

Das Sojus-Raumschiff und seine Trägerrakete

Das russische Sojus-TMA-Raumschiff wird derzeit für den Transport der ISS-Besatzung verwendet. Die angedockte Kapsel dient zusätzlich als Rettungsmöglichkeit für die jeweilige Stations-Besatzung. Trotz seines altertümlichen Aussehens hat dieses Raumschiff eine höherer Zuverlässigkeit als das US-Shuttle und ist in seinen verschiedenen Versionen schon seit Jahrzehnten im Einsatz. Insgesamt wurde die Sojus-Trägerrakete bereits mehr als 1500mal erfolgreich eingesetzt. Auch die chinesische Shenzhou-Kapsel wurde von

diesem Design abgeleitet. Das Progress-Versorgungsraumschiff ist ebenfalls eine Variante des Sojus-Raumschiffes. Die Sojus-Trägerrakete ist ein direkter Abkömmling der R7-Rakete, der ersten Interkontinentalrakete der Sowjets in den fünfziger Jahren. Diese wiederum entstand in mehreren Entwicklungsschritten aus der deutschen A4-Rakete.

Das Sojus-Raumschiff besteht aus drei Teilen: Dem **Wohn-Modul**, der **Landekapsel** und dem **Service-Modul**. Im **Wohn-Modul** (Orbital-Modul) hält sich die Besatzung während der Zeit in der Schwerelosigkeit auf. Es hat ein Volumen von ca. 8,5m³ als Wohnraum für die drei Besatzungsmitglieder sowie einen Andock-Mechanismus, eine Luke und ein Rendezvous-System. Die Masse beträgt etwa 1300kg. Der Andock-Mechanismus wird für das Andocken an die Raumstation verwendet und durch die Luke kann diese dann betreten werden. Die Rendezvous-Antennen werden als Teil des automatischen Docking-Systems für die Annäherung an das Ziel verwendet und funktionieren

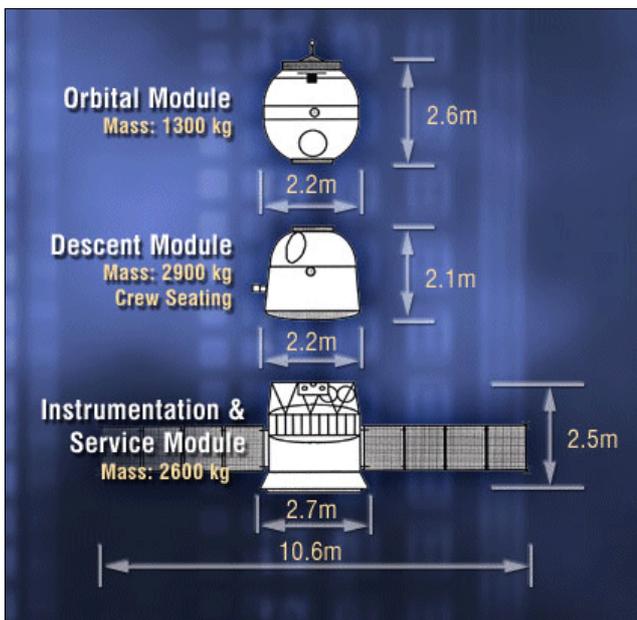


Ein an der Raumstation ISS angedocktes Sojus-Raumschiff. Foto: NASA.

nach dem Radar-Prinzip. Für das Andocken muß das Raumschiff mit der richtigen Geschwindigkeit auf die Raumstation hin gesteuert werden, damit es zu keiner Kollision kommt. Zusätzlich muß für ein zuverlässiges Andocken das ankommende Raumschiff möglichst in einer Linie mit dem Andockpunkt der Station ausgerichtet werden. Das Orbital-Modul besitzt auch ein Fenster, durch das man in den Weltraum hinaus blicken kann. Mit dem **Landekapsel** (Descent Module,

Wiedereintritts-Modul) ist es durch eine druckfeste Luke verbunden.

