

Weltraum – Forschung durch Satelliten und Sonden

Inhaltsverzeichnis

Satelliten im Erdorbit.....	4
Arten von Satellitenorbits.....	5
Orbits abseits des Äquators.....	5
Parkbahnen	5
Niedrige Erdumlaufbahnen (Low Earth Orbit LEO).....	5
Sonnensynchroner Orbit.....	6
Mittlere Umlaufbahn (Medium Earth Orbit MEO)	6
Geotransferorbit (GTO).....	6
Geosynchroner Orbit (GSO)	6
Geostationärer Orbit (GEO).....	6
Supersynchroner Orbit.....	6
Hoch elliptische Umlaufbahn (Highly Elliptical Orbit HRO)	6
Friedhofsorbit.....	6
Sonstige Umlaufbahnen.....	6
Lebensdauer von Erdumlaufbahnen	7
Gamma und Röntgenstrahlung	7
Uhuru (USA)	8
HEAO 2 (USA) (Einstein-Observatorium)	8
ASTRON (UdSSR).....	8
EXOSAT (Europa)	8
ROSAT (Deutschland)	9
Infrarot Strahlung.....	9
IRAS (Niederlande).....	9
COBE (USA).....	9
Hubble Weltraumteleskop (HST) (Europa + USA)	9
Spitzer Weltraumteleskop (USA)	9
Reparatur Satellit	10
Mission Extension Vehicle-1 MEV-1	10
Astrometrie Satelliten.....	10
Hipparcos (Europa).....	10
Gaia (Europa)	10
Die Suche nach Exoplaneten	10
Kepler	10
TESS (USA).....	11
CHEOPS.....	11
PLATO (Europa)	11
Weitere Erforschung	11
COBE (USA).....	11
MOST (Kanada).....	12
Gravity Probe B (USA).....	12
COROT (Deutschland + Frankreich).....	12
Raumstationen.....	12
Saljut (UdSSR)	12
Apollo – Sojus (UdSSR + USA)	13
MIR (UdSSR).....	13
Skylab (USA)	14
ISS (international)	15
Space Shuttle.....	16
Der Erstflug.....	16

Challenger Unglück (1986)	17
Columba Unglück (2003)	17
Sonden zum Mond	17
Luna 2 (UdSSR)	17
Aufnahmen beim Vorbeiflug und aus dem Orbit	17
Zond 3 (UdSSR)	17
Zond 4 bis 8	18
Zond 7	18
Lunar Orbiter 4 (UdSSR)	18
Lunar Orbiter 5 (UdSSR)	18
Explorer 49 (USA)	18
Luna 22 (UdSSR)	18
Clementine (USA)	18
SMART 1 (Europa)	18
Kaguya (Japan)	18
Sonden auf der Oberfläche	19
A) Weich gelandete Sonden	19
Luna 9 (UdSSR)	19
Surveyor 1 (USA)	19
Surveyor 3	19
Surveyor 5	19
Surveyor 6	19
B) Bemannte Missionen	19
Apollo 8 (USA)	19
Apollo 10	19
Apollo 11	19
Apollo 12	20
Apollo 13	20
Apollo 14	20
Apollo 15	20
Apollo 16	20
Apollo 17	20
C) Sonden mit Rückstart	21
Luna 16 (UdSSR)	21
Luna 20	21
Luna 24	21
Russisches Mondauto	21
Luna 17 (UdSSR)	21
Luna 21	21
Weitere Erforschung	21
Chang'e 1 (China)	21
Chang'e 2 (China)	21
Chang'e 3 (China)	21
Chang'e 4 (China)	22
LCROSS (USA)	22
GRAIL (USA)	22
Vikram (Indien)	22
Sonden im Sonnenorbit	22
Ulysses (NASA ESA)	22
Kepler (USA)	23
STEREO (USA)	24
Parker Solar Probe (USA)	24
Solar Orbiter (ESA)	24
Sonden in den Librationspunkten	24

L1	24
SOHO (USA)	24
Genesis (USA)	25
DSCOVR (USA)	25
L2	25
James Webb Teleskop (USA)	25
Gaia (Europa)	25
WMAP (USA)	26
Planck (Europa)	26
Sonden ins innere Planetensystem	26
Merkur	27
Mariner 10 (USA)	27
MESSENGER (USA)	27
BepiColombo (Europa und Japan)	27
Venus	28
Venera (UdSSR)	28
Mariner (USA)	28
VeGa (UdSSR)	29
Mariner 5 (USA)	29
Pioneer Venus (USA)	29
Venus Express (Europa)	30
Magellan (USA)	30
Akatsuki (Japan)	30
Sonden ins äußeren Sonnensystem	30
Pioneer (USA)	30
Voyager (USA)	31
Kometen	32
ISEE-3/IC (USA)	32
VeGa (UdSSR)	32
Sakigake (Japan)	32
Giotto (Europa)	32
Suisei (Japan)	32
Deep Space 1 (USA)	32
Stardust (USA)	33
Rosetta (Europa)	33
Deep Impact (USA)	33
Mars	34
Zond 2 (UdSSR)	34
Mariner (USA)	34
Mars (UdSSR)	34
Viking (USA)	35
Phobos (UdSSR)	36
Mars Global Surveyor (USA)	36
Mars Pathfinder (USA)	36
Mars Polar Lander (USA)	36
Mars Odyssey 2001 (USA)	37
Mars Exploration Rovers (USA)	37
Spirit (USA)	38
Opportunity (USA)	38
Mars Express (Europa)	38
Mars Reconnaissance Orbiter (USA)	38
Phoenix (USA)	39
Curiosity (USA)	39
Mars Orbiter Mission ISRO (Indien)	39

MAVEN (USA)	40
ExoMars (ESA, Roskosmos)	40
InSight (USA).....	40
Asteroiden	40
NEAR (USA)	40
Deep-Space I (USA)	40
Stardust (USA).....	40
DAWN (USA)	41
Chang'e 2 (China).....	41
Hayabusa 1 (Japan).....	41
Hayabusa 2 (Japan).....	41
OSIRIS-REx (USA)	41
Jupiter.....	42
Galileo (USA).....	42
Juno (USA)	42
Saturn.....	42
Cassini (USA)	42
Uranus.....	44
Voyager 2 (USA).....	44
Neptun.....	44
Voyager 2 (USA).....	44
Pluto	44
New Horizons (USA).....	44
Gravitationswellen messen	45
LISA (USA).....	45

Satelliten umkreisen die Erde und man unterscheidet die verschiedenen Wellenlängen Bereiche, in denen die Observatorien an Bord eingesetzt werden.

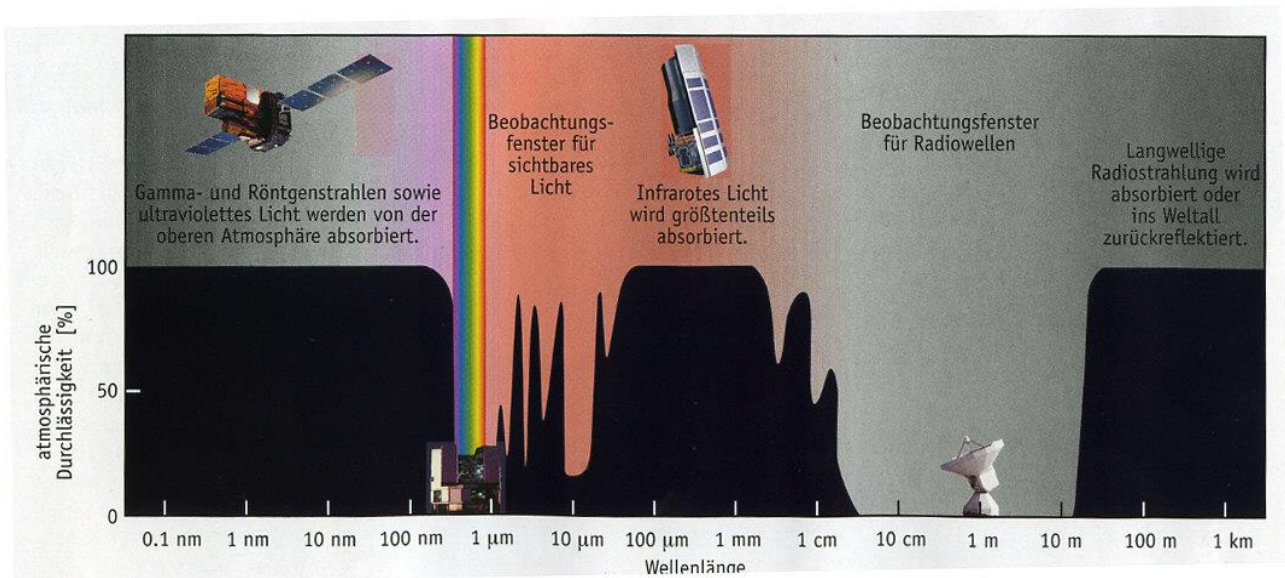
Sonden werden zu anderen Planeten des Sonnensystems gesandt oder operieren außerhalb des Erdorbits.

Satelliten sowie Sonden besitzen einen Primärempfänger, der die Strahlung sammelt, und Sekundärempfänger in Form eines oder mehrerer Detektoren zur Umwandlung der empfangenen Strahlung in elektrische Signale. Zudem verfügen sie über Telemetrie-Einrichtungen, um ihre eigene Lage im Weltraum zu erkennen und zu verändern, sowie über Sendeanlagen, mit denen die Daten zur Erde gefunkt werden. Besonders die Raumsonden sind Multifunktionsgeräte mit optischen Detektoren, Spektrographen, Magnetometern usw., die möglichst viele Untersuchungen der Planeten und ihrer Satelliten ermöglichen sollen. Die Ära der astronomischen Forschung im Weltraum begann Ende der fünfziger Jahre mit unterschiedlichsten Experimenten, die an Bord von Raketen auf eine ballistische oder enge Umlaufbahn gebracht und in der Regel wieder gelandet wurden. Vermessen wurde so beispielsweise die kosmische Strahlung und der Verlauf des irdischen Magnetfeldes, aber auch die ersten Röntgenquellen im Universum wurden auf Raketenflügen - eher zufällig – entdeckt.

Nicht in der Auflistung sind Nachrichten – und Wettersatelliten, sowie Satelliten und Sonden, die missglückten nicht enthalten.

Satelliten im Erdorbit

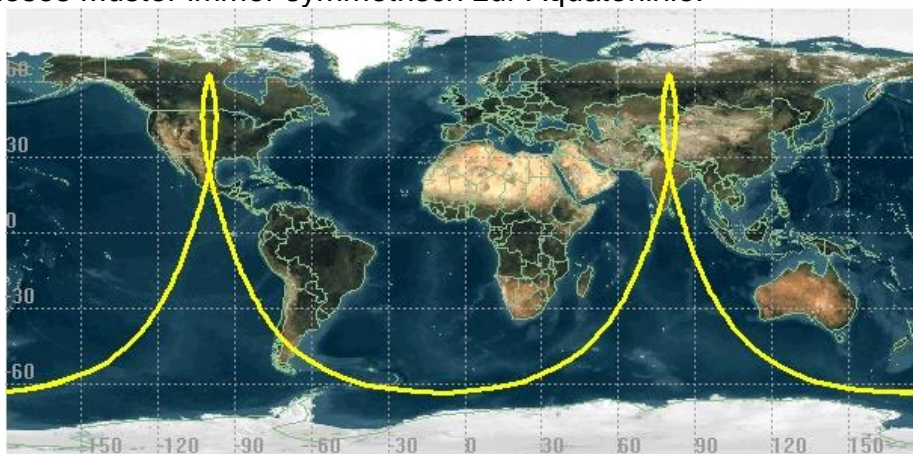
Bei den astronomischen Satelliten werden die Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums beobachtet, die von der Erdatmosphäre nicht durchgelassen werden.



Arten von Satellitenorbits

Orbits abseits des Äquators

Verläuft ein Orbit nicht exakt über dem Äquator bildet er im einfachsten Fall einen Kreis, dessen Mittelpunkt mit dem Erdmittelpunkt zusammenfällt. Diese Bahnebene steht in erster Näherung fest im Raum, während sich die Erde mit ihrer täglichen Rotation darunter wegdreht. Auf diese Weise verläuft die „Bodenspur“ des Satelliten in einer charakteristischen Wellenbahn um die Erde, die sich von Umlauf zu Umlauf verschiebt. Bei oberflächennahen Umlaufbahnen (auch LEO, s. u.) beträgt die Umlaufzeit ca. 100 Minuten, so dass sich die Bahn von Umlauf zu Umlauf um rund 25° in westlicher Richtung verschiebt. Das entstehende Wellenmuster mit den parallelverschobenen Umlauf-Bodenspuren ist in der Abbildung unten zu erkennen. Bei einer Kreisbahn ist dieses Muster immer symmetrisch zur Äquatorlinie.



Parkbahnen

Höhe: 150 bis 200 km, unter Umständen auch elliptische Bahnen, die höher oder tiefer reichen. Eine Parkbahn stellt in der Regel eine mit geringem Antriebsbedarf erreichbare Kreisbahn dar, die die meisten Trägerraketen während des Starts einer Raumsonde zuerst ansteuern.

Niedrige Erdumlaufbahnen (Low Earth Orbit LEO)

LEO-Bahnen sind die energieärmsten Bahnen und damit am leichtesten zu erreichen. Raumfahrzeuge bewegen sich dort mit etwa 7 km/s. Für einen Umlauf um die Erde benötigen sie ca. 100 Minuten. Die Sichtbarkeit und damit der Funkkontakt zu einer Bodenstation betragen höchstens 15 Minuten pro Umlauf.

Sonnensynchroner Orbit

Im sonnensynchronen Orbit passiert der Satellit einen Punkt auf der Oberfläche der Erde immer zur selben wahren Ortszeit.

Mittlere Umlaufbahn (Medium Earth Orbit MEO)

Höhe: 2.000 bis unterhalb 36.000 km, wird genutzt für: Globale Kommunikationssatellitensysteme

Geotransferorbit (GTO)

Höhe: 200–800 km Perigäum, 36.000 km Apogäum

Besonderheiten: Übergangsortbit, um einen GEO zu erreichen. Das Perigäum wird in den meisten Fällen vom Satelliten selbst angehoben, indem im Apogäum ein Raketenmotor gezündet wird.

Geosynchroner Orbit (GSO)

Höhe: 35.786 km (wie GEO) oder leicht variierend um diese Höhe (IGSO)

Da das Gravitationsfeld der Erde nicht rotationssymmetrisch ist, fallen Bahnstörungen bei geosynchronen Umlaufbahnen besonders auf. Dort positionierte Satelliten benötigen Treibstoff, um dieses zu korrigieren. Daher haben sie nur eine begrenzte Lebensdauer.

Geostationärer Orbit (GEO)

Höhe: 35.786 km

Die Kreisbahn eines geostationären Satelliten liegt immer über dem Erdäquator. Die Bahnneigung zum Äquator beträgt 0 Grad. Bei Bahnneigungen größer als null würde der Satellit scheinbar um den Betrag der Neigung senkrecht zum Himmelsäquator pendeln, so dass ein echter stationärer Orbit nur über dem Äquator möglich ist.

Supersynchroner Orbit

Ein Satellit auf einem supersynchronen Orbit umkreist mit einem Apogäum höher als 35.786 km die Erde langsamer, als sie sich selbst dreht.

Hoch elliptische Umlaufbahn (Highly Elliptical Orbit HRO)

Satellit mit hochelliptischer Umlaufbahn bewegen sich auf elliptischen Bahnen mit großer Exzentrizität, das heißt großem Verhältnis von Perigäum und Apogäum. Typische Werte sind 200 bis 15.000 km bzw. 50.000 bis 400.000 km. Hochelliptische Erdorbits eignen sich für Forschung, Telekommunikation und militärische Anwendungen. Beispiele sind:

- Sehr elliptische Umlaufbahnen für Weltraumteleskope, die sich sehr lange Zeit pro Umlauf über den Van-Allen-Strahlungsgürtel aufhalten sollen (Integral, EXOSAT oder IBEX).
- Transferbahn für Raumfahrzeuge, die zum Mond fliegen.
- Transferbahn für Raumfahrzeuge, die zum L1 oder L2 fliegen.

Friedhofsorbit

Mit *Friedhofsorbit* werden Umlaufbahnen bezeichnet, auf die Satelliten nach dem Ende ihrer Lebensdauer manövriert werden. z. B. der Orbit ca. 300 km oberhalb der GEO-Orbits

Sonstige Umlaufbahnen

Sehr selten verwenden Satelliten auch Umlaufbahnen, die sich in dieses Schema nicht einordnen lassen. Zum Beispiel liefen die Vela (Überwachungssatelliten) zum Aufspüren von oberirdischen Kernwaffentests auf nur leicht elliptischen sehr hohen Umlaufbahnen zwischen etwa 101.000 und 112.000 km Höhe. Dieses ist zu hoch für eine MEO-Bahn und zu wenig elliptisch für eine HEO-Bahn.

Lebensdauer von Erdumlaufbahnen

Niedrigfliegende Satelliten verweilen nur kurz auf ihrer Umlaufbahn um die Erde. Die Reibung mit der Atmosphäre bremst sie ab und lässt sie auf die Erde stürzen. Bei einer Flughöhe von 200 km bleiben sie nur wenige Tage auf der Umlaufbahn.

Die Internationale Raumstation umkreist die Erde in einem Abstand von ca. 400 km und verliert pro Tag 50 bis 150 m Höhe. Ohne Bahnanhebungen (engl. Reboost) würde sie in wenigen Jahren verglühen. Ab einer Höhe von 800 km verbleiben Satelliten mehr als 10 Jahre im All, hochfliegende Satelliten praktisch für immer. Außer Dienst gestellt tragen sie erheblich zum Weltraummüll bei.

Je höher die Sonnenaktivität, desto weiter dehnt sich die Atmosphäre aus, desto größer ist ihr Einfluss auf höhere Bahnen. Der Knick in der Kurve veranschaulicht die verringerte Sonnenaktivität alle 11 Jahre.

Auch die Satellitengeometrie beeinflusst die Reibung. Je geringer die Masse und je größer der Strömungsquerschnitt und die Geschwindigkeit relativ zur Atmosphäre (*ballistischer Koeffizient*), desto größer ist die Reibung, damit die Geschwindigkeitsabnahme und damit die Abnahme der Bahnhöhe. Die Internationale Raumstation richtet während des Fluges durch den Erdschatten ihre drehbaren Solarpaneele so aus, dass der mittlere Widerstand um 30 % verringert wird (sog. Night Glider mode).

Gamma und Röntgenstrahlung

Röntgen und Gammastrahlen sind sehr durchdringend. Das weiß jeder, deswegen nutzt man sie auch zum Untersuchen des Körperinneren. Deswegen können sie nicht mit Glaslinsen- oder Spiegeln gebündelt werden. Man hat dafür ein spezielles Teleskop entwickelt.

Aufbau eines Röntgenteleskops: Wolter-Teleskop

Es verwendete eine Spiegelanordnung, wie sie der deutsche Physiker Hans Wolter 1952 vorschlug. Dabei wird die Totalreflexion von Röntgenstrahlung bei streifendem Einfall auf Metalloberflächen ausgenutzt.

Diese Spiegelanordnung setzt sich aus vielfach ineinander geschichteten metallischen (oft nur aus beschichteten Folien bestehenden) Rotationsparaboloiden, denen jeweils ein Rotationshyperboloid folgt, zusammen. Auch Rotationsellipsoide werden in Kombination mit Rotationsparaboloiden verwendet. Diese Spiegel haben zusammen ähnliche Abbildungseigenschaften wie gewöhnliche Teleskope im sichtbaren Bereich des Lichts. Bild Obwohl bereits 1952 vorgeschlagen, dauerte es bis 1978, bis das erste Wolterteleskop für den Röntgensatelliten Einstein realisiert werden konnte. Grund hierfür ist die benötigte extreme Genauigkeit der Oberflächen, deren Rauheit nur einige Millionstel Millimeter betragen darf

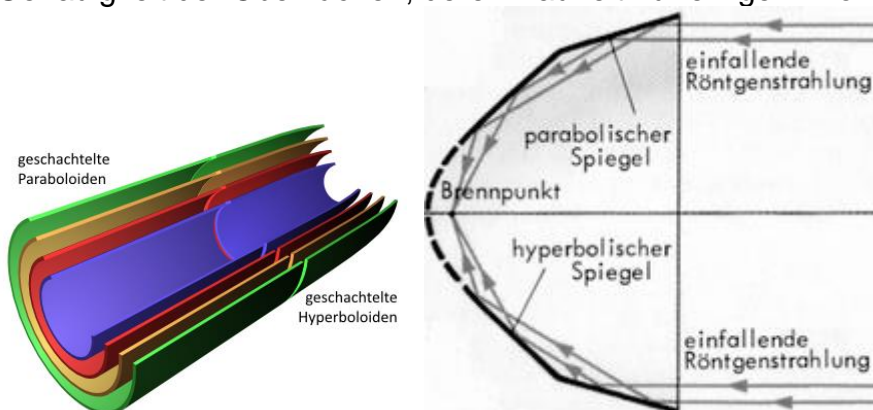


Bild rechts: Prinzip des Wolter-Teleskops: streifende Röntgen-Reflexion durch aufeinanderfolgende, koaxiale Metallspiegel aus Paraboloid- und Hyperboloidringen. Das Verhältnis Durchmesser zu Länge muss mindestens 1:10 betragen, um Totalreflexion zu erreichen

Beginn der Röntgensatelliten war 1963, es folgten an die 60 Starts bis heute, deswegen hier nur eine Auswahl.

