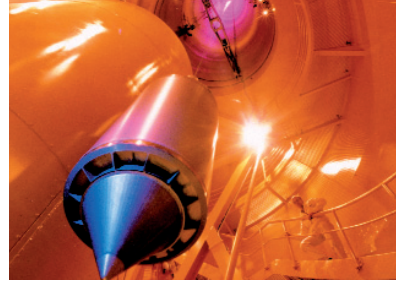


Experimente unter Schwerelosigkeit

Der Fallturm Bremen ist ein in Europa einzigartiges Großlabor, das Wissenschaftlern aus aller Welt die Möglichkeit zu erdgebundenen Experimenten unter kurzzeitiger Schwerelosigkeit bietet. Im Gegensatz zur orbitalen Mikrogravitationsforschung besteht hier eine permanente und kostengünstige Nutzungsmöglichkeit. Seit Inbetriebnahme im September 1990 steht das 146m hohe Betonbauwerk auf dem Gelände der Universität Bremen zur Verfügung und ist eine wichtige Ergänzung zu den bestehenden und geplanten Laboreinheiten der orbitalen und suborbitalen Schwerelosig-

keitsforschung. Seither werden kontinuierlich ca. 400 Experimentabwürfe im Jahr durchgeführt. Mit der Anlage ist es möglich, bis zu dreimal täglich für jeweils 4,74 Sekunden den Zustand der Schwerelosigkeit zu erreichen. Im Dezember 2004 wurde eine Katapultanlage in Betrieb genommen, die im ZARM entwickelt wurde und weltweit einzigartige Forschungsbedingungen schafft. Die Dauer eines Fallexperiments kann nun verdoppelt werden, wenn statt des einfachen freien Falls ein „senkrechter“ Parabelflug durchgeführt wird. •



▲ **Abbildung 1**

Im Vordergrund hängt die mit einem Experiment vorbereitete Fallkapsel und wird in dem Fallrohr auf eine Höhe von 120m gezogen. Der im Hintergrund stehende 8m hohe und mit Styroporgranulat gefüllte Abbremsbehälter kann danach unter das Fallrohr geschwenkt werden. Die Fallkapsel-Spitze dient lediglich zur dynamischen Stabilisierung während des Abbremsvorganges.



Der Fallturm Bremen



Die Fallturmtechnik

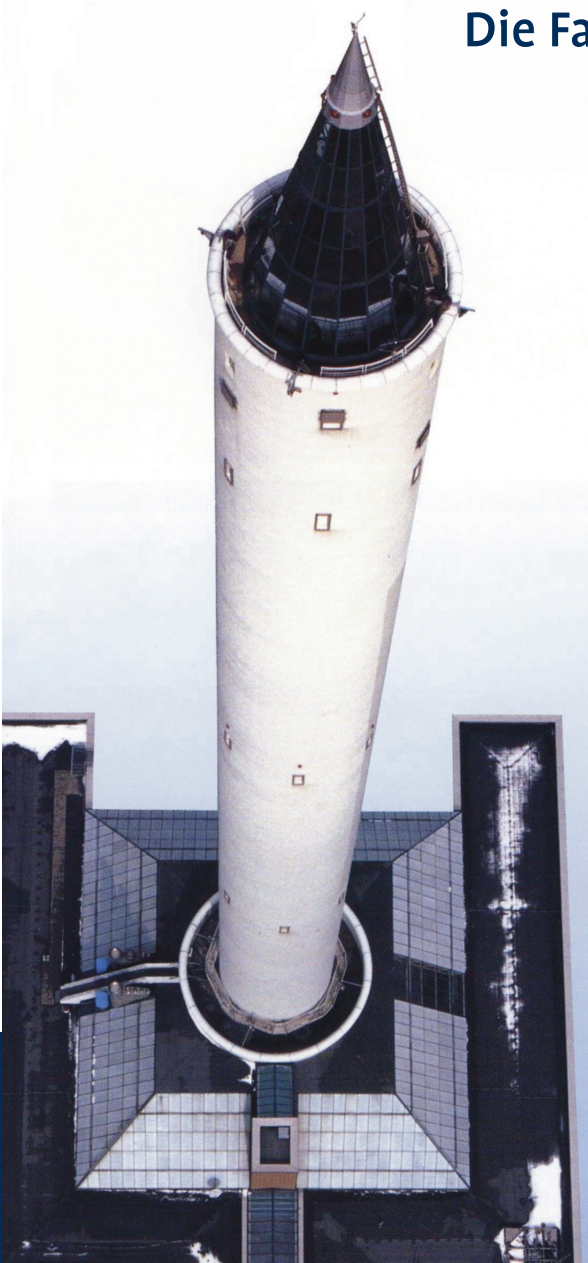
Das eigentliche Mikrogravitations-Laborsystem ist die zylindrische Fallkapsel, die bei einem Durchmesser von 800mm je nach Raumbedarf für das Experiment 1,6m oder 2,4m lang sein kann. In Aluminiumprofilen gehaltene Einschub-Plattformen bilden eine modulare Fallkapselstruktur. Zur Standardausrüstung einer Fallkapsel gehören eine Rechnerplattform sowie die zur internen Stromversorgung notwendige Akkuplattform. Mit dem Fallkapselrechner werden die Experimentsteuerung, die Datenspeicherung sowie die interaktive Experimentführung während des Versuchsvorlaufes und der Mikrogravitationsphase mittels Telemetrie ermöglicht. Nach der Experimentintegration wird die gesamte Kapsel mit einer Aluminiumhülle druckdicht geschlossen.