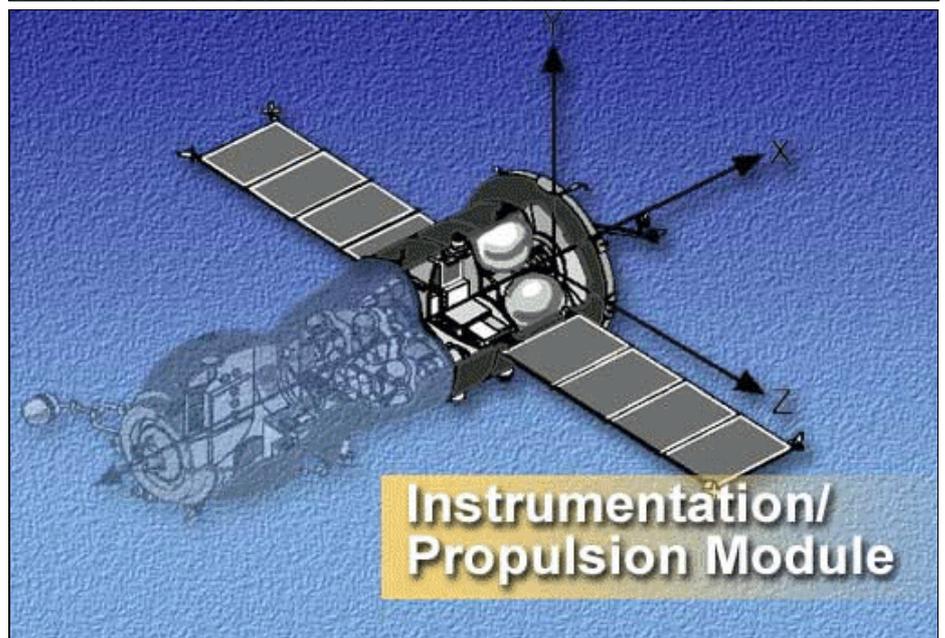
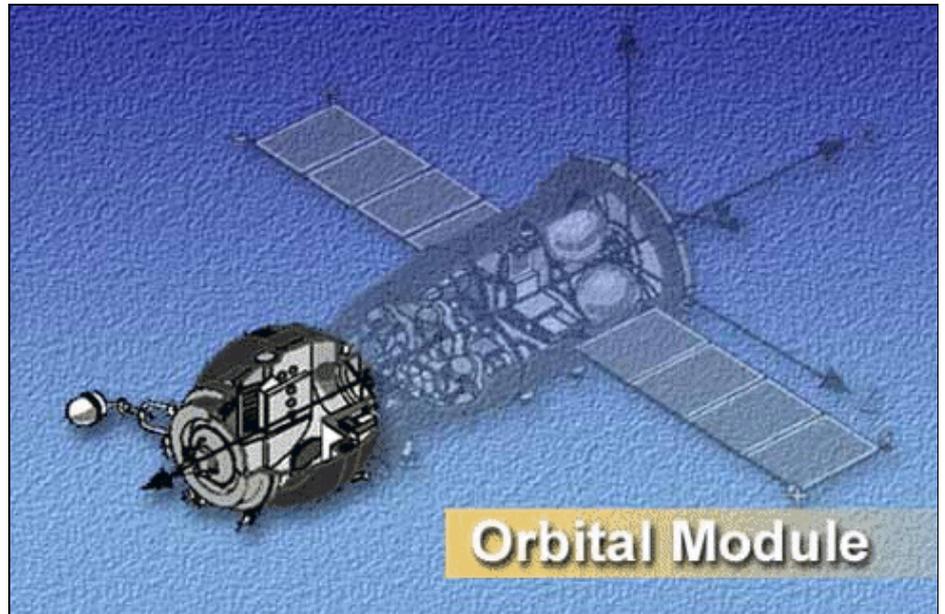
In diesem Modul halten sich die Kosmonauten sowohl während des Starts als auch während der Rückkehr zur Erdoberfläche auf. Im Inneren steht ein Volumen von etwa 5m³ zur Verfügung, die Masse beträgt etwa 2900kg. Dieses Volumen ist nicht nur für die Besatzung gedacht, sondern bietet auch für eine gewisse Menge an Fracht Platz. Alle notwendigen Kontrollen für die Steuerung des Raumschiffes befinden sich hier. Zusätzlich sind hier die Lebenserhaltungssysteme und die Batterien für die Wiedereintrittsphase eingebaut. Für die Landung sind ein primärer und ein Backup-Fallschirm sowie Landeraketen vorgesehen.



Grafik: NASA.