Uhuru (USA)

war der erste Satellit, der den Himmel nach Röntgenquellen durchmusterte. Er wurde am 12. Dezember 1970 mit einer Scout-Rakete von der vor der Küste Kenias befindlichen Plattform *San Marco* gestartet und gelangte in eine Umlaufbahn um die Erde zwischen 531 und 572 km Höhe. Dadurch war dies die erste Satellitenmission der NASA, die nicht vom Gebiet der USA gestartet wurde. Ein Start von Cape Canaveral z. B. hätte eine stärkere Trägerrakete erforderlich gemacht, da eine Inklination (Neigung gegen den Äquator) von $3,0^\circ$ vorgesehen war.

Hier ging man neue Wege in der Sensorik: Uhurus Röntgenstrahlenempfänger bestand aus einer Bleiplatte, die von vielen parallelen Bohrungen durchzogen war, hinter der sich ein Sensor für Röntgenstrahlen befand. Nur Röntgenstrahlen, die in Richtung der Bohrungen auftrafen, konnten den Sensor erreichen. Die Auflösung dieser Anordnung war jedoch schlechter als die des menschlichen Auges.

Vor dem Start waren circa 40 Quellen astronomischer Röntgenstrahlung bekannt. Der Satellit erfasste erstmals den gesamten Himmel; er katalogisierte etwa 300 Objekte. Durch Uhuru wurde das diffuse Röntgenleuchten von Galaxien entdeckt. Es wurden etliche Doppelsterne entdeckt, von denen ein Teil Weiße Zwerge, Neutronensterne oder Schwarze Löcher sind, da diese im Röntgenbereich strahlen während sie die Materie von ihrem Partner aufnehmen. Die Mission endete im März 1973; sechs Jahre später trat Uhuru in die Erdatmosphäre ein und verglühte.

HEAO 2 (USA) (Einstein-Observatorium)

(High Energy Astronomy Observatory)

HEAO-2 wurde von der NASA entwickelt und am 12. November 1978 mit einer Atlas-Centaur-Rakete von Cape Canaveral aus in eine niedrige Erdumlaufbahn gebracht. Der bis April 1981 in Betrieb befindliche HEAO-2-Satellit hatte das erste große Wolter-Teleskop im Weltraum an Bord. Gegenüber früheren Röntgensatelliten war die Empfindlichkeit stark verbessert und die räumliche Auflösung mit nur wenigen Bogensekunden sehr gut. Diese Verbesserung beruht auf Untersuchungen von Krebsaugen (Crustaceen) von Professor Klaus Vogt und wurde vom Astronom J.L. G. Angel umgesetzt. Neben dem Hauptteleskop mit vier Instrumenten für den Energiebereich 0,15-4,5 keV verfügte es noch über einen Röntgenmonitor für den Bereich 1,5-20 keV. Mit diesen Fähigkeiten brachte HEAO-2 große Fortschritte in vielen Bereichen der Röntgenastronomie.

ASTRON (UdSSR)

Der sowjetische ASTRON Satellit wurde am 23.3.1983 gestartet. Er trug ein Teleskop mit Detektoren empfindlich im UV Bereich und ein Röntgenstrahlenspektrometer an Bord. Der Satellit wurde mit einer Proton in einen exzentrischen Orbit befördert. Mit 3250 kg Gewicht war er wie die meisten sowjetischen Forschungssatelliten erheblich schwerer als westliche Gegenstücke. Das UV Teleskop hatte einen Durchmesser von 80 cm und war an ein Photometer (Helligkeitsmeßgerät) angeschlossen. Das Photometer bestimmte die Helligkeit von UV Quellen zwischen 110 und 310 nm Wellenlänge.

Das Röntgenstrahlenspektrometer bestand aus 2 Detektoren mit einer Gesamtfläche von 1780 cm². Jeder Detektor bestand aus 8 Modulen welche in 10 Kanälen die Energie in diesem Bereich und die Pulshöhen zwischen 2 und 25 keV Energie maßen. Die Auflösung der Blende erlaubte es ein Gebiet von 3 Grad zu untersuchen. Eine Messung war alle 2.28 ms möglich, eine Pulshöhenmessung alle 0.3 Sekunden.

EXOSAT (Europa)

war das erste Röntgen-Observatorium der europäischen Raumfahrtbehörde ESA. Er wurde 1983 gestartet und entdeckte quasiperiodische Helligkeitsschwankungen in

Röntgendoppelsternen und machte insgesamt 1.780 Beobachtungen von Röntgenquellen, wie aktiven galaktischen Kernen, den Coronae von Sternen, weißen Zwergen, veränderlichen Sternen, Galaxienhaufen und Supernovaüberresten.

ROSAT (Deutschland)

Wurde im Juni 1990 gestartet und flog in 580km Höhe, war bis 1999 in Betrieb. Der Satellit wurde vom DLR in Oberpfaffenhofen bei München kontrolliert.

Zu den wichtigsten Entdeckungen gehören die Auflösung der kosmischen Röntgenhintergrundstrahlung in die Emission von Quasaren und anderen aktiven Galaxien, die Entdeckung von Neutronensternen, die ausschließlich thermisch strahlen, die Röntgenstrahlung des Kometen Hyakutake 1996 sowie Dutzende neuer Supernovaüberreste. Auch konnte eine Röntgenquelle an der Stelle der Supernova 1987A in der Großen Magellanschen Wolke gefunden werden. Ebenfalls im Blickfeld des sehr erfolgreichen Weltraumobservatoriums standen Galaxienhaufen, Röntgendoppelsterne und Schwarze Löcher. ROSATs zeitliche Auflösung ermöglichte selbst die zeitliche Trennung des Crab-Pulsars (Blinkdauer 0,033 s). ROSAT entdeckte auch, dass der Mond Röntgenstrahlung der Sonne reflektiert.

Infrarot Strahlung

IRAS (Niederlande)

Das IRAS-Teleskop mit einem Hauptspiegeldurchmesser von 60 cm war zur Unterdrückung seiner eigenen Wärmestrahlung mit flüssigem Helium als Kühlmittel auf eine Temperatur von 2 bis 5 Kelvin gekühlt. IRAS wurde am 26. Januar 1983 gestartet und war bis zur Erschöpfung des Kühlmittels am 23. November 1983 in Betrieb.

Die IRAS-Mission war ein wichtiger Meilenstein der Infrarotastronomie. Die Himmelsdurchmusterung und der daraus gewonnene Katalog von über 300.000 Quellen sind noch zwanzig Jahre später wichtige Hilfsmittel der Astronomie.

COBE (USA)

Der Start erfolgte im November 1989. COBE ist die Abkürzung für Cosmic Background Explorer und damit ist auch die Mission dieses Satelliten beschreiben. Die 3 Experimente wurden von einer Dewar Flasche, gefüllt mit 650 l flüssigem Helium von 1.6 K Temperatur umhüllt. Da man eine Strahlung von 2.7 K Temperatur nachweisen wollte war es notwendig die Instrumente für eine sehr hohe Präzision sehr stark abgekühlt wurden.

23. Dezember 1993: Ende der wissenschaftlichen Mission

Ab Januar 1994: technologische Experimente.

Der Satellit befindet sich noch im Orbit.

Hubble Weltraumteleskop (HST) (Europa + USA)

Im Jahre 1977 begann man das Projekt, wobei man nun nur noch ein 2.38 m Teleskop plante, um die Kosten zu senken.

Es ist ein Weltraumteleskop für sichtbares Licht, Ultraviolett- und Infrarotstrahlung. Das Teleskop entstand in Zusammenarbeit von NASA (USA) und ESA (Europa) und wurde nach dem US-Astronomen Edwin Hubble benannt.

Die Inbetriebnahme war 1993, nachdem es in 5 Servicemissionen des Space Shuttle von seinen optischen Fehlern befreit wurde. Es befindet sich in einem Orbit in 550km Höhe.

Spitzer Weltraumteleskop (USA)

Im August 2003 wurde das Infrarot Teleskop in Cap Canaveral gestartet. Es wurde im Januar 2020 abgeschaltet.

Reparatur Satellit

Mission Extension Vehicle-1 MEV-1

Start am 9. Oktober 2019

Drei Monate war der Satellit unterwegs, um am 25. Februar 2020 Raumfahrtgeschichte zu schreiben. An diesem Tag koppelte das Mission Extension Vehicle-1 MEV-1 am Kommunikationssatelliten **Intelsat 901** an. Damit hat es der US-Raumfahrtkonzern Northrop-Grumman als Erster geschafft, in 36 000 Kilometer Höhe über dem Erdäquator, ein Rendezvousmanöver mit einem anderen Satelliten durchzuführen.

Mit dem erfolgreichen Rendezvous und Ankoppeln von MEV-1 lässt sich Intelsat 901 noch für mindestens fünf weitere Jahre nutzen. Dabei sitzt das MEV huckepack auf dem Kommunikationssatelliten und übernimmt für ihn die Lagekontrolle und die Ausrichtung. Zudem steuert es ihn zurück an seine Position, wo er zuvor 19 Jahre lang in Betrieb war.

Astrometrie Satelliten

Hipparcos (Europa)

(*High Precision Parallax Collecting Satellite*)

Der Start erfolgte im August 1989. Wegen eines Triebwerkschadens erreichte er die geostationäre Umlaufbahn nicht. Mit Hilfe eines aus diesem Anlass entwickelten neuen Beobachtungsprogramms, für das freilich eine längere Messphase nötig war als ursprünglich vorgesehen, gelang es, den Satelliten seine Messungen von der ungünstigeren Umlaufbahn des GTO aus vornehmen zu lassen.

An Bord befand sich ein Spiegelteleskop mit 29 cm Öffnung und einer Brennweite von 1,4 Meter. Für die schlussendlichen Positionsdaten waren komplexe Ausgleichsrechnungen und der Anschluss an Positionsdaten erdgebundener Observatorien notwendig.

Insgesamt bestimmte der Satellit über 1 Million Sternörter. Das primäre Ergebnis sind also Positionen der gemessenen Sterne, die zu mehreren Mess-Zeitpunkten (Epochen) bestimmt wurden. Aus zeitlich weit auseinander liegenden Epochen können Eigenbewegungen abgeleitet werden, aus Positionen im Abstand von halben Jahren die Parallaxen und damit die Entfernungen der Sterne. Zum Auffinden der *Kandidatensterne* benötigte Hipparcos bereits so genaue Positionen, dass umfangreiche Vorarbeiten mit irdischen Teleskopen nötig waren. Hipparcos arbeitete 3 Jahre. Er konnte die Sternörter, Parallaxen und Eigenbewegungen von 118.000 Sternen mit einer zuvor unerreichten Präzision von etwa 0,003"/Halbjahr bzw. 0,002"/Halbjahr vermessen; diese Daten bilden den Hipparcos-Katalog. Darüber hinaus vermaß ein zweites Instrument an Bord über 1 Million Sterne auf immerhin $\pm 0,02''$ genau; diese Daten bilden den Tycho-Katalog. Das ist 20- bis 50-mal genauer und eine viermal höhere Anzahl von Sternen, als bisherige Sternkataloge enthielten.

Gaia (Europa)

Sonde im Librationspunkt L2.

Die Suche nach Exoplaneten

Kepler

Startdatum 2009

Kepler soll die Häufigkeit von erdgroßen Exoplaneten in oder nahe der lebensfreundlichen Zone von sonnenähnlichen Sternen abschätzen. Dazu verwendet die Mission die Transitmethode. Das Teleskop blickt permanent in eine Richtung und überwacht die Helligkeit der dortigen Sterne für mehrere Jahre.

Gesichtsfeld 115 Quadratgrad
Spiegeldurchmesser 95 cm
Anzahl der zu beobachtenden Sterne 150 000

TESS (USA)

Transiting Exoplanet Survey Satellite
Startdatum 19.4.2018

Der Satellit wird sich in einem Erdorbit befinden, dessen erdfernster Punkt bei 373000 km liegen wird. In diesem Orbit sind Störungen durch die Schwerkraft des Mondes minimal, und es sind lange, ununterbrochene Beobachtungen möglich.

TESS ist die erste Mission, die vom Weltraum aus den gesamten Himmel nach Transits bei Sternen absuchen wird, und ist auf kleine Planeten bei hellen Sternen in Sonnennähe spezialisiert. Jede Himmelsregion wird 27 Tage lang beobachtet; damit werden Planeten mit kurzen Orbits bevorzugt.

Gesichtsfeld 2304 Quadratgrad
Spiegeldurchmesser 10 cm x 4

Anzahl der zu beobachtenden Sterne 200 000 bis 500 000

TESS soll in zwei Jahren gut 85% des Himmels untersuchen.

CHEOPS

Characterising Exoplanet Satellite
Start am 18. Dezember 2019

Er ist mit einem einzelnen, 32 Zentimeter großen Teleskop ausgestattet.

Während TESS den Himmel systematisch nach einem vorgegebenen Schema durchforstet, wird CHEOPS bestimmte Sterne genauer untersuchen, bei denen es bereits erste Anzeichen für Planetensysteme gibt. Zum Namen: Der CHaracterizing ExOPlanets Satellite trägt augenscheinlich den Namen eines Pharaos aus dem alten Ägypten, der ungefähr 2580 v. Chr. herrschte. Wichtiger für die Schweizer Erfinder von CHEOPS soll gewesen sein, dass der Name der Mission mit dem Landeskennzeichen CH beginnt.

Gesichtsfeld 0,08 Quadratgrad

Spiegeldurchmesser 0,3 Meter *sdw 2016/4 S39*

PLATO (Europa)

Planetary Transits and Oscillations of Stars
Startdatum 2024 in L2

PLATO soll anhand von Transitentdeckungen eine Datenbank mit erdgleichen Exoplaneten erstellen. Außerdem soll die Mission anhand von Sternschwingungen das Alter der Sterne katalogisieren.

Gesichtsfeld 2232 Quadratgrad

Spiegeldurchmesser 12 cm x 34 Kameras

Anzahl der zu beobachtenden Sterne 500 000 bis 1 000 000

Weitere Erforschung

COBE (USA)

Der Start erfolgte im November 1989. COBE ist die Abkürzung für Cosmic Background Explorer und damit ist auch die Mission dieses Satelliten beschreiben. Die 3 Experimente wurden von einer Dewar Flasche, gefüllt mit 650 l flüssigem Helium von 1.6 K Temperatur umhüllt. Da man eine Strahlung von 2.7 K Temperatur nachweisen wollte war es notwendig die Instrumente für eine sehr hohe Präzision sehr stark abgekühlt wurden.

MOST (Kanada)

Startete im Juni 2003. MOST ist ein typischer Kleinsatellit für eine spezialisierte Mission, in diesem Falle die Präzisionsastrophotometrie.

Gravity Probe B (USA)

Nach einem Experiment auf einer Höhenforschungsrakete (Gravity Probe A) folgte mit dem Start am 20.4.2004 der Start des ersten Satelliten der die Effekte der Relativitätstheorie direkt messen soll. GP-B misst zwei Effekte, die von der Relativitätstheorie vorhergesagt werden.

1. Die Raumzeitkrümmung durch die Masse der Erde sollte die Rotationsachse von Kreiseln pro Jahr um 6.6 Bogensekunden drehen. Um dies zu messen hat man im inneren von GP-B mehrere hochpräzise polierte Niob Kreisel von 3.81 cm Durchmesser installiert. Sie wurden nach dem Start in Rotation gebracht. Die Niob-Kreisel wurden auf 1.8 K gekühlt, wodurch diese supraleitend wurden und jede Änderung ihrer Rotationsachse sehr genau durch supraleitender Quanteninterferenz-Detektoren gemessen
2. Der Lense-Thirring-Effekt. Wenige Jahre, nachdem Einstein die Allgemeine Relativitätstheorie veröffentlichte, sagten 1918 der österreichische Mathematiker Josef Lense und der österreichische Physiker Hans Thirring voraus, dass die Rotation einer Masse im Raum die lokale Raumzeit mit sich zieht und diese dadurch verdrillt.

COROT (Deutschland + Frankreich)

Gestartet wurde COROT im Dezember 2006.

Corot ist der erste Spezialesatellit der nur dem Aufspüren und Untersuchen von Planeten um andere Sterne dient. COROT ist ein Gemeinschaftsprojekt der französischen Weltraumagentur CNES und der ESA. COROT ist eine Abkürzung und steht für Convection, Rotation & Planetary Transits. Das ist eine kurz gefasste Missionsbeschreibung: Der Satellit untersucht Sterne auf Veränderungen bedingt durch Schwingungen durch konvektive Ströme, Rotation und den Transit von Planeten vor dem Stern.

Raumstationen

Saljut (UdSSR)

Nachdem die USA die Sowjetunion im Wettlauf zum Mond geschlagen hatten, entwickelten sich die Raumfahrtprogramme der beiden Supermächte in unterschiedliche Richtungen. Während die Amerikaner zur Entwicklung von neuen Transportsystemen (wiederverwendbares Space Shuttle) drängten, verstärkte die UdSSR die Entwicklung von Raumstationen für eine dauerhafte menschliche Präsenz im Weltraum.

Saljut 1 startete im April 1971 und führte Kopplungsmanöver durch. Saljut 1 bestand im Wesentlichen aus einer leeren Almas-Hülle und vielen Sojus-Bestandteilen, unter anderem einem kompletten Servicemodul am Heck. Insgesamt war die Station an 24 Tagen bemannt und verglühte nach 175 Tagen im Orbit am 11. Oktober 1971 in der Atmosphäre.

Der Start von **Saljut 3** fand am 24. Juni 1974 statt. 16 Tage lang wurde die Raumstation von der Besatzung von Sojus 14 genutzt. Der Flug von Sojus 15 musste wegen Problemen abgebrochen werden. Am 24. Januar 1975 trat Saljut 3 wieder in die Erdatmosphäre ein.

Saljut 4 wurde am 26. Dezember 1974 gestartet. Bis zum Absturz am 2. Februar 1977 wurde sie von den Besatzungen von Sojus 17 und Sojus 18 insgesamt 93 Tage genutzt. Unter anderem wurden Laser-Ortungsversuche durchgeführt.

Saljut 5 startete am 22. Juni 1976 und blieb bis zum 8. August 1977 im Orbit. Die Besatzungen von Sojus 21 und Sojus 24 blieben insgesamt 67 Tage an Bord.

Saljut 6 wurde am 29. September 1977 gestartet und war die erste wiederauftankbare Raumstation, dank des erstmals eingebauten 2. Kopplungsstutzens am hinteren (dickeren) Ende des Hauptmoduls. Mit dem angedockten Modul Kosmos 1267 war Saljut 6 die erste modulare Raumstation. Insgesamt war die Station an 685 Tagen besetzt. Der Start von **Saljut 7** erfolgte am 19. April 1982. Zehn Besatzungen taten zwischen 1982 und 1986 auf der Station Dienst. Der längste Aufenthalt betrug 237 Tage. Mit den angedockten Modulen Kosmos 1443 und Kosmos 1686 war Saljut 7 wiederum eine modulare Station. Nach dem Start des Zentralmoduls der neuen Raumstation Mir am 19. Februar 1986 wurden Teile der Ausrüstung von Saljut 7 durch einen Besuch von Sojus T-15 zur Mir gebracht. Der Flug von Sojus T-15 von der Mir zu Saljut 7 und wieder zurück zur Mir war der erste Flug eines Raumschiffs zwischen zwei Raumstationen. Danach starteten keine weiteren Kosmonauten mehr zu Saljut 7. Am 7. Februar 1991 trat die Raumstation in die Erdatmosphäre ein und verglühte teilweise. Fragmente der Station gingen über Argentinien nieder

Apollo – Sojus (UdSSR + USA)

Am 15. Juli 1975 startete Sojus mit zwei Kosmonauten. 7 Stunden später startete ein Apollo Raumschiff mit drei Astronauten. Die Kommandokapsel trennte sich vom Dockingmodul und drehte sich um 180°, um dann wieder daran anzudocken. Dieses Manöver war auch vor jeder Mondlandung nötig, damit ein späteres Andocken möglich war. Das Dockingmodul diente gleichzeitig als Luftschleuse, da UdSSR und USA unterschiedliche Luftgemische verwendeten. Am 21. Juli landete die Sojus-Kapsel, am 24. Juli 1975 dann die Apollo-Kapsel.

