

Bernd Leitenberger



Das ATV und die Versorgung der ISS

Die Versorgungssysteme der Raumstation



Edition Raumfahrt

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die Versorgungssysteme der ISS

Der Progress Raumtransporter

Die Sojus-Kapsel

Das Space Shuttle

Das HTV

Neue US-Systeme

Die Konzeption des ATV

Der Integrated Cargo Carrier

Das Servicemodul

Die Trägerrakete Ariane 5ES

Geschichte

Anpassungen an den nächsten Transportern

Flugablauf Jules Verne

Allgemeiner Flugablauf

Johannes Kepler

Edoardo Amaldi

Albert Einstein

Georges Lemaître

Gesamtbilanz

Das ATV-Kontrollzentrum

Nur der Anfang einer Karriere?

Weitere ATV Projektstudien

Kriegsschauplatz ISS und ATV

[Nachwort](#)

[Abkürzungsverzeichnis](#)

[Link](#)

Vorwort

2008 begann ich mit meinem ersten größeren Raumfahrtbuch über den ersten ATV Jules Verne. Dieses erste Buch drehte sich noch um diesen ersten Transporter. Die zweite Auflage schrieb ich primär, weil mich die Rechtschreibfehler ärgerten. Bei der ersten Auflage hatte weder die Unterstützung durch eine Grammatikprüfung noch durch Korrekturleser. Ich nutzte sie aber auch, um das Buch zu ergänzen, indem ich das Thema vom ATV auf die Versorgungssysteme der ISS erweiterte. So erhielt es ein neues Kapitel über die anderen Versorger. Zudem wurde es aktualisiert.

Während der nächsten Jahre ergänzte ich das Manuskript um die Informationen, die es zu den weiteren Flügen gab. Da diese in jährlichem Abstand erfolgten und die Informationsmenge nun deutlich spärlicher wurde, habe ich mit der dritten Auflage gewartet, bis auch der letzte Transporter seine Mission beendet hat.

Dieses Buch enthält daher die gesamte Geschichte des ATV, nachdem sich die ESA gegen den Bau weiterer Raumschiffe entschieden hat. Aktualisiert wurde das gesamte Buch, auch die Kapitel über die anderen Transporter, die zukünftigen und geplanten Weiterentwicklungen und natürlich auch das persönliche Schlusswort.

Ich schaue traurig auf das Projekt zurück. Das ATV war aufgrund seiner Leistungsfähigkeit und Universalität ein faszinierendes Raumfahrzeug. Doch konnte weder die ESA dies der Öffentlichkeit nahebringen, noch sorgt man dafür, dass die Investitionen sich lohnen; und baut weitere ATV,

wenn die ISS länger betrieben wird. Stattdessen investiert man in ein neues Projekt: das Servicemodul der Orion.

Wie immer bei Raumfahrtprojekten gibt es sehr unterschiedliche Zahlenwerte. Beim ATV war die Abweichungen relativ groß zwischen DLR und ESA, zudem gab es Unterschiede zwischen Daten vor den Missionen und in der Retroperspektive. Ich habe, wo es starke Unterschiede gab, beide Daten angegeben, ansonsten mich für eine Quelle entschieden (meistens die ESA). Besonders beim Treibstoff fällt auf, dass wenn man den Treibstoffverbrauch nach den bekannten Reboostmanövern (Impuls eines Manövers und spezifischer Impuls des Treibstoffs sind bekannt) mit der dafür vorgesehenen Treibstoffmenge vergleicht, dass dies erheblich weniger ist als vorgesehen.

Bernd Leitenberger

Die Versorgungssysteme der ISS

Die Internationale Raumstation wird nach den derzeitigen Planungen mindestens bis 2020 in Betrieb bleiben, eine Erweiterung der Nutzung bis 2024 ist wahrscheinlich und es gibt Vorschläge sie bis 2028 zu nutzen. Dann wäre das älteste Modul (Sarja) dreißig Jahre im All. Während dieser Zeit werden sie unzählige Besatzungen besucht haben. Sie brauchen die gleichen Dinge zum Leben, wie wir hier auf der Erde. Daher benötigt man ein Versorgungssystem für die ISS. Um den Bedarf an Fracht zu bestimmen, muss die Menge des Versorgungsgutes bekannt sein. Jeder Mensch braucht:

- Luft zum Atmen
- Nahrung zum Essen
- Wasser zum Trinken und für die Hygiene

Und er produziert:

- Urin
- Fäkalien
- Kohlendioxid
- Abfall

Zu der Station müssen weiterhin laufend Ersatzteile für defekte Teile gebracht, durchgeführte Experimente gegen neue Anlagen ausgetauscht und Proben und Ergebnisse zurück zur Erde gebracht werden. Weiterhin gibt es Müll, der entsorgt werden muss. Das alles zusammen ergibt den Versorgungsbedarf.

Die Bahn der ISS ist ein Kompromiss zwischen leichter Erreichbarkeit von der Erdoberfläche und dem Aufwand, diese Bahn stabil zu halten. Je höher die Bahn ist, desto kleiner die Nutzlast der Raketen, die die Besatzungen und Versorgungsgüter bringen. Je näher ein Körper der Erde ist, desto stärker wird er von der noch dünnen, oberen Atmosphäre abgebremst. In der Bahnhöhe der ISS ist die Luftreibung noch so groß, dass die Station in weniger als zwei Jahren in der Atmosphäre verglühen würde, wenn Sie nicht laufend angehoben würde. Dazu wird Treibstoff benötigt. Der Bahnhöhenverlust ist variabel und hängt von der Sonnenaktivität und der Bahnhöhe ab. Während des Aufbaus befand sich die ISS in 340 bis 378 km Höhe. Danach in 407 km Höhe. Die Extremwerte des Höhenverlustes liegen bei 50 bis 700 m pro Tag. Durchschnittlich verlor die ISS während der Aufbauzeit rund 100-200 m pro Tag an Bahnhöhe. Eine Bahnhöhe von 340 km sollte nicht zu lange unterschritten werden, da dann die Station innerhalb von 90 Tagen ohne Anhebung soweit absinkt, dass danach kein Transporter sie wieder in eine sichere Entfernung anheben kann.