Die Sitze für die Besatzungsmitglieder sind jeweils individuell angepaßt, um während der Landung maximalen Schutz bieten zu können. Deshalb werden diese Sitze auf der Raumstation ausgetauscht, wenn ein Gastkosmonaut mit einem anderen Sojus-Raumschiff zur Erde zurückkehrt. Aufgrund der großen Hitzebelastung durch die Reibung beim Wiedereintritt ist kein Fenster, sondern nur ein Periskop eingebaut. Als Schutz gegen diese Erhitzung ist ein Hitzeschild vorhanden. Für die Steuerung nach dem Abkoppeln der beiden anderen Module stehen acht Wasserstoff-Peroxid-Schubdüsen zur Verfügung. Damit kann die Lage der Kapsel bis zum Entfalten der Fallschirme kontrolliert werden. Ein Leit-, Navigations- und Kontrollsystem dient zum Manövrieren während dieser Phase. Das Wiedereintritts-Modul ist der einzige Teil des Sojus-Raumschiffes, der zur Erde zurückkehrt. Vor dem Wiedereintritt werden die beiden anderen Module abgestoßen und verglühen in der Erdatmosphäre.

Das **Servicemodul** (Instrumentation/Propulsion Module) besteht aus drei Teilen: Einem Zwischenstück als Verbindung zum Wiedereintritts-Modul, einem Instrumententeil und dem Antriebsteil. Im Verbindungsstück befinden sich Sauerstoff-Tanks, die Schubdüsen für die Höhenkontrolle sowie einige Kommunikations- und Steuerungsgeräte. Die primären Leit-, Navigations-, Steuerungs- und Computersysteme befinden sich im hermetisch versiegelten Instrumententeil, der eine kühlende Stickstoff-Atmosphäre enthält. Der Antriebsteil enthält das primäre thermische Kontrollsystem des Raumschiffes samt dem großen Radiator mit seinen Kühlflächen. Der Radiator dient zum Abstrahlen von überschüssiger Wärme, da dies im Vakuum nur auf diese Art möglich ist. Eine Luftkühlung etwa wie auf der Erde ist natürlich nicht möglich. Zusätzlich befinden sich im Antriebsteil die Hauptantriebsdüsen, zwei große Sonnensegeln, die Batterien sowie die Verbindungen

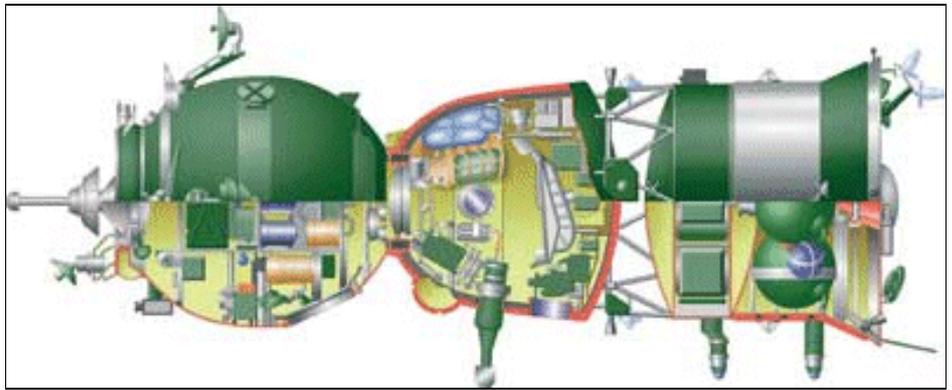


Grafiken: NASA.

zur Sojus-Trägerrakete. Diese Schubdüsen werden für alle Bewegungen in der Erdumlaufbahn benötigt, inklusive des letzten Anschubes, der für den Wiedereintritt nötig ist („De-Orbit Burn“). Als Treibstoff werden Stickstoff-Tetroxide und unsymmetrische Dimethylhydrazine verwendet. Auch die kleineren Steuerdüsen verwenden diesen Treibstoff.

Die TMA-Version

Die Ausführung Sojus-TMA ist das Nachfolge-Modell von Sojus-TM, das zwischen Mai 1986 und November 2000 für den Transport von Kosmonauten zur Raumstation Mir und später zur Internationalen Raumstation verwendet wurde. In der TMA-Ausführung ist die Sicherheit erhöht worden, insbesondere beim Wiedereintritt und bei der Landung. Es hat kleinere und effizientere Computer und verbesserte Displays. Die Passagiere können jetzt auch größer und schwerer sein als bei der TM-Ausführung. Auch die Mindestgröße der Kosmonauten wurde verringert. Zwei neue Triebwerke reduzieren die Landegeschwindigkeit und verringern die auf die Insassen wirkenden Kräfte um 15 bis 30 Prozent. Durch ein neues Wiedereintritts-Kontrollsystem und einen Drei-Achsen-Beschleunigungsmesser wurde auch die Lande-Genauigkeit verbessert. Im Bereich der Benutzer-



Das Sojus-TMA-Raumschiff. Grafik: NASA.