Exzentrisch zur Vertikalachse des Betonturmes angeordnet steht auf einer Höhe von 13m völlig frei, ohne jegliche Verbindung zum Turm, die eigentliche stählerne Fallröhre auf der 2m dicken Decke der Abbremskammer. Auf diese Weise kann eine Übertragung von windinduzierten Turmschwankungen auf den sensiblen Experimentbetrieb auch bei typischem Bremer Wetter weitestgehend ausgeschlossen werden.

Da im Fallturm wahlweise zwei verschiedene Experimenttypen möglich sind, wird die Fallkapsel entweder über eine Seilwinde auf eine

▲ **Abbildung 2**

Mit dem ersten Spatenstich wurde im Mai 1988 der Bau der zentralen Einheit, dem 146 m hohen Fallturm Bremen, begonnen. Das den Turm umgebende ZARM-Institutsgelände ist mit seinen modernen Laboratorien, Werkstätten, Büroräumen und einer Integrationshalle ein international genutztes terrestrisches Mikrogravitationslabor.



Das Prinzip der Schwerelosigkeit

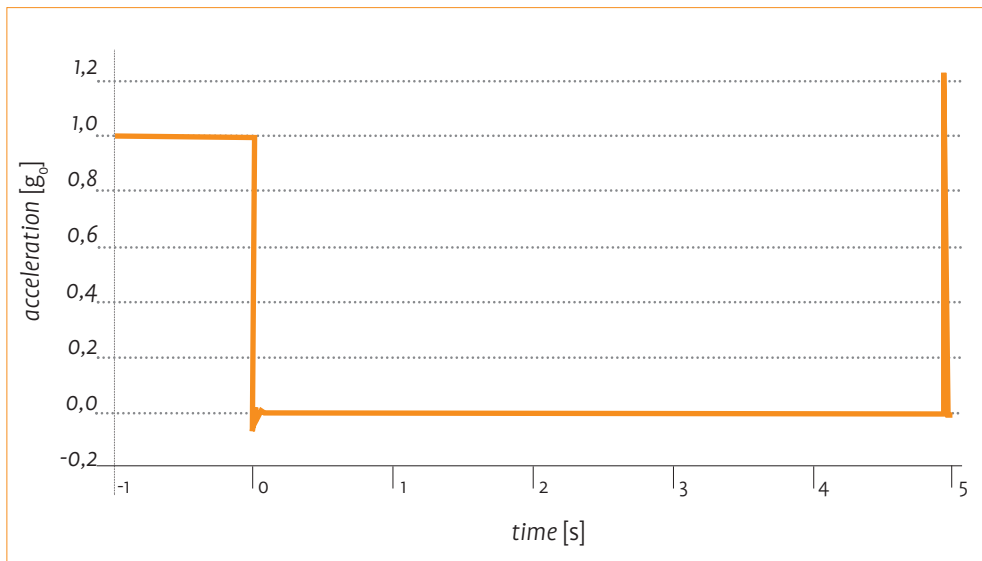
Schwerelos wird ein Laborsystem dann genannt, wenn in ihm keine äußeren Beschleunigungen gemessen werden. Um die Schwerelosigkeit in dem Laborsystem Fallkapsel zu erreichen, muss diese sich auf Bahnen bewegen, die im Schwerfeld der Erde antriebslos möglich sind. Die Trägheitskraft kompensiert dann die Schwerkraft. Je nachdem, welche äußeren Einflüsse wirken, ist deren Kompensation mehr oder weniger gut. Beim Fallturm Bremen wird eine Schwerelosigkeitsqualität von einem Millionstel der normalen Erdbeschleunigung erreicht. •

Höhe von 120 Meter gezogen oder freistehend auf dem so genannten Katapulttisch in 10 Metern Tiefe positioniert. Danach wird die als Vakuumbehälter ausgelegte Fallröhre druckdicht verschlossen. Zur Minimierung der auf die Kapsel wirkenden aerodynamischen Widerstandskräfte werden die 1700 m³ Rauminhalt von Fallrohr und Abbremskammer evakuiert. Ein System von insgesamt 18 Pumpen mit einer Nennsaugleistung von 32.000 m³/h benötigt dafür etwa 2 Stunden. Vom zentralen Leitstand des Fallturms wird bei Erreichen eines Restdruckes von 10 Pa ($1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bar}$) in Abstimmung mit den Forschern und ihrer Experimente die Kapsel ausgeklinkt, bzw. mit dem Katapulttisch beschleunigt. In einem einfachen Fallexperiment werden während des freien Falles über 110 Meter nach Dämpfung der durch das Ausklinken aufgeprägten Störungen lediglich Restbeschleunigungen von $10^{-6} g_0$ nachgewiesen.

Die ausgezeichnete Schwerelosigkeitsqualität übertrifft die von bemannten orbitalen Plattformen um ein Vielfaches. Mit einer Endgeschwindigkeit von 167 km/h wird die Fallkapsel in einem Abbremsystem aus feinkörnigen Styroporkugeln sanft abgebremst. Hierbei dient der Nasenkonus der Fallkapsel zur Verringerung des Aufschlagimpulses. Nach jedem Versuch wird zur Bergung der Kapsel der Vakuumbereich mit vorgetrockneter Luft innerhalb von 20 min geflutet. Den Wissenschaftlern stehen dann die Experimente sowie die mit großer Spannung erwarteten Ergebnisse sofort zur Verfügung. •

▼ **Abbildung 3**
Im Vordergrund hängt eine Fallkapsel, die in der ZARM-Integrationshalle mit einem Experiment bestückt wurde und nun in die Fallröhre im Hintergrund transportiert wird.

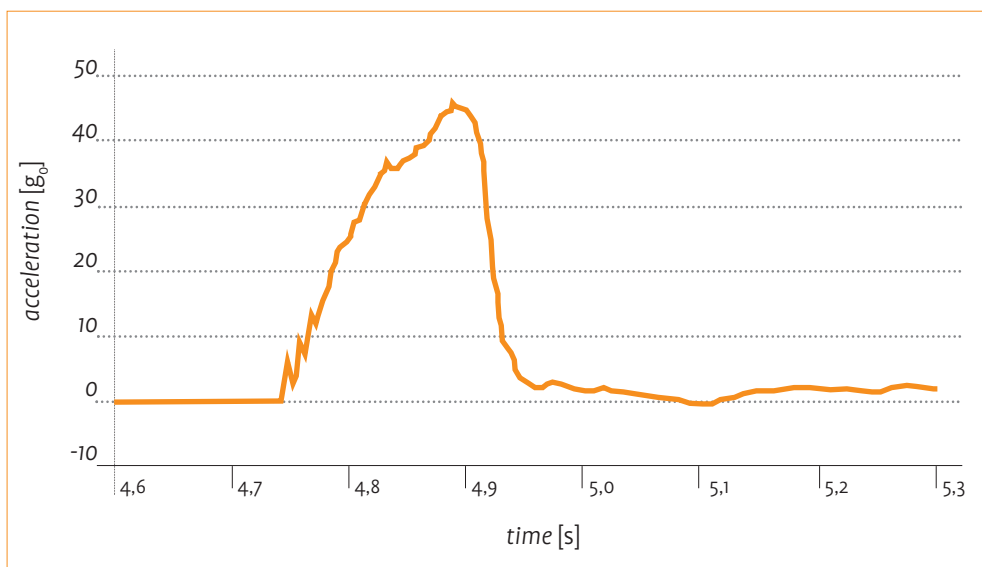




◀ **Abbildung 4**

Dargestellt als Funktion der Zeit werden in der ersten Grafik die auftretende Restbeschleunigung in der Fallkapsel mit dem Ausklinken sowie der folgenden Schwerelosigkeitsphase.

Die zweite Grafik zeigt die Abbremsbeschleunigungen während des Eintauchens der Fallkapsel mit 167 km/h in den mit Styropor® gefüllten Abbremsbehälter. Die durchschnittlich wirkende 30fache Erdbeschleunigung über ca. 0,2 Sekunden ist derart sanft, dass selbst empfindliche Bauteile unbeschädigt bleiben.

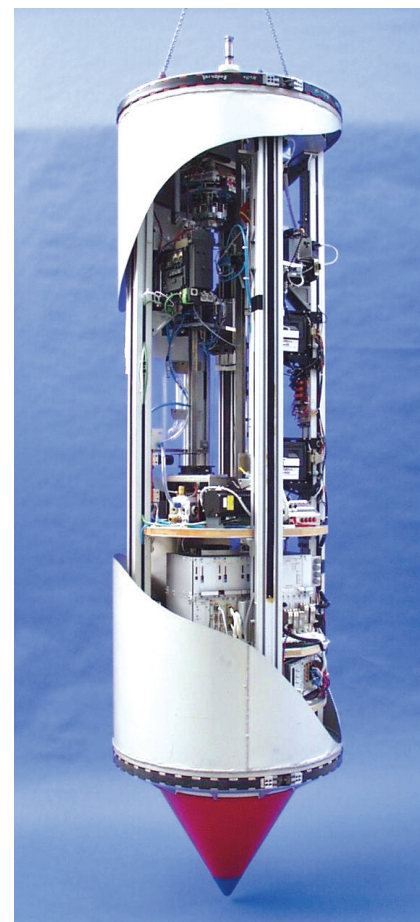


▼ **Abbildung 5**

Die Experimente werden samt komplexer Messtechnik in die Struktur der Fallkapsel integriert.

Die Experimente

Bisher wurden Untersuchungen aus den Bereichen Fluidmechanik, Rheologie, Verbrennung, Thermodynamik, Materialforschung und Biologie durchgeführt. Die Behandlung von gravitationsabhängigen Phänomenen ist bei grundlegenden und anwendungsbezogenen Fragestellungen in der Wissenschaft ein wichtiger Bestandteil. Zur Forschung am Fallturm Bremen erhalten die Forscher vorab eine Fallkapselplattform, um ihren Experimentaufbau in den heimischen Laboren entwickeln zu können. In Bremen erfolgt der flugfertige Einbau in die Fallkapsel und die eventuelle notwendige Adaption von zusätzlichen Messtechniken und Messwerterfassungssystemen. •





▲ **Abbildung 6**
Drucktanks des ZARM-
Katapultsystems

Das Katapultsystem

Schon beim ersten Spatenstich am 3. Mai 1988 wurde der spätere Einbau eines Katapults durch den Bau des Katapultschachts unter dem Turm berücksichtigt. Bis zur Realisierung des Katapults war es jedoch ein weiter Weg. Beispielsweise wurde von der ursprünglichen Idee, das Katapult nach dem Bandzugprinzip zu bauen, zu Gunsten einer einfacheren und damit besseren Lösung Abstand genommen. Die Katapultanlage befindet sich in einem zehn Meter tiefen Schacht unterhalb des Turms. Der Schacht wird nahezu komplett von zwölf riesigen Druckluftbehältern eingenommen. Diese sind rund um die nach unten verlängerte Vakuumkammer des Fallturms angeordnet. Zentral darin angeordnet befindet sich ein riesiger „Pneumatikzylinder“, auf dessen Kolben die Fallkapsel steht. Der Pneumatikkolben ist durch eine Kolbenstange mit einem hydraulischen Bremszylinder verbunden. Pumpt man Öl in den Bremszylinder, zieht er den Kolben nach unten. Jetzt hält der Zylinder die Fallkapsel in „Abschussposition“, Hydraulik- und Pneumatiksystem befinden sich im Kräftegleichgewicht. Mit dem Drücken des Startknopfes lassen Hydraulikventile das Öl in rasanter

Geschwindigkeit ab. Dadurch sinkt die Haltekraft des Bremszylinders und der Pneumatikkolben und die Fallkapsel schießen aufgrund der Druckdifferenz zwischen dem Vakuum des Fallturms und den Druckluftbehältern nach oben. Nach ca. 7 Metern bzw. nach einer viertel Sekunde erreicht die Fallkapsel die Abhebegeschwindigkeit von 168 km/h. Die Geschwindigkeit ist so berechnet, dass die Fallkapsel bis knapp unter die Turmspitze steigt und anschließend wie bisher in den zwischenzeitlich untergeschwenkten Bremsbehälter fällt. Um die gleiche Versuchsdauer von ca. 9,5 Sekunden mit einem einfachen Fallexperiment zu erreichen, wäre ein 500 Meter hoher Fallturm erforderlich. Die wissenschaftlichen Vorteile der verdoppelten Experimentzeit liegen auf der Hand: In den knapp zehn Sekunden Schwerelosigkeit in exzellenter Qualität steigt die mögliche Experimentvielfalt noch weiter an und die Forscher können Prozesse über einen längeren Zeitraum beobachten. Das neue erdgebundene Laborsystem des ZARM bietet der Wissenschaft damit einmalige Forschungsbedingungen und trägt darüber hinaus dazu bei, die Attraktivität des Fallturms zu stärken und den Raumfahrtstandort Bremen international zu etablieren. •

