

# Raumfahrt zwischen Höhenflug und Risiko

Dr.-Ing. Christian Langenbach<sup>1</sup>

Beitrag zur Tagung „Chancen und Risiken in der Wagnisgesellschaft“  
des FORUM Technologie & Gesellschaft am 15. Oktober 2014 in Berlin

Es gibt wohl kaum einen Bereich der Ingenieurwissenschaft, der sich – wie die Luft- und Raumfahrt – so nahe an den Grenzen des technisch Machbaren bewegt. Damit war für die Akteure das Thema Technische Sicherheit von Anbeginn ein Muss. Das dabei entwickelte Sicherheitsmanagement soll Risiken vor und während des Projekts frühzeitig identifizieren und analysieren, um durch geeignete Gegenmaßnahmen das Eintreten zu verhindern oder den möglichen Schaden zu begrenzen.

Beispielsweise ist der Verlust eines ganzen Satelliten oder einer größeren Plattform sehr viel gravierender als das Versagen eines Experimentes, somit ist für das Erfolgsrisiko auch die Frage nach dem absoluten Wert des Systems zu berücksichtigen. Die moderne Luft- und Raumfahrt benötigt zwar nach wie vor Ideen und den Mut zur Tat, aber behält immer den Bezug zur Sicherheit. Stellvertretend verdeutlichen dies nicht besser als die häufig in den Medien abgebildeten Flaggschiffe der europäischen Luft- und Raumfahrt (Bild 1). Der neue A380 mit eben sehr interessanten technischen Details, der Kombination verschiedener Werkstoffe und auf der anderen Seite der autonome europäische Zugang zum Weltall über



Bild 1: A380 und Ariane 5 Flaggschiffe der Europäischen Luft- & Raumfahrt (Quelle: A380 Reuters; AR5 ESA)

---

<sup>1</sup> Der Autor war zum Zeitpunkt der Veranstaltung Geschäftsführer der spaceopal GmbH mit Sitz in München. Mittlerweile arbeitet er für das Deutsche Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. in Köln.

die Trägerrakete Ariane 5 von Französisch Guyana aus. Die Entwicklung der Ariane Familie hat nicht nur den autonomen Zugang Europas zum Weltraum gesichert, sondern zugleich auch den Grundstein für einen neuen, lukrativen Wirtschaftszweig gelegt, den Markt für Satellitenstarts.

In den letzten Jahren wurden von den verschiedenen Raumfahrtnationen unterschiedlichste Satellitentypen gestartet, wie die Galileo Navigationsatelliten als jüngstes Beispiel, die Wetter- oder Kommunikationsatelliten oder die Satelliten für wissenschaftliche Missionen. Hervorzuheben bei den Letzteren sind EnviSat, Europas größter Umweltsatellit, in der Größenordnung eines Busses des öffentlichen Nahverkehrs, der Teleskopsatellit Hubble, der nach einer Linsenkorrektur durch Astronauten seit 20 Jahren hervorragend funktioniert sowie die deutschen Tandem X Radar Satelliten, die die Erde mit einer neuen Genauigkeit kartieren. Viele dieser Satelliten bewegen sich dabei auf stabilen Bahnen um unsere Erde (Bild 2). Wobei Erdbeobachtungssatelliten oder Spionagesatelliten den niedrigen Erdorbit (LEO) bzw. den sonnensynchronen Orbit (SSO) mit Höhen bis zu einigen 100 km und geringen Umlaufzeiten bevorzugen. Die Navigationsatelliten kreisen in mittlerer Höhe (MEO, um 23.000 km, 12 h Umlaufzeit) und von besonderer Bedeutung für Kommunikations- und Fernsehsatelliten ist die geostationäre Bahn (GEO) in 35.800 km Höhe. Satelliten in diesem Orbit stehen idealerweise fest über einem Punkt des Äquators, was insbesondere von Vorteil ist, da die Antennen fest ausgerichtet werden können und eine permanente Sichtverbindung zum Satelliten besteht.