MIR (UdSSR)

Der Start des Basisblocks erfolgte im Februar 1986. Der Ausbau der Station wurde mit weiteren Modulen vorangetrieben. Trotz einigen Verzögerungen durch den Zusammenbruch der Sowjetunion sowie durch finanzielle Probleme Russlands erreichte die *Mir* in Ihrer Endkonfiguration 1996 eine Masse von 110 Tonnen. Obwohl die Station eher durch ihre vielen Pannen in den 90er Jahren bekannt wurde, als durch technische Erfolge, war sie doch eine Meisterleistung der Ingenieurstechnik und lieferte - gerade durch die vielen Pannen an Bord - unschätzbare Erfahrungen für den Betrieb späterer Raumstationen wie der *ISS*.

- Der 1986 gestartete **Basisblock** bildet den Kern der Station.
- Das zweite Modul der *Mir* war **Quant-1**. Gestartet wurde es etwa ein Jahr nach dem Start des Basisblocks am 31. März 1987. Das Modul besaß mit 20 Tonnen eine ähnliche Masse wie der Basisblock, war aber nur halb so lang. An Bord waren neben astrophysikalischen Instrumenten auch Lebenserhaltungssysteme sowie Lagekontrollsysteme untergebracht. Die Hauptaufgabe bestand im Sammeln astronomischer Daten.
- Am 26. November 1989 startete **Quant-2** zur russischen Raumstation. Neben einer Luftschleuse für "Weltraumspaziergänge" (EVAs - *Extra Vehicular Activities*) waren wiederum Lebenserhaltungssysteme in dem Modul untergebracht. Auch Quant-2 sollte wissenschaftliche Aufgaben, wie Erdbeobachtung und biologische Weltraumforschung, erfüllen. Daneben besaß das Modul wiederholt Überlebenssysteme, die auch im Basisblock installiert waren. Eine Neuerung bildete außerdem eine Manövriereinheit für Außenarbeiten, die es den Kosmonauten erlaubte, sich frei im Raum zu bewegen, ohne an der *Mir* "angeleint" zu sein.
- Das Modul **Kristall**, gestartet am 31. Mai 1990, diente zur biologischen und materialwissenschaftlichen Forschung. Daneben waren an der Außenseite des Moduls Solarzellenpaneele angebracht, um den erhöhten Energieverbrauch der *Mir* zu decken. Für Kristall war eine für den russischen Raumtransporter Buran vorgesehene

Andockstelle konstruiert worden, die später für das amerikanische Space Shuttle genutzt werden konnte.

- Als 1991 die Sowjetunion zusammenbrach und unter anderem auch das für Weltraumstarts wichtige Kasachstan unabhängig wurde, entstand ein fünfjähriges Loch im Ausbau der Raumstation *Mir*. Erst am 20. Mai 1995 startete ein neues Modul ins All: **Spektr**. Um den Andockplatz freizumachen, verlegten die *Mir*-Kosmonauten das Modul Kristall um 90° an eine andere Stelle des Basisblocks. *Spektr* diente in erster Linie der Erdbeobachtung. So sollten besonders Naturphänomene und die Erdatmosphäre untersucht werden.
- Der Ausbau der *Mir* wurde schließlich mit dem Start am 23. April 1996 durch das Modul **Priroda** vollendet. Die Aufgaben lagen auch hier im wissenschaftlichen Bereich: Man wollte Festland, Ozeane und die Atmosphäre in ihrer Dynamik beobachten.

Eine weitere wichtige "Komponente" der *Mir* war der unbemannte Raumtransporter **Progress**, der die Station bis zu ihrem Ende mit Nachschub von der Erde versorgte und schließlich auch bei ihrem kontrollierten Absturz eine wichtige Rolle spielte. *Progress* beliefert bis heute auch die *ISS*.

Im März 2001, einige Tage nach dem 15. Geburtstag der *Mir*, beginnt schließlich der kontrollierte Absturz der Station.

Skylab (USA)

Skylab 1 hob wie geplant am 14. Mai 1973 ab. Doch schon 63 Sekunden nach dem Start empfing die Bodenstation alarmierende Telemetrie-Signale. Offenbar hatte sich eine Verkleidung gelöst, wodurch eines der Solarmodule und der Meteoriten- und Thermalschutzschild abgerissen wurden. Spätere Untersuchungen zeigten, dass der Fehler durch mangelnde Koordination der Konstruktionsabteilungen entstanden war. Die Raumstation erreichte zwar die geplante Umlaufbahn, war aber nicht funktionsfähig.

Zwar gelang es der Flugleitung, die vier Solarmodule des Solarobservatoriums auszufahren, doch schien es Probleme mit den beiden anderen Modulen zu geben, so dass insgesamt nur etwa die halbe elektrische Leistung zur Verfügung stand. Der fehlende Meteoritenschutzschild hätte auch als Wärmeschutz dienen sollen, weshalb in der Station die Temperatur stark stieg, so dass befürchtet werden musste, dass Lebensmittel, Medikamente und Filme verdorben sein würden.

Als erste Reaktion wurde der Start von Skylab 2 verschoben, bis man sich ein klares Bild von der Situation machen konnte. Außerdem versuchte die Flugleitung, eine günstige Ausrichtung von Skylab zu erreichen. Waren die funktionsfähigen Solarzellen der Sonne zugewandt, konnte zwar genügend Energie gewonnen werden, gleichzeitig heizte sich die Station aber stark auf. Drehte man die Station so, dass die Stelle mit dem fehlenden Schutzschild im Schatten lag, gaben auch die Solarzellen zu wenig Leistung ab und der Ladezustand der Batterien nahm stark ab. Die NASA-Ingenieure hatten nun das Problem, Energiereserven, Treibstoffreserven und Temperatur der Raumstation im Rahmen zu halten. Würde es nicht innerhalb von Tagen möglich sein, die Schäden zu reparieren, wäre die Station verloren. Zwei Wochen lang wurde die Station so gesteuert, während die Skylab-2-Mission vorbereitet wurde.

Es gelang den Mannschaften während der Missionen Skylab 2 und Skylab 3, die Schäden zu reparieren. Die Station war anschließend voll funktionsfähig

- Skylab 2
 - 25. Mai 1973 – 22. Juni 1973
 - Besatzung: Charles Conrad, Paul J. Weitz, Dr. Joseph P. Kerwin
- Skylab 3:
 - 28. Juli 1973 – 25. September 1973
 - Besatzung: Alan L. Bean, Dr. Owen K. Garriott, Jack R. Lousma
- Skylab 4:
 - 16. November 1973 – 8. Februar 1974
 - Besatzung: Gerald P. Carr, Dr. Edward G. Gibson, William R. Pogue

Nachdem drei Besatzungen die Raumstation 28, 59 und 84 Tage bewohnt hatten, wurde sie am 8. Februar 1974 durch das Apollo-Raumschiff von Skylab 4 in eine höhere Umlaufbahn geschoben. Die meisten Systeme der Raumstation wurden abgeschaltet, und Skylab umkreiste die Erde mehrere Jahre, ohne beachtet zu werden. Im März 1978 wurde der Kontakt zu Skylab wieder aufgenommen.

Es stellte sich jedoch heraus, dass Skylab schneller als berechnet sank. Grund dafür war die durch hohe Sonnenaktivität unerwartet ausgedehnte Hochatmosphäre der Erde und die dadurch erhöhte Abbremsung. Weiterhin wusste man zu diesem Zeitpunkt, dass das Space Shuttle nicht rechtzeitig fertig werden würde. Eine alternative Mission, z.B. mit einer Titan III als Träger, wurde verworfen. Am 19. Dezember 1978 gab die NASA bekannt, dass man Skylab nicht retten könne, dass man aber alles unternähme, um das Risiko von Absturzschäden zu minimieren. Hierzu arbeitete die NASA eng mit der Überwachungsbehörde North American Aerospace Defense Command (NORAD) zusammen.

Der Absturz erfolgte dann am 11. Juli 1979. Tatsächlich zerbrach die Station erst später als berechnet in mehrere Teile, so dass das Absturzgebiet weiter östlich als geplant lag. Betroffen war die Gegend südöstlich von Perth in West-Australien bei Balladonia, wo Trümmer in den dunklen Morgenstunden niedergingen, ohne jemanden zu verletzen.

ISS (international)

Vorgeschichte und Planung

Erste Ideen für eine dauerhaft bewohnte Station im Weltall kamen bei der US-amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA schon sehr früh auf. Zu Beginn der 1960er Jahre, also noch lange vor der ersten Mondlandung, dachte man an eine Raumstation, die von etwa zehn bis zwanzig Personen bewohnt sein sollte. Nach dem Erstflug des Space Shuttles im Jahre 1981 rückte das Konzept einer Raumstation wieder in den Blickpunkt, weil diese nach Ansicht der NASA-Strategen der nächste logische Schritt in der Raumfahrt sei. Unter US-Präsident Bill Clinton wurde dann das Projekt einer großen Raumstation im November 1993 zusammen mit Russland neu aufgelegt. Bis 1998 schlossen sich 13 weitere Länder dem Projekt an: 11 der ESA-Staaten (Großbritannien war Mitunterzeichner des Vertrages, stieg jedoch später aus), Japan und Kanada. Zudem unterzeichnete Brasilien im Oktober 1997 mit den USA einen separaten Vertrag über die Nutzung der Raumstation, die nun den Namen *International Space Station (ISS)* trägt. Im Jahr darauf begann mit dem Start des russischen Fracht- und Antriebmoduls *Sarja* (Sonnenaufgang) der Aufbau der Station.

Aufbau

Die ISS ist nach dem Vorbild der russischen Raumstation Mir modular aufgebaut. Einzelne Baugruppen werden von Trägerraketen und Raumfähren in die Umlaufbahn gebracht und dort zusammengesetzt. Insgesamt 37 Shuttleflüge wurden bis zur Ausmusterung der Raumfähren Mitte 2011 durchgeführt.

Als nächstes Modul startete im Sommer 2000 das russische Wohnmodul *Swesda*. Es wurde ebenfalls von einer Proton-Rakete gestartet und dockte automatisch am *Sarja*-Modul an. Bei einem weiteren Logistikflug wurden Lebensmittel, Kleidung, Wasser und sonstige Alltagsgegenstände für die erste Stammbesatzung zur Station gebracht.

Am 2. November 2000 konnte die erste Langzeitbesatzung, ISS-Expedition 1, auf der Station einziehen. Sie startete mit *Sojus TM-31* zur Station.

Als nächstes Modul wurde mit der Shuttle-Mission STS-97 das erste von vier großen Solarmodulen zur Station gebracht. Mit der Mission STS-98 wurde das US-amerikanische Labormodul *Destiny* zur Station gebracht und an *Unity* andockt. Nach einem weiteren Logistikflug wurde mit STS-100 der erste Roboterarm der Station, *Chanadarm*, sowie mit STS-104 die US-Luftschleuse *Quest* angeliefert. Dies versetzte die Raumfahrer in die Lage, ohne die Hilfe des Shuttles Weltraumausstiege durchzuführen und zum Aufbau der Station beizutragen.

Am 14. September 2001 startete das russische Kopplungsmodul *Pirs*, das sowohl zum Andocken von *Sojus*- und *Progress*-Raumschiffen als auch für Ausstiege in russischen Raumanzügen genutzt wurde.

Im Oktober 2007 wurde mit STS-120 der Verbindungsknoten *Harmony* (Node 2) zur ISS gebracht. Das europäische Forschungsmodul *Columbus* wurde am 11. Februar 2008 an der ISS installiert. Am 3. Juni 2008 wurde die Installation des japanischen Hauptmoduls von *Kibō* abgeschlossen. Im Februar 2010 wurde der Verbindungsknoten *Tranquility* (Node 3) mit der Aussichtskuppel *Cupola* installiert. Im Mai 2010 folgte das russische Modul *Rasswet* (Forschungsmodule), das PMM *Leonardo* (Permanent Multipurpose Module) im März 2011.

Der amerikanische Teil der Station ist fertig aufgebaut und geht in den Routinebetrieb über. Die ISS hat zurzeit eine Masse von 450 Tonnen bei einer Länge der Gitterstruktur von 109 Metern und der Solarmodule von 73 Metern. Die endgültige Spannweite ist seit der Installation der ersten Solarzellen bereits erreicht. Damit ist sie die größte Raumstation, die bisher gebaut wurde.

Space Shuttle

Das **Space Shuttle** (auch *der*, englisch für *Raumfähre*), kurz *Shuttle*, war ein von der US-Raumfahrtbehörde NASA entwickelter Raumfährentyp. Die Komponenten waren neben der Raumfähre (*Orbiter*) ein externer Treibstofftank und zwei Feststoffraketen, das ganze System wurde **Space Transportation System** (kurz **STS**) genannt. Fachlich wurde ausschließlich der Orbiter als Space Shuttle bezeichnet. Das Shuttle ging aus dem Versuch hervor, ein wiederverwendbares Raumfahrzeug zu entwickeln. Das sollte zu einer erheblichen Kostenersparnis gegenüber den herkömmlichen Raketen führen, bei denen alle Raketenstufen nur einmal verwendet werden können. Die erwartete Ersparnis konnte allerdings nicht erreicht werden. Ganz im Gegenteil kostete ein Shuttlestart zwischenzeitlich knapp eine halbe Milliarde Dollar, etwa fünfmal so viel wie ein Start mit einer unbemannten Einwegrakete gleicher Nutzlastkapazität, und stieg auf zuletzt gut eine Milliarde Dollar.

Die Raumfähre konnte gleichzeitig 24,5 Tonnen Nutzlast sowie sieben Astronauten in eine niedrige Erdumlaufbahn (zwischen ca. 200 und 650 Kilometern Bahnhöhe) bringen. Zudem war das Shuttle mithilfe von Andockadaptern fähig, an eine Raumstation (früher Mir, später ISS) anzudocken. Durch seine Fähigkeit zum gleichzeitigen Transport von Mannschaft und Fracht war das Shuttle sehr vielseitig verwendbar, beispielsweise konnten Satelliten repariert oder zur Erde zurückgebracht oder der Aufbau und die Versorgung einer Raumstation unterstützt werden.

Seit dem letzten Apollo-Flug im Jahr 1975 stellte das Shuttle die einzige Möglichkeit der Vereinigten Staaten dar, mit eigenen Mitteln Menschen ins All zu bringen. Der erste Flug des Systems fand im Jahr 1981 statt, seither wurden insgesamt 135 Flüge durchgeführt, wobei es zu zwei fatalen Unfällen kam, bei denen jeweils eine Raumfähre mitsamt sieben Besatzungsmitgliedern verloren ging.

Der Erstflug

des Space Shuttle wurde vom Orbiter **Columba** am 12. April 1981 durchgeführt. Start in Kape Canaveral (Florida), Landungen in der Edwards Air Force Base (Kalifornien).

In den darauffolgenden 21 Missionen, die bis Januar 1986 durchgeführt wurden, stand der Satellitentransport im Vordergrund. Außerdem fanden einige rein wissenschaftliche Flüge statt, bevor es zum Challenger-Unglück kam.

Letzter Start am 16. Januar 2003, der Flug endete mit einem Unglück.

Die verschiedenen Orbiter:

Columba Flug siehe oben, insgesamt 28 Missionen.

Challenger: Erstflug am 4. April 1983, die letzte Mission, Start am 28. Januar 2003, endete mit einem Unglück. Insgesamt kam sie auf nur 10 Missionen.

Discovery startete am 30. August 1984 zu ihrer ersten Mission, nach 39 Missionen startete dieser Orbiter am 24. Februar 2011 zur letzten Mission. Steht heute im Steven F. Udvar-Hazy Center (Virginia)

Atlantis flog vom 7. Mai 1984 (erster Start) bis zum 21. Juli 2011 (letzte Landung) und absolvierte 33 Missionen, steht heute im Kennedy Space Center (Florida).

Endeavour startete am 7. Mai 1992 das erste Mal, nach 25 Missionen und der letzten Landungen am 1. Juni 2011 wurde der Orbiter ins California Science Center (Kalifornien) gebracht.

Weitere gebaute Orbiter waren die OV-098 **Pathfinder** und die OV-101 **Enterprise**. Pathfinder war ein Handling-Modell aus Stahl, das nicht flugfähig war. Es wurde zum Erproben und Einüben der Abläufe am Boden eingesetzt. Pathfinder trug keine offizielle Nummer, wurde manchmal aber als OV-098 aufgeführt.

Die Enterprise war ein flug-, jedoch nicht raumflugtauglicher Prototyp, der für Gleitversuche und für Flugversuche auf dem Rücken des Shuttle Carrier Aircrafts eingesetzt wurde. Beide Modelle können heute in Museen besichtigt werden.

Challenger Unglück (1986)

Der Start erfolgte am 28. Januar 1986. Es war die 25. Space-Shuttle-Mission sowie der zehnte und letzte Flug der Raumfähre Challenger. 73 Sekunden nach dem Start zerbrach die Raumfähre, wobei alle sieben Besatzungsmitglieder ums Leben kamen. Es handelte sich zu diesem Zeitpunkt um das schwerste Unglück in der US-Raumfahrtgeschichte.

Columba Unglück (2003)

Der Start erfolgte am 16. Januar 2003. Die Fähre brach nach zweiwöchigem Flug am 1. Februar 2003 beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre auseinander. Alle sieben Besatzungsmitglieder kamen dabei ums Leben. Es war die 113. Space-Shuttle-Mission – die einzige des Jahres 2003 – und der 28. Flug der Raumfähre Columbia.

Sonden zum Mond

Die Erforschung der Mondoberfläche, als Vorbereitungen für die bemannten Mondflüge begann 1958. Allerdings explodierten die ersten 7 Lunik und Pioneer-Sonden nach dem Start oder hatten andere Fehler.

Zunächst musste die Technik für Flug und Navigation entwickelt werden. Es wurden Vorbeiflüge (Erster März 1959 mit Pioneer 4, USA) und harte Landungen (Erste September 1959 mit Lunik 2, UdSSR) geplant.

Die USA und die damalige UdSSR sandten unbemannte Sonden zum Mond, welche die Oberfläche und Bodenbeschaffenheit untersuchten, und denen sich als ein Höhepunkt die bemannten Mondflüge des Apollo-Programms (1969-1972) anschlossen

Luna 2 (UdSSR)

Start September 1959, Nach etwa 1,5 Tagen erreichte Lunik 2 den Mond. Der Einschlag erfolgte am 14. September zwischen den Kratern Autolycus und Archimedes – am Rand der ihr zu Ehren im Jahr 1970 in Sinus Lunicus benannten Mondbucht. Es ist damit das erste von Menschen gemachte Objekt, das einen anderen Himmelskörper erreicht.

Aufnahmen beim Vorbeiflug und aus dem Orbit

Zond 3 (UdSSR)

(gestartet am 18. Juli 1965 mit einer Molnija-Rakete) war ursprünglich als Marssonde geplant, wurde jedoch aufgrund von Startverzögerungen und dem Schließen des Mars-Startfensters zum Mond geschickt. Sie erprobte beim Vorbeiflug am Mond (in 9200 km Entfernung) ein

Kamerasystem und andere Experimente und lieferte bis zu einer Entfernung von 30 Millionen km Daten.

Zond 4 bis 8

Tests für eine unbemannte Mondumkreisung mit Rückkehr zur Erde.

Zond 7

(gestartet am 7. August 1969 mit einer Proton-K-Rakete war wahrscheinlich die einzige völlig erfolgreiche Mission innerhalb des Zond-4–8-Programms. Es wurde ein bemannter Mondflug erprobt. Eine Schildkröte an Bord überstand den Siebentage-Flug ohne Wasser und Nahrung. Dieser Flug war der einzige des gesamten Programms, den eine Besatzung mit Sicherheit schadlos überstanden hätte. Zu diesem Zeitpunkt war jedoch die erste US-amerikanische Mondlandungsmission von Apollo 11 erfolgreich abgeschlossen.

Lunar Orbiter 4 (UdSSR)

Gestartet im Mai 1967, stürzte im Oktober 1967 auf die Oberfläche. Die Sonde machte 546 Bilder. Dadurch wurde die Mondvorderseite fast vollständig und die Rückseite zu etwa 3/4 erfasst.