Die Frachtmengen, die zur ISS transportiert werden, sind beträchtlich. Die Mir erforderte noch 10-12 t Nachschub pro Jahr. Würde die ISS wie die Mir betrieben werden, so benötigt sie 32 t allein an Verbrauchsgütern. Dazu kämen noch weitere 10-13 t Fracht pro Jahr, um Experimente und defekte Teile zu ersetzen.

Das Wasser macht dabei den größten Anteil aus. Daher wird an Bord der ISS das Wasser wieder aufbereitet, indem Brauchwasser destilliert wird. Dieser Kreislauf ist geschlossener als bei der Mir. Es gibt also weniger Verluste.

Da kein Raumfahrzeug absolut dicht ist, gibt es Leckverluste – Gas dringt durch die Luken, Wände, Schweißnähte oder bei

Außenarbeiten aus der Station. Diese Verluste sind bei der ISS mit ihren vielen Modulen erheblich höher als bei der Mir. Die Luft muss daher laufend ergänzt werden. Dazu kommt der von der Besatzung verbrauchte Sauerstoff. Dieser kann durch die Elektrolyse von Wasser gewonnen werden. Da das Wasser einfacher zur Station gebracht werden kann und keine Druckgasflaschen benötigt, wird diese Vorgehensweise bevorzugt. Das entstehende Kohlendioxid wird durch Molekularsiebe abgetrennt und ins All entlassen.

Die Nahrung wird regelmäßig von der Erde zur ISS gebracht. Der größte Teil ist haltbar gemacht durch Gefriertrocknen, Erhitzen in Dosen oder von sich aus haltbar, wie Kekse oder Dauerwurst. Beliebt bei der Besatzung sind allerdings Frischwaren oder persönliche Gegenstände, die ebenfalls von den Transportern befördert werden.

Pro Astronaut fallen ohne Regeneration 14,6 kg an Verbrauchsgütern pro Tag an, 5,3 Tonnen pro Jahr. Ein Teil ist unvermeidlich, wie der Bedarf an Nahrung oder die Leckverluste, die nur mit einem sehr hohen Aufwand vermindert werden können. Bei anderen Teilen ist es einfacher, Ressourcen einzusparen: Wasser kann zurückgewonnen werden, indem Hygienewasser aufbereitet und erneut eingesetzt wird. Das Gleiche gilt für Urin und Fäzes, die erhitzt werden, um das Wasser herauszudestillieren. Verglichen mit der Mir sind die Aufbereitungskreisläufe bei der ISS geschlossener. Ein noch weitgehendes System zur Aufbereitung auf Basis des Sabatierprozesses, das auch den Sauerstoff aus dem Kohlendioxid zurückgewinnt, wurde 2011 installiert, fiel aber in der Folge immer wieder aus.

Für eine Marsexpedition wird mit einem deutlich höheren Verbrauch gerechnet - etwa 30 kg pro Tag und Person. Umgekehrt lag der Verbrauch beim Apolloprogramm mit

primitiveren Hygienemöglichkeiten auch schon bei 9-10 kg pro Person und Tag.

Die Versorgung war, solange der Space Shuttle als primäres System für den Mannschaftstransport vorgesehen war, kein Problem. Vier Versorgungsflüge waren pro Jahr geplant. Die Space Shuttles hätten neben der neuen Besatzung bei bis zu 37.600 kg Fracht transportieren können. Dazu wären dann noch vier Progress Transporter mit 8.800 kg Treibstoff und einmal pro Jahr ein HTV/ATV gekommen. Zusammen ergab dies eine Versorgungskapazität von 55-60 t pro Jahr - deutlich mehr als tatsächlich benötigt wird.

Nach der Ausmusterung der Shuttles klafft eine Versorgungslücke. Die erste Maßnahme war ein neues System zur Wasserdestillation im Tranquility Knoten. Es liefert anders als das russische System auch Sauerstoff. Dadurch sinkt der Bedarf an Wasser und Gasen um 2.850 kg pro Jahr. Pro Person werden nur noch 6 kg pro Tag oder 13.100 kg für die Normbesatzung von sechs Personen benötigt. Der zweite Hauptposten ist der Treibstoff. In 350 km Höhe sinkt die Station um 250 m pro Tag ab, so werden 8,6 t Treibstoff pro Jahr benötigt, um die Bahnhöhe aufrechtzuerhalten. Die Anhebung der Bahn von 350 auf 400 km Höhe (vor allem durch das zweite ATV Johannes Kepler) hat den jährlichen Treibstoffbedarf der ISS von 8.600 kg auf 3.600 kg reduziert. Er ist jedoch stark von der Sonnenaktivität abhängig. Steigt sie an, so dehnt sich die Ionosphäre der Erde aus und bremst die Station stärker ab. Weiterhin wurde die Crew von sieben auf sechs Astronauten reduziert. So entfiel ein Siebtel der Nahrungsmenge und des Wassers.

Die NASA hat sich entschlossen, die Lücke durch den Wegfall der Shuttles mit zwei neuen Frachtraumschiffen zu

schließen, der Cygnus und Dragon. Jeder der beiden Transporter soll ab 2014 zwei Flüge pro Jahr durchführen.

Die Verträge rund um die ISS

Die Vereinbarungen der einzelnen Nationen über den Bau und den Betrieb der ISS sind komplex. Sie betreffen sowohl die Beiträge, welche die einzelnen Nationen beisteuern, wie auch die Verteilung der Ressourcen und des Raums.