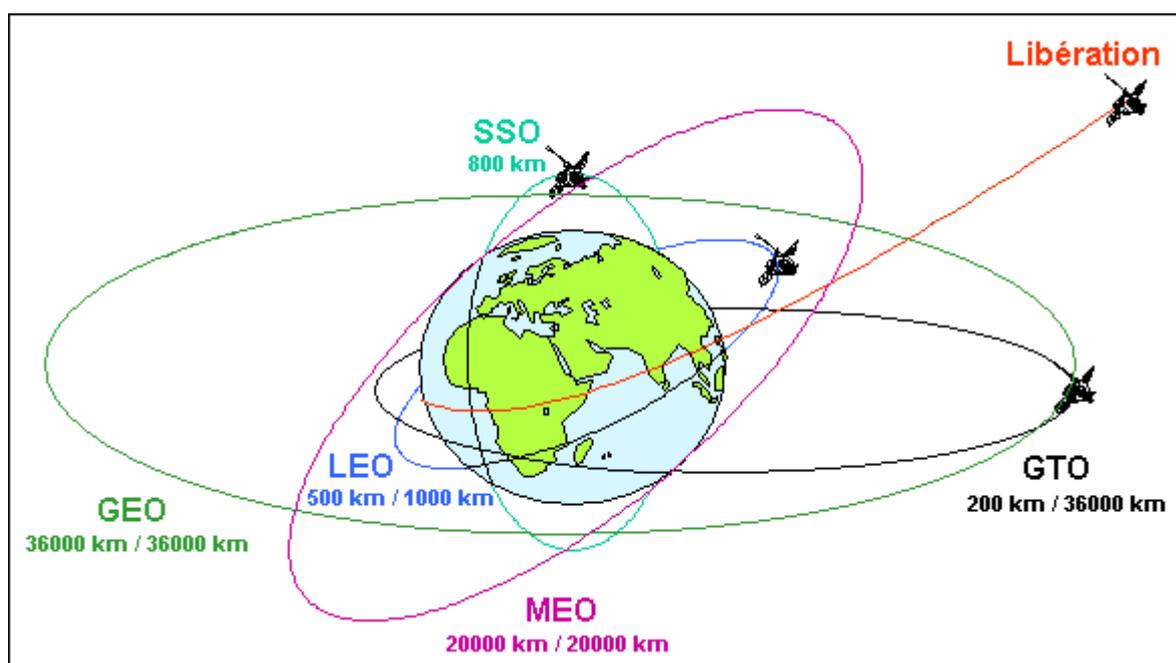
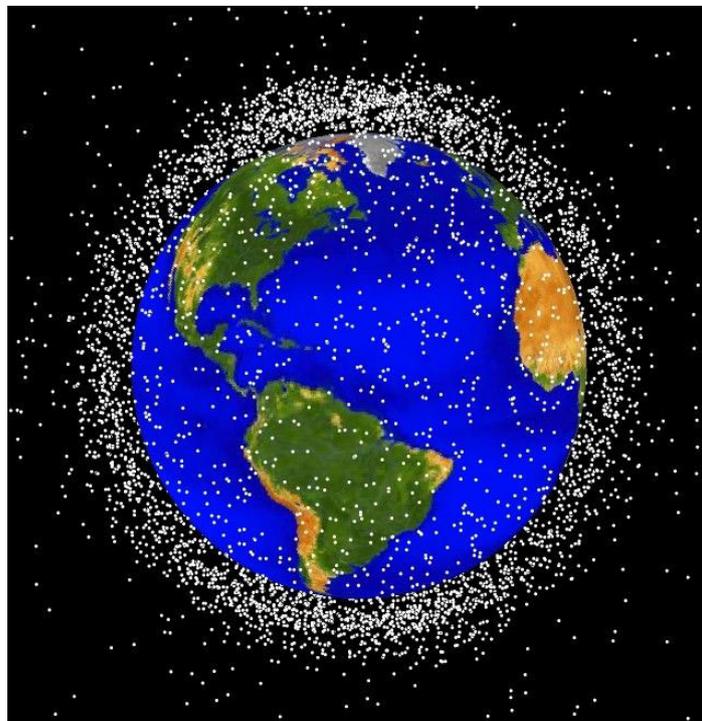


Bild 2: Arten von Umlaufbahnen (Quelle: CNES)

Der viele Verkehr über unseren Köpfen birgt aber auch ein nicht mehr zu vernachlässigendes Sicherheitsrisiko. Die hohe Anzahl an Starts der sogenannten Wegwerfraketen hat dazu geführt, dass sich über unseren Köpfen eine relativ „dicke“ Schicht von Weltraummüll in Erdnähe gebildet hat (Bild 3). Aber nicht nur Reste von Raketenstufen verbleiben im All, sondern auch verlorenes Astronautenwerkzeug, wie Montageschlüssel oder Akkuschrauber, kreisen so noch Jahre um die Erde herum. Um das davon ausgehende Sicherheitsrisiko zu minimieren werden Objekte ab einer Größe von 5 cm kontinuierlich beobachtet. Besteht die Gefahr, dass ein Objekt einem Satelliten oder der Raumstation zu nahe kommen könnte, wird der entsprechende Betreiber über die bestehende Kollisionsgefahr umgehend informiert, um ein entsprechendes Ausweichmanöver einleiten zu können. Dieses Ausweichmanöver ist wichtig, um die Unversehrtheit und damit die Mission zu bewahren.



**Bild 3: Weltraummüll in Erdnähe (Quelle: NASA)**

Aber jeder Satellit hat ein vorausgerechnetes Missionsende und muss in LEO aktiv durch Absenken der Flugbahn in der Atmosphäre entsorgt werden. Würde man die Satelliten sich selbst überlassen, würden sie durch das unkontrollierte Abdriften zur Gefahr für andere Satelliten, Raumstationen und durch Absturz auch für die Erde werden.