Schnittstelle erleichtern Bildschirme im Rahmen eines „Glas-Cockpits“ die Bedienung der Instrumente und stellen mehr Informationen zur Verfügung. Aufgrund der neuen Komponenten kann das Sojus-TMA-Raumschiff jetzt bis zu einem Jahr im Weltraum verbringen, angedockt an die Raumstation.

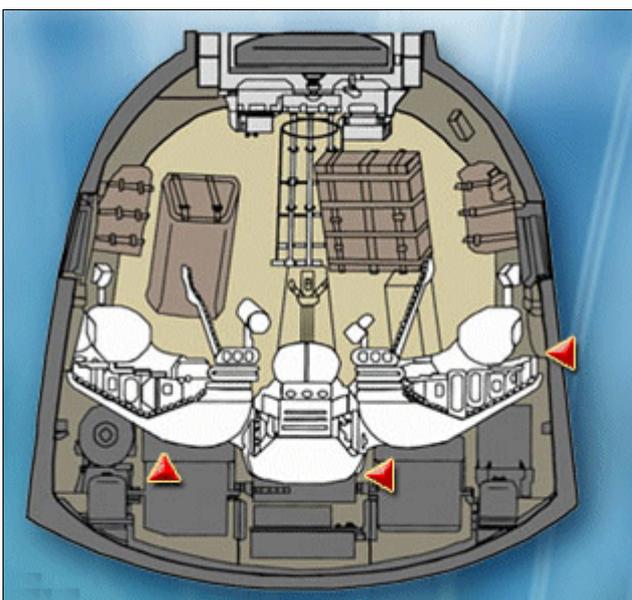
Flugablauf

Die Trägerrakete mit dem angeflanschten Raumschiff wird, wie in Rußland üblich, horizontal über einen Schienenstrang zum Startplatz gefahren. Dort wird die Rakete aufgerichtet. Die Besatzung betritt das Raumschiff etwa zweieinhalb Stunden vor dem Abheben durch eine seitliche Luke des Orbitalmodules. Fünf Minuten vor dem Lift-Off werden alle Systeme auf die bord-eigenen Kontrollen umgeschaltet. Nach dem Abheben werden zwei Minuten später die seitlichen Booster-Raketen der ersten Stufe abgeworfen. Danach treibt die zweite Stufe noch einige Zeit alleine die Rakete in die Höhe. Anschließend feuert die dritte Stufe etwa 240 Sekunden lang, bevor sie abgeworfen wird. Etwa neun Minuten nach dem Start wird dann das Raumschiff von seiner Trägerrakete getrennt. Nach dem Erreichen der Umlaufbahn dauert eine Erd-

zig Minuten. Insgesamt benötigt das Sojus-Raumschiff etwa zwei Tage, um die Bahn der Raumstation zu erreichen. Das Rendezvous und das Andocken erfolgt üblicherweise automatisch, wobei die Besatzung aber die Möglichkeit hat, dieses im Notfall auch manuell vorzunehmen.

Die Landung

Der gesamte Landevorgang dauert etwas weniger als dreieinhalb Stunden. Das Abdocken von der Raumstation beginnt mit dem Lösen von verschiedenen Klammern, die das Raumschiff mit dem Docking-Modul verbinden. Etwa drei Minuten später bewegt sich das Sojus-Raumschiff tatsächlich von der Station weg. Nach sechs Minuten werden die Triebwerke für 15 Sekunden gezündet, um das Raumschiff von der Station wegzubringen. Zwei Stunden und 29 Minuten nach dem Abdocken werden die Triebwerke in einer Entfernung von sieben Kilometer für 4 Minuten und 21 Sekunden gezündet („De-Orbit Burn“), um den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre zu beginnen. 26 Minuten vor der Landung werden die beiden anderen Module abgeworfen und verglühen in der Lufthülle. Etwa 31 Minuten nach dem De-Orbit-Burn tritt die Landekapsel tatsächlich in die Erdatmosphäre ein und beginnt außen zu glühen. Nachdem durch die Reibung die Geschwindigkeit stark abgebremst wurde, werden 15 Minuten vor der Landung die Fallschirme geöffnet. Zwei Sekunden vor der Landung werden die Bremsraketen gezündet, um die Sinkgeschwindigkeit auf 1,5 Meter pro Sekunde zu