Lunar Orbiter 5 (UdSSR)

August 1967 gestartet, Januar 1968 aufgeschlagen, Ab dem 6. August 1967 wurden 844 Bilder übertragen, u. a. von der noch nicht ganz erfassten Mondrückseite.

Explorer 49 (USA)

Juni 1973, Mondorbiter zur Erforschung von Radioquellen im Weltraum (keine Erforschung des Mondes).

Luna 22 (UdSSR)

Mai 1974, erfolgreicher Orbiter. Schwenkte am 2. Juni 1974 in die Mondumlaufbahn ein und übertrug 15 Monate lang Daten aus dem Mondorbit.

Clementine (USA)

Startete im Januar 1994. Sie erreichte am 19. Februar eine polare Umlaufbahn um den Mond. Die Sonde kartierte bis Mai etwa 95 % der Mondoberfläche (insgesamt rd. 1,6 Millionen Einzelbilder). Indizien für Wassereis am lunaren Südpol.

Aufgrund einer Computerpanne kam es am 7. Mai unmittelbar vor dem Aufbruch zum Asteroiden (1620) *Geographos* zu einer fehlerhaften Triebwerkszündung, die die Sonde in eine Eigenrotation von 80 Umdrehungen pro Minute versetzte und alle Treibstoffreserven verbrauchte. Danach wurde die Sonde in eine Bahn um die Erde geführt, um einige Instrumente im Flug durch den Van-Allen-Gürtel zu untersuchen. Im Juni 1994 versagte die Sonde ihren Dienst.

SMART 1 (Europa)

September 2003 (ESA, Europa) Orbiter. Erreichte am 15. November 2004 mit Hilfe eines Ionenantriebs eine Umlaufbahn um den Mond. Stürzte am 3. September 2006 planmäßig ab.

Kaguya (Japan)

September 2007 (JAXA, Japan), Orbiter mit zwei kleinen Subsatelliten. Geplante Missionsdauer mindestens ein Jahr. Der Orbiter trat am 3. Oktober 2007 in eine Mondumlaufbahn ein. Kaguya schlug am 10. Juni 2009 wie geplant auf dem Mond auf.

Sonden auf der Oberfläche

A) Weich gelandete Sonden

Luna 9 (UdSSR)

Erste weiche Landungen am 3.2.1966 im Oceanus Procellarum der UdSSR

Surveyor 1 (USA)

Erste weiche Landungen der USA am 2.6.1966 ebenfalls im Oceanus Procellarum. Die Sonde arbeitete rund 6 Wochen und übertrug 11.200 Bilder.

Surveyor 3

Landungen im April 1967 im Oceanus Procellarum. Teile der Sonde wurden von den Astronauten der Mission Apollo 12 demontiert und zurück auf die Erde gebracht.

Surveyor 5

Landung am 11.9.1967 im Mare Tranquillitatis, Übersandte bis zum 17. Dezember 1967 19.000 Bilder, Daten und analysierte eine Bodenprobe.

Surveyor 6

November 1967, Die Sonde übermittelte 15.000 Bilder und zahlreiche Daten. Am 17. November 1967 wurde das Triebwerk der Sonde erneut gestartet und die Sonde setzte dann 2,5 m entfernt erneut auf.

Nach diesen Tests der Technik und die Erkundung der Mondoberfläche erfolgten bemannte Missionen.

B) Bemannte Missionen

Apollo 8 (USA)

Besatzung Frank Borman, William Anders und James Lovel
Start am 21. Dezember 1968 Landungen am 27. Dezember 1968 Flugdauer 6d 3h 0min
Umkreisten 10 mal den Mond

Apollo 10

Besatzung Tom Stafford, John Young und Eugene Cernan
Mutterschiff Charly Brown
Landemodul Snoopy
Start am 18. Mai 1968 Landungen 26. Mai 1968 Flugdauer 8d 0h 3min
Test des LEM in Mondnähe, der Abstieg ging bis auf 15km Höhe während das Mutterschiff im Orbit in 110km den Mond 31 mal umkreiste.

Apollo 11

Besatzung Neil A. Armstrong, Edwin E. Aldrin jun. und Michael Collins
Mutterschiff Columba
Landemodul Eagle
Landung am 20. Juli 1969 im Mare Tranquillitatis
Insgesamt mehr als zwei Stunden EVA, sammelten 21kg Bodenproben
Flugdauer 8d 3h 18min

Apollo 12

Besatzung Charles Conrad jun. Richard F. Gordon und Alan L. Bean

Mutterschiff Yankee Clipper

Landemodul Intrepid

Start am 14. November 1969 Landungen am 24. November Flugdauer 10d 4h 36m

Landung am 19. November 1969 nördlich der Riphäus-Berge 180m von Surveyor 3 entfernt

Zeit auf dem Mond 31h 31m

Apollo 13

Besatzung Jim Lovell, Fred W. Haise und John L. Swigert

Mutterschiff Odyssey

Landemodul Aquarius

Start am 11. April 1970, Landung am 17. April Flugdauer 5d 22h 54m

Ein Leck im Sauerstofftank zwang sie in der Aquarius nach einer Mondumrundung zur Erde zurück.

Apollo 14

Besatzung Allan B. Shepard, Edgar D. Mitchell und Stuart A. Roosa

Mutterschiff Kitty Hawk

Landemodul Antares

Start am 31. Januar 1971 Landungen am 9. Februar 1971 Flugdauer 9d 0h 1m

Landung am 5. Februar 1971 im Frau-Mauro Hochland

Sie verbrachten neun Stunden damit 43kg Gestein zu sammeln, mitgeführt wurde ein zweirädiger Karren, die Rikscha, zum Gesteinsproben Transport

Apollo 15

Besatzung David R. Scott, Alfred M. Worden und James B. Irwin

Mutterschiff Endeavour

Landemodul Falcon

Start am 26. Juli 1971 Landung am 7. August 1971 Flugdauer 12d 7h 12m

Landung am 30. Juli 1971 an der Hadley-Rille mitgeführt wurde erstmals das Mondauto (Rover)

Die Mondfähre verließ die Oberfläche am 2. August, die Übertragung des Starts zur Erde mit der Kamera des Rovers gelang aber noch nicht wie gewünscht.

Apollo 16

Besatzung John W. Young, Ken Mattingly und Charles M. Duke

Mutterschiff Casper

Landemodul Orion

Start am 16. April 1972, Landung am 27. April 1972 Flugdauer 11d 1h 51m

Landung am 21. April 1972 im Descartes Hochplateau

Länge der vier EVAs 20h 17m

Apollo 17

Besatzung Eugene A. Cernan, Ronald E. Evans und Harrison H. Schmitt

Mutterschiff America

Landemodul Challenger

Start am 7. Dezember 1972 Landung am 19. Dezember 1972 Flugdauer 12d 13h 52m

Landung am 11. Dezember 1972 im Taurus Littrow Gebirge

C) Sonden mit Rückstart

Luna 16 (UdSSR)

Start September 1970, Erste erfolgreiche Rückkehr einer unbemannten Raumsonde mit Mondproben. Landung der Rückkehrkapsel am 24. September 1970 in Kasachstan.

Luna 20

Februar 1972, Erfolgreiche Rückkehr mit Mondproben. Landung der Rückkehrkapsel am 25. Februar 1972 mit 150 g Mondgestein.

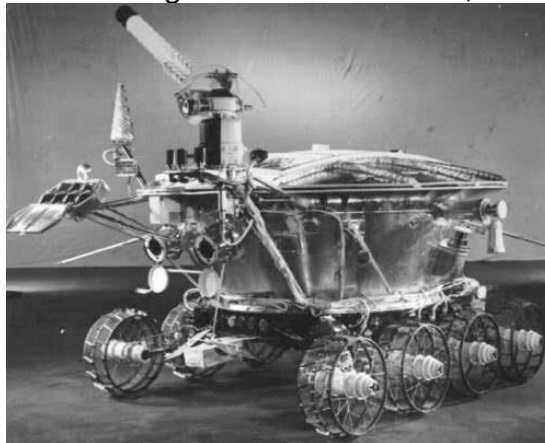
Luna 24

August 1976, Erfolgreiche Rückkehr mit Mondproben. Landung der Rückkehrkapsel am 22. August 1976 mit 170 g Mondgestein.

Russisches Mondauto

Luna 17 (UdSSR)

Landung November 1970 im Mare Imbrium, war der erste Rover überhaupt, der einen fremden Himmelskörper erkundete. Der Rover legte in 11 Monaten 10,5 km zurück.



Luna 21

Landung im Januar 1973. Das 840 kg schwere Lunochod 2 legte in 5 Monaten 37 km zurück.

Weitere Erforschung

Chang'e 1 (China)

Oktober 2007 (CNSA China) Orbiter. Erste Mondmission der Volksrepublik China. Chang'e ist die chinesische Mondgöttin. Trat am 5. November 2007 in eine Mondumlaufbahn ein. Am 1. März 2009 schlug Chang'e-1 gezielt um 09:13 Uhr MEZ auf dem Mond auf.

Chang'e 2 (China)

Start im Oktober 2010, Orbiter, der den Mond sechs Monate umkreiste, um ihn zu vermessen und zu fotografieren.

Chang'e 3 (China)

Start am 1. Dezember 2013 mit Lander und Rover. Landung am 14. Dezember 2013 im Mare Imbrium. Der Rover Jadehase nahm seine Tätigkeit auf und arbeitet weithin.

Chang'e 4 (China)

Start 7. Dezember 2018 mit Lander und Rover. Die Sonde landete am 3. Januar 2019 erfolgreich im Mondkrater Von Kármán im Südpol-Aitken-Becken auf der **Mondrückseite**. Der Relais Satellit Queqiao wurde im Mai 2018 gestartet. Er ist erforderlich weil eine Landung auf der Rückseite des Mondes geplant ist und nur so die Funkverbindung mit der Erde erfolgen kann. Die Sonde Chang'4 startete im Dezember 2018, die Landung erfolgte am 3. Januar 2019 – es war die erste Landung auf der Rückseite des Mondes. Landeplatz ist der Von-Kármán-Krater (180 km) im Südpol-Aitken-Becken auf der **erdabgewandten** Seite des Mondes. Eine Studie deutet darauf hin, dass der Boden des Einschlagkraters von einer bis zu zwölf Meter dicken Schicht loser Ablagerungen bedeckt ist. Die plausibelste Interpretation sei, dass es sich um eine Regolithschicht handle, die Auswurfablagerungen aus verschiedenen Kratern bis in 24 Meter Tiefe überlagert, schreiben Li und Kollegen. Die Daten erhielten Li und seine Kollegen, indem sie die hochauflösenden Bilder von Jadehase 2 mit bodendurchdringenden Radaraufnahmen kombinierten. Tiefer als die 40 Meter reichte das Radarsignal nicht, die Autoren vermuten aber, dass sich das körnige Material noch tiefer erstreckt.

LCROSS (USA)

Juni 2009 (USA) Einschlagsonde zum Nachweis von Wassereis am Mondspol. Start und Flug gemeinsam mit dem Lunar Reconnaissance Orbiter. Aufschlag am 9. Oktober 2009 im westlichen Teil des 95-km-Kraters Cabeus.

GRAIL (USA)

September 2011 (USA), Zwei Orbiter zur genauen Vermessung des lunaren Schwerefelds. Kontrollierter Absturz in der Nordpolregion des Mondes am 17. Dezember 2012.

Vikram (Indien)

Am 2.9.2019 löste sich die Landefähre Vikram vom Orbiter Chandrayaan-2. Der Landeort befindet sich auf einer Ebene zwischen den kleinen Kratern Manzinus C und Simpelius in der Nähe des Südpols. Dort erkundet der Rover Pragyan die Oberfläche im Umkreis von 500 Metern. Die Landung war für den 7.9. geplant. Die Verbindung von Vikram zum Orbiter riss in 2100 Meter Höhe ab.

Sonden im Sonnenorbit

Ulysses (NASA ESA)

Start am 6.10.1990

Die Raumsonde wurde 1990 von einem Space-Shuttle in den Erdborbit gebracht. Durch die Mission sollen erstmalig Bereiche über den Sonnenpolen (Heliosphäre) erkundet werden. Ulysses soll Erkenntnisse über die Eigenschaften der Sonnenkorona, den Sonnenwind, das heliosphärische Magnetfeld, galaktische kosmische Strahlen, solare Radio-Bursts und Plasmawellen liefern. Außerdem werden kosmischer Staub, Gamma-Strahlen-Impulse und die Jupiter-Magnetosphäre während des Jupiter-Vorbeifluges untersucht.

Ulysses erforscht auf einer ungewöhnlichen Bahn einen noch wenig bekannten Teil des Sonnensystems. Die Raumsonde fliegt nicht in der Ebene der Planeten, sondern in einer stark geneigten Bahn über den Südpol der Sonne. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Sonde bei einem Jupitervorbeiflug aus der Ekliptik geschleudert wurde. Die elektrische Energie für die Experimente stammt aus einem thermoelektrischen Generator, der aus einer radioaktiven Quelle gespeist wird.

1994 flog Ulysses zum ersten Mal über den Südpol der Sonne und hat dort mit insgesamt 9 Instrumenten Daten über das Magnetfeld, den Sonnenwind, den kosmischen Staub und über Röntgen- und Gammastrahlen-Ausbrüche der Sonne gesammelt.

Im Juni 2009 wurde die Sonde abgeschaltet.

Kepler (USA)

Umlaufbahn

Um die Beobachtungen möglichst ungestört durchführen zu können, wurde das Teleskop nicht in eine Umlaufbahn um die Erde gebracht. Kepler befindet sich stattdessen in einem Sonnenorbit, dessen Umlaufzeit (372,5 Tage) und Exzentrizität etwas von dem der Erde abweichen. Die Sonde läuft dabei der Erde hinterher und entfernt sich im Laufe der Jahre immer weiter von dieser. So ist es möglich, die Beobachtungsregion ohne periodische Verdeckung durch die Erde und mit minimalen Störeinflüssen zu überwachen.

Start

März 2009

Aufgaben

Der letzte in dieser kleinen Reihe von Satelliten zum Finden von Planeten ist Kepler. Kepler ist die größte bis zu diesem Zeitpunkt gebaute Sonde für diesen speziellen Zweck. (die Sonde wiegt 1039 kg und das Teleskop ist 5 Meter hoch)

Technischer Aufbau

Kepler hat nur ein Instrument: ein Schmidt Teleskop mit 0.95 m Öffnung und 1.4 m Spiegelgröße, das 9 größte Schmidtteleskop das je gebaut wurde (und das größte Teleskop das die Erde verlassen hat).. Schmidt Teleskope sind Weitwinkel Teleskope und so bildet dieses recht große Instrument ein sehr großes Gesichtsfeld ab: Es hat 12 Grad Durchmesser und davon werden 105 Quadratgrad auf 42 CCD, jeder mit 2204 x 1024 Pixeln abgebildet. Das ergibt eine Kamera mit 94 MPixeln.

Die Sterne werden nicht wie bei COROT und MOST verschmiert, man nutzt vielmehr lange Belichtungszeiten um sehr genaue Helligkeitsmessungen zu bekommen, denn die CCD Chips arbeiten als Photometer, d.h. es wird kein Bild erzeugt, sondern für jeden Stern gemessen, welche Helligkeit er hat.

Kepler hat 150.000 Sterne untersucht, dabei Hinweise auf 2.321 Exoplaneten geliefert. 100 wurden davon schon durch mehrere Beobachtungen bestätigt. Darunter sind einige spektakuläre Entdeckungen so die ersten Sonnensysteme mit mehreren Planeten und die ersten Sonnensysteme mit Planeten aus Gestein. Der im Dezember 2011 veröffentlichte Planet Kepler 22b ist der erste Planet der in einer habitablen Zone um seinen Stern entdeckt wurde. Er hat mindestens die 2,4-Fache Masse der Erde. Er umkreist einen G5 Stern, also einem ähnlichen Typ wie die Sonne (0,97 Sonnenmassen) mit einer Periode von 290 Tagen. Die Temperatur sollte ohne Atmosphäre in der Größenordnung von 262 K liegen. Bei der Erde je nach Modell zwischen 257 und 267 K.



Wegen eines technischen Defekts lässt sich das Teleskop nicht mehr mit der erforderlichen Genauigkeit positionieren und die NASA teilte im August 2013 das Ende der Suche nach Exoplaneten für Kepler mit.

Durch den Ausfall von zwei Gyroskopen lässt sich die Eigendrehung des Teleskops nicht aufheben, ein Objekt wandert nach vier Tagen aus dem Sensorbereich.

Ende 2018 war der Treibstoff verbraucht und am 15. November 2018 wurde der Sender des Satelliten abgeschaltet.

STEREO (USA)

Start war im Oktober 2006.

Das Projekt STEREO (**S**olar **T**errestrial **R**elations **O**bservatory) der US-Raumfahrtbehörde NASA besteht aus zwei fast identischen Raumsonden, die die Sonne und die Wechselwirkung ihrer Teilchenausbrüche und Felder mit der Magnetosphäre der Erde erstmals dreidimensional beobachten (Stereoeffekt). Die beiden Sonden umkreisen unser Tagesgestirn auf Bahnen etwas inner- bzw. außerhalb der Erdbahn. Seit 2015 befinden sich beide auf der der Erde gegenüberliegenden Seite der Sonne. Im Juli 2016 sind die Abstände 0,9674 bzw. 1,0095 Astronomische Einheiten.

Parker Solar Probe (USA)

Start am 12. August 2018, geplant sind mehrere Umläufe um die Sonne, die die Sonde unterschiedlich nah an die Sonne heranführen.

Auf den letzten drei Orbits mit einer Umlaufzeit von 88 Tagen soll die Sonnensonde jeweils innerhalb von 9 R_s an die Sonne nahekomen, was 6,16 Millionen Kilometer entspricht und etwa einem Siebtel der Minimalentfernung des bisherigen Rekordhalters Helios. Die Momentangeschwindigkeit beträgt dann am sonnennächsten Punkt (Perihel) ungefähr 690.000 km/h oder 190 km/s.

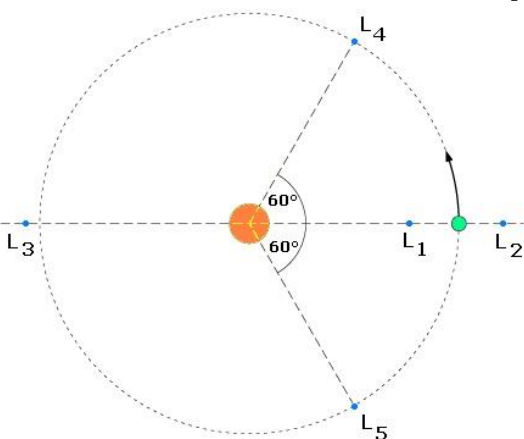
Die Sonde durchfliegt bei jedem Umlauf die Korona der Sonne. Dort soll sie die Ursachen für die hohe Temperatur erforschen.

Solar Orbiter (ESA)

Start am 10. Februar 2020. Geplant ist, dass die Sonde sich unserem Zentralgestirn zwischenzeitlich bis auf 42 Millionen Kilometer nähert. Entsprechend intensiv wird die Strahlung sein. Zum Vergleich: An einem warmen Sonnentag prasseln etwa 1000 Watt Strahlung pro Quadratmeter auf die Erde. Die Sonde wird mit 17,4 Kilowatt Strahlungsleistung auf derselben Fläche klarkommen müssen.

Hauptziel der Mission ist die Untersuchung des Sonnenwindes. Dabei wird der Solar Orbiter Strukturen in der Sonnenkorona ab einer Größe von 35 Kilometern aufnehmen können. Die Mission ist für zunächst sieben Jahre finanziert und kann bei erfolgreichem Verlauf zumindest um zwei bis drei Jahre verlängert werden.

Sonden in den Librationspunkten



L1

SOHO (USA)

Die Aufgaben des SOHO umfassen zahlreiche Experimente, die der Erforschung unserer Sonne dienen. Das SOHO vereinigt dabei europäische und US-amerikanische Sonden-Planungen der 1980er Jahre.

SOHO wurde in Europa gebaut und am 2. Dezember 1995 von der Cape Canaveral Air Force Station gestartet.