Russland bekam einen Sonderstatus. Russland hat das exklusive Nutzungsrecht an dem von Russland gestarteten Modul Swesda. Sollte Russland noch sein Forschungsmodul Nauka starten, so würde es auch dieses alleine nutzen. Russland nutzt dies aus für die Beförderung von Weltraumtouristen, die sich nur in Swesda aufhalten dürfen, da die NASA dies auf ihrem Teil der ISS nicht duldet. Die ISS besteht somit aus einem westlichen und einem russischen Teil.

Für den westlichen Teil gibt es einen Verteilungsschlüssel, der sich nach den finanziellen Aufwendungen für die Raumstation richtet. Dieser Schlüssel legt die Verteilung der Ressourcen fest: Strom, Anteil an der Datenrate und Crew Zeit. Er beträgt:

- 76,6% für die NASA (amerikanische Raumfahrtagentur)
- 12,8% für die JAXA (japanische Weltraumorganisation)
- 8,3% für die ESA (europäische Raumfahrtagentur)
- 2,3% für die CSA (kanadische Weltraumagentur)

Dieser Barter Vertrag ist wesentlich älter als die ISS. Der gleiche Verteilungsschlüssel wurde schon für die Raumstation Freedom Ende der achtziger Jahre festgelegt. Entsprechend diesem Anteil müssen die beteiligten Nationen sich am Unterhalt beteiligen. Dies erfolgt nicht

durch Zahlungen, sondern durch erbrachte Leistungen. Er wurde nur um Leistungen für Russland erweitert, so war ein Viertel der Fracht von Jules Verne für den russischen Teil der Station bestimmt. Etwas komplizierter ist die Verteilung der Racks, da sie unterschiedlich groß sind. Hier wurden die Racks aufgeteilt. Gezählt wurden nur Racks mit Experimenten. Weitere Racks enthalten Geräte für die Stromversorgung, Klimaanlage, Computer und Stauraum.

Die Anzahl dieser - für die Forschung verfügbaren - Racks beträgt:

- 10 im Columbus Labor der ESA,
- 10 im Kibō Labor der JAXA,
- 13 im Destiny Modul der USA.

Die NASA kann jeweils die Hälfte der Racks in dem japanischen und europäischen Modul nutzen. Dazu kommen alle eigenen Racks im Destiny Modul. Nach Nationen aufgeteilt, ergibt sich daher folgende Rack Benutzung:

- Europa 5 Racks (15,1%)
- Japan 5 Racks (15,1%)
- USA 23 Racks (69,9%)

Das Missverhältnis zuungunsten der USA beruht auf dem Verzicht auf den Ausbau und den Start des Zentrifugenmoduls mit 10 weiteren Racks. Dieses von der JAXA, als Kompensation für den Start von Kibō, gebaute Modul hätte die NASA exklusiv nutzen können. Die USA müssen von ihren Racks noch Kanada und Italien Raum einräumen. Kanada ist direkt an der Raumstation durch das Manipulatorsystem beteiligt, Italien indirekt durch ein bilaterales Abkommen mit der NASA.

Etwas komplizierter ist die Frage, wie oft und wie lange ein Astronaut an Bord der Raumstation arbeiten darf. Es hat die

ESA Anspruch auf einen Aufenthalt alle zwei Jahre über einen Zeitraum von sechs Monaten. Will sie ihr Labor intensiver nutzen, so muss sie bei den anderen Partnern Zeit kaufen oder durch zusätzliche transportierte Fracht eine entsprechende Gegenleistung erbringen.

Nachschubsysteme für die ISS

Die ISS sollte nach den ursprünglichen Planungen von folgenden fünf Systemen versorgt werden, jedes mit eigenen Fähigkeiten:

- Progress Raumtransporter
- Sojus Kapsel
- Space Shuttle
- ATV
- HTV

Bei der Auslegung dieser Systeme gab es verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Zum einen die Beteiligung der Nationen an der ISS. So lastet die Hauptaufgabe für den Nachschub auf den USA, da die USA am meisten zur Finanzierung beitragen. Wichtig ist aber auch, dass jedes Versorgungsgut von mindestens zwei Systemen transportiert werden kann. Damit ist der Ausfall eines Transports nicht kritisch. So teilen sich die Teilaufgaben auf die Transporter auf:

	Space Shuttle	Sojus	Progress	ATV	HTV	Dragon	Cygnus
Treibstoff			+	+			
Reboost	(+)		+	+			
Wasser	+		+	+	(+)		
Gase			+	+			
Nahrung	+		+	+	+	+	+
Racks	+				+		+
	Space Shuttle	Sojus	Progress	ATV	HTV	Dragon	Cygnus
Personen	+	+					
Abfallentsorgung	+		+	+	+	+	+
Fracht zur Erde	+					+	
Paletten	+				+	+	

(+) Transport möglich, aber unter Einschränkungen.

- Die NASA plante, nachdem die Raumfähren ins Museum wandern, den Transport durch drei neue Systeme sicherzustellen:
- Das Cygnus Raumschiff von OSC ist ein reiner Frachttransporter. Er ist für den Transport von Fracht unter Druck vorgesehen.
- Die Dragon Kapsel soll Fracht unter Druck und ohne Druckausgleich transportieren. Sie kann auch als erstes System nach Ausmusterung des Space Shuttles größere Mengen an Fracht zurück zur Erde bringen.
- Das Orion Raumschiff sollte das Space Shuttle bei dem Transport von Mannschaften zur ISS ersetzen und die Sojus ergänzen. Mittlerweile ist das Programm nicht

mehr für ISS Transporte vorgesehen. Stattdessen soll im Rahmen des CCDev Programms (Commercial Crew Development) ein „kommerzieller“ Transport erfolgen.

Die Menge der von den US-Transportern gebrachten Fracht steigt in den nächsten Jahren an, auch weil HTV und ATV in die Bresche gesprungen sind, als es nach dem Ausmustern des Shuttles eine Lücke gab. Bis 2018 soll es 5-6 CRV-Flüge pro Jahr geben. Diese Frequenz soll dann beibehalten werden. Von 2017 bis 2024 geht die NASA nach den derzeitigen Ausschreibungen für den nächsten Versorgungsvertrag von 14.750 bis 16.750 kg Fracht im Druckmodul und in etwa derselben Menge an Müll und Rückkehrfracht aus. Dazu kommt noch Fracht ohne Druckausgleich.