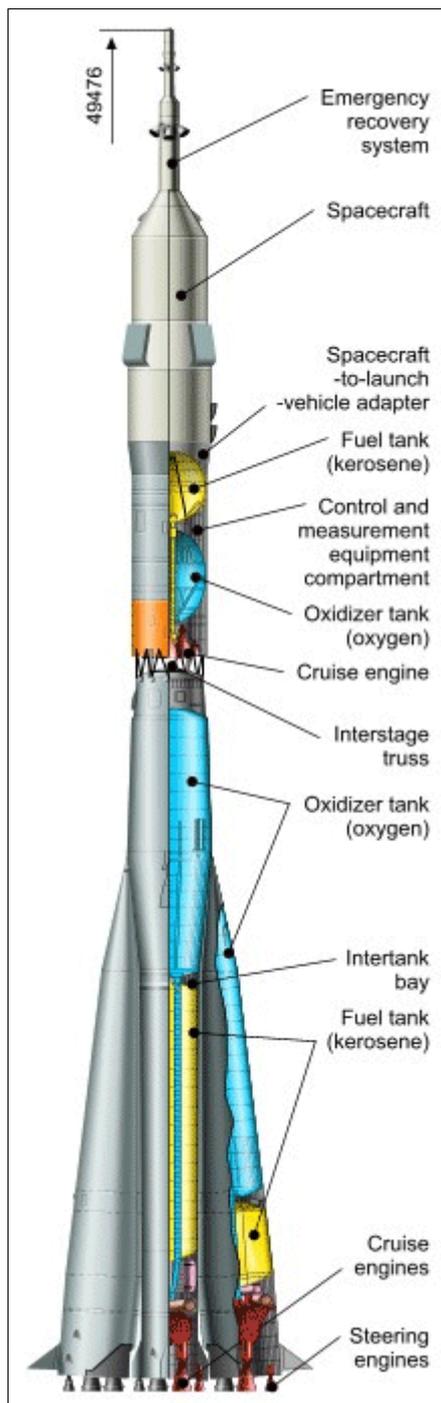


Die Landekapsel des Sojus-TMA-Raumschiffes. Grafik: NASA.

verringern. Genau drei Stunden und 23 Minuten nach dem Verlassen der Raumstation erfolgt die Landung auf festem Boden der Steppe in Zentral-Kasachstan.

Die Sojus-Trägerrakete

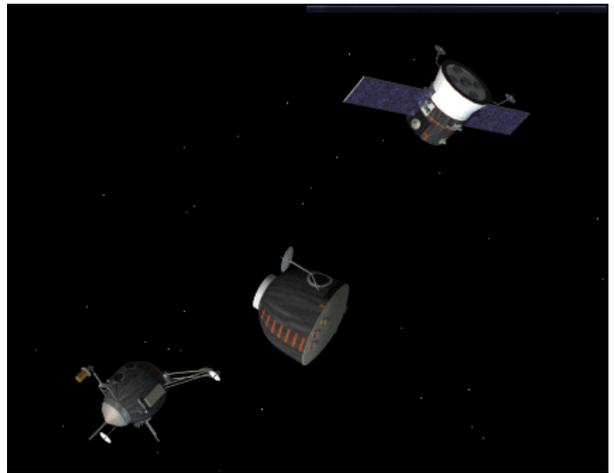
Für den Start des Sojus-TMA-Raumschiffes wird die Sojus-FG-Trägerrakete eingesetzt. Diese Variante gehört zur großen Raketen-Familie der R7 (Rakete Nr.7). Die Sojus-FG ist 49,476 Meter hoch, hat einen Durchmesser von 10,3 Metern



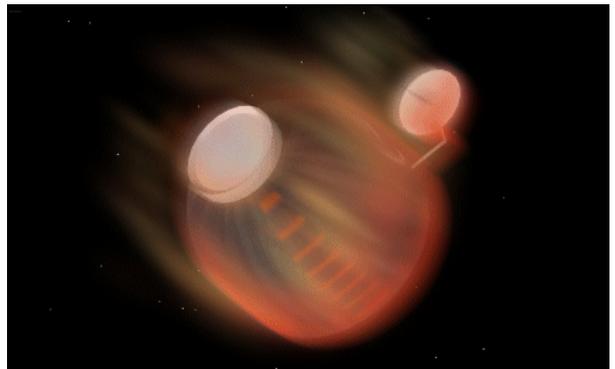
Die Sojus-FG-Trägerrakete für das Sojus-Raumschiff. Grafik: Roscosmos.

und eine Startmasse von 305 Tonnen.