Ein Beispiel, wie ein Satellitenmüll nach dem Ende einer Mission zur Gefahr für die Erde wird, ist der deutsch-amerikanisch-britische Röntgensatellit ROSAT (Bild 4). Nach seinem Start am 1. Juni 1990 hat er bis zu seinem Betriebsende 1999 überaus hervorragend funktioniert und

eindrucksvolle Ergebnisse geliefert. Letztendlich ist er auf Grund seiner niedrigen Flughöhe am 23. Oktober 2011 in die Erdatmosphäre wiedereingetreten, aber dabei nicht vollständig verglüht und so ist ein großes Objekt auf die Erde gestürzt.

Um die geplante Durchforstung des Weltalls im Röntgenbereich zu realisieren hatte der Satellit zwei neuartige Glasspiegel an Bord. Die Teleskopspiegel waren geschachtelt – vom Prinzip her wie eine Gleitsichtbrille -, aber die „dicken“ Gläser waren letztendlich der Grund, dass ROSAT beim Wiedereintreten in die Atmosphäre aufgrund der kompakten und hitzebeständigen Glasbauteile mit einem Gewicht von bis zu 1,6 Tonnen nicht vollständig verglühte, sodass einige Teile auf der Erdoberfläche aufschlugen.



**Start 1.6.1990**  
**Betrieb - 12.2.1999**  
**Masse 2,5 t**

**Bild 4: Der deutsch-amerikanisch-britische Röntgensatellit ROSAT (Quelle: PA)**

Warum ist das passiert? Ganz einfach, wenn man sich die Mission in der Retrospektive anschaut. ROSAT war für einen Start und für eine Bergung nach Missionsende mit dem Space Shuttle ausgelegt. Der Satellit war fertig für den Start, parallel dazu hat die Wissenschaft Arbeitsgruppen aufgebaut, die mit den Experimentvorbereitungen ebenfalls fertig waren und auf die Daten zu Auswertung warteten. Aber dann kam die Challenger-Katastrophe mit einem mehrjährigen Startstopp der Space Shuttles dazwischen und nun hatte man ein Start- und Zeitproblem.

Also hat man die Mission umgeplant und den Satelliten für einen Start auf einem Verlustträger adaptiert - also auf die Spitze einer Rakete gesetzt -, um ihn mit geringem zeitlichen Verzug auf seine geplante Umlaufbahn zu bringen. Nun muss man wissen, dass in den 80er Jahren für Satelliten üblicherweise keine besonderen Vorkehrungen für den Wiedereintritt getroffen wurden. So hat anscheinend auch keiner der Raumfahrtingenieure bei den raschen Veränderungen ausreichend an die Rückkehr gedacht, wie ROSAT, der über kein Triebwerk verfügte, am Missionsende gezielt zum Absturz gebracht werden könnte.

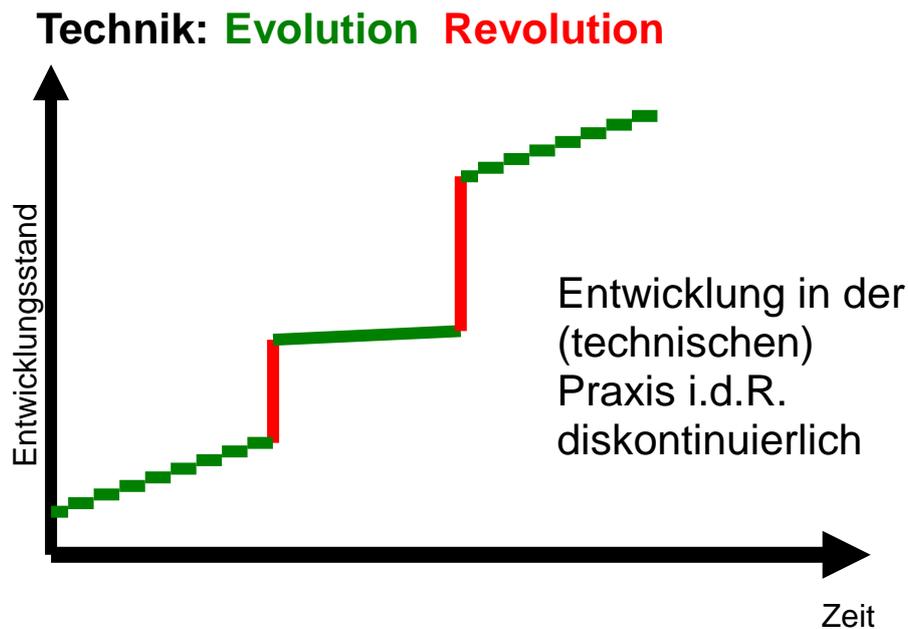
Nachdem nun das Sicherheitsrisiko erkannt war, stellten das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und andere Stellen Berechnungen zu dem wahrscheinlichen Einschlagbereich und dem daraus resultierenden Schadensrisiko an. In diesem aufwendigen Verfahren wurde auch die Wahrscheinlichkeit ermittelt, dass Menschen oder auch ein Kernkraftwerk getroffen wird. Damals 2011, kurz vor dem voraussichtlichen Wiedereintritt, waren auch die verantwortlichen Stellen sehr auf Schadensminderung in der Öffentlichkeit bemüht und haben quasi tagesaktuell Risikoberechnungen angefordert.

