

Vortrag auf den XP Days 2024

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Jan Fischbach, JP Berchez, 10.10.2024

1 Überblick über den Artikel

Seit dem Jahr 2016 erforschen wir die Ideengeschichte von Agilität und Softwareentwicklung. Wir haben schon mehrere Vorträge über die Ideen hinter Scrum gehalten. In der professionellen Softwareentwicklung spielt Anforderungsmanagement eine wichtige Rolle.

In diesem Jahr wollten wir wissen, wie diese Managementtechnik genau entstanden ist. Unsere Recherche führt uns in die Zeit von 1945 bis 1970. Damals führten die Vereinigten Staaten und die Länder in Europa große Raumfahrtprogramme (Atlas, Apollo, ELDO) durch. Nach dem Scheitern des ersten europäischen Raketenprogramms wurden die US-amerikanischen Managementtechniken in Europa übernommen.

Die Ursprünge des Anforderungsmanagements liegen im Systems Management der Raketenprojekte in den USA. Um Raketen zu bauen, die erfolgreich abheben und

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

ihre Last ans Ziel bringen, mussten mehrere Disziplinen effektiv zusammenarbeiten: die Vertreter des Militärs, Wissenschaftler, Ingenieure und Manager. Beispielsweise haben für die erste Mondlandung ca. 300.000 Menschen bei 20.000 Lieferanten und 200 Universitäten in 80 Ländern zusammengearbeitet. Sehr schnell wurde erkannt, dass es besonders auf die Schnittstellen ankommt, damit das Ganze funktioniert. Über die verschiedenen Organisationsgrenzen hinweg und über die politischen und technologischen Veränderungen hinaus wurde das Anforderungsmanagement zur Konstante im ständigen Wandel.

In diesem Vortrag zeigen wir, wie verschiedene technische Probleme in der Entwicklung zu neuen Managementprozessen führten.

Dieser Vortrag basiert im Wesentlichen auf den Arbeiten von Stephen B. Johnson. Er hat viel über das US-amerikanische Raketenprogramm recherchiert und veröffentlicht. Wir möchten hier drei Werke besonders hervorheben:

- Johnson, S. B. (2006). **The secret of Apollo: Systems management in American and European space programs**. JHU Press.
- Johnson, S. B. (2001). **Samuel Phillips and the Taming of Apollo**. *Technology and Culture*, 42(4), 685–709.
- Johnson, S. B. (2002). **The United States Air Force and the Culture of Innovation, 1945-1965**.
<https://media.defense.gov/2010/May/26/2001330260/-1/-1/0/AFD-100526-019.pdf>¹

Viel Spaß beim Lesen. Wir freuen uns über Feedback und Fragen.

2 Was ist eine Ideengeschichte?

Warum halten wir diesen Vortrag? Wir sind Scrum-Trainer und konnten nicht gut genug erklären, wie Product Owner und Scrum Master konkret arbeiten. Nachdem wir bei verschiedenen Gelegenheiten die Geschichte der Scrum-Rollen aufbereitet

¹ Siehe (Johnson, 2001, 2002, 2006)

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

haben, wollten wir in diesem Jahr wissen: "Wie ist das Anforderungsmanagement genau entstanden?"

Was ist eigentlich eine Ideengeschichte? Sie unterscheidet sich von einer Chronologie. Sie versucht darzustellen, wie Ideen entstanden sind und an neue Gegebenheiten angepasst wurden. In diesem Fall ist es eine Geschichte der Zusammenarbeit von Menschen über die Zeit und über Kontinente hinweg.

Wir wollen wissen, wer von wem gelernt hat. Gibt es Nachweise für diese Verbindungen? Wir müssen allerdings mit monokausalen Erklärungsversuchen grundsätzlich vorsichtig sein.