SOHO ist ein dreiachsstabilisierter, modular aufgebauter Satellit, der permanent auf die Sonne ausgerichtet ist. Zur Beobachtung der Sonne waren an Bord:

- Ein Teleskop mit einer Öffnung von 13 cm und einer Brennweite von 130 cm
- EIT beobachtet im extremen UV Das Instrument besteht aus einem Ritchey-Chretien Teleskop.
- Ein Michelson Interferometer, um Bewegungen auf der Sonne zu messen
- Ein UV-Spektrometer, das Gerät kann auch Bilder der Sonne aufnehmen
- Ein Radiometer, das die Strahlung der Sonne aufzeichnet
- CDS bestimmt die Helligkeit der Korona in ausgewählten Spektrallinien
- CELIAS Dieses Experiment untersucht die geladenen Teilchen des Sonnenwindes.
- UVCS macht Spektren der Korona der Sonne bis zu 10 Sonnenradien Entfernung im UV Bereich
- LASCO besteht aus 3 hintereinander geschalteten Koronographen Diese beobachten die solare Korona von 1.1 bis 30 Sonnenradi.
- SWAN hat die Aufgabe die Bewegung des Sonnenwindes entlang verschiedener Breitengrade zu untersuchen.
- COSTEP besteht aus zwei Detektoren zur detektion von Teilchen verschiedener Energie
- GOLF bestimmt die Bewegung der Sonne über die gesamte Scheibe mit einer hohen Genauigkeit
- ERNE ergänzt COSTEP, da es schwere Ionen nachweist, die von der Sonne bei verschiedenen Prozessen emittiert werden.

Genesis (USA)

Sie sammelte Sonnenmaterie und brachte sie zur Erde zurück. Sie wurde im August 2001 gestartet und erreichte L1 im November. Im September 2004 stürzte die Probenkapsel in Idaho. Dadurch war die hermetische Versiegelung der Probe nicht mehr gegeben und sie wurde verunreinigt.

DSCOVR (USA)

Das **Deep Space Climate Observatory** oder deutsch: Klimaobservatorium im tiefen Weltraum. Betreiber sind NASA, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) und die US Air Force. Die Sonde dient zur Beobachtung bestimmter Aspekte des Sonnen- und Erdklimas und eine Art Warnboje für Sonnenstürme.

Der Start erfolgte am 15. Februar 2015, 110 Tage danach soll die Sonde L1 erreichen. (7.6.)

L2

James Webb Teleskop (USA)

Der Start kann frühestens Oktober 2018 erfolgen.

Der Bau des 6,5-m-Spiegels ist 2013 abgeschlossen.

Aufgabe ist es, die Hintergrundstrahlung zu beobachten. Man erhofft sich dadurch Erkenntnisse über die Bildung der ersten Sterne.

Gaia (Europa)

ist eine astronomische Weltraummission der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), mit der rund ein Prozent der Sterne unserer Milchstraße astrometrisch, photometrisch und spektroskopisch mit sehr hoher Präzision vermessen werden soll. Gaia ist Nachfolger der Hipparcos-Mission der ESA in den 1980er Jahren, Gaia ist am 19. Dezember 2013 mit einer russischen Sojus-Fregat-Rakete vom Centre Spatial Guyanais in Französisch-Guayana gestartet werden.

Die beiden Teleskope des Gaia-Observatoriums besitzen jeweils einen rechteckig geformten Hauptspiegel von 1,45 x 0,45 Metern Größe sowie einen Sekundär- und einen Tertiärspiegel zur Abbildung. Die Gesichtsfelder der Teleskope liegen 106,5 Grad auseinander. An Bord befinden sich drei Hauptinstrumente, welche über die beiden Teleskope simultan Objekte in zwei unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen betrachten können. Auf diese Weise lassen sich äußerst genaue relative Positionsabstände messen

WMAP (USA)

Der Nachfolger von COBE ist WMAP, das ist die Abkürzung für Wilkinson Microwave Anisotropy Probe. Der Satellit hat die Aufgabe die kosmische Hintergrundstrahlung zu vermessen und dies mit erheblich höherer Genauigkeit als dies COBE tat. Folgende Verbesserungen wurden erreicht: Die Sensitivität ist 45 mal höher und die Winkelauflösung 33 mal höher. Damit kann der Satellit folgende Forschungsziele durchführen:

- Bestimmung der Werte von kosmologischen Parametern nach der Urknalltheorie
- Untersuchung wie die Strukturen von Galaxien sich im frühen Universum bilden konnten
- Bestimmung des Zeitpunktes wann sich die ersten Galaxien formten.

Wie COBE bestimmt der Satellit die räumliche Variabilität der kosmischen Hintergrundstrahlung. Er wurde am 30.6.2001 mit einer Delta II in den L₂ Punkt gestartet, wo er abseits der Erde weniger Störungen der Bahn ausgesetzt ist als COBE

Planck (Europa)

Das 1921 kg schwere Planck-Teleskop wurde zusammen mit dem Infrarotteleskop Herschel durch eine Ariane 5 in den Weltraum gebracht. Der Start erfolgte am 14. Mai 2009 von Kourou. Nach dem Brennschluss der Oberstufe wurden der Planck-Satellit wenige Minuten nach dem Herschel-Teleskop auf einer hochelliptischen Erdumlaufbahn zwischen 270 und 1.197.080 km Höhe, die 5,99° zum Äquator geneigt ist, ausgesetzt, von der aus er mit einem kleinen Bahnmanöver seine Lissajous-Bahn um den Lagrange-Punkt L₂ des Erde-Sonne-Systems erreichte.

Der Satellit soll Temperaturfluktuationen der Hintergrundstrahlung im Bereich von einem Millionstel Grad ermitteln. Ziel von Planck ist eine Kartierung der kosmischen Hintergrundstrahlung parallel bei neun Frequenzen zwischen 30 und 857 GHz. Die Winkelauflösung von Planck ist mit Werten zwischen 4 Bogenminuten für die höchsten und 33 Bogenminuten für die niedrigsten Frequenzen wesentlich besser als bei den vergleichbaren früheren Projekten COBE und WMAP.

Am 14. August 2013 wurde das Teleskop nach 1554 Tagen Betrieb vom L₂-Punkt abgezogen und in eine Bahn gebracht, die sicherstellt, dass es für die nächsten 300 Jahre nicht durch die Erde eingefangen wird. Demnach ist z. B. das Alter des Weltalls geringfügig von 13,7 Milliarden Jahren auf 13,82 Milliarden Jahre erhöht. Auch die neuen Angaben zur Zusammensetzung des Weltalls (Dunkle Materie usw.) wurden quantitativ geändert. Auffällig ist aber eine geringe Asymmetrie der Materieverteilung.

Im April 2013 war der Kühlmittelvorrat für das Infrarotteleskop Herschel verbraucht und es musste seinen Betrieb einstellen.

Die Erforschung des Planetensystems

Sonden ins innere Planetensystem

Merkur

Merkur gehört zu den am wenigsten erforschten Planeten des Sonnensystems. Dies liegt vor allem an den für Raumsonden sehr unwirtlichen Bedingungen in der Nähe der Sonne, wie der hohen Temperatur und intensiven Strahlung, sowie an zahlreichen technischen Schwierigkeiten, die bei einem Flug zum Merkur in Kauf genommen werden müssen.

Mariner 10 (USA)

Sie startete im November 1973, passierte die Venus im Februar 1973, von der sie 4165 Bilder übertrug. Am 29. März 1974 passierte sie Merkur in einer Entfernung von 705 km passiert, wobei 2450 Bilder übermittelt wurden. Damit war erstmals eine Raumsonde bei diesem Planeten angekommen. Merkur lenkte die Sonde in eine 176-tägige Umlaufbahn um die Sonne um.

Die letzte Begegnung am 16. März 1975 führte dagegen bis auf 375 km an den Merkur heran, um das Magnetfeld besser studieren zu können. Am 24. März 1975 waren die Vorräte an Treibstoff erschöpft und die Sonde wurde abgeschaltet. Mariner 10 war bis März 2011 (dem Eintreffen von MESSENGER beim Merkur) die einzige Merkursonde.

MESSENGER (USA)

Erster Merkur Orbiter, die Sonde startete 3.8.2004 und gab in mehreren Vorbeiflugmanövern an Erde (2.8.2005) Venus (24.10.2006, 5.6.2007) und Merkur (14.1.2008, 6.10.2008, 29.9.2009) so viel Bewegungsenergie („stürzt“ in Richtung Sonne) ab, dass sie am 18. März 2011 beim vierten Vorbeiflug am Merkur mit einem 15-minütigen Bremsmanöver in eine Umlaufbahn um den Planeten einschwenkte.

Die Sonde umrundet Merkur in Höhen zwischen 200 und 15.000 km. Wegen der langsamen Rotation des Merkur hat die geplante Umlaufbahn von MESSENGER eine spezielle Form, um den Planeten jeweils im Sonnenlicht beobachten zu können und die Sonde nicht zu lange der von der Oberfläche reflektierten Sonnenhitze auszusetzen. Später wurde ein Kreisorbit in 200 km Höhe eingeschlagen. Dabei umflog die Raumsonde den Planeten alle 12 Stunden einmal für die Zeitdauer von einem Jahr auf der Erde (entspricht 2 Merkurtagen).

MESSENGER konnte dabei erstmals den Planeten vollständig kartieren und widmete sich speziell der Untersuchung der geologischen und tektonischen Geschichte des Merkurs sowie seiner Zusammensetzung. Weiterhin soll die Sonde nach dem Ursprung des Magnetfeldes suchen, die Größe und den Zustand des Planetenkerns bestimmen, die Polarkappen des Planeten untersuchen sowie die Exosphäre und die Magnetosphäre erforschen.

Aus den Daten der Anziehungskraft des sonnennächsten Planeten schließen die Forscher auf die ungewöhnlich massive innere Struktur. Der Eisenkern des Merkurs nimmt demnach 85 Prozent seines Radius ein - er ist damit erheblich größer als angenommen. Zum Vergleich: Der Erdkern reicht nur etwa bis zur Hälfte des Radius. Mantel und Kruste haben beim Merkur folglich so wenig Anteil wie die Schale bei einer Orange.

Am 24. April 2015 wurde ein letztes Mal die Umlaufbahn der Raumsonde korrigiert. Der Treibstoff war nun aufgebraucht. Am 30. April schlug Messenger mit einer Geschwindigkeit von ca. 3,91 Kilometern pro Sekunde (14.081 km/h) auf der erdabgewandten Seite des Merkur ein und hinterließ dabei einen Krater, dessen Durchmesser auf etwa 16 Meter geschätzt wird.

BepiColombo (Europa und Japan)

ist eine Raumsonde, die ursprünglich 2013 zum Merkur starten sollte. Jedoch dauert die Entwicklung diverser Komponenten länger als geplant, so dass der Starttermin zunächst auf Juli 2014, dann auf August 2015 verschoben wurde. Aktuell ist der Start für Juli 2016 geplant. Neuer geplanter Starttermin ist der 17.4.2018, die Sonde wird dann Ende 2024 bei Merkur eintreffen.

Die Mission ist eine Kooperation zwischen der ESA und der japanischen Raumfahrtbehörde JAXA.

BepiColombos Hauptaufgaben bestehen in der Untersuchung des Magnetfelds sowie der geologischen Zusammensetzung und Geschichte des sonnennächsten Planeten. Die Sonde ist nach dem Spitznamen des 1984 verstorbenen italienischen Mathematikers Giuseppe Colombo benannt, der sich um die Merkurerkundung besonders verdient gemacht hat.

Die Mission wird aus zwei Orbitern bestehen, die Merkur - anders als Mariner 10 - umkreisen sollen. Das Hauptraumfahrzeug *Mercury Planetary Orbiter* (MPO) wird von der ESA gebaut. Eine zweite Sonde, der *Mercury Magnetospheric Orbiter* (MMO), wird von der Japanischen Raumfahrtagentur (JAXA) geliefert. Während der MPO seinen Fokus auf die Erforschung der Oberfläche und der Zusammensetzung Merkurs legen wird, soll der MMO die Magnetosphäre des Planeten erkunden und vermessen.

Die 1.500 Kilogramm schwere Sonde wird mit einem solar-elektrischen Antrieb - oder Ionenantrieb - ausgestattet sein, was eine stetige Beschleunigung ermöglicht und eine enorme Treibstoffeinsparung gegenüber einem konventionellen chemischen Triebwerk bedeutet.

Venus

Venera (UdSSR)

Venera 1 startete am 12.2.1961, war die erste Sonde des Venera-Programms, die den Erdborbit verließ. Ein Programm der UdSSR, Sonden, die den Orbit nicht verließen, wurden Sputnik genannt. Flog in 100.000 km Entfernung an der Venus vorbei.

Erst **Venera 4** trennte einen Lander ab, der am 18.10.1967 bis auf eine Höhe von 25 km Daten übermittelte, bevor die Batterie versagte. **Venera 5** startete im Januar 1969. Fünf Monate später konnte ihre Landesonde schon bis 18 km Höhe Kontakt halten. **Venera 6** (5 Tage später) funktionierte bis 10 km Höhe und **Venera 7** führte am 15. Dezember 1970 die erste erfolgreiche Landung aus. Von der Oberfläche sendete die Sonde noch 23 Minuten Daten über den Druck (90 bar), Temperatur und Lichtverhältnisse. **Venera 8** startete im März 1972 und landete 4 Monate später.

Bei der zweiten Generation stand beim Start eine stärkere Trägerrakete zur Verfügung und der Orbiter konnte in eine hochexzentrische Umlaufbahn um die Venus einschwenken.

Venera 9 landete am 20. Oktober 1975 und übermittelte die ersten Bilder. **Venera 10** landete 5 Tage später.

Bei Venera 9 und 10 wurde das Landemodul von einem Orbiter abgesetzt, der den Kontakt halten sollte. Das war immer nur eine kurze Zeit möglich, bis der Orbiter auf seiner Umlaufbahn aus dem Bereich des Landers verschwand.

Bei den 1978 gestarteten „Venera 11“ und „Venera 12“ kehrte die Sowjetunion dann wieder zur althergebrachten Technik zurück: Die Muttersonde flog am Planeten vorbei und setzte einen Lander ab. Dies erlaubte einen längeren Kontakt mit dem Lander. Beide Sonden konnten – weil sich die Verkleidung der Kamera nicht lösen konnte – nur Daten, aber keine Bilder übermitteln.

Venera 13, start Oktober 1981 und **Venera 14**, die 5 Tage später startete, lieferten Daten und Bilder.

Venera 15 und **Venera 16** kartierten die Venus mittels Radar 9 Monate lang vom Orbit aus. Ihr Start war im Juni 1983.

Mariner (USA)

Mariner 2 startete am 27. August 1962 und entdeckte bereits auf dem Weg zur Venus den von Ludwig Biermann in den 1950er Jahren postulierten Sonnenwind. Sehr bald gab es Probleme mit der Sonde: Nach einer Kurskorrektur am 4. September 1962 stieg der Druck im Stickstofftank an, und es entwich Treibstoff. Eine weitere Kurskorrektur war nicht mehr möglich. Ende Oktober ließ die Leistung eines der beiden Solarpanels nach, welches am 15. November 1962 ganz ausfiel. Da die Sonde sich der Sonne näherte, reichte jedoch der Strom des zweiten Panels, um die Sonde zu betreiben. Weitere Defekte folgten, konnten jedoch von der Erde aus behoben werden. Als die Sonde am 14. Dezember 1962 die Venus in einer Distanz von 34.773 km ohne Probleme passierte und alle Messinstrumente Daten lieferten, witzelte man bei

der NASA, die Abkürzung JPL stünde für „Just Plenty of Luck“ (dt. „Einfach eine Menge Glück“). Am 3. Januar 1963 fiel Mariner 2 endgültig aus.

VeGa (UdSSR)

Nach Abschluss der weitgehend erfolgreichen Venera-Raumsonden führte die Sowjetunion zwischen 1984 und 1986 zwei weitere planetare Raumflüge durch: **VeGa 1** und **VeG 2**. Die beiden Vega-Sonden waren die ersten sowjetischen Sonden, die zwei völlig unterschiedliche Objekte (Venus und Halley) anfliegen sollten. Auch gab es bei dieser Mission eine starke internationale Beteiligung: Neben den Ostblockstaaten DDR, Polen, Tschechoslowakei, Ungarn und Bulgarien waren auch die westeuropäischen Staaten Frankreich, Österreich und die Bundesrepublik Deutschland, letztere erstmals auf einer sowjetischen Sonde, vertreten. Die Sonde bestand aus einer Muttersonde, einem Landeteil und dem Ballon. Die Ballons der VeGa-Sonden waren die ersten und bis jetzt einzigen auf einem anderen Himmelskörper zum Einsatz gekommenen Ballons. Sie wurden in Frankreich gefertigt und in einer Höhe von 54 km entfaltet und ausgestoßen. Die Ballons hatten einen Durchmesser von 3,4 m und wogen 25 kg. Ein Ballon trug an einem 12 m langen Seil eine 5 kg schwere Nutzlast mit Sensoren zur Ermittlung von Temperatur, Druck, vertikaler Windgeschwindigkeit, Helligkeit und Sichtbarkeit der Atmosphäre sowie zur Detektion von Blitzen. Die Stromversorgung erfolgte durch Batterien. Der Ballon wurde auf der Nachtseite der Venus ausgesetzt und trieb antriebslos mit den Winden der Venusatmosphäre. Er wurde durch ein Netz von zwölf Bodenstationen verfolgt, von denen sich sechs außerhalb der Sowjetunion befanden. Sobald der Ballon auf der Tagseite der Venus ankam, wurde er durch die Sonneneinstrahlung erhitzt und platzte.

VeGa 1 startete im Dezember 1984, **VeGa 2** sechs Tage später. Beide Sonden flogen im Juni 1985 an der Venus vorbei, setzten Landesonden ab, die am gleichen Tag landeten. Beide Sonden erreichten die Oberfläche und übermittelten von dort 56 und 57 Minuten lang Daten. Ferner wurden am 11. und 14. Juni 1985 die beiden Ballone (abgesetzt. Der Vega-1-Ballon flog 46½ Stunden lang, der von Vega 2 sogar 60 Stunden, bevor der Kontakt abbrach.

Mariner 5 (USA)

Start im Juni 1967, mit dem Ziel eines nahen Vorbeiflugs an der Venus. Im Oktober 1967 passierte die Sonde den Planeten in einem Abstand von 4000 km. Während 6 Minuten passierte das Funksignal die Atmosphäre bis es schließlich die Venus erreichte und abbrach. Es konnte die Zusammensetzung der Atmosphäre präzisiert werden: Sie sollte nach den Messungen zu mindestens 72-87 % aus Kohlendioxid bestehen. Der Rest sollte aus Stickstoff bestehen.

Durch Messungen der Veränderungen des Funksignals war bald klar, dass es keine Gravitationsanomalien gab, d.h. die Oberfläche relativ glatt und der Mantel gleichmäßig sein musste. Der mittlere Venusradius wurde zu 6051.8 km bestimmt. Als Nebenprodukt wurde die astronomische Einheit, die mittlere Entfernung von Erde zur Sonne auf 1.5 km genau mit dem Zahlenwert 149.597.870 km bestimmt.

Die NASA beendete am 5.11.1968 offiziell das Projekt.

Pioneer Venus (USA)

Pioneer Venus 1 startete im Mai 1978 von Cape Canaveral. Im Dezember trat sie in einen Venusorbit ein und kartierte die Oberfläche mittels Radar. Im Oktober 1992 verglühte die Sonde in der Atmosphäre.

Pioneer Venus 2 startete im August 1978. Ende des Jahres wurde erst die große Tochtersonde, dann drei kleine Tochtersonden ausgesetzt. Die Muttersonde und ihre vier Tochtersonden traten am 9. Dezember 1978 in die Atmosphäre der Venus ein und untersuchten sie bis zur Oberfläche. Dabei gelang es einer der drei kleinen Tochtersonden, den Aufschlag auf der Oberfläche mit etwa 35 km/h zu überleben und nach der Landung noch 67 Minuten Daten zu

senden. Es stellte sich heraus, dass es volle drei Minuten dauerte, bis sich der beim Aufschlag aufgewirbelte Staub wieder gelegt hatte.

Venus Express (Europa)

ist eine Raumsonde der ESA, die am 9. November 2005 mit einer Sojus-FG/Fregat-Rakete vom kasachischen Baikonur aus gestartet wurde. Sie trat nach 153 Tagen Reisezeit am 11. April 2006 in eine Umlaufbahn um den Planeten Venus ein. Die Raumsonde ist, nach etwa 20 erfolgreichen sowjetischen und US-amerikanischen Missionen seit den 1960er Jahren, die erste europäische Mission zur Venus.

Wichtigstes Ziel der Mission ist es die Atmosphäre der Venus mit ihrer rund 20 km dicken und dichten Wolkendecke zu erforschen. Aus den Untersuchungen erhoffen sich die Wissenschaftler Rückschlüsse und Erkenntnisse auf die zukünftige Entwicklung des Klimas der Erde. Im Vordergrund stehen zudem Fragen zu den Prozessen im komplexen Wolkensystem der Venus, der Rolle des Treibhauseffekts bei der Klimabildung, den Ursachen für die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre und vermutete seismische und vulkanische Aktivitäten.