Die erste Stufe besteht aus den vier seitlich angeflanschten Booster-Raketen. Die zweite Stufe besteht aus dem zentralen Kern. Darüber befindet sich die dritte Stufe samt dem Nutzlast-Adapter und der Nutzlast-Verkleidung. Als Treibstoff wird in allen drei Stufen flüssiger Sauerstoff und Kerosin verwendet. In allen vier Boostern der ersten Stufe werden jeweils ein NPO Energomash RD107A Triebwerk mit vier Hauptdüsen und zwei zusätzlichen Vernier-Düsen für die Steuerung verwendet. Die zweite Stufe wird durch ein NPO Energomash RD108A angetrieben. Dieses Triebwerk hat im Unterschied zum RD107 sogar vier Vernier-Düsen zusätzlich zu den vier Hauptdüsen, um die Steuerbarkeit zu verbessern. Gezündet werden die beiden ersten Stufen gleichzeitig beim Abheben der Rakete. Oberhalb der zweiten Stufe ist eine Ausrüstungsbucht angeordnet, die für die Kontrolle der ersten beiden Stufen notwendig ist. Die dritte Stufe ist durch eine Gitterrohr-Konstruktion mit der zweiten Stufe verbunden. Durch die Zündung dieser dritten Stufe wird die Verbindung zur zweiten Stufe gelöst. Die dritte Stufe wird durch ein Triebwerk mit einer einzigen Turbopumpe, ein RD 0110 von KB KhA, angetrieben.



Die Trennung der Raumschiffs-Module direkt vor dem Wiedereintritt.



Die glühende Landekapsel in der Erdatmosphäre.



Die Landekapsel schwebt am Fallschirm zum Boden.

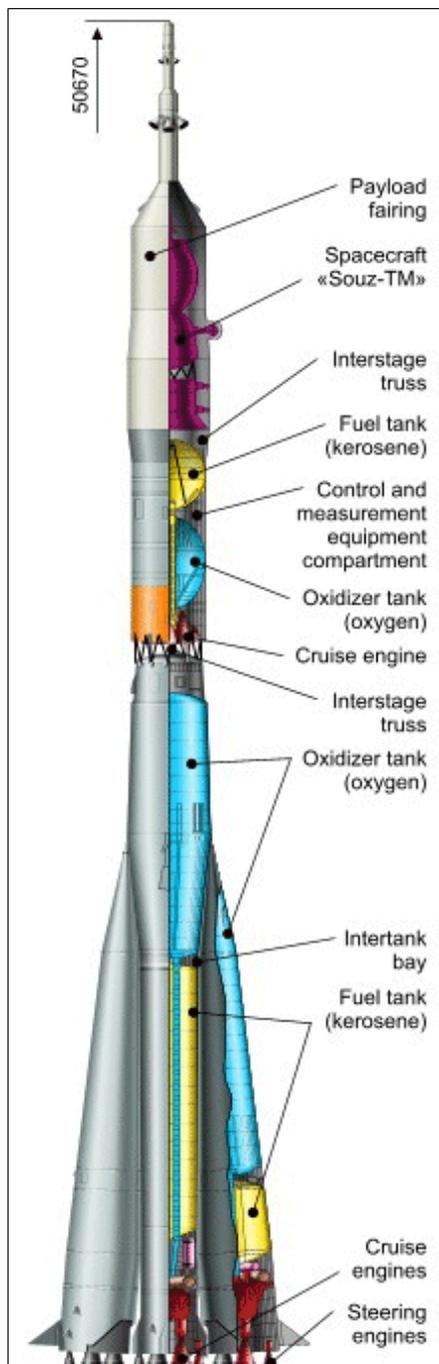


Die Landekapsel bei der Bergung. Bilder und Grafiken: NASA.