Vom Tag des Wiedereintritts am 23. Oktober 2011 liegen keine bestätigten Meldungen über das Erreichen der Erdoberfläche oder Schaden durch Trümmer vor, da die Absturzstelle über dem Meer fern der Küsten lag. Die Frage nach der Vermeidbarkeit aber bleibt. Eventuell hätte man warten müssen, bis die Space Shuttles wieder einsatzbereit gewesen wären.

Generell ist in der Luft- und Raumfahrt Sicherheit statt Risiko eine Maxime, die durchaus mit Revolutionen und Evolutionen verbunden werden kann. Die Revolution steht hier für sprunghafte Entwicklungen, wie das Fliegen leichter als Luft und später dann schwerer als Luft oder der Wandel von der hölzernen Flugzeugstruktur zur Metallkonstruktionen oder die Umstellung vom Propeller- auf den Düsenantrieb. Ein revolutionäres Beispiel in der Raumfahrt ist die Lagestabilisierung der Satelliten im Weltall. Zu Beginn nutze man den Effekt, dass sich ein um seine Längsachse rotierender Raumflugkörper wie ein Kreisel verhält und deshalb normalerweise nicht aus seiner Lage im Raum gebracht werden kann. Dann wurde immer mehr elektrische Leistung benötigt, und die Solarelemente mussten anderweitig als am sich drehenden Körper untergebracht werden. Dass war der Übergang zu den heute bekannten Satelliten mit den riesigen Solarpanels und der sog. Drei-Achsen Stabilisierung.

Revolution charakterisiert sich durch einen technischen Entwicklungssprung, dem sog. Brake Through, und die Evolution beschreibt sich als zeitlich kontinuierliche Entwicklung eines technischen Systems. Die Entwicklung des aufrechten Ganges zeigt stellvertretend, dass die Natur evolutionär fortschreitet. Dagegen stehen das Rad, die Dampfmaschine, die Telefonie, die Fotografie, die Glühlampe, der Transistor, der Laser oder das www für die Revolution.

Die Weiterentwicklung zur heute bekannten technischen Reife eines Systems verläuft wieder evolutionär. Prinzipiell haben wir in der technischen Praxis eine Kombination von Phasen der Evolution mit revolutionären Sprüngen und somit verläuft die technische Entwicklung in der Regel diskontinuierlich (Bild 5).



**Bild 5: Schematischer Verlauf einer wissenschaftlich-technischen Entwicklung (Quelle: DLR)**

Die Entwicklung von Technik und Wissenschaft baut auf der Erfahrung, dem Wissen, der Forschung sowie der Innovation auf. Dabei stellt die Komplexität eine zusätzliche Herausforderung dar. Zusätzlich kommt bei der Luft- und Raumfahrt die Inter- und Multidisziplinarität dazu. Verallgemeinert kann festgestellt werden, dass eine Technologieentwicklung in ihrer evolutionären Phase Kontinuität, beispielsweise von der Politik, benötigt, wohingegen bei der Revolution eine hohe Kreativität gefragt ist, also die Fähigkeit, geistig „schöpferisch“ tätig zu sein. Leider sind die revolutionären Entwicklungen durch den Entwicklungssprung folgenanfälliger, wie das Beispiel ROSAT mit seinen neuartigen Spiegeln zeigt.

Es kann für eine wissenschaftlich-technische Entwicklung gezeigt werden, dass der Ausgangspunkt von Evolution (Innovation) immer eine Revolution (Invention), eine tatsächlich neue Idee, eine tatsächlich neue Erfindung ist, mit der ein bestehendes Problem zu lösen versucht wird. Inventionen finden im Vergleich zu Innovationen nur selten statt und entstehen entweder spontan oder werden systematisch entwickelt. Die Bedeutung vieler Inventionen ergibt sich aus deren Funktion als Schlüsseltechnologie für weitere Innovationen, welche Forschung, Technologie und Markt entscheidend verändern. So konnte mit dem Transistor nicht nur eine umfassende elektronische Produktpalette realisiert werden, sondern der in einem Innovationsschritt entwickelte integrierte Schaltkreis ermöglichte auch noch die Entwicklung des Computers.

Der Begriff Innovation findet im heutigen allgemeinen Sprachgebrauch Verwendung im Sinne von neuen Ideen und Erfindungen und für deren wirtschaftliche Umsetzung. Somit

resultieren im engeren Sinne Innovationen erst dann aus Ideen, wenn diese in neue Verfahren oder Produkte umgesetzt werden, die auch tatsächlich erfolgreich zur Anwendung gelangen und sich im Markt etablieren (Bild 6).