Magellan (USA)

Die Sonde wurde im Mai 1989 vom Space Shuttle aus auf die Reise zur Venus gestartet. Im August 1990 schwenkte sie dann in einen Orbit ein und kartierte die Venus durch Radarmessungen.

Im Jahr 1993 testete man mit *Magellan* das so genannte Aerobraking-Manöver, die Abbremsung einer Sonde mittels Durchflug durch obere Atmosphärenschichten eines Planeten. Zudem wurden dadurch Schlussfolgerungen über die Dichte und die Zusammensetzung der Gashülle möglich.

Magellan verglühte am 12. Oktober 1994 in der Venusatmosphäre.

Akatsuki (Japan)

Start: Mai 2010

Ankunft bei Venus: Dezember 2015

Zu den Instrumenten gehören auch fünf Kameras: drei für den infraroten Bereich, eine für das im ultraviolette Spektrum und eine weitere, die Lightning and Airglow Camera (LAC), um Blitze und andere Leuchterscheinungen in der Atmosphäre aufzunehmen. Zwei der Infrarotkameras dienen Erkundungen der Oberflächenbeschaffenheit, der Wolkentemperaturen und der Dampfkonzentrationen.

Seit April im Orbit zwischen 4 000 und 370 000 km, Umlaufzeit 10,5 Tage

Sonden ins äußeren Sonnensystem

Pioneer (USA)

Da **Pioneer 10** für den Weg zum Jupiter eine hohe Fluchtgeschwindigkeit erreichen musste, wurde eine schubstarke Trägerrakete benötigt. Man entschied sich für eine Atlas-Rakete mit einer Centaur-Oberstufe. Zusätzlich wurde eine Feststoffoberstufe eingesetzt. Diese war 1127 kg schwer und lieferte über einen Zeitraum von 43 Sekunden einen Schub von 66,7 kN. Diese Sonde wurde am 3. März 1972 gestartet. Anders als viele frühere Sonden wurde Pioneer 10 direkt auf einen Kurs zu Jupiter gebracht, anstatt erst in einen Parkorbit befördert zu werden. Mit einer Geschwindigkeit von 14,36 Kilometern pro Sekunde übertraf sie die Geschwindigkeit der Apollo-Raumschiffe. Diese benötigten drei Tage zur Mondumlaufbahn, Pioneer 10 nur 11 Stunden.

Im November 1973 erreichte Pioneer 10 das Jupitersystem, als sie die Bahn des äußersten zum damaligen Zeitpunkt bekannten Mondes Sinope kreuzte.

1976 passierte Pioneer 10 die Bahn von Saturn und 1979 die von Uranus, eine Erkundung dieser Planeten war aber nicht vorgesehen. Am 13. Juni 1983 passierte die Sonde als erste die Bahn von Neptun, dem äußersten Planeten des Sonnensystems. Pioneer 10 blieb bis zum 17. Februar 1998 das am weitesten von der Erde entfernte von Menschen geschaffene Objekt. Die 1977 gestartete Sonde Voyager 1 befindet sich aber inzwischen dank ihrer höheren Geschwindigkeit in größerer Distanz zur Erde.

Die Sonde erwies sich als äußerst robust und sendete das letzte Mal im Januar 2003 Daten zur Erde. Mit einer Missionsdauer von knapp 31 Jahren übertraf sie ihre geplante Lebensdauer von 21 Monaten um mehr als das Sechzehnfache.

Pioneer 11 startete am 6. April 1973 mit einer Atlas-Centaur-Rakete auf Cape Canaveral.

Der Vorbeiflug an Jupiter fand am 3. Dezember 1974 in 43.000 km Abstand zur Oberfläche statt. Dabei gewann die Sonde rund 500 Bilder und zahlreiche Daten.

Der Vorbeiflug an Saturn fand am 1. September 1979 in 21.000 km Abstand statt. Dabei wurden rund 400 Bilder gemacht. Die Sonde entdeckte Details der Saturnringe und einen neuen Saturnmond. Pioneer 11 war die erste Sonde, die den Planeten Saturn passierte.

Am 23. Februar 1990 passierte Pioneer 11 als viertes irdisches Raumfahrzeug nach Pioneer 10, Voyager 1 und Voyager 2 die Neptunbahn und drang dann in den interstellaren Raum vor. Wegen Treibstoffmangels wurde die Mission zum 30. September 1995 eingestellt. Die NASA erhielt am 24. November 1995 eine letzte Telemetrie von Pioneer 11.

Voyager (USA)

Voyager 1 ist eine Sonde zur Erforschung des äußeren Planetensystems und des interstellaren Raums. Sie wurde am 5. September 1977 von Cape Canaveral mit einer Titan-III-Centaur-Rakete gestartet. Voyager 1 flog zunächst die Planeten Jupiter und Saturn an und bewegt sich seitdem auf die äußere Grenze des Sonnensystems zu.

Die Mission der Voyager 1 gilt als einer der größten Erfolge der NASA und der Raumfahrt allgemein, da die Sonde ihre geplante Lebenserwartung bereits weit übertroffen hat und noch heute regelmäßig Daten zur Erde sendet. Außerdem ist sie das am weitesten von der Erde entfernte von Menschen gebaute Objekt überhaupt und wird diesen Status auf absehbare Zeit auch behalten. Die Entfernung von Voyager 1 zur Sonne beträgt (Stand 30. Mai 2013) etwa 124,4 Astronomische Einheiten (AE) (ca. 18,6 Milliarden Kilometer), eine Entfernung, für die Licht ca. 17 Stunden und 8 Minuten benötigt. Jährlich nimmt sie um rund 3,6 AE zu (ca. 540 Mio. km), dies entspricht einer Geschwindigkeit von etwa 61.380 km/h. Von der Erde aus betrachtet befindet sich Voyager 1 im Sternbild Schlangenträger.

Um eine Antenne besser in Richtung Erde auszurichten, konnte die NASA am 29. November 2017 einige Schubdüsen, die zuletzt im November 1980 in der Nähe des Saturn verwendet wurden, erfolgreich für kurze Impulse wieder aktivieren. Mit dieser Maßnahme erhofft sich die NASA, die Lebensdauer der Sonde um zwei bis drei Jahre zu verlängern.

Die identische Schwestersonde **Voyager 2** startete bereits 16 Tage früher auf einer anderen Flugbahn. Die Flugzeit bis zum Jupiter betrug etwa 20 Monate.

Als Voyager 2 am 25. April 1979 im Jupitersystem ankam, löste sie ihre Schwestersonde Voyager 1 bei der Erkundung des Planeten beinahe nahtlos ab. Die Flugbahn von Voyager 2 war so gewählt, dass sie einige Monde von jener Seite untersuchen konnte, welche Voyager 1 verborgen geblieben war. Auch die neu entdeckten Ringe und die Nachtseite von Jupiter sollten genauer untersucht werden. Erkundet wurden die Monde Amalthea, Io, Europa, Kallisto und Ganymed, alle noch vor der Jupiterpassage.

Saturn erreichte die Sonde im

Am 4. November 1985 begann Voyager 2 ihre Beobachtungen von Uranus.

Im August 1989 flog Voyager 2 in einer Entfernung von nicht einmal 5000 km am Gasriesen Neptun vorbei.

Sie ist das am zweit-weitesten (nach ihrer Schwestersonde) von der Erde entfernte von Menschen gebaute Objekt. Die Entfernung von Voyager 2 zur Sonne betrug im Mai 2013 etwa

101,8 Astronomische Einheiten (AE), das entspricht etwa 15,2 Milliarden Kilometern. Am 21. April 2018 hatte die Sonde eine Entfernung von 117AE.

Kometen

ISEE-3/IC (USA)

Wurde zunächst in einen Halo-Orbit um den Lagrange-Punkt L_1 gebracht um die Wechselwirkung des Erdmagnetfeldes mit der Sonne zu erforschen. Danach verließ die Sonde unter dem neuen Namen „International Cometary Explorer“ das Erdschwerefeld und flog am 11. September 1985 in 7.800 km Abstand am Kometen **Giacobini-Zinner** vorbei und näherte sich dem **Halleyschen** Kometen im März 1986 auf 31 Millionen km an.

VeGa (UdSSR)

Name von Venus (russisch = **Venera**) und Halley (russisch = **Gallej**)

Nachdem VeGa 1 und 2 die Venus passiert hatten, flogen sie zu *Halley* weiter. Die Passage am Kometen Halley fand bei **VeGa 1** am 6. März 1986 in 8890 Kilometern Entfernung statt, bei **VeGa 2** am 9. März 1986 in 8030 Kilometern Abstand.

Nach dem **Halley**-Rendezvous wurden beide Sonden abgeschaltet.

Sakigake (Japan)

Flog am 11. März 1986 in 7 Millionen km Entfernung am Kometen **Halley** vorbei. Weitere Vorbeiflüge an den Kometen **Honda-Mrkos-Pajdusakova** und **Giacobini-Zinner** konnten wegen der erschöpften Treibstoffvorräte nicht mehr realisiert werden.

Giotto (Europa)

Giotto startete am 2. Juli 1985 mit einer Ariane-1-Rakete vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou. Die Passage bei **Halley** erfolgte am 14. März 1986 in nur 596 km Abstand mit einer Vorbeiflug-Geschwindigkeit von 68,7 km/s (247.320 km/h), was durch Bahnkorrekturen aufgrund von Messungen der anderen Sonden ermöglicht wurde. Dabei überstand Giotto überraschenderweise den engen Vorbeiflug an dem Kometen, wurde jedoch 7,6 Sekunden vor der dichtesten Annäherung an Halley schwer getroffen. Die Kamera und einige andere Instrumente waren sofort unbrauchbar oder zerstört, jedoch konnte sich die ins Schlingern geratene Raumsonde wieder fangen und binnen 30 Minuten stabilisieren. Die Sonde wurde auf einen Rückflug zur Erde programmiert und zunächst abgeschaltet.

Im Jahr 1990 wurde die Sonde dann reaktiviert; ein Vorbeiflug an der Erde fand am 2. Juli 1990, genau fünf Jahre nach dem Start statt.

Am 10. Juli 1992 passierte die Sonde einen zweiten Kometen, **Grigg-Skjellerup** (Abstand: 200 Kilometer), danach wurde die Sonde erneut zur Erde zurückgelenkt und am 23. Juli 1992 (endgültig) deaktiviert. Der zweite Erdvorbeiflug fand am 1. Juli 1999 statt, doch wurde die Sonde wegen des nahezu erschöpften Treibstoffvorrats nicht mehr reaktiviert.

Suisei (Japan)

Flog am 8. März 1986 in 151.000 km Entfernung am Kometen **Halley** vorbei. Weitere Vorbeiflüge an den Kometen Tempel-Tuttle und Giacobini-Zinner konnten wegen der erschöpften Treibstoffvorräte nicht mehr realisiert werden.

Deep Space 1 (USA)

Startete im Oktober 1998, primäres Ziel war die Erforschung von neuen Technologien. Den Asteroiden 9969 Braille passierte die Sonde im Juli 1999 in nur 26km Abstand, im September 2001 flog sie am Kometen **19/P Borelly** in etwa 2200km Abstand vorbei.

Getestet wurde der Ionenantrieb der Sonde. Ein **Ionenantrieb** ist ein Antrieb, bei dem nach dem Rückstoßprinzip der Ausstoß eines (neutralisierten) Ionenstrahls zur Fortbewegung genutzt wird. Es werden auch je nach Energiequelle die Begriffe *solar-elektrischer Antrieb* (engl. *Solar Electric Propulsion*, SEP) und *nuklear-elektrischer Antrieb* (engl. *Nuclear Electric Propulsion*, NEP) verwendet.

Erzeugt wird der Ionenstrahl, indem Gasteilchen (z. B. Xenon) oder Kleinsttröpfchen (z. B. Quecksilber) zunächst ionisiert werden. Anschließend werden sie in einem elektrischen Feld beschleunigt. Nach der Passage des sogenannten Neutralisators, der dem Strahl wieder Elektronen zuführt und ihn somit elektrisch neutral macht, werden die Teilchen in Form eines Strahls ausgestoßen.

Der Neutralisator ist ein wichtiger Bestandteil des Systems. Ohne ihn würde dieses sich aufladen und der Strahl diffundieren und in einem Bogen zum Raumfahrzeug zurückkehren. Die Anziehungskraft zwischen Ionen und Flugkörper würde die Schubwirkung aufzehren.

Im Dezember 2001 wurde die Sonde abgeschaltet.

Stardust (USA)

Die Sonde startete im Februar 1999 in ein Sonnenorbit mit zweijähriger Umlaufdauer. Durch ein Swing-by (*Gravity Assist*-Manöver), bei dem sich die Sonde im Januar 2001 durch einen nahen Vorbeiflug an der Erde zusätzlichen Schwung holte, wurde der Orbit auf eine zweieinhalbjährige Umlaufzeit ausgeweitet. Mit diesem Schwung führte die Sonde zwei Sonnenumkreisungen durch, bevor sie bei der erneuten Begegnung mit der Erde im Januar 2006 die Rückkehrkapsel für den Wiedereintritt ausklinkte.

Im Januar 2004 flog Stardust schließlich in einer Entfernung von 240 km und mit einer Relativgeschwindigkeit von 6,1 km/s an dem Kometen **Wild 2** vorbei. Dabei schoss die Sonde mehrere Aufnahmen des Kometen und sammelte Komamaterial ein.

Rosetta (Europa)

ist eine Raumsonde der ESA, die am 2. März 2004 mit einer Ariane 5 G+ gestartet und auf den Weg zum Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko geschickt wurde. Rosetta, gebaut von EADS Astrium in Friedrichshafen, ist der erste Kometen-Orbiter und wird im Jahr 2014 in eine Umlaufbahn um diesen kleinen Himmelskörper einschwenken und ihn erforschen, nachdem auf dem Flug dorthin in den Jahren 2008 bzw. 2010 die Asteroiden (2867) Šteins und (21) Lutetia passiert wurden.

Am 6. August erreichte die Sonde den Nahbereich des Kometen **67P/Tschurjumow-Gerassimenko** das heißt sie befand sich zusammen mit dem Kometen auf einer Umlaufbahn um die Sonne, am 11. November 2014 soll der Lander Philae auf dem Kern des Kometen landen. Die Landung war nur teilweise erfolgreich: Philae kam auf einem schattigen Landeplatz auf der Seite liegend zum Stillstand.

Am 2.9.2016 fotografierte Rosetta Philae bei der Annäherung bis auf 2700 m. Am 30.9. hat die Sonde auf dem Kometen aufgesetzt.

Deep Impact (USA)

Die Sonde wurde im Januar 2005 gestartet und erreichte sechs Monate später den Kometen **Tempel 1**. Der Einschlag des Impactors erfolgte im Juli 2005. Dabei wurde das letzte Bild 3,7 Sekunden vor der Kollision aus einer Höhe von etwa 30 km über der Oberfläche vom Impaktor zur Muttersonde übertragen. Zum Zeitpunkt des Einschlags war die Vorbeiflugsonde etwa 8.600 km von der Einschlagsstelle entfernt. Im Juni 2010 flog die Sonde an der Erde vorbei. 2013 letzter Kontakt zur Sonde und Abbruch.

Mars

Zond 2 (UdSSR)

(gestartet am 30. November 1964 mit einer Molnija-Rakete) war eine Marssonde, die am Roten Planeten vorbeifliegen und dabei Messungen und Fotos machen sollte. Eines der beiden Solarpaneele entfaltete sich jedoch nicht, so dass die Stromversorgung mit zunehmender Sonnenentfernung immer kritischer wurde. Am 14. Mai 1965 ging der Funkkontakt mit der Sonde verloren. Am 6. August 1965 passierte die stumme Sonde in nur 1500 km Entfernung den Mars.

Mariner (USA)

Mariner 4 startete im November 1964 und begann acht Monaten später in 14496 km Entfernung zum Mars die Aufnahme von Bildern mit einem Cassegrain Teleskop von 305 mm Brennweite und einem Durchmesser von 38 mm. Die Daten wurden erst danach mit 8,33 Bit/sec zur Erde übertragen. Obwohl ein Bild nur 200 × 200 Bildpunkte und 6 Bits (64 Graustufen) pro Bildpunkt hatte, dauerte bei dieser Datenrate eine Übertragung eines Bildes zur Erde 16 Stunden. Obgleich nur 1 % der Oberfläche erfasst waren sank damit die Hoffnung auf einen erdähnlichen Mars, da auch die Daten über die Atmosphäre klar machten, dass dieser Planet kaum Atmosphäre besitzt.

Mariner 6 startete am 24. Februar 1969. Sie wurde auf eine sehr schnelle Bahn geschickt und passierte den Mars am 31. Juli 1969. Dadurch war die Vorbeiflughöhe mit 3430 Kilometern erheblich geringer als bei Mariner 4. Dies und weitere Verbesserungen von Sendern und Empfängern erlaubten es, ein Bild innerhalb weniger Minuten zu übertragen. Die Sonde machte zunächst aus größerer Entfernung 50 Aufnahmen des Mars, die den ganzen Planeten zeigten, dann beim Vorbeiflug weitere 25 Aufnahmen mit der Weitwinkelkamera, die direkt übertragen wurden.

Mariner 7 startete am 27. März 1969. Am 2. August 1969 fertigte die Sonde 93 Aufnahmen bei der Annäherung an, die zwei volle Rotationen des Planeten abdeckten. Bei der Passage gab es weitere 33 Bilder. Beide Sonden passierten den Mars auf der Südhalbkugel und kartierten 20 Prozent der Oberfläche. Der Bodendruck und die Temperaturen konnten genauer bestimmt werden. Auf Aufnahmen von Mariner 7 konnte die Größe von Phobos, dem größeren der beiden Marsmonde, zu 22,4 × 17,6 km bestimmt werden.

Mariner 9 startete am 30. Mai 1971. Am 14. November 1971 zündete die Sonde ihr Triebwerk und schwenkte in einen 1397 km x 17.616 km Orbit ein. Mariner 9 war damit die erste irdische Sonde überhaupt, die in eine Umlaufbahn um einen anderen Planeten einschwenkte. Zu diesem Zeitpunkt tobte auf dem Mars der größte Staubsturm seit 1953, sodass die ersten Fotos nur die Gipfel einiger hoher Vulkane zeigten. Zu Beginn des Jahres 1972 klärte sich die Atmosphäre auf, und Mariner 9 begann den Mars zu kartieren. Es wurden Oberflächentemperaturen und die Zusammensetzung der Atmosphäre bestimmt.

Mars (UdSSR)

Mars 2: Start im Mai 1971, im November des gleichen Jahres wurde die Landekapsel vom Orbiter abgetrennt. Allerdings zerschellte die Landekapsel, der Orbiter hingegen.

Als Mars 2 seine Arbeit aufnahm, tobte ein globaler Staubsturm, der jede Sicht auf den Planeten verschleierte. Mars 2 machte nur wenige Bilder, die kaum Details der Oberfläche durch den Sandsturm zeigten. Als sich der Sturm legte, war der Film schon verbraucht. (die Bilder wurden auf Film aufgenommen, abgetastet und diese Daten zur Erde übermittelt) Bei Mars 2 fiel zudem ein Kanal, der die meisten wissenschaftlichen Daten übertragen sollte, sehr früh in der Mission aus. Im Juli 1972 verlor man innerhalb weniger Tage den Kontakt.

Mars 3: Start im Mai 1971, am 2.12.1971 wurde die Landekapsel abgetrennt, diese wurde zuerst über einen Fallschirm abgebremst, dann 12 m über dem Boden wurde der Fallschirm

abgetrennt und der Rest im freien Fall zurückgelegt und die Restenergie durch Airbags und Schockabsorber aufgenommen. 90 Sekunden nach der Landung begann die Landesonde mit der Übertragung des ersten Bildes vom Mars, brach aber 20 Sekunden später die Übertragung ab und verstummte danach. Es wurden lediglich einige Zeilen des Bilds zur Erde übertragen. Der Orbiter arbeitete 220 Tage.

Mars 4 startete am 21. Juli 1973, geplanter Mars-Orbiter, wegen fehlerhafter Bremstriebwerke nur ein Vorbeiflug am 10. Februar 1974 in 2.200 km Entfernung vom Mars. Lieferte etwa 20 Aufnahmen

Mars 5 startete 25. Juli 1973, im Februar 1974 schwenkte er in ein Orbit ein. Er verlor Druck, wahrscheinlich hatte ein Teilchen die Wand durchschlagen. Ohne Druck im Orbitteil würde aber der Sender versagen. Man rechnete aufgrund des Druckverlustes mit einer Lebenszeit von 3 Wochen. Die gesamte Elektronik der Sonden befand sich in einem zentralen Zylinder, der unter einer Atmosphäre wie auf der Erde stand, arbeitete also wie unter Erdbedingungen und war nicht für den Betrieb im Vakuum ausgelegt. Insbesondere arbeiteten Kühler mit Luft als Medium, welches Wärme an Kühlschlangen abgab. Während 22 Orbits gewann Mars 5 Daten. Am 28.2.1974 kam der letzte Kontakt zustande, danach versagte der Sender wegen des Druckverlusts.