Bei bemannten Starts wird oben auf der Rakete ein Rettungssystem mit Feststoff-Raketen aufgesetzt. Im Falle eines Fehlstarts kann so das bemannte Raumschiff von der Rakete getrennt werden und geht an einem Fallschirm sicher nieder. Bei einem derartigen Ereignis am 27. September 1983 wurde dadurch die Besatzung von Sojus T-10-1 gerettet, als die Sojus-U-Trägerrakete am Startisch explodierte.

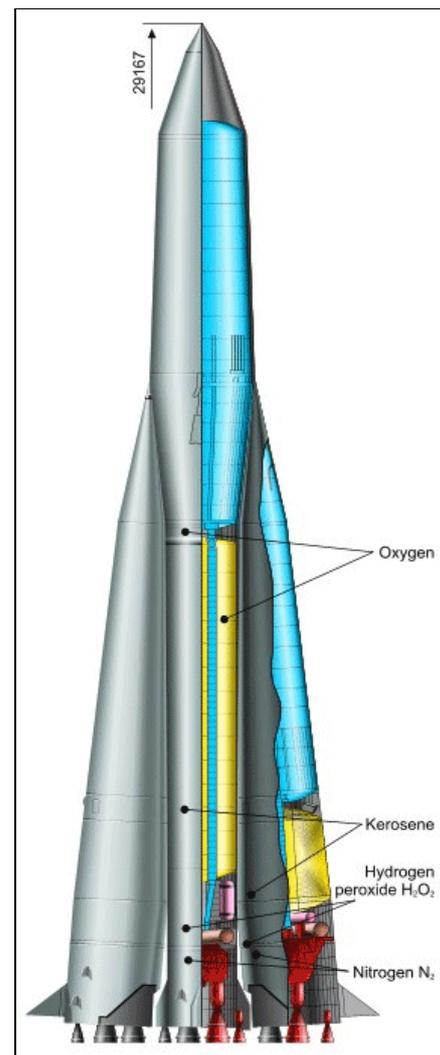
Die R-7-Raketenfamilie

Am Beginn dieser Raketenfamilie stand der Nachbau einer deutschen



Die Sojus-U-Rakete. Grafik: Roscosmos.

A4-Rakete durch sowjetische Techniker, zu Beginn sogar noch aus Originalkomponenten. Daraus wurden verschiedene ballistische Raketen entwickelt (R-1, R-2, R-9, RT-1, RT-2, RT-2P; die RT-1, -2 waren Feststoff-Raketen). Die erste strategische Rakete R5 und die taktische R-11-Rakete folgten bald darauf. Die ersten zweistufigen ballistischen Interkontinentalraketen waren die R-7 und die R-9. Die ab 1953 entwickelte R-7-Rakete unterschied sich in ihrer grundlegenden Konfiguration von ihren Vorgängern, insbesondere durch die seitlich angeflanschten Booster. Diese Rakete sollte vor allem einen Gefechtskopf von bis zu 3 Tonnen Masse mit einer Wasserstoff-Bombe über interkontinentale Entfernungen von bis zu 8.000 Kilometer transportieren. Die Gesamtmasse des Gefechtskopfes betrug über 5,5 Tonnen. Aufgrund der



Die Sputnik-Rakete. Grafik: Roscosmos.

höheren Masse der damaligen sowjetischen Atombomben gegenüber den leichteren amerikanischen mußten die dazugehörigen Raketen auch stärker dimensioniert werden. Dadurch wurde quasi als Nebenprodukt bereits früh der Samen für Raumfahrtanwendungen gelegt. Von diesem Basis-Design sind alle Mitglieder der Sojus- bzw. R-7-Raketenfamilie abgeleitet. Der Erstflug des Prototyps erfolgte am 15. Mai 1957. Die ersten drei Flüge waren ein Fehlschlag, erst der vierte Start gelang. Aufgrund der positiven Ergebnisse der folgende Testflüge wurde die Rakete nun auch für den Start eines künstlichen Erdsatelliten in Betracht gezogen. Die Sputnik-Satelliten wurden daher mit einer R-7 gestartet. Der Start von Sputnik 1 erfolgte am 4. Oktober 1957, nur einige Monate nach dem Erstflug der R-7. Aus der ersten R-7 wurde in weiterer Folge die dreistufige Wostok-Rakete entwickelt, die aus der R-7 und einer Oberstufe Block-E bestand. An der Spitze einer Wostok-Rakete flog Juri Gagarin als erster Mensch in den Weltraum. Die Lunar-Rakete wurde für unbemannte Mondsonden entwickelt. Die Molnar-Rakete war sogar vierstufig (R-7 sowie die Oberstufen Block I und L) und wurde für interplanetare Missionen zu Venus und Mars verwendet.