Ist es sinnvoll der Ideengeschichte folgen? Diese Frage hat Francis Moon untersucht. Moon war Professor für Maschinen- und Flugzeugbau an der Cornell University. Er wollte wissen, woher Ingenieure ihre Ideen bekommen und auf welches Umfeld sie zurückgreifen können. Zu Beginn seines Buches "Social networks in the history of innovation and invention" schreibt er:

„Wir präsentieren ... Beweise dafür, dass eine Erfindung nicht durch einen Moment der Offenbarung bei einem einsamen genialen Erfinder entsteht, sondern der Höhepunkt eines evolutionären Prozesses innerhalb eines Netzwerks von Menschen und Institutionen ist.“ (Moon, 2014)

Moon beschreibt in mehreren Kapiteln die sozialen Netzwerke aus dem 19. und 20. Jahrhundert. Das waren tatsächlich Netzwerke aus Menschen, die in einem regen Austausch miteinander standen. Interessanterweise war das diesen Leuten damals auch bewusst. Moon zitiert Robert Thurston, der bereits 1887 schreibt:

„Große Erfindungen sind nie, und große Entdeckungen sind selten das Werk eines einzigen Geistes. Jede große Erfindung ist in Wirklichkeit entweder eine Ansammlung von kleinen Erfindungen oder der letzte Schritt einer Entwicklung.“ (Thurston, 1878)

Wie findet man die Ideen? In erster Linie bedeutet das, viele Bücher zu lesen und nach Personen Ausschau zu halten. Wer war wann wo? Wer hat mit wem Kontakt gehabt? Wenn man im Buch eine Stelle findet, sucht man eine zweite oder dritte

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Quelle, um eine Verbindung zu bestätigen. Am interessantesten sind Primärquellen, in denen bestimmte Personen selbst schreiben, von wem sie ihre Ideen haben.

Die Ursprünge des Anforderungsmanagements liegen in den Raketenprogrammen in den USA. Schauen wir uns dazu die Ausgangssituation genauer an.

3 Was verstehen wir unter Anforderungsmanagement?

Wenn wir im Folgenden über Anforderungsmanagement schreiben, beziehen wir uns auf die Definitionen im System Engineering Handbuch der NASA (in der Version von 2019).² Uns interessieren hier zwei Bereiche:

- Das Systems Engineering im Allgemeinen.
- Das Konfigurationsmanagement im Speziellen.

Das NASA-Handbuch definiert unterschiedliche Prozesse: Im Rahmen der Systementwicklung (System Design Processes) werden Anforderungen von Stakeholdern aufgenommen und in technische Anforderungen übersetzt. Anschließend werden die Anforderungen in logische Blöcke unterteilt. Die Entwickler erarbeiten für diese Blöcke dann technische Lösungen.³

Parallel dazu gibt es Managementprozesse (Technical Management Processes), die die Systementwicklung und das Bauen von Produkten unterstützt. Zu diesen Managementprozessen gehört auch das Konfigurationsmanagement. Das Handbuch definiert diese Technik wie folgt:

“Configuration management is a key systems engineering practice that, when properly implemented, provides visibility of a true representation of a product and attains the product’s integrity by controlling the changes made to the baseline configuration and tracking such changes. Configuration management ensures that the configuration of a

² Siehe (NASA, 06.02.20219)

³ (NASA, 06.02.20219), Kapitel 2 Fundamentals of Systems Engineering, Figure 2.1-1 The Systems Engineering Engine (NPR 7123.1), <https://www.nasa.gov/reference/2-0-fundamentals-of-systems-engineering/>

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

product is known and reflected in product information, that any product change is beneficial and is effected [sic] without adverse consequences, and that changes are managed.

CM reduces technical risks by ensuring correct product configurations, distinguishes among product versions, ensures consistency between the product and information about the product, and avoids the embarrassment cost of stakeholder dissatisfaction and complaint.”⁴

Das Systems Engineering und das Konfigurationsmanagement sind wichtige Errungenschaften in der Ingenieurgeschichte des 20. Jahrhunderts. Ohne sie könnten wir heute keine komplexen Systeme bauen. (Ein Auto hat heute ca. 10.000 Teile, ein Flugzeug ca. 30 Mio. Teile.)