Alle Frachter sind flexibel in der Art und Menge des mitgeführten Frachtguts. Die maximale Zuladung wird diktiert durch das Startgewicht, das die Trägerrakete vorgibt. Wie die Nutzlast jedoch verteilt wird, ist variierbar.

Es gibt meistens zwei Sektionen: einen druckstabilisierten Teil und einen Teil, der nicht unter Druck steht. Die Besatzung kann den ersten Bereich betreten und Fracht entladen. Der zweite Teil dient zur Versorgung mit Wasser, Treibstoff und Gasen. Diese werden durch Überdruck in die Tanks der russischen Module gepumpt. Gase werden direkt in die Atmosphäre entlassen. Die ISS hat ein Innenvolumen von rund 900 m³. Erlaubt man ein Ansteigen des Drucks um 50 hPa, das ist in etwa die maximale Schwankung des irdischen Luftdrucks, so kann man 50 kg Gase auf einmal entlassen. Die ISS hat eine normale Atmosphäre wie auf der Erde, bestehend aus 20% Sauerstoff und 80% Stickstoff. Als Gase werden daher Druckluft und reiner Sauerstoff mitgeführt. Da der Sauerstoff von der Besatzung

„verbraucht“ wird (umgesetzt zu Kohlendioxid) muss der Gehalt regelmäßig erhöht werden.

Das HTV, die Dragon und das Space Shuttle können auch Paletten transportieren. Diese müssen dann vom Arm der Station an der Außenseite der Station oder dem Kibō Labor befestigt werden. Ein Transporter ganz ohne Druckbehälter wäre denkbar, eine solche Option war ein Ausbauszenario des ATV (siehe S.204).

Unterteilt können die Transporter auch nach Ankopplungspunkt werden. Bedingt durch die unterschiedlichen Systeme haben beide Methoden Vor- und Nachteile:

- Die russischen Adapter wurden schon bei Mir verwendet. Sie haben Leitungen, durch die Wasser und Treibstoff transferiert werden können. Weiterhin befinden sich an den Kopplungsadapter aktive Radartransponder des Kurs-Systems. Damit ist eine automatische Kopplung möglich und diese wird auch bei den bemannten Missionen bevorzugt (ab 150 m Entfernung von der Station übernimmt die automatische Ankopplung mittels Kurs die Steuerung auch bei den Sojus Flügen). Ihre für Besatzungen ausgelegten Luken haben aber einen geringen Durchmesser, was die Größe der sperrigen Teile limitiert. Durch sie passen keine Standardracks. Ein Kopplungspunkt am Ende von Sarja erlaubt den Reboost der Station, da der Schubvektor durch den Schwerpunkt geht. An sie docken Progress, Sojus und ATV an.
- Der Hauptvorteil der CBM (**C**ommon **B**ethering **M**echanism) Anschlüsse auf dem US-Teil ist, dass der Durchmesser der Luke 1,27 anstatt 0,70 bis 0,80 m beträgt. Sperrige Ausrüstung kann so zur Station

gebracht werden. Nur durch diese Luken passt ein Rack. Sie wurden ursprünglich entwickelt, um die einzelnen Module miteinander zu verbinden. Diese Anschlüsse haben keine Möglichkeit Wasser oder Treibstoff zur ISS zu transferieren und ein Reboost ist unmöglich, da alle Kopplungsstellen so liegen, dass der Schubvektor nicht durch den Schwerpunkt der ISS verläuft. Das US-System hat keinerlei Möglichkeit zur automatischen Ankopplung. Die Module müssen in die Nähe (etwa 10 bis 12 m) zum Ankopplungspunkt manövriert und dann vom Canadarm2 eingefangen werden. Ihn steuern die Astronauten und koppeln dann den Frachter an. Das Abkoppeln erfolgt dann umgekehrt auch hier werden die Verbindungen gelöst, der Arm zieht das Modul weg und entlässt es dann. Dass der Arm durchaus ausfallen kann, zeigte sich schon kurz nach der Installation des Canadarm2, als im Mai/Juni 2001 sich Gelenke nicht bewegen ließen und einen Außeneinsatz zur Reparatur nötig machten. Die CBM haben wie die anderen Kopplungsadapter zwei Bauformen. Auf der ISS sind aktive CBM, an den Transportern dagegen passive.

- Das Space Shuttle hatte einen eigenen Ankopplungspunkt. Der Verbindungsadapter leitete sich von Designs ab, die man schon bei Apollo-Sojus verwendete und in ähnlicher Weise auch die Sojus einsetzt (er wurde schließlich für die Ankopplung an die Mir entwickelt). Auch durch ihn passen keine sperrigen Gegenstände. Die Position war aber so, dass das Shuttle die ISS anheben kann. Das wurde jedoch nur während der Anfangszeit so gemacht. Später war dies zu ineffektiv und Treibstoff verbrauchend.



Abbildung 1: Größenvergleich ATV - Progress und Apollo Raumschiff © der Grafik: ESA

Der Progress Raumtransporter

Die Progress (russisch: Прогресс für „Fortschritt“) Raumtransporter sind heute in der vierten Generation im Einsatz. Die UdSSR setzte sie erstmals 1978 ein, um bei Saljut 6 die Arbeitsdauer zu erweitern. Die ersten Raumstationen, Skylab und Saljut 1-5 waren mit einem Vorrat an Verbrauchsgütern gestartet worden. Das war unwirtschaftlich. Waren sie verbraucht, so war die Raumstation nutzlos. Daher markiert der Start von Progress 1 auch eine Wende im russischen Raumfahrtprogramm. Immer längere Aufenthalte auf den Raumstationen wurden möglich. Gastbesatzungen konnten Saljut und später Mir besuchen. Die Raumstationen wurden nun größer und aus mehreren Modulen aufgebaut. Die Progress Transporter lieferten auch den Treibstoff, um den Orbit regelmäßig anzuheben.