Mars 6 startete 5. August 1973 Geplanter Mars-Lander. Der Kontakt brach kurz vor der Landung ab, wahrscheinliche Ursache waren fehlerhafte Bremsraketen, die kurz über dem Boden gezündet werden und die Sonde vor einer harten Landung schützen sollen. Sie lieferte beim Abstieg einige Daten über die Atmosphäre

Viking (USA)

Die bisher komplexesten Sonden zum Mars starteten die Amerikaner 1975. Jede Viking Sonde bestand aus einem Orbiter und einem Lander. Im Gegensatz zu den Sowjets wurden beide zuerst in einen Marsorbit eingebremst, wo die Orbiter zuerst nach einem geeigneten Landeplatz Ausschau hielten. Die Viking Mission war vorwiegend eine Landermission und so verfügten die Orbiter nur über 3 Experimente. Neben der Unterstützung der Lander durch Übertragung deren Daten war die Hauptaufgabe der Orbiter die Kartierung des Mars und die Bestimmung von jahreszeitlichen Veränderungen in der Atmosphäre.

Die 1200 kg schweren Lander (Leergewicht 576 kg, Landegewicht 605 kg), waren in einer 3.6 m großen mehrteiligen Hülle verpackt, die unten durch den Hitzeschutzschild abgeschlossen war. Am interessantesten war das nur 15 kg schwere Biolabor, das aus einigen Versuchskammern mit Heizelementen und Vorrichtungen zur Zugabe von Gasen und Flüssigkeiten bestand. Der Greifer sammelte Material und füllte es in die Versuchskammern, wo es unter bestimmten Bedingungen bebrütet wurde und dann die freiwerdenden Gase durch den Gaschromatograph oder das Massenspektrometer untersucht wurde. In drei Experimenten suchte man nach Nachweisen über die Assimilation von radioaktiv markiertem Kohlenstoff (Photosyntheseexperiment), nach der Aufnahme von organischen Substanzen aus einer Nährlösung (Stoffwechselexperiment) und nach der Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre durch die Tätigkeit von Leben (Gasaustauschexperiment).

Viking 1 startete im August 1975, und erreichte die Umlaufbahnen im Juni 1976. Die Tochtersonde landete einen Monat später (in der Landschaft Chryse Planitia). Mit dem Orbiter wurde bis August 1980, zum Lander sogar bis November 1982 Kontakt gehalten.

Viking 2 startete im September 1975 und erreichte den Mars im August 1976. Die Landungen (in der Ebene Utopia Planitia) erfolgte einen Monat später. Der Kontakt zum Orbiter hielt bis September 1978, zum Lander April 1980.

Die verschiedenen Experimente lieferten kein eindeutiges Ergebnis darüber, ob organisches Leben auf dem Mars existiert oder nicht. Alle drei biologischen Experimente beobachteten Veränderungen, die durch organisches Leben hervorgerufen worden sein könnten.

Mit dem Mars Orbiter konnte die NASA Fotos von den Landestellen der Viking-Sonden machen, auf denen man die Landemodule erkennen kann.

Phobos (UdSSR)

Nach 14 Jahren Pause startete die Sowjetunion wieder eine Mission zum Mars. Ziel war diesmal nicht der Mars selbst, sondern der größere der beiden Monde Phobos. Eine genaue Erkundung des Mondes und das Absetzen von kleinen Landesonden, war nochmals die Möglichkeit eine Erstleistung zu vollbringen.

Zwei kleine Sonden: Einen Springer von 43 kg Gewicht (nur auf Phobos 2) und eine Lander von 67 kg Gewicht sollten auf dem Phobos abgesetzt werden. Ersterer hätte mit Springfedern maximal 10 Sprünge mit 20 m Weite über den Phobos machen können. Der Lander sollte über ein Jahr aktiv sein und die Oberflächentemperatur, seismische Aktivitäten und die Zusammensetzung der Oberfläche untersuchen. Weiterhin sollte er Aufnahmen des Landeplatzes anfertigen. Der Springer sollte das lokale Magnetfeld und die Bodeneigenschaften bei jedem Sprung untersuchen. Er war anders als der Lander nur batteriebetrieben.

Phobos 2 startete im Juli 1988, die Sonde schwenkte im Januar 1989 in einen Orbit ein. Sie entdeckte das Magnetfeld des Mars. Als die Sonde sich bis auf 200 km Phobos genähert hatte, verstummte sie.

Mars Global Surveyor (USA)

Start im November 1996 und begann im März 1999 die Erkundung des Mars vom Orbit aus. Im November 2006 ging die Sonde auf Grund eines Fehlers des Bodenpersonals verloren.

Mars Pathfinder (USA)

Es standen bei der NASA auch die neuen Technologien im Vordergrund, die diese Mission erproben sollte:

- Direkte Landung auf dem Mars ohne Eintritt in die Umlaufbahn, dazu entfielen von den 870 kg welche die Sonde wog, 304 kg auf eine "Cruise Stage" die für die Kommunikation, Kurskorrekturen, Stromversorgung und Lageregelung während des Fluges verantwortlich war und den Lander zielgenau im Ares Valles, einem ausgetrockneten Flusstal absetzen sollte.
- Landung ohne Abbremsung mit Raketentriebwerken, sondern einer großen Anzahl von Airbags
- Mitführung eines autonomen Kleinstfahrzeuges, das mit der Hauptsonde über ein UHF Modem kommuniziert.
- Erprobung neuer Technologien wie die PowerPC Prozessoren und einem kommerziellen Echtzeitbetriebssystem (VxWorks), JPEG Komprimierung usw.

Der Start war im Dezember 1996, die Landung fand am 4. Juli 1997 statt (Ares Vallis). Mars Pathfinder bestand aus einer Landeeinheit mit Kameras und Messinstrumenten sowie einem nur 10,6 kg schweren Roboterfahrzeug (Rover) namens **Sojourner**. Die Bewegungsfreiheit des Sojourner erlaubte es, viel mehr Gesteins- und Bodenproben zu analysieren, als es einer traditionellen Sonde möglich gewesen wäre. Die Härte der Marsoberfläche konnte mit dem Wheel Abrasion Experiment bestimmt werden, bei dem der Abrieb der Räder gemessen wurde. Bis zur letzten Übertragung am 27. September 1997 sendete Mars Pathfinder 16.500 von der Landeeinheit und 550 vom Rover aufgenommene Bilder sowie mehr als 15 chemische Analysen von Boden und Gestein zur Erde zurück, außerdem ausführliche Wetterdaten. Als wahrscheinlichste Ursache für den Ausfall der Sonde wird vermutet, dass die Batterien bei den kalten Nachttemperaturen auf der Oberfläche des Mars eingefroren sind.

Mars Polar Lander (USA)

Aus den Erfahrungen mit Pathfinder wurde gelernt und das Raumfahrzeug nahe des Südpols abgesetzt. Da auf dem Mars zur Landezeit Frühling auf der südlichen Hemisphäre herrschte, hat das Raumfahrzeug vom Tag der Landung zirka 90 Tage lang Sonne über den ganzen Tag über, so dass er nicht so stark auskühlen kann.

Als am 3.12.1999 die Landung begann, schwieg der Lander allerdings und meldete sich auch nicht in der folgenden Zeit. Das gleiche galt für die DS-2 Penetratoren. Spätestens nach einigen

Tagen, wenn die Batterie erschöpft war, war der Lander tot. Zuerst rätselte man über die Ursache. Man bekam - anders als bei Viking - keine Daten vom Abstieg und tappte so im Dunkeln. Im Februar 2000 ergab ein Probelauf beim Landesystem des nächsten Unternehmens, das man vom MPL übernommen hatte, die Ursache: Ein Sensor, der den Abstand zum Boden maß lieferte schwankende Werte, solange er noch nicht vollkommen freigelegt war. Er löste ein vorzeitiges Abschalten der Bremstriebwerke durch den Bordcomputer aus. Ein Test auf der Erde vor dem Start, unterblieb aus Kostengründen. Der Fehler wäre durch ein Softwareupdate (den Sensor nicht sofort, sondern erst wenn er sichere Daten liefert, abfragen) sogar noch am Tag der Landung zu vermeiden gewesen. So wurde das Landetriebwerk in 85 m Höhe vorzeitig abgeschaltet und die Sonde fiel mit hoher Geschwindigkeit auf den Mars und zerschellte dort.

Mars Odyssey 2001 (USA)

Nach dem Start am 7.4.2001 mit erfolgte die Ankunft am Mars am 24.10.2001. Nach ihrer Ankunft am Mars bestand die erste größere Hürde für die Sonde darin, ihre Geschwindigkeit mit Hilfe eines Aerobraking-Manövers zu reduzieren und dadurch in einen Orbit um den Mars einzuschwenken. Dabei durchflog die Sonde mehrfach die obersten Atmosphärenschichten des Mars, um durch die entstehende Reibung abgebremst zu werden.

Seit September 2006 fungiert der MCO lediglich als Funkrelais für die beiden Mars Rover, die 90 % ihrer Daten über ihn übermitteln, da nun der Mars Reconnaissance Orbiter mit erheblich leistungsfähigeren Instrumenten und einer sehr viel höheren Datenrate den Mars umkreist. Die Hauptphase der Mission begann im Februar 2002 und sollte im August 2004 enden. Da die Sonde sich in einem sehr guten Zustand befand, wurde die Mission bisher viermal um jeweils zwei Jahre verlängert, zuletzt bis September 2012. Abhängig von den geplanten Aufgaben besitzt die Sonde genügend Treibstoff bis 2015. Das erste Mal in der Geschichte der Marsforschung wird im Rahmen der Mission eine globale Karte der chemischen Elemente auf der Oberfläche erstellt. Ein Schwerpunkt der Mission liegt dabei auf der Fahndung nach Vorkommen von Wassereis. Zudem soll die Strahlungsbelastung in niedrigen Marsorbits untersucht werden, um die Risiken zukünftiger bemannter Marsmissionen besser zu erforschen. Höhepunkt der Mission von Mars Odyssey bildete der Nachweis großer Mengen von Wassereis insbesondere in der Südpolregion des Planeten im Oktober 2002.

Mars Exploration Rovers (USA)

Nach dem Verlust der Mars Polar Lander plante man, 2 Rover zu bauen. **Spirit** startete im Juni 2003, **Opportunity** einen Monat später. Bei der Landung wird zuerst das Raumfahrzeug mit dem Hitzeschild in der Marsatmosphäre abgebremst, danach wird der Fallschirm geöffnet. Kurz vor der Marsoberfläche stoppen Raketen die Sonde vollständig ab, daraufhin werden um den Lander Airbags aufgeblasen, woraufhin der Lander im freien Fall auf die Oberfläche heruntengelassen wird. Nachdem er zur Ruhe gekommen ist, werden die Airbags zurückgezogen und der darin enthaltene Rover kann seine Arbeit aufnehmen. Da eine unmittelbare Steuerung des Rovers aufgrund der Signallaufzeit von durchschnittlich 20 Minuten nicht möglich ist, muss jeder Einsatz im Vorhinein geplant werden. Dies geschieht auf der Erde durch Einsatz von Simulations- und Planungssoftware. Zudem existieren auf der Erde noch zwei baugleiche Rover, mit denen gewünschte Aktionen vorher gefahrlos getestet werden können, bevor sie auf dem Mars ausgeführt werden. Dies war zum Beispiel notwendig, um den festgefahrenen Rover **Opportunity** aus einer Sanddüne herauszumanövrieren.

Spirit landet im Januar 2004 im Gusev-Krater, er legt km zurück und überwinterte 3x.

Am 25. Mai 2011 wurde der Rover von der NASA aufgegeben, da davon ausgegangen wurde, dass es durch die lange Winterzeit ohne genug Energie zum Heizen zu irreparablen Defekten in der Elektronik gekommen sein muss.

Opportunity landete ein paar Tage später in Meridiani Planum, insgesamt betrug die zurückgelegte Wegstrecke 21 km, die in fast 3 Jahren Fahrtzeit zurückgelegt wurden.

Da ein Marstag ca. 40 Minuten länger als ein Erdtag dauert, verschoben sich auch die Arbeitszeiten jeden Tag. Die NASA stellte dafür auch spezielle Uhren zur Verfügung, die nach

der Marszeit ausgerichtet waren und den Mitarbeitern bei der Koordination in den Meetings helfen sollten. Das Missionsteam mit den Ingenieuren und Wissenschaftlern wurden in zwei Mannschaften aufgeteilt, die jeweils einen Rover betreuten. Dazu richtete man in einem Gebäude im JPL-Komplex zwei Stockwerke her, die sich farblich unterschieden (rote Farbmarkierungen für Spirit, blaue für Opportunity), damit sich die Mitarbeiter besser orientieren können.

Da die Rover in genau entgegengesetzten Plätzen auf dem Mars gelandet waren, begann eine Schicht der einen Mannschaft dann mit ihrer Arbeit, wenn das andere Team seine Schicht gerade beendet hatte. Bei Schichtanfang wurde in alter NASA-Tradition jeweils ein „Wakeup“-Song gespielt, um den Rover „aufzuwecken“. Dabei hatten die gewählten Lieder meist einen Bezug zur aktuellen Aufgabe des Tages. Nachdem die Mission in die Verlängerung ging, wurden die Schichtarbeit wieder zu normalen Arbeitszeiten umorganisiert. Die Rover erhielten nicht mehr jeden Tag ihre Befehle, sondern nur noch jeden zweiten Tag, oder einen längeren Aktionsplan über das Wochenende.

Spirit (USA)

Start im Juni 2003 mit Mars Express, Landung am 4. Januar 2004 im Krater Gusev. Wegen Kälteschäden in der Bordelektronik fuhr der Rover nur bis Mai 2011.

Opportunity (USA)

Start im Juni 2003 mit Mars Express, Landung am 25. Januar 2004.

Mars Express (Europa)

Mars Express wurde sehr schnell entwickelt. Grund für den Bau, war das mit Mars 96 auch zahlreiche Instrumente aus Europa verloren gingen, in denen beträchtliche Summen und Erfahrungen steckten. Der Name Mars Express bezieht sich auf den kurzen Zeitraum zwischen Genehmigung der Sonde und ihrer Entwicklung nach dem Verlust von Mars 96.

Mars Express ist schwerer als die amerikanischen Sonden, er wiegt beim Start 1120 kg, davon 427 kg Treibstoff. Er hat mehr Experimente an Bord: 7 Experimente von 116 kg Gewicht und einen zusätzlichen 69 kg schweren Lander namens **Beagle**.

Mars Express wird anders als Odyssey oder MGS in einer elliptischen Umlaufbahn bleiben. Im marsnahen Punkt wird beobachtet und im marsfernen Punkt wird kommuniziert.

Mars Express wurde am 2. Juni 2003 mit einer russischen Sojus-FG/Fregat Rakete von Baikonur aus gestartet. Die Startmasse der Sonde betrug 1223 kg.

Der Lander Beagle 2 sollte am 25. Dezember 2003 auf dem Mars landen, um dort nach Spuren organischen Lebens zu suchen. Da trotz wiederholter Versuche kein Kontakt hergestellt werden konnte, wurde das Landegerät am 11. Februar 2004 als verloren erklärt. Nach der erfolglosen Suche nach Beagle 2 wurden nach und nach auch die anderen Instrumente an Bord aktiviert.

Mars Reconnaissance Orbiter (USA)

Der Start war im August 2005, im März 2006 schwenkte die Sonde in ein Marsorbit ein. Die ersten Bilder, die die Sonde aus 2500km Höhe sendete hatten eine Auflösung von 2,5m pro Pixel. Die endgültige Umlaufbahn verlief über die Pole mit 250 x 320 km.



Aufnahme des Victoria-Kraters mit dem sich in der Nähe befindenden Opportunity-Rover

Phoenix (USA)

die am 4. August 2007 startete, am 25. Mai 2008 nahe der nördlichen Polarregion des Mars (Vastitas Borealis 68N 127O 233°) landete und am 2. November 2008 zum letzten Mal Signale zur Erde funkte. Die Sonde gehörte zum Mars-Scout-Programm der NASA, in dem kleinere und kostengünstigere Raumsonden geführt werden.

Phoenix war im Gegensatz zu den 2003 gestarteten Rovern Spirit und Opportunity eine stationäre Sonde. Sie landete in einer Region des Mars, wo nach den Daten von Mars Odyssey dicht unter der Oberfläche ab etwa zwei bis fünf Zentimeter Tiefe der Boden bis zu 80 Prozent aus Wassereis bestehen soll. Um das Eis zu studieren, konnte Phoenix mit einem Roboterarm in eine Tiefe von bis zu einem halben Meter in den Grund vordringen.

Hochauflösende Bilder des Mars Reconnaissance Orbiter vom 7. Mai 2010, kurz vor der Sommersonnenwende, deuteten darauf hin, dass während des Marswinters die Solarpaneele von Phoenix unter der Eislast verbogen oder abgebrochen wurden, wodurch der Lander endgültig funktionsunfähig wurde.

Curiosity (USA)

Start im November 2011, Landungen im August 2012. Curiosity (Neugier) war ein weitgehend autonomer Rover, der mit zehn Instrumenten zur Untersuchung von Gestein, Atmosphäre und Strahlung ausgerüstet ist.

Mit einer Masse von 900 kg und der Größe eines kompakten Kleinwagens ist *Curiosity* bislang das mit Abstand schwerste von Menschen geschaffene Objekt auf der Marsoberfläche und löste die Viking-Tochtersonden mit je knapp 600 kg ab.

Die Technik wurde auf Basis der Erfahrungen mit den beiden Mars Exploration Rovern entwickelt und verfügt in allen Bereichen über deutlich mehr Leistung. Zusätzlich sind noch einige Innovationen eingeflossen, besonders im Bereich seines Landesystems (sanftes, gezieltes Aufsetzen statt ungenauer Airbag-Aufschlaglandung). Des Weiteren erhielt *Curiosity* für seine Energieversorgung Radionuklidbatterien anstatt wetterabhängiger Solarzellen.

Mars Orbiter Mission ISRO (Indien)

Start am 5. November 2013, die Sonde erreichte im September 2014 die Umlaufbahn.

MAVEN (USA)

Der Start erfolgte im November 2013. Die Raumsonde dient zur Erforschung der Atmosphäre des Planeten Mars im Rahmen des Mars-Scout-Programms der NASA. Im September 2014 traf die Sonde im Marsorbit ein.

ExoMars (ESA, Roskosmos)

Am 14. März 2016 startete der ExoMars Trace Gas Orbiter von Baikonur. Die ESA-Raumsonde landete am 19. Oktober 2016 auf dem Mars, es konnte aber kein Kontakt mit ihr hergestellt werden. Sekunden vor dem Aufsetzen hörte die Sonde auf zu senden.

Die Mission besteht aus einem Orbiter (Trace Gas Orbiter), der Spurengase wie Methan in der Marsatmosphäre untersuchen soll, sowie dem Lander (Entry, Descent and Landing Demonstrator Module – EDM) Schiaparelli, mit dem die Landung auf dem Mars erprobt werden soll. Nach der Landung soll auch die Umgebung der Landestelle untersucht werden.

Für das Jahr 2020 ist ein Rover geplant, mit dem die Oberfläche des Mars detailliert untersucht werden soll. Der Start war zunächst für 2018 geplant, wurde aber im Mai 2016 aufgrund von "Verzögerungen der industriellen Aktivitäten und der Lieferung der wissenschaftlichen Nutzlast" auf 2020 verschoben. Wichtigstes Instrument ist ein Bohrer, mit dem Proben aus bis zu zwei Metern Tiefe gewonnen werden können. Die so gewonnenen Proben sind nicht von der Erosion der Oberfläche aus der jüngeren Vergangenheit betroffen und können damit einen Einblick in die Geschichte des Mars liefern. Auch hier ist eine Untersuchung auf ehemaliges oder aktuelles Leben wie auch geochemische Aktivitäten das wichtigste Ziel der Mission.

InSight (USA)

(Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) ist eine ursprünglich für März 2016 geplante Mars-Mission des Discovery-Programms der NASA. Dabei soll ein stationärer Lander auf der Oberfläche abgesetzt werden, der unter anderem mit einem Seismometer und einer Wärmeflusssonde ausgestattet sein wird, um die frühgeologische Entwicklung des Mars zu erforschen und damit das Verständnis der Entstehung der erdähnlichen Planeten des Sonnensystems (Merkur, Venus, Erde, Mars) und des Erdmonds zu verbessern.