Für die Umsetzer fühlen sich diese Techniken oft zäh an. Sie werden als Bürokratie und Verlangsamung der Entwicklung wahrgenommen. Aber ist das wirklich so? Wenn wir die Ideengeschichte, also die eigentlichen Probleme, die zu einer Methode führten, besser verstehen, können wir besser erklären, warum wir diese Methoden nutzen, wo sie erfolgreich sind und wie man sie bei Bedarf anpassen kann.

4 1920-1932 Raketenforschung in der Weimarer Republik und im nationalsozialistischen Deutschland⁵

4.1 Überblick

Anfang des 20. Jahrhunderts entwickeln mehrere Pioniere gleichzeitig und unabhängig voneinander eine Theorie über Raketen. Das waren **Konstantin**

⁴ (NASA, 06.02.20219) Kapitel 6.5, <https://www.nasa.gov/reference/6-5-configuration-management/>

⁵ <https://www.dlr.de/de/das-dlr/ueber-uns/geschichte-des-dlr/raumfahrt-in-deutschland-zeitleiste-wichtiger-ereignisse>

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Ziolkowski (1857–1935), **Robert Goddard** (1882–1945) und **Hermann Oberth** (1894–1989).

Die Zeit von 1920 bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs markiert eine bemerkenswerte Ära in der Geschichte der Raketenentwicklung, geprägt von den Wirren der Weimarer Republik und dem anschließenden Aufbruch unter der Herrschaft der Nationalsozialisten in Deutschland.

4.2 Raketenforschung in der Weimarer Republik (1920-1932)

Das Inkrafttreten des Versailler Friedensvertrags im Jahr 1920, der die militärische Raketentechnologie nicht erwähnte, ebnete rechtlich den Weg für die Raketenforschung in der Weimarer Republik. Hermann Oberth's bahnbrechendes Werk "Die Rakete zu den Planetenräumen" von 1923 legte die Grundlagen für das Verständnis, wie Raketen den Weltraum erobern könnten. In den 1920er Jahre entwickelt sich in der avantgardistischen Kultur der Weimarer Republik eine Raketeneuphorie. Angeführt von Visionären wie Maximilian Valier, Fritz von Opel und Rudolf Nebel. Öffentliche Versuche, wie die von Nebel auf dem Berliner Raketenflugplatz durchgeführten, zogen die Aufmerksamkeit auf sich. Im Jahr 1927 gründet Johannes Winkler in Berlin der **Verein für Raumschiffahrt**, in dem sich viele Raumfahrtpioniere der Weimarer Republik getroffen haben. **Wernher von Braun** (1912–1977) war hier aktiv.

Zu erwähnen ist, dass unabhängig von den Ideen der ersten Raketenpioniere in Deutschland sich auch in anderen Ländern wie z.B. Russland und USA Pioniere mit dem Thema auseinandersetzten und mit den deutschen Kollegen austauschten. Zur erwähnen sind hier: Konstantin Ziolkowski in Russland und Robert Goddard in den USA.

Im Jahr 1930 wird in den Vereinigten Staaten die spätere **American Rocket Society** gegründet. In den USA und in Sowjetrußland wird ebenfalls mit Raketen experimentiert.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

4.3 Der Aufbruch ins All im nationalsozialistischen Deutschland (1934-1945)

Mit der Machtübernahme der Nationalsozialisten im Jahr 1933 richtete sich die Raketenforschung verstärkt auf militärische Zwecke aus. Unter dem Verbot jeglicher öffentlichen Berichterstattung über Raketentechnik ab 1934 wurde die Forschung zur geheimen Staatsangelegenheit. Wernher von Braun etablierte mit dem Aggregat 1 und 2 ein finanziell abgesichertes Raketenforschungsprogramm, gefolgt von der Errichtung des Forschungs- und Entwicklungszentrums in Peenemünde ab 1936. Hier wurde intensiv an der Entwicklung der A4-Rakete gearbeitet, die schließlich am 3. Oktober 1942 erstmals erfolgreich in den Weltraum startete.

Der Angriff auf Peenemünde im August 1943 zwang die Produktion der A4-Rakete unterirdisch zu verlagern. Diese Raketen, nun als "Vergeltungswaffe 2" (V2) bezeichnet, wurden von 1944 bis 1945 eingesetzt und richteten schwere Schäden in Städten wie London, Antwerpen und Lüttich an.

Die Fortschritte in der Raketenentwicklung während der Weimarer Republik und unter der Herrschaft der Nationalsozialisten legten den Grundstein für die Raumfahrttechnologie des 20. Jahrhunderts. Trotz der Schrecken des Zweiten Weltkriegs markierten diese Jahre einen entscheidenden Schritt in der Menschheitsgeschichte auf dem Weg zu den Sternen.

5 Raketen: theoretisch einfach, praktisch sehr schwierig

5.1 Wie ist eine Rakete aufgebaut?

Der Grundaufbau einer Rakete ist einfach:

- Der größte Teil einer Rakete ist ein Tank, von dem Leitungen zum Antrieb führen.
- Unter dem Tank befindet sich der Antrieb, d. h. eine Brennkammer, in der der Schub erzeugt wird.
- Dann brauchen wir ein Leitsystem, das die Rakete zum Ziel führt.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

- Schließlich gibt es den Raketenkopf, in dem sich entweder ein Sprengkopf oder die Nutzlast befindet.
- Jeder Flugkörper ist mit einer Vielzahl von Sensoren und Sendern ausgestattet, um Messdaten zur Bodenstation zu übertragen.

Für eine größere Reichweite oder für das Transportieren größerer Lasten wurden mehrere Raketenstufen kombiniert.

5.2 Warum ist es schwierig, Raketen zu bauen?

Während die Physik von Raketen relativ einfach ist, ist der Bau und das Fliegen von Raketen deutlich komplizierter (Johnson, 2002b). Genau diese Schwierigkeiten führten zu strengen Vorgaben im Management der Raketenprojekte. Was waren das für Schwierigkeiten?

- **Gefährliche Antriebstechnik:** Der Umgang mit flüssigen Kraftstoffen ist gefährlich. Beim Befüllen der mit flüssigen Kraftstoffen angetriebenen Raketen kam es immer wieder zu Unfällen und Explosionen. Im Prinzip gleicht das Zünden einer Rakete einer kontrollierten Explosion.
- **Hydrodynamische Instabilität:** Beim Flüssigantrieb mussten unterschiedliche Treibstoffe zu rechter Zeit, in der richtigen Menge und bei richtigem Druck zusammengeführt werden. Der Treibstoff wurde dazu durch komplizierte Leitungsführungen und Ventile geleitet. Die Brennkammern mussten in sehr unterschiedlichen Umgebungen funktionieren: beim Start, bei hohen Geschwindigkeiten und Temperaturen sowie bei Schwerelosigkeit.
- **Strenge Vorschriften beim Bauen:** Beim Bauen von Raketen musste peinlich genau auf Sauberkeit und das Einhalten von Vorschriften geachtet werden. Kleinste Unreinheiten können zu Explosionen führen.
- **Ein sich ständig verändernder Schwerpunkt:** Durch das Verbrennen des Treibstoffes ändert sich ständig der Schwerpunkt der Rakete und sie muss ausbalanciert werden, damit sie ihr Ziel erreicht.
- **Heftige Vibrationen:** Die Rakete vibriert während des Flugs sehr stark und unvorhersehbar. Bei vielen Unfällen hatten die Verbindungen vorher nachgegeben.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

- **Fliegen ohne Pilot:** Raketen fliegen ohne Pilot. Raketen wurden mit mehr und mehr Sensoren und Telemetrie ausgestattet, damit die Ingenieure die nächste Version verbessern konnten. Es gab keinen Piloten, der berichten konnte, was in der Rakete passiert.
- **Elektromagnetische Strahlung:** Die Telemetriedaten wurden zur Erde zurückgefunkt. Dies führte zu neuen Problemen. Die Elektronik musste gegen elektromagnetische Wellen geschützt werden.
- **Genau es Einhalten von Startabläufen:** Die Betreiber haben durch viele Versuche gelernt, in welcher Reihenfolge die verschiedenen Aktivitäten zum Starten einer Rakete ablaufen müssen.

Beim Bau der Raketen haben viele Lieferanten zusammengewirkt. Jeder Lieferant hat für sich einzelne Fehler behoben. Das führte aber zu neuen Ausfällen, weil die Teile nicht mehr zusammenpassten.

Dafür gab es eine Lösung, die die Zuverlässigkeit der Raketen von 50% auf über 90% erhöhte. Doch später mehr dazu.

5.3 Welche Raketen gab es?

Für die Geschichte des Anforderungsmanagements sind die Raketenprogramme in den Vereinigten Staaten interessant. Es bereits Versuche in den USA und in der Sowjetunion. Die meisten Erfahrungen hatten aber die Deutschen Raketenbauer im Dritten Reich. Am Ende des Zweiten Weltkriegs ergibt sich Wernher von Braun mit seinem Team den Amerikanern. Die Armee schafft Bauteile von hundert V2-Raketen mit der entsprechenden Dokumentation in die USA.

Auf dem **Raketentestgelände von White Sands** in New Mexico (dort, wo auch die erste Atombombe getestet wurde) werden die Raketen im Auftrag der Armee wieder zusammengesetzt und getestet.⁶

⁶ Wernher von Braun wechselt später mit seinem Team ins Redstone Arsenal nach Huntsville in Alabama. Diese Einrichtung der Army wird nach der Gründung der NASA zum Marshall Space Flight Center ausgebaut. Wernher von Braun wird der Technische Direktor.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Viele, aber nicht alle, amerikanischen Raketen waren Varianten oder Weiterentwicklungen der **V2**.

Karel Bossart beginnt im Jahr 1946 die Entwicklung einer Höhenrakete. Das Konzept MX-774 basiert auf der deutschen V2, hatte aber einige wichtige Änderungen. Daraus wird später die **Atlas**-Rakete entwickelt. Auf die Atlas gehen wir später noch genauer ein. Die Atlas sollte als Interkontinentalrakete atomare Sprengköpfe ins Zielgebiet bringen.

Zur gleichen Zeit hat man in der Sowjetunion mit der **R-7** (Semjorka) die weltweit erste Interkontinentalrakete entwickelt. Daraus wurden dann die bekannten russischen Trägersysteme **Wostok** und **Sojus** abgeleitet.

Parallel zur Atlas wurde die **Titanrakete** als zweites Waffensystem für den Fall entwickelt, dass die Atlasraketen nicht rechtzeitig fertig wurden.

Zuvor wurde die Entwicklung einer Mittelstreckenrakete gestartet, die **Thor-Rakete**. Aus Thor wurden später die Delta-Trägersysteme entwickelt.

Atlas, Titan und Thor waren Raketen, die vor dem Einsatz mit flüssigem Treibstoff betankt werden mussten. Das war umständlich, gefährlich und langwierig. Für eine schnelle Reaktion waren diese Raketen nicht geeignet. Ab 1956 haben die Wissenschaftler damit begonnen, festen Treibstoff für Raketen zu entwickeln. Durch die neue Antriebsart waren die Waffen sofort einsetzbar. Dafür mussten neue Flugkörper entwickelt werden. In diesem Fall waren das die **Minuteman-Raketen**. Feststoffraketen sind aus militärischer Sicht interessanter.

Die bereits produzierten Atlas-, Titan- und Thor-Raketen kamen später in den Weltraumprogrammen als Trägersysteme für Satelliten und Raumschiffe zum Einsatz.

Neben Lang- und Mittelstreckenraketen mit atomaren Sprengköpfen wurden an verschiedenen anderen Stellen Raketen entwickelt:

- Am Jet Propulsion Laboratory entstanden die Raketen vom Typ **Private**, **Corporal** und **Sergeant**.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

- Die Army entwickelte in Huntsville die V2 weiter. Die Modelle hießen dann **Redstone, Jupiter** und **Juno** und schließlich **Saturn**.⁷
- Die Navy entwickelte mit der **Polaris** eine bedeutende Rakete, die von U-Booten aus gestartet wurde.
- Die NASA-Vorläuferin begann 1957 mit der Entwicklung der **Scout**-Rakete.

Viele weitere Raketen waren Weiterentwicklungen oder Kombinationen einzelner Modelle. Das wirkt auf den ersten Blick unübersichtlich, ist aber verständlich. Wer eine Rakete für neue Einsatzbereiche brauchte, hat wegen der zu erwartenden Schwierigkeiten lieber auf bekannte Konfigurationen als auf eine komplette Neuentwicklung gesetzt.

6 Der Zweite Weltkrieg endet, der Kalte Krieg beginnt

Ideen entstehen und verbreiten sich in einem Kontext. Ohne den Kalten Krieg⁸ und den Wettlauf ins All wären keine Raketen in großem Stil gebaut worden.

Die Oktoberrevolution von 1917 führte zur Machtübernahme der Kommunisten in Russland. Frankreich, Großbritannien und die Vereinigten Staaten befürchteten eine Ausweitung von kommunistischen Aufständen. Der Westen versuchte durch verschiedene Mittel, den Einfluss der Sowjetunion zu begrenzen. Die Vereinigten Staaten erkannten die Sowjetunion erst im Jahr 1933 an.

Nach dem Überfall Nazideutschlands auf die Sowjetunion schließt sich Stalin den West-Alliierten an. Es ist vor allem die Rote Armee, die die deutsche Wehrmacht bekämpft.

Aber das Anti-Hitler-Bündnis hält nicht lange. Nach dem Tod von Präsident F. D. Roosevelt im August 1945 schlägt sein Nachfolger Truman einen anderen Weg im Umgang mit dem Diktator in Moskau ein. Die Vereinigten Staaten fühlen sich

⁷ Wernher von Braun beschreibt in einem Artikel, wie die verschiedenen Typen entstanden, siehe (Braun, 1963)

⁸ Neil Sheehan erzählt die Geschichte des Kalten Krieges anhand der Person Bernard Schriever, siehe (Sheehan, 2010)

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

zunächst sicher, weil sie als erste eine Atombombe entwickelt und eingesetzt haben. Aber im Jahr 1949 zündet die Sowjetunion ebenfalls eine Atombombe. Die beiden Supermächte rüsten um die Wette auf und versuchen ein Gleichgewicht des Schreckens aufrecht zu erhalten. Es beginnt ein kalter Krieg, der erst im Jahr 1989 endet.

Die Westmächte stehen nun vor der Frage, wie sie den Kommunisten Einhalt gebieten können. Die USA könnten dauerhaft eine große Truppe vor Ort stationieren. Oder man könnte eine neue Superwaffe vor Ort installieren, die schnell einsetzbar ist, fast jeden Ort in Europa erreichen könnte und eine große Abschreckungskraft hat. Interkontinentalraketen mit atomaren Sprengköpfen waren solch eine Superwaffe.

Doch der Weg bis zum ersten erfolgreichen Start im Jahr 1954 war noch weit.

7 Bernard Schriever leitet die Raketenprogramme

Das Entwickeln von Raketen ist teuer und zeitaufwändig. Die Amerikaner hätten diese Programme sicher über kurz oder lang eingestellt. Wenn es da nicht den Raketengeneral **Bernard Schriever** gegeben hätten.

Walter Boyne zählt ihn im Jahr 2000 in einem Artikel im Air-Force-Magazin neben Hap Arnold und Curtis LeMay zu den wichtigsten Offizieren der US-amerikanischen Luftwaffe (Boyne, 2000).

Bernard Schriever wurde im Jahr 1910 in Bremen geboren. Im Jahr 1917 wandert seine Familie in die Vereinigten Staaten aus. Der Vater stirbt, als Bernard acht Jahre alt ist. Die Familie - die Mutter, Bernard und sein jüngerer Bruder Gerhard - zieht nach Texas. Bennie geht in Texas auf die Uni und macht im Jahr 1931 seinen Abschluss. Er ist begeistert vom Fliegen und meldet sich bei einer Flugschule in Texas an. 1933 schließt er seine Ausbildung ab. Er wird als Pilot und Offizier in Kalifornien stationiert. In