Der Progress Transporter ist ein umgebautes Sojus Raumschiff, bei dem alle Systeme entfernt wurden, die für eine Besatzung erforderlich sind. Kein Teil des Raumschiffs

übersteht einen Wiedereintritt. Der Transporter besteht aus drei Sektionen:

Der vorderste Teil von Progress ist das unter Druck stehende **Frachtmodul** (Progress GO russisch: Грузовой отсек) mit der Luftschleuse und dem Kopplungsadapter zur ISS. Hier befindet sich die Fracht, die unter Druck stehen muss, also Nahrung, Kleidung, Werkstoffe, aber auch Wasser und Gase in Behältern. Der aktive Docking-Adapter vom Typ „SSWP-M 8000“ koppelt an einen passiven des Typs „SSWP G4000“ an. Es ist der gleiche Typ, den auch ATV und Sojus einsetzen. Diese Sektion ist aus der Orbitalsektion der Sojus Kapsel entstanden. Sie besteht aus einer Kugel mit zwei vorne und hinten angebrachten Zylinderstümpfen. Der Vordere enthält die Systeme zum Ankoppeln und hat eine Länge von 0,50 m bei einem maximalen Durchmesser von 1,35 m.

Der hintere Zylinder ist kürzer und verbindet das Frachtmodul mit der folgenden **Tanksektion** (Progress OKD, russisch: Отсек компонентов дозаправки). Diese enthält die Treibstoffe, welche zur ISS umgepumpt werden. Diese Trennung verhindert eine Kontamination des Druckteils mit den giftigen Treibstoffen, falls es ein Leck gibt. Bei dem Sojus Raumschiff befindet sich hier die Wiedereintrittskapsel. Auch wenn die Form identisch ist, so handelt es sich bei der Tanksektion um eine leichtgewichtige Struktur, anders als die massive Kapsel der Sojus. Sie muss weder einen Innendruck aufrechterhalten, noch enthält sie einen Hitzeschutzschild. Daher wiegt sie nur 800 anstatt 2.900 kg. Durch diese Gewichtseinsparung ist es möglich, die Fracht zu befördern. Die Tanksektion verfügt über sechs Triebwerke, welche zur Lageregelung und als Back-up für die Steuertriebwerke in der Servicesektion dienen. Sie werden durch die katalytische Spaltung von Wasserstoffperoxid angetrieben.

Der letzte Teil ist das von der Sojus weitgehend unverändert übernommene **Servicemodul**. Es befördert den Progresstransporter zur ISS und bringt ihn nach beendeter Mission zum Verglühen. Diese Sektion (Progress PAO, russisch: Приборно- агрегатный отсек) enthält auch die Solarzellen, welche den Strom liefern, und Batterien für den Betrieb im Erdschatten. Das Servicemodul besteht aus einem Zylinder mit einem Durchmesser von 2,15 m an der Basis und einem Adapter zur Trägerrakete, welcher einen maximalen Durchmesser von 2,72 m aufweist. Verändert wurde die Befestigung. Da das Servicemodul nicht vor dem Wiedereintritt abgekoppelt wird, wurde der Gitterrohradapter, der bei der Sojus eingesetzt wird durch eine feste Verbindung ersetzt.

14 Triebwerke dienen der Feinsteuerung der Bewegung, vier weitere Triebwerke der Veränderung der Rollachse. Der Hauptantrieb ist das Triebwerk KTDU-80 mit 3,92 kN Schub. Alle Systeme sind redundant ausgelegt. Von den 2.654 kg, welches das Servicemodul wiegt, entfallen alleine 305 kg auf die beiden Haupttriebwerke. Mit dem Servicemodul kann der Frachter die Bahn der Station anheben, allerdings verfügt er über nicht sehr viel Reboosttreibstoff.

Bei den Progresstransportern entfällt das Rettungssystem SAS der Sojus, so kann die Trägerrakete mehr Nutzlast zur ISS bringen.

Ankopplung

Die Ankopplung der Progress geschieht mit dem Kurs System. Das Kurs System sendet Radarimpulse von verschiedenen Antennen aus. Eine parabolische Richtantenne empfängt die reflektierten Impulse. An den Ankopplungsstellen gibt es einen passiven Teil, der dafür

sorgt, dass Interferenzen minimiert werden und sich die Signalqualität erhöht. Aufgrund der Laufzeitunterschiede, Signalstärke und Empfangsrichtung kann der Bordcomputer die relative Position, Ausrichtung und Geschwindigkeit von Progress und Kopplungsstelle berechnen.

Das erste System, das zur Ankopplung eingesetzt wurde, war Iglá. Es arbeitete auch mit Radiowellen um Abstand und Geschwindigkeit zu bestimmen, war aber noch nicht fähig, automatisch anzukoppeln und musste manuell gesteuert werden. Kurs wurde für die Ankopplung von Buran an die Mir entworfen. Es wurde ab 1985 eingesetzt. Es arbeitet vollautomatisch, auch bei den Sojus Flügen. Nachdem es sich bei den Sojus Raumschiffen über vier Jahre bewährte, wurde es auch bei den Progressfrachtern eingesetzt.

Als Back-up gibt es eine manuelle Steuerung im Swesda Modul, das TORU-System (**T**elerobotically **O**perated **R**endezvous **U**nit). Bisher wurde zweimal ein Frachter manuell an die ISS angekoppelt. An dem Swesda Modul gibt es eine Zielmarkierung mit einem Kreuz. Eine Videokamera im Frachter nimmt die Markierung auf, wobei das Kreuz in der Mitte gehalten werden muss. Dieses Bild, ergänzt durch eingeblendete Informationen, über die mittels Kurs ermittelte Geschwindigkeit und Position, wird über UHF Funk zur ISS übertragen, wo in der Swesda ein Kosmonaut an dem Kontrollpult von TORU die Annäherung verfolgt und gegebenenfalls korrigiert. Die ersten Versuche das Kurs System durch TORU zu ersetzen führten zur Kollision von Progress M34 mit dem Spektr Modul der MIR. Seitdem ist TORU nur ein Backupsystem.