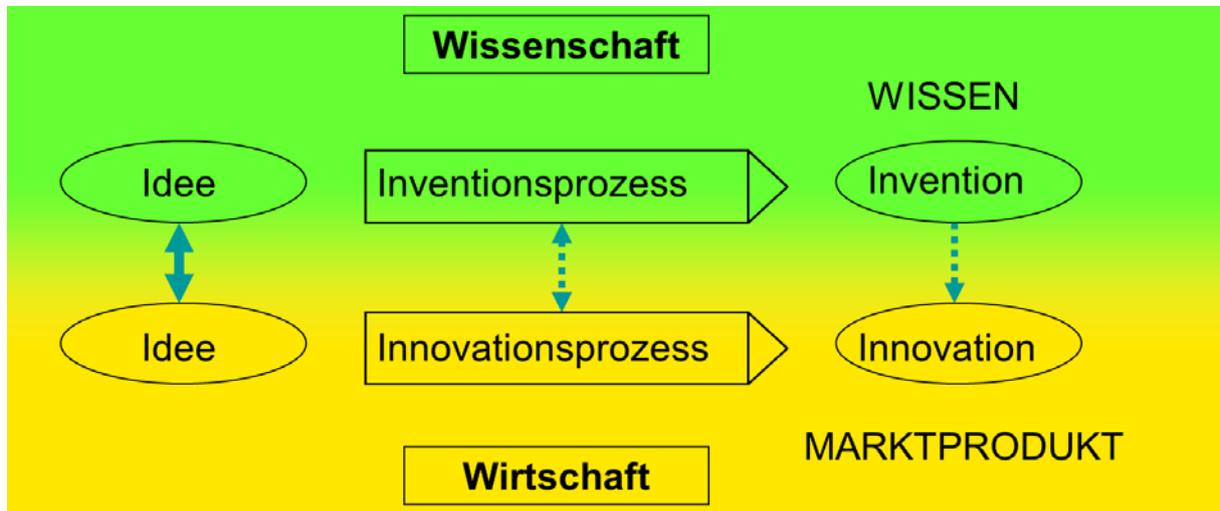


Bild 6: Die Beziehung zwischen Invention und Innovation (Quelle: DLR)

Ziel einer Invention ist es über ein geeignetes Innovationsmanagement, neue Produkte erfolgreich in den Markt einzuführen. Im Unterschied zur Kreativität, die sich mit der Entwicklung von Ideen beschäftigt, ist das Management der Innovation auf die Umsetzung von Ideen in wirtschaftlich verwertbare erfolgreiche Produkte bzw. Verfahren ausgerichtet. Dabei wird in diesem langen Prozess nicht nur die Frage nach der Akzeptanz gestellt, sondern auch nach den Folgen, mit den gesellschaftlich positiv besetzten „Wirkungen“ und negativ besetzten „Nebenwirkungen“. Umgangssprachlich besser bekannt als „Fluch und Segen“, wie es in der öffentlichen Diskussion zu den Produkten Asbest und FCKW hinreichend aufgezeigt wurde. Ohne Ingenieure, die hochgebildeten Techniker und Technikerinnen, hätte es die Welt nicht so weit gebracht! Können wir dem zustimmen, oder war/ist es manchmal des Guten zu viel? Negieren sie in den schöpferisch-kreativen Phasen bewusst oder unbewusst die Einwirkung ihrer ingenieösen Konstruktionen auf die Natur, auf die Technik selber und auf den Menschen? Wahrscheinlich nicht, aber so zeigen es verschiedene Vorfälle mit Widerstand im Bereich der Technik und des Menschen, dass die Wirkungen „unterschätzt“ werden. Ob eine Ingenieurskonstruktion in ihrer Wirkung „Fluch oder Segen“ über die Welt bringt, zeigen häufig erst die konkreten Ereignisse (Bild 7). Beispielsweise sind durch das Düsenzeitalter die Flugzeiten kürzer geworden und damit ging ein Zuwachs an Mobilität einher. Gleichzeitig erzeugt ein Flugzeug zum Teil schön anzuschauende Kondensstreifen, die aber eine nicht zu vernachlässigende Nebenwirkung für die Umwelt haben.