Wegen eines defekten Seismometers musste der für März 2016 geplante Start verschoben werden. Der Start ist am 5. Mai 2018 erfolgt. Weiche Landung am 26. November 2018.

Asteroiden

NEAR (USA)

(Near Earth Asteroid Rendezvous)

Start war im Februar 1996, im März sandte die Sonde Bilder vom Komet **Hyakutake** aus 16,7 Millionen km Entfernung. Ein Vorbeiflug am Asteroiden **(253) Mathilde** fand am 27. Juni 1997 statt. Der Abstand betrug 1.200 km. Im Februar 2000 erreichte NEAR, als erste Sonde in der Geschichte, den Orbit um den Asteroid **(433) Eros**, nach einem Jahr im Orbit landete NEAR am 12. Februar 2001 auf Eros, auch das war eine Premiere in der Geschichte der Raumfahrt.

Deep-Space I (USA)

Wurde im Oktober 1998 gestartet Passierte den Asteroiden **(9969) Braille** am 29. Juli 1999 in nur 26 km Abstand. Es konnten zahlreiche Daten, aber aufgrund einer falschen Ausrichtung der Kamera nur wenige Bilder aus großer Entfernung gewonnen werden.

Stardust (USA)

Gestartet wurde die Sonde im Februar 1999. Zur Vorbereitung für das eigentliche Missionsziel flog Stardust am 2. November 2002 in nur 3.300 km Entfernung am Asteroiden **(5535) Annefrank** vorbei. Am 2. Januar 2004 flog Stardust in einer Entfernung von 240 km an dem

Kometen **Wild 2** vorbei, schoss mehrere Aufnahmen und sammelte Kometenmaterial ein. Am 15. Januar 2006 setzte Stardust eine Landekapsel ab, die in die Erdatmosphäre eintauchte, um anschließend an einem Fallschirm hängend auf der Erdoberfläche aufzusetzen. In einer erweiterten Mission wurde am 14. Februar 2011 der Komet **Tempel 1** passiert um den durch den Einschlag des Impaktors von Deep Impact entstandenen Krater zu fotografieren.

DAWN (USA)

Der Start erfolgte im September 2007, im Februar 2009 führte die Sonde einen Swing-by um Mars in 543km Abstand durch. Im Juli 2011 schwenkte die Sonde in ein Orbit um den Kleinplaneten **Vesta** ein, ein Monat später betrug die Orbithöhe 2700km. Hier sollte die Oberfläche spektroskopisch untersucht werden. In 680km Höhe wurde Vestas Oberfläche kartografiert. In 200km Höhe wurde die Zusammensetzung der Oberfläche mit einem Spektrometer untersucht. Im September 2012 verließ DAWN Vesta mit dem Ziel der Kleinplanet **Ceres**, den sie im März 2015 erreichte.

Chang'e 2 (China)

Die Sonde flog am 13. Dezember 2012 in einer Entfernung von minimal 3,2 Kilometern am erdnahen Asteroiden (**4179**) **Toutatis** vorbei und machte mehrere Bilder des Asteroiden aus Abständen von 93 bis 240 Kilometern. Zuvor umkreiste sie für etwa acht Monate den Mond und hielt sich dann etwa zehn Monate am Lagrangepunkt L2 des Sonne-Erde-Systems auf.

Hayabusa 1 (Japan)

Hayabusa 1 entnahm im November 2005 an zwei verschiedenen Punkten auf der Oberfläche des Asteroiden (**25143**) **Itokawa** Proben. Am 26. November gelang die Probenentnahme einwandfrei. Hayabusa startete im April 2007 mithilfe seiner Ionentriebwerke zurück zur Erde. Die Rückkehrkapsel der Raumsonde trat nach einem von diversen technischen Problemen überschatteten Rückflug im Juni 2010 über Australien in die Erdatmosphäre ein und landete planmäßig beim australischen Woomera.

Hayabusa 2 (Japan)

Nachfolgemission von Hayabusa 1. Startete am 3. Dezember 2014. Ziel ist der Asteroid (**162173**) **Ryugu**. Soll ihn ein Jahr untersuchen, einen durch die DLR gebauten und MASCOT genannten Lander absetzen, eine Bodenprobe entnehmen und zurück zur Erde bringen. Am 23. September 2018 landeten MINERVA 1 und 2., zwei Rover, die Temperaturmessungen durchführten. MASCOT landete am 4.10.2018 und sendete 16 Stunden lang Messungen.

OSIRIS-REx (USA)

(*Origins Spectral Interpretation Resource Identification Security - Regolith Explorer*) ist eine Raumsonde der NASA, die am 8. September 2016 mit einer Atlas-V-Rakete gestartet wurde, um Proben vom Asteroiden (**101955**) **Bennu** zur Erde zurückzubringen. Bennu (500 m Durchmesser) ist ein erdnaher Asteroid vom – häufigsten – C-Typ, ein kohlenstoffreicher und deswegen mit einer dunklen Oberfläche beschaffener Asteroid.

Im Dezember 2018 wird die Sonde in der Nähe des Asteroiden Bennu ankommen. Nach einer 68 Tage dauernden Annäherungsphase wird die Sonde in einen etwa 5 km hohen Orbit einschwenken und die Asteroidenoberfläche kartieren. Außerdem wird OSIRIS-REx den Jarkowski-Effekt messen, das ist der Einfluss der unterschiedlich starken Erwärmung der Asteroidenoberfläche auf den Bahnverlauf des Asteroiden.

Schließlich soll sich OSIRIS-REx dem Asteroiden noch weiter nähern, den Ausleger mit dem Sammelmechanismus (TAGSAM) ausklappen und mindestens 60 g Regolith-Gestein und separat 26 cm² feinkörnigen Oberflächenstaub einsammeln.

Die Materialproben werden anschließend in eine Rückkehrkapsel gebracht, die ähnlich jener der Stardust-Sonde aufgebaut ist. OSIRIS-REx soll im März 2021 den Rückflug zur Erde beginnen und die Rückkehrkapsel im September 2023 in Erdnähe aussetzen. Anschließend soll die Kapsel auf der *Utah Test and Training Range* landen.

<https://www.youtube.com/watch?v=7IQDxm9oQWY>

Im August 2018 sandte die Sonde erste Bilder des Asteroiden Benu. Am 3. Dezember 2018 traf sie beim Asteroiden ein.

Jupiter

Galileo (USA)

Wurde im November 1989 von einem Space Shuttle auf den Weg zur Venus gebracht, im Dezember 1995 erreichte sie Jupiter. Unterwegs Vorbeiflug an Asteroid **Gespra** im November 1991 in 1600 km Entfernung. Im Dezember 1992 Swing-by an der Erde in 300km Höhe und im August 1993 der Vorbeiflug am Asteroid **(243) Ida** in 2400km Entfernung.

Dann lag Jupiter voraus. Im Juli 1994 wurde der Einschlag von Shoemaker-Levy 9 beobachtet und

im Juli 1995 Abtrennung der Atmosphärensonde. In Analogie zur Erde definiert man stattdessen das Nullniveau als diejenige Stelle, an der ein Druck von einem bar erreicht wird. Am Äquator liegt dieses Niveau rund 72.000 km vom Planetenmittelpunkt entfernt.

Der Hitzeschild wurde abgeworfen und die Messungen begannen. In einer Tiefe von 50 km unter dem Nullniveau konnten Windgeschwindigkeiten von über 500 km/h gemessen werden. Diese Winde traten aber nicht nur horizontal auf, sondern es gab auch stärkste Fallwinde und Turbulenzen in der Senkrechten. Und das, obwohl die Sonde in einem „Schönwettergebiet“, in dem der Nephelometer (Nebelmessler) klares Wetter registrierte, niederging.

Der Funkkontakt brach ca. eine Stunde nach Eintritt in einer Tiefe von 160 km ab. In den letzten Sekunden registrierte die Sonde einen Druck von 22 bar und eine Temperatur von 152 °C.

Im Dezember 1995 ist Galileo in den Orbit um Jupiter eingetreten. Das Perijovum lag in 786000km Höhe, um die Sonde nicht durch los Strahlung zu gefährden.

Hauptaufgabe war es jetzt, die galileischen Monde zu beobachten. Sie entdeckte bei Europa Wasserozeane unter der Eiskruste, Kallisto und Ganymed besitzen Wasser im Mantel. Sie entdeckte die Vulkane auf Io und registrierte das starke Magnetfeld und den Eisenkern von Ganymed.

Im September 2003 verglühte Galileo gezielt in der Jupiteratmosphäre, um nicht auf Europa abzustürzen und um diesen nicht mit irdischen Bakterien zu verseuchen.

Juno (USA)

„**JU**piter **N**ear-polar **O**rbiter“.

Start im August 2011, ein Jahr später brachten zwei Bahnkorrekturen Juno vom Sonnenorbit auf den Weg zum Swing-by um die Erde (Oktober 2013) und dann weiter zu Jupiter, den sie am 5. Juli 2016 erreichen wird.

Juno besitzt eine Energieversorgung durch Solarzellen. Jedoch ist der Einsatz von Solarzellen nur möglich, weil sich Juno auf ihrer polaren Umlaufbahn meistens außerhalb der starken Strahlungsgürtel des Jupiters befindet. Eine Mission zu den inneren Galileischen Monden, die sich in den starken Strahlungsgürteln des Jupiters befinden, wäre, da die starke Strahlung die Solarzellen zerstören würde, weiterhin auf eine nukleare Energieversorgung und besonders strahlungsresistente Elektronik angewiesen.

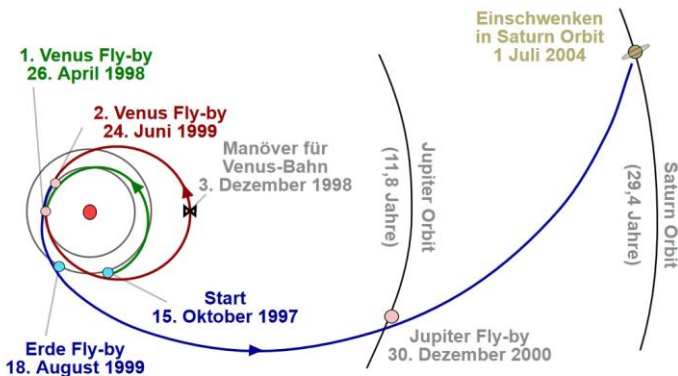
Saturn

Cassini (USA)

Energieversorgung: Drei Radionuklidbatterie: Gefüllt sind die 56 kg schweren Batterien mit je 12,2 kg der Verbindung Plutoniumdioxid (davon sind je 9,71 kg ²³⁸Pu), das durch seinen

radioaktiven α -Zerfall (Halbwertszeit: 87 Jahre) pro Batterie 4400 Watt Wärmeleistung freisetzt. Diese Wärme wird mittels Silicium-Germanium-Thermoelementen mit einer Effizienz von 6,5–7 % in elektrische Energie umgewandelt.

Der Start erfolgte im Oktober 1997. Es waren zwei Swing-by um Venus notwendig (April 98 und Juni 99), um Geschwindigkeit für den Flug zum Jupiter zu bekommen. Am 1. Oktober 2000 entstanden aus einer Entfernung von 84,3 Mio. km die ersten Aufnahmen der Telekamera. Cassini konnte während der nächsten 5 Monate die ebenfalls im Jupitersystem aktive Raumsonde Galileo bei den Beobachtungen des Planeten ergänzen. Am 22. März 2001 endete dann die Beobachtung von Jupiter, und Cassini befand sich auf dem Weg zu Saturn, wo die Primärmission starten sollte.



Während des Sommers 2002 befand sich die Sonne genau zwischen Cassini-Huygens und der Erde, was eine Überprüfung und Messung der allgemeinen Relativitätstheorie ermöglichte. Diese sagte voraus, dass ein von Cassini zur Erde gesendetes Radiosignal eine längere Laufzeit aufweisen sollte, als man bei der entsprechenden Entfernung vermuten würde. Dieser Effekt soll durch die starke Gravitation und die damit verbundene Raumkrümmung hervorgerufen werden. Da das Signal diese „Delle“ in der Raumzeit passieren muss, verlängert sich die Laufzeit gegenüber dem sonst fast geraden, direkten Weg um einige Sekundenbruchteile. Diese Verzögerung konnte dann auch von den Antennen des Deep Space Networks festgestellt werden, wodurch die allgemeine Relativitätstheorie ein weiteres Mal experimentell bestätigt wurde.

Am 30. Juni 2004 schwenkte Cassini-Huygens in einen Orbit um Saturn ein, womit die Primärmission der Sonden begann. Im gleichen Monat wurde Phoebe untersucht.

Auf dem Weg zum ersten Fly-by an Saturn musste Cassini-Huygens durch die Saturnringe hindurchfliegen, wodurch sehr hoch aufgelöste Aufnahmen ihrer Struktur aus nächster Nähe möglich waren. Allerdings war das Manöver aufgrund der unzähligen Gesteinsbrocken nicht ungefährlich, so dass man eine Lücke zwischen dem E- und F-Ring anvisiert. So bestehen die Ringe nicht primär aus Eis, wie früher angenommen, sondern überwiegend aus Staub, der dem auf der Oberfläche von Phoebe sehr ähnelt.

Beim ersten und engsten Fly-by der Mission flog Cassini-Huygens in einer Distanz von nur 18.000 Kilometer an der Wolkgrenze von Saturn vorbei (Juli 2004), um danach wieder die Ringe zu passieren. Bei der Auswertung aller Bilder konnte man schließlich zwei sehr kleine und noch nicht bekannte Monde identifizieren, die man provisorisch als „S/2004 S1“ und „S/2004 S2“ bezeichnete. Ersterer misst drei Kilometer im Durchmesser, der zweite vier Kilometer. Beide Monde sind etwa 200.000 Kilometer von Saturn entfernt und ihr Orbit befindet sich zwischen denen von Mimas und Enceladus.

Im Oktober 2004 begannen die Untersuchungen des Mondes Titan. Die **Huygens**-Mission begann mit der Abtrennung von Cassini am 25. Dezember 2004. Huygens sendet alle gewonnenen Daten verzugslos mit 1 bis 8 KBit/sec an Cassini, die dort zwischengespeichert werden, um sie in den Tagen nach Ende der Huygens-Mission zur Erde zu übertragen. Die Sonde Huygens landete am 14. Januar 2005 auf Titan. Nach vier Stunden Messzeit geht Huygens Verbindung zu Cassini verloren, da sich der Mond weiterdreht.

Am 26.4.2017 beginnt der Anfang vom Ende: Die Sonde beginnt immer wieder durch die Ringe zu fliegen, insgesamt 22 mal. Bis sie im September in die Gasschichten des Saturn eindringt.

Der Weg zu Uranus und Neptun ist enorm lang. Die Reise dauert dementsprechend lange. Die Raumsonde Voyager 2 benötigte 9 Jahre dafür. Als weitere Schwierigkeit kommt hinzu, dass ein Start nur sinnvoll ist, wenn Erde und Uranus den geringstmöglichen Abstand zueinander haben. Es muss also der ideale Zeitpunkt für den Start gewählt werden. Andernfalls würde die Reise noch wesentlich länger dauern, man müsste entsprechend mehr Treibstoff mitnehmen, die Sonde würde dadurch schwerer und die Mission teurer.

Grundsätzliche Probleme bei Missionen ins äußere Sonnensystem ergeben sich aus den langen Reisezeiten = höhere Missionskosten und den schwereren Raumfahrtgeräten. Dadurch wird eine größere Trägerrakete benötigt. Selbst bei Swing-Bys wiegen Sonden ins äußere Sonnensystem durch große Antennen und die schweren Radionuklidgeneratoren deutlich mehr als Missionen zum Mars. Die Radionuklidgeneratoren, welche Plutonium 238 enthalten, stehen zudem in der Kritik der Öffentlichkeit die eine radioaktive Verseuchung bei einem Unfall befürchtet. Für Jupiter gibt es nun leichtgewichtige und trotzdem ausreichend leistungsfähige Solarzellen als alternative Stromversorgung.

Grundsätzliche Probleme bei Missionen ins äußere Sonnensystem ergeben sich aus den langen Reisezeiten = höhere Missionskosten und den schwereren Raumfahrtgeräten. Dadurch wird eine größere Trägerrakete benötigt. Selbst bei Swing-Bys wiegen Sonden ins äußere Sonnensystem durch große Antennen und die schweren Radionuklidgeneratoren deutlich mehr als Missionen zum Mars. Die Radionuklidgeneratoren welche Plutonium 238 enthalten, stehen zudem in der Kritik der Öffentlichkeit die eine radioaktive Verseuchung bei einem Unfall befürchtet. Für Jupiter gibt es nun leichtgewichtige und trotzdem ausreichend leistungsfähige Solarzellen als alternative Stromversorgung.

Uranus

Voyager 2 (USA)

Beobachtet seit November 1985 den Planeten und passierte ihn am 24. Januar 1986.

Neptun

Voyager 2 (USA)

Im Sommer 1989 traf NASA's Voyager 2 als erste Raumsonde bei Neptun ein, um ihn zu beobachten. Die Sonde flog über den Nordpol hinweg und näherte sich ihm dabei bis auf etwa 4950 Kilometern. Fünf Stunden später passierte Voyager 2 mit einem Abstand von 40.000 Kilometern Neptuns größten Mond Triton. Dabei entdeckte sie 6 neue Monde und lieferte eine große Anzahl an Fotos.

Pluto

New Horizons (USA)

Der Start erfolgte am 19. Januar 2006, die ersten Bilder von Jupiter wurden im September 2006 in einer Entfernung von 291 Millionen Kilometer. Die ersten wissenschaftlich relevanten Untersuchungen des Jupitersystems begannen im Januar 2007 und dauerten bis Ende Juni 2007 an. Es waren etwa 700 Beobachtungen und Messungen des Gasplaneten, seiner Monde und seiner Magnetosphäre geplant. Am 28. Februar 2007 flog New Horizons am Jupiter vorbei, die kleinste Entfernung zum Riesenplaneten betrug circa 2,3 Millionen Kilometer (ca. 32 Jupiterradien).

Durch den Vorbeiflug erfuhr die Sonde einen Geschwindigkeitszuwachs von 3890 m/s und wurde auf eine Flugbahn zum Pluto umgelenkt, wobei sie um etwa 2,5° aus der Ekliptik herausgeschleudert wurde.

Am 8. Juni 2008 kreuzte New Horizons die Umlaufbahn von Saturn, blieb dabei aber weit von ihm entfernt. Am 30. Juni 2010 wurde eine Kurskorrektur durchgeführt und durch einen Schubimpuls von 36 s Dauer die Geschwindigkeit der Sonde um etwa 0,45 m/s erhöht, um die Abbremsung durch von der HGA rückgestreute Thermalstrahlung auszugleichen.

Am 18. März 2011 erreichte die Sonde die Umlaufbahn von Uranus, wobei der Gasriese zu diesem Zeitpunkt mehr als 3,8 Milliarden Kilometer entfernt war und daher keine Beobachtungen durchgeführt wurden.

Am 25. August 2014 soll die Umlaufbahn von Neptun erreicht werden, exakt 25 Jahre nach dem Vorbeiflug von Voyager 2 an Neptun. Auch Neptun befindet sich dann zu weit von New Horizons entfernt, um sinnvolle Beobachtungen des Planeten durchführen zu können.

Auf dem Weg zum Pluto werden jedoch möglicherweise Neptun-Trojaner, die der Sonde nahe genug kommen, um sie zu beobachten.

Am 14. Juli 2015 wird die Sonde Pluto erreichen. Sie fliegt an ihm in einem Abstand von 12000 km vorbei und hat 48 Stunden für Messungen und Fotos.

Gravitationswellen messen

LISA (USA)

Das **Laser Interferometer Space Antenna (LISA)** ist ein geplanter interferometrischer Gravitationswellendetektor im All. Drei Satelliten sollen ein Dreieck mit 2,5 Millionen Kilometern Seitenlänge bilden, um mit Laserinterferometern nach Gravitationswellen zu suchen. Dieses Projekt der ESA wurde gemeinsam von ESA und NASA begonnen. Die NASA stieg aber 2011 aus.

Dieses Dreiecks aus Raumsonden wird hinter der Erde entlang der Erdbahn um die Sonne kreisen. Der Abstand zur Erde beträgt dabei bis zu 70 Millionen Kilometer. Die Satelliten bilden zusammen ein Laserinterferometer mit Armlängen von 2,5 Millionen Kilometern.

Der Start ist für 2034 geplant.

www.sternwarte-eberfing.de