Abbildung 2: Progress M-52 vor der Ankopplung an die ISS © des Fotos: NASA

Progress	
Länge gesamt:	7,20 – 7,48 m
Maximaler Durchmesser:	2,72 m
Startgewicht ohne Fracht:	4.920 kg
Fracht:	2.230 kg (typisch) 3.200 kg (maximal)
Startgewicht:	7.020 – 7.450 kg
Frachtmodul	
Länge:	2,98 m
Durchmesser:	2,70 m
Volumen:	6,50 m ³
Trockengewicht:	1.180 kg
Maximales Startgewicht:	2.520 kg
Fracht:	Maximal 1.340 kg

Tanksektion	
Länge:	2,05 m - 2,20 m
Durchmesser:	2,17 m
Trockengewicht:	780 kg
Maximales Startgewicht:	2.480 kg
Fracht:	Maximal 1.700 kg
Triebwerke:	6 Lageregelungstriebwerke mit je 98 N Schub
 Servicemodul 	
Länge:	2,17 m
Durchmesser:	2,72 m Spannweite, 10,60 m mit Solarzellen
Stromversorgung:	Solarzellen (10 m ²) + Batterien 600 W Dauerleistung
Trockengewicht:	2.054 kg
Maximales Startgewicht:	2.934 kg
Triebwerke:	14 Korrekturtriebwerke mit je 98 N Schub 4 Steuertriebwerke für die Rollachsenregelung 2 Haupttriebwerke mit je 3,92 kN Schub

Progress (erste Generation)

Es gibt mehrere Generationen von Progress-Transportern. Die erste Generation wurde von 1978-1990 eingesetzt und diente zur Versorgung der Saljut 6, 7 und Mir. Diese Transporter hatten eine aktive Betriebsdauer von lediglich drei Tagen und konnten maximal einen Monat angedockt an der Raumstation bleiben. Die aktive Betriebsdauer ist die

Zeit vom Start bis zur Ankopplung und vom Abkoppeln bis zum Verglühen. Insgesamt 43 Raumschiffe dieser Serie wurden von 1978-1990 gestartet.

Die ersten Progress-Raumschiffe wurden mit Batterien betrieben, die eine Kapazität von 50 kWh aufwiesen. Der durchschnittliche Verbrauch betrug 500 W. Daraus ergab sich die Begrenzung der Betriebsdauer auf wenige Tage.

Das Servicemodul setzte ein Triebwerk vom Typ KTDU-53 mit 4,03 kN Schub ein, das mit der Treibstoffkombination Salpetersäure/Hydrazin arbeitete. Die erste Generation hatte rund 500 kg Treibstoff für eigene Bahnmanöver an Bord, der spezifische Impuls war mit 2765 m/s geringer als bei den folgenden Generationen. Damit war nur die Versorgung der Saljut und Mir mit Treibstoff im Frachtraum möglich, aber nicht ein Reboost der Station mit dem Frachter. Die Ankopplung erfolgte gesteuert durch das Iglu System.

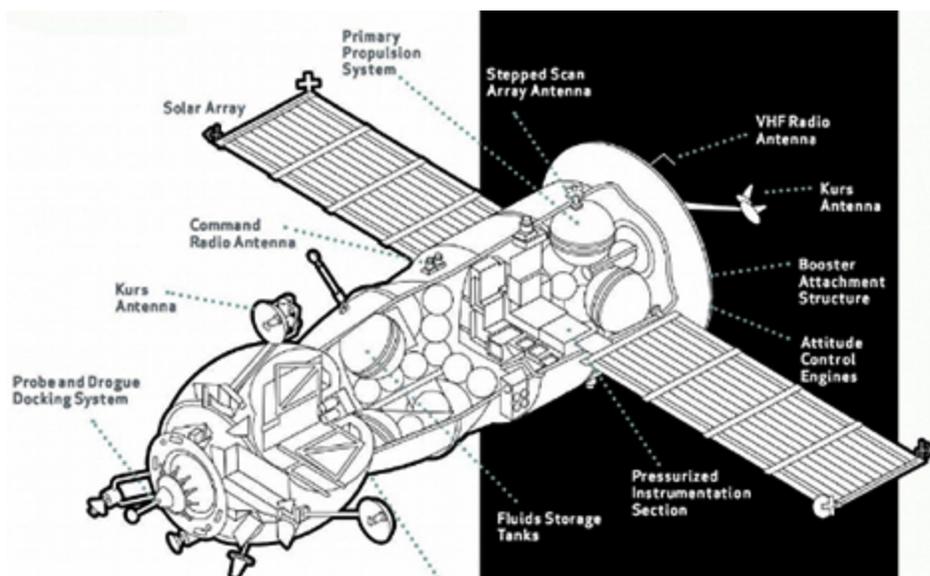


Abbildung 3: Subsysteme der Progress © der Grafik: NASA

Progress M

Die Progress M-Transporter der zweiten Generation verfügten über zwei zusätzliche Solarpanel zur Stromversorgung. Die Panels waren leichter als die Batterien. Dadurch stieg die Lebensdauer auf 180 Tage an. Modernisiert (dafür steht die Abkürzung „M“) wurde die Steuerung. Das Flugkontrollsystem „Kurs“ ersetzte Iglu. Das neue Haupttriebwerk KTDU-80 hatte mit 3,942 kN etwas weniger Schub. Es war aber leichter und setzte die leistungsfähigere Treibstoffmischung UDMH/NTO ein. Der interne Treibstoffvorrat wurde auf 900 kg erhöht. Zusammen mit dem höheren spezifischen Impuls von 2991 m/s konnten die Progress M nun die Bahn der Mir anheben. Für die Versorgung dieser Raumstation wurden die Progress M entwickelt.