Die eigentliche Sojus-Rakete entstand als Modifikation der Woschod-Rakete, die ursprünglich für den Start der Sojus-Raumschiffe vorgesehen war. Die erste Sojus-Rakete wurde 1966 gestartet, der erste Start mit einem Sojus-Raumschiff, Sojus-1, erfolgte am 23. April 1967. Der letzte Flug dieser ursprünglichen Version fand 1975 mit Sojus-18 statt. Diese Variante wurde auch für den Start von zahlreichen Kosmos-Militärsatelliten eingesetzt. Von den Varianten L und M wurden nur drei bzw. acht Stück Anfang der 70er-Jahre gestartet.

Die Sojus-U-Rakete wurde am 18. Mai 1973 gestartet und faßte die Modifikationen der Zwischenvarianten in einer neuen Standard-Type

zusammen. Diese Variante wird sogar noch heute eingesetzt. Die Sojus-U2 wurde seit ihrem Erststart im Jahre 1982 über 80mal eingesetzt. In der Mitte der 90er-Jahre wurde die Produktion aber eingestellt, da das dafür notwendige künstliche Kerosin (Sintin) zu teuer ist. Die derzeit für den Flug zur ISS verwendete Sojus-FG ist eine Übergangsversion zwischen der Sojus-U und der neuen Sojus-2. Diese Rakete ist etwas stärker und kann damit die schwereren Sojus-TMA-Raumschiffe zur Internationalen Raumstation bringen. Der erste Start am 21. Mai 2001 brachte ein Progress-Versorgungsraumschiff in den Weltraum.

Die Sojus-2 ist eine Weiterentwicklung der erfolgreichen Sojus-Rakete. Der Erststart des Prototyps Sojus-2.1a erfolgte im Jahr 2004. Ein weiterer Testflug erfolgte 2006, bei dem der europäische Wettersatellit MetOp-A in den Weltraum gebracht wurde. Der Prototyp Sojus-2.1b wurde dann zum Start des Weltraumteleskops COROT am 27. Dezember 2006 verwendet. Diese Variante soll gemeinsam mit Sojus-2.1a ab 2009 in Kourou für kommerzielle Starts zur Verfügung stehen.



Eine Sojus-FG-Rakete mit Sojus-TMA-7 am Startisch. Foto: NASA.

Das Progress-Raumschiff

Das Progress-Raumschiff ist ein unbemannter Versorger, der auf dem Sojus-Raumschiff basiert. Derzeit werden die Varianten M und M1 verwendet. Das Frachtmodul von Progress kann bis zu 6m³ Fracht mit einer Masse bis zu 1.700kg aufnehmen. Dieses Modul ist vom Orbital-Modul des bemannten Raumschiffes abgeleitet und steht ebenfalls unter Druck. Statt der Landekapsel hat es eine Tanksektion, die bis zu 1.740kg Treibstoffe transportieren kann. Die M1-Variante hat bis zu acht Treibstoff-Tanks, während die M-Variante nur vier Treibstofftanks, dafür aber zwei zusätzliche Wassertanks hat. Der Treibstoff kann so-

wohl für die eigenen Triebwerke verwendet als auch in die Raumstation umgepumpt werden. Das Instrumenten- und Antriebsmodul ist ähnlich wie bei den Sojus-Raumschiffen. Das Progress-Raumschiff wird auch für die Anhebung der ISS-Umlaufbahn eingesetzt, da die Station selbst keine Triebwerke besitzt. Nach dem Entladen werden die Progress-Versorger mit Müll vollgeladen, der dann nach dem Abkoppeln gemeinsam mit dem Raumschiff in der Atmosphäre verglüht.

EF, Quellen: NASA-Homepage, Roscosmos-Homepage, Wikipedia.



Die Sojus-FG-Rakete mit dem Raumschiff Sojus-TMA-7 am Weg zum Startplatz. Foto: NASA.



3. September 2002: Astronaut Peggy A. Whitson im Sokol-Raumanzug an Bord eines Sojus-Raumschiffes. Foto: NASA.