981 den Saturn, 1986 den Uranus und 1989 den Neptun passierten. Die vergleichsweise so nahe Venus war wegen ihrer permanenten Wolkendecke besonders schwierig: ihre Topographie konnte erst 1990 mit dem Radarsatelliten „Magellan“ ermittelt werden. Die permanente Raumstation ist ein Gemeinschaftswerk der USA, Europas, Rußlands und Japans. Ob sie als „Sprungbrett“ für eine bemannte Mission zum Mars dienen wird, hängt vom diesbezüglichen politischen Willen ab. Rein technisch wäre ein solches Unternehmen durchaus möglich, doch das Aufbringen der dazu erforderlichen Mittel ist eine ganz andere Frage.