Eine Reihe von Progress M wurden mit einer Rückkehrkapsel ausgestattet, welche sich innerhalb des Frachtmoduls befand. Sie wurde beim Wiedereintritt in 110-130 km Höhe abgestoßen. Nur wenige Kapseln wurden allerdings wiedergefunden. Als Folge wurde danach auf die Kapseln verzichtet. Die Progress M-Transporter wogen 400 kg mehr als die erste Generation. Sie wurden von 1989 bis 2009 eingesetzt.

Mit Progress M-34 geschah der bisher gravierendste Vorfall mit einem Progress Raumtransporter. Bei der ersten Generation machte vor allem das Ankoppeln mit dem Iglu-System Probleme. Die Progress M Serie war bis dahin von diesen Problemen verschont geblieben. Dann beschloss Russland Kosten einzusparen und „Kurs“ durch eine manuelle Steuerung der Ankopplung durch die Kosmonauten zu ersetzen. Dies geschah mit einem Vorläufer von TORU. Der Grund war, dass „Kurs“ von einem Kombinat in der Ukraine produziert wird und nach dem Zerfall der Sowjetunion der Hersteller den Preis für das System drastisch erhöhte.

TORU wurde zum ersten Mal bei Progress M-33 erprobt, bevor der Transporter mit dem Müll verglühen sollte. Das Manöver gelang nicht. Die Videoübertragung, mit der die Kopplung überwacht werden sollte, riss immer wieder ab. Schließlich flog die Progress mit hoher Geschwindigkeit nahe der Mir vorbei. Obgleich die Besatzung sich über die riskante Vorgehensweise bei der Bodenkontrolle beschwerte, wurde derselbe Test mit Progress M-34 erneut angesetzt. Diesmal war der Frachter kaum vor den Wolken auszumachen und reagierte nicht oder verzögert auf Steuerungssignale. Das Raumschiff kollidierte mit hoher Geschwindigkeit mit dem Spektr-Modul. Dieses war danach dauerhaft beschädigt und musste aufgegeben werden.

Seitdem finden alle automatischen Kopplungen wieder durch das Steuersystem Kurs statt, und es gab keine weiteren gravierenden Vorkommnisse. In der Folge bauten die Kosmonauten die Elektronik von Kurs nach dem Ankoppeln an die ISS aus und brachten es bei einer Space Shuttle Mission zurück zur Erde, um so Kosten einzusparen.

Progress M1

Die vorletzte Generation Progress M1 unterscheidet sich von der vorherigen darin, dass es möglich ist, mehr Treibstoff mitzuführen. Ihre primäre Aufgabe ist es, die Bahn der ISS regelmäßig anzuheben. Dafür wurden die Progress M modifiziert. Für die Änderungen wurden die beiden Wassertanks aus der Tanksektion entfernt. Das Wasser muss bei diesen Transportern in der Frachtsektion untergebracht werden. Die Anordnung der Tanks in der Tanksektion wurde umgestaltet, um mehr Treibstoff mitzuführen. Die Progress M1 führt acht anstatt vier Treibstofftanks mit. Die optionalen zwölf kugelförmigen Drucktanks für Gase umgeben in einem

äußeren Ring die Frachtsektion. Bei den Progress-M befindenen sie sich im Inneren der Frachtsektion.

Der Treibstoff wird von der Progress in das Swesda Modul umgepumpt, welche die Station dann mit den eigenen Triebwerken anhebt. Ein zweiter, größerer Tank befindetet sich im Sarja Modul.

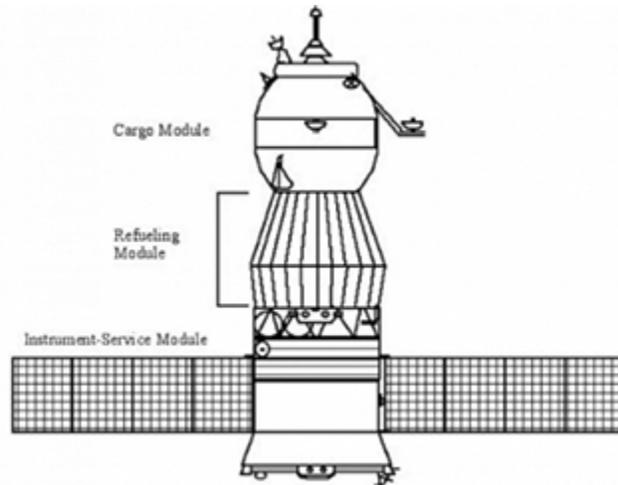


Abbildung 4: Aufbau der Progress © der Grafik: NASA

Die Progress M1 waren die ersten Frachtraumschiffe, welche die ISS besuchten. Die beiden ersten Exemplare halfen die Mir zu deorbitieren. Danach waren sie die häufigsten Transporter bis zum Januar 2004. Seitdem erfolgte kein weiterer Einsatz mehr.

Progress M+M

Die Progress M+M ist die derzeit letzte Version des Transporters. Sie flog erstmals am 26.11.2008. Sie ist der Nachfolger der Progress M. Ein Einsatz als „Tanker“ wie bei den Progress M1 gab es bisher nicht. Von dem Progress M1 unterscheidet er sich durch ein modernisiertes Kontrollsystem. Es setzt den R3081 Prozessor ein, eine weltraumtaugliche Variante des MIPS R3000 Prozessors von

IDT. Dieser Prozessor ist schon weltraumerprobt. Der erste Einsatz fand 1994 an Bord der Raumsonde Clementine statt. Er wurde in den letzten Jahren in den USA durch leistungsfähigere Modelle ersetzt, da er nur eine Taktfrequenz von maximal 40 MHz aufweist. Verglichen mit dem, seit 1974 auf allen Sojus und Progressschiffen eingesetzten Argon-16 Computer ist der Sprung allerdings enorm. Der Argon-16 ist ein 16-Bit-Rechner mit nur 32 Instruktionen und nur 2 KByte RAM und 16 KByte ROM (dreifach redundant). Er benötigte rund 5 ms für eine Addition und 45 ms für eine Multiplikation. Verglichen damit sollte das neue Modell tausendmal schneller sein.