Bild 7: Fluch oder Segen einer Invention (Quelle: Tomaschoff, toonpool.com)

Ein weiteres Beispiel ist der globale Wandel, der durch die satellitengestützte Erdbeobachtung, einem Schwerpunkt deutscher Raumfahrtspolitik, unterstützt und beeinflusst wird. Sie liefert Antworten auf interessante Fragen unserer Zeit: zur nachhaltigen Entwicklung unseres Lebensraums und auch zur Unterstützung unserer Mobilität. Darüber hinaus trägt sie dazu bei, Krisen zu bewältigen und natürliche sowie technologische Risiken zu minimieren. Mit der satellitengestützten Erdbeobachtung kann zwar nicht in die Zukunft geblickt werden, aber sie liefert aktuelles Bild für die Gegenwart. Aus dieser gegenwärtigen Situation heraus können mit den detektierten Wirkungen systematisch Szenarien für die Zukunft entwickelt werden. Mit Hilfe solcher Szenarien können Wirkungszusammenhänge verstanden und alternative Wirkungspfade in die Zukunft beschrieben werden. Auch kann mit der Szenariotechnik Einfluss auf die Vergangenheitsstrukturen durch Rückmeldungen genommen werden, so dass die Ausgangssituation wenn möglich so verändert werden kann, dass die aufgetretenen Nebenwirkungen ganz oder zumindest teilweise eliminiert werden.

Heute sind wir in einen Reglementierungsbereich der Verbote und Gebote eingebunden. Verbotsschilder, Gebotsschilder oder Warnschilder weisen uns darauf hin, wo die Gefahren liegen (Bild 8). Auch wenn die Produkterzeugnisse auf ihre Gebrauchstauglichkeit, auf die



Bild 8: Verbote und Gebote (Quelle: www.kroschke.com)

Wirtschaftlichkeit, auf die Ökologie, auf die Dauerhaftigkeit, auf die Nachhaltigkeit und sogar auf die Ästhetik hin bewertet werden, an oberster Stelle steht die Sicherheits- oder Risikoanalyse. Im Alltag stehen Sicherheit bzw. Risiko begrifflich auf der gleichen Ebene. Um aber den „Fluch oder Segen“ der Analyse zu präsentieren, hat es sich zur Überhöhung der Nebenwirkungen eingebürgert, dem Begriff Risiko gegenüber dem Begriff Sicherheit den Vorzug zu geben.

Dies ist nicht verwunderlich, da in der Politik oder bei den technischen Laien die Sicherheit das Gegenteil von Risiko und Risiko eben einfach eine Gefährdung ist. Differenzierter definieren es die empirische Wissenschaft, die Ökonomie und die Ingenieurwissenschaften. In der Psychologie steht das Risiko für den wahrscheinlichen Anteil negativ bewerteter Ausgänge einer Handlung. In der Wirtschaftstheorie ist es die Möglichkeit eines ökonomischen Misserfolgs und in der Technik wird über mathematische Modelle ein direkter Zusammenhang zwischen Sicherheit und Risiko beschrieben, indem das Risiko gleich der Versagenswahrscheinlichkeit mal dem Schadensumfang gesetzt wird. Des Weiteren wird die Sicherheit als Eins minus dem Wert der Versagenswahrscheinlichkeit festgelegt und so ergibt sich der Bezug zwischen Sicherheit und Risiko als mathematische Formel mit Sicherheit gleich Eins minus Risiko durch Schadensumfang. In der Praxis wird mit der Szenariotechnik versucht ein System mit den denkbaren Einwirkungen und Widerständen zu beschreiben und daraus die einzelnen Schadensumfänge abzuleiten (Bild 9).

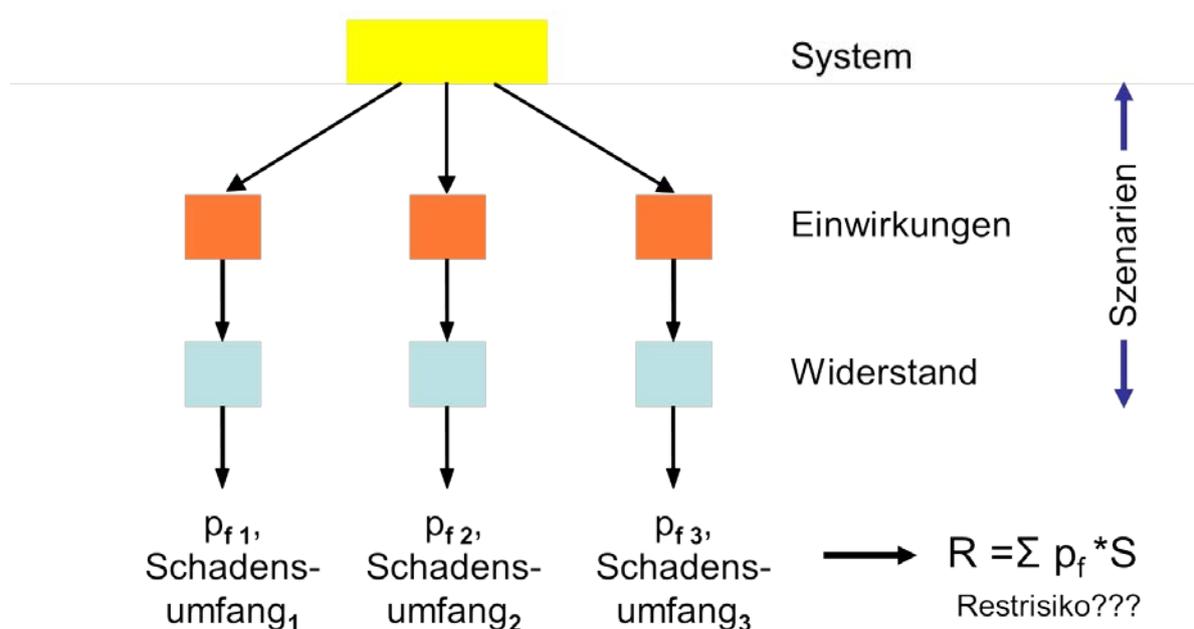


Bild 9: Allgemeiner Ereignisbaum (Quelle: DLR)

Anhand des Beispiels eines Satelliten soll die Vorgehensweise verdeutlicht werden. Der Satellit ist unser System, welches aus verschiedenen zum Teil redundanten Untersystemen, wie dem Antrieb, dem Lageregelungssystem, der Elektrik und der Nutzlast besteht. Nun kann man die verschiedenen Einwirkungen analysieren, wenn eines der Untersysteme nicht korrekt arbeitet. Wenn der Antrieb zu früh den Brennschluss kommandiert bekommt oder das Lageregelungssystem zur Feinpositionierung des Satelliten fehlerhaft arbeitet, dann ist die Mission entweder nur noch eingeschränkt durchführbar oder vollständig gescheitert. Im anderen Fall ist der Satellit zwar auf seiner nominalen Umlaufbahn, aber jetzt arbeitet die Nutzlast, d.h. eines oder mehrere der verschiedenen Experimente, nicht. Auch in diesem Falle ist die Mission entweder nur noch eingeschränkt durchführbar oder vollständig gescheitert. Unter idealen Umständen fallen die redundant ausgelegten Untersysteme nur unabhängig voneinander und zufällig aus. Aus den Einwirkungen und den resultierenden Widerständen in den Szenarien leitet man die jeweils resultierende Versagenswahrscheinlichkeit zusammen mit dem spezifischen Schadensumfang ab. Der so berechnete abschätzbare Risikoanteil kann durch geeignete Maßnahmen, wie Konstruktionsänderungen durch das Anwachsen der Lernkurve, minimiert werden. Daneben können aber zusätzlich gleichzeitig und nicht zufällig Störungen, aufgrund zuvor unbekannter Konstruktionsfehler, auftreten, die den sogenannten unbekanntem Anteil des Risikos ausmachen. Die Summe der abschätzbaren und unbekanntem Risikoanteile beschreibt das Restrisiko für ein Scheitern - in unserem Falle der Satellitenmission.

Gesellschaftlich ist es trotz der vorkommenden und teilweise schweren Unglücke, mit Auto, Flugzeug, Zug oder Schiff, akzeptiert, dass technische Systeme per se ein Risiko in sich bergen. Wichtig ist dabei, dass das vorhandene Risiko kleiner oder gleich dem von uns akzeptierten Risiko sein muss. Im Falle der großen Katastrophen, wie mit der Atomtechnik oder mit kaum zu löschenden Bränden in den immer höher wachsenden Wolkenkratzern, verringert sich nach einem Versagenseintritt im Allgemeinen das akzeptable Risiko. Aber auch im privaten Bereich setzen wir uns bei den sogenannten Risikosportarten ganz bewusst, trotz dem Wissen um das vorhandene Risiko, demselben aus. Und davon halten uns auch die veröffentlichten Statistiken zu individuellen Todesrisiken, wie Flugzeugabsturz, Badeunfall, Fischgräten, Autounfall oder Herzinfarkt, nicht ab.

Die Frage nach der Bestimmung des zulässigen, akzeptablen Risikos ist demnach zu stellen. Die Antworten ergeben, dass im Vergleich häufig das individuelle Risiko höher ist als das

Kollektive, da der Freiwilligkeitsgrad bei Aktivitäten stark variiert. Wenn einer zum Bergsteigen geht, kann kein anderer dazu gezwungen werden. Auch spielt für einen der Grad der möglichen Einflussnahme auf das System oder das subjektive Empfinden des möglichen Nutzens eine Rolle. Weiterhin ist die Akzeptanz kleinerer oder größerer Katastrophen ebenso unterschiedlich, so dass eine zuverlässige Bestimmung des akzeptablen Risikos schwierig ist. Auch ist die Frage nach der quantitativen Festlegung des Schadensumfangs zusätzlich zu stellen.

Die geforderte Sicherheit für ein formales technisches System soll nahe der Eins liegen. Idealerweise besteht unser Verhältnis von vorhandenem Risiko zu Schadensumfang aus einer kleinen Zahl versus einer großen Zahl. Das vorhandene Risiko zu minimieren geht einher mit der Begrenzung der Versagenswahrscheinlichkeit und Schadensumfang. Für Letzteres werden aus bekannten Unfällen die Schäden hergeleitet und Änderungen der konstruktiven Regeln beschlossen. Demgegenüber nutzt der Konstrukteur die geltenden und gültigen Bemessungsregeln um die Sicherheitsanforderungen beim Entwurf des technischen Systems zu erfüllen und so die Wahrscheinlichkeit eines Versagens zu begrenzen.

In vielen Bereichen unseres täglichen Lebens wurden durch den Einsatz hochtechnologischer Systeme und die engere Einbindung in globale Netzwerke große Risiken aufgebaut, die zu ebenso großen Veränderungen bei der Risikoqualität geführt haben. So besteht heute noch mehr als früher die Notwendigkeit aktualisierte Sicherheitsanalysen durchzuführen, um Einwirkungen zu erkennen, Szenarien zu entwickeln, Widerstände und Streuung einzuschätzen und daraus die Versagenswahrscheinlichkeit abzuschätzen. Bei allen Möglichkeiten zur vorab Feststellung, welche Gefahren und Risiken im individuellen Fall eines technischen Systems, wie einem Satelliten, drohen und wie hoch die Wahrscheinlichkeit des Versagens ist, müssen wir immer wieder die tradierten Handlungsmuster überprüfen und das Udenkbare denken, um eine Balance zwischen dem geplanten Nutzen und den möglichen Gefahren zu erzielen. Das Beispiel eines Sichtfensters auf der Internationalen Raumstation ISS soll diese Balance veranschaulichen (Bild 10). Um das Risiko für die Menschen zu begrenzen wäre es viel günstiger, die lebenserhaltenden Module der Station ohne Fenster auszuführen. Ebenso gilt dies auch für die Kabinenfenster von Flugzeugen. Die Außenhülle würde ohne diese „Sichtlöcher“ an Sicherheit gewinnen. Aber wir schauen gerne aus dem Fenster, machen beeindruckende Bilder und nehmen unvergessliche Eindrücke mit. Jedoch ist im niederen Erdorbit, in 450 bis 500 km Höhe, mit den vielen kleinen und großen Müllobjekten das Risiko eines Durchschla-

ges der Bullaugen zu begrenzen. Mit dem Verbau eines 12cm dicken vierfach Verbundsicherheitsglas bei einem Scheibendurchmesser von 50 cm wurde die Balance zwischen Beobachtungsmöglichkeit und Gefahr des lebensbedrohlichen Druckverlusts hergestellt.



**Bild 10: Sichtfenster auf der Internationalen Raumstation ISS (Quelle: NASA)**

Wann und wo auch immer Verfahren zur Risikobetrachtung zur Anwendung kommen, so wäre es für die Sicherheitsforschung in einer global agierenden Welt sinnvoll Erkenntnisse aus allen relevanten Technikfeldern gemeinsam zu nutzen. In der Luft- und Raumfahrt wurde bereits sehr früh europäisch gearbeitet und aus dieser Sicht sollten 8 Thesen für die Sicherheitsforschung postuliert werden:

- Erkenntnisse aus Ereignissen aus allen relevanten Technikfeldern gemeinsam zu nutzen;
- Kooperationen proaktiv eingehen und fördern;
- Resort- und Ländergrenzen überwinden;
- Ereignisauswertung und Nutzung der Erkenntnisse internationalisieren;
- Fehlerkultur verbessern (weg von Schuldzuweisung, hin zur Lernkultur);
- Informationsfluss stärker institutionalisieren;
- Unabhängigkeit der Ereignisauswertung zu gewährleisten;
- Untersuchungen im Einzelfall ermöglichen.

Den Schlusspunkt der Betrachtung zwischen Höhenflug und Risiko in der Raumfahrt setzt nochmal der Satellit ROSAT. Mit der Gewissheit, dass ein großes Teil auf die Erdoberfläche aufschlagen könnte und sich dabei ein Krater von mehreren Metern Durchmesser bilden würde, wurde die Risikoanalyse gestartet. Für diesen Einzelfall wurden von verschiedenen unabhängigen internationalen Kommissionen alle verfügbaren Daten ausgewertet, neue Berechnungsmodelle entwickelt und die benutzten Verfahren soweit systematisiert, dass kein wesentliches Element und keine relevante Gefahr in der Bewertung übersehen wurde. Für den individuellen Fall der unkontrollierten Rückkehr von ROSAT konnte zwar mit einiger statistischer Sicherheit eine hohe Wahrscheinlichkeit für ein Niedergehen der Satellitenreste über unbewohntem Gebiet oder für einen Absturz ins Meer ermittelt werden. Da jedoch der exakte Zeitpunkt und der Ort des Wiedereintritts von ROSAT in die Atmosphäre nicht vorhergesagt werden konnte, musste auch mit einem unverhofften Treffer über bewohntem Gebiet mit gravierenden Schadensereignissen gerechnet werden (Bild 11).



**Bild 11:** Ein Satellit stürzt auf ein feinsäuberlich geparktes Auto. Motto: "Was wäre wenn es immer Sie trifft?" (Quelle: Werbespot Zürich Autoversicherung)