Abbildung 5: Blick über eine Progress auf die Atlantis die sich der Raumstation nähert (Mission STS-115, Expedition 15) © des Fotos: NASA

Auch die Telemetrieinheit verwendet nun Glasfasern für die Datenleitungen und noch mehr Systeme wurden von analogen auf digitale Systeme umgestellt. Das System wird auch in den neuesten Sojus Raumschiffen eingesetzt werden. Russland erhofft sich durch das neue System deutliche Kosteneinsparungen bei einer zukünftigen

Raumschiffgeneration. Gleichzeitig ist ein Test schon auf den derzeit sich im Einsatz befindlichen Typen möglich. Geplant ist auch der Ersatz von Kurs durch ein in Russland entwickeltes System (Kurs-N).

Die neue Elektronik ist 75 kg leichter als die Alte und hat fünfzehnmal weniger Einzelteile. Auch der Stromverbrauch ist gesunken. Somit können Batterien mit einer kleineren Kapazität eingesetzt werden. Dadurch ist die beförderte Nutzlast angestiegen. Die Progress M+M hat eine 150 kg niedrigere Leermasse als die Progress M.

Auch bei der Sojus Trägerrakete gab es Nutzlaststeigerungen. Es gibt zwei neue Versionen, die Sojus 2a und 2b. Die Sojus 2a hat eine um 300 kg größere Nutzlast als die bisher eingesetzte Sojus-U und die Sojus 2b eine um 1.100 kg höhere Nutzlast (8.250 kg anstatt bisher 7.130 kg beim Start von Baikonur aus). Sie werden ab 2016 die bisher eingesetzten Sojus-U ersetzen. Schon vorher erlaubt die Übernahme einiger Modifikationen für die Sojus 2 in die Produktion der Sojus U die Nutzlast zu steigern. Aufgrund von Gewichts- und Volumenbeschränkungen in der Fracht- und Tanksektion ist es derzeit nur möglich, mehr Treibstoff in der Serviceeinheit mitzuführen, bis das strukturelle Limit von 3.200 kg Gesamtfracht erreicht ist. Dadurch kann die Tankerversion (Progress M1) entfallen. Die höhere Performance wird genutzt damit Progress und Sojusraumschiffe schneller (nach wenigen Umläufen anstatt zwei bis drei Tagen) ankoppeln, da nun die Rakete die Fähigkeit hat, die Bahnebene beim Aufstieg leicht zu drehen.

Die Steigerung der Frachtkapazität aller Transporter zur ISS wurde als primäres Ziel bei der letzten Konferenz der teilnehmenden Weltraumorganisationen im März 2010 in München beschlossen.

Einsatz

Es erfolgen drei bis vier Einsätze der Progress pro Jahr. Von 2009 bis 2011 gab es fünf Einsätze pro Jahr, da die Besatzung nun Normstärke hatte, aber die neuen US-Versorger noch nicht einsatzfähig waren. Mit steigendem Gewicht der Station und mehr Besatzungsmitgliedern stieg der Versorgungsbedarf nach Fertigstellung deutlich an. Bei allen Einsätzen gab es nur einen Fehlstart. Das war der von Progress 12M am 24.8.2011, als der Bordcomputer die Oberstufe Block I nach einer Fehlfunktion des Triebwerks nach 325 s abschaltete. Progress 12M ging dann im Altai Gebirge nieder.

Die Progress-Transporter sind bewährte und robuste Frachtraumschiffe. Da Russland aufgrund des geringen Lohnniveaus alle Dienstleistungen auf dem Gebiet der Raumfahrt zu niedrigen Preisen anbieten kann, sind sie auch sehr preiswert. Aber wegen der kleinen Kapazität von 2 t Fracht werden viele Progress-Transporter benötigt, um die ISS zu versorgen. Für die Kosten eines Versorgungsflugs wurden sehr unterschiedliche Summen genannt. Oft findet man 40-60 Millionen Dollar. Beim Verlust von Progress 12M kostete der Transporter alleine 650 bis 700 Millionen Rubel (21-22 Millionen Dollar). Der Schaden, der durch den Ausfall hervorgerufen wurde, wurde dagegen von der NASA mit 100 Millionen Dollar beziffert.

	Progress	Progress M	Progress M1	Progress M+M
Länge:	7,48 m	7.23 m	7.40 m	7,20 m
Startgewicht:	7.020 kg	7.450 kg	7.150 kg	>7.150 kg
Fracht (typisch):	2.315 kg	2.350 kg	2.230 kg - 2.500 kg	2.260 - 2.677 kg
Trockene Fracht:	1.340 kg	<1.800 kg	<1800 kg	<1.320 kg
Wasser:		<420 kg	0	420 kg
Luft:		<50 kg	<40 kg	<50 kg
Refülltreibstoff:	975 kg	850 kg	1.700 - 1.950 kg	880 kg
Reboosttreibstoff:		250 kg	185-250 kg	>250 kg
Müllzuladung:		1.400 - 2.000 kg	1.000 - 1.600 kg	2.000 kg
Flüge zur ISS:	0	23	9	21
Flüge zu Saljut / Mir:	12 × Saljut 6 13 × Saljut 7 18 × Mir	44 × Mir	2 × Mir	Keine
Einsatz von:	20.1.1978 - 5.5.1990	23.8.1989 - 24.7.2009	1.2.2000 - 29.1.2004	26.11.2008 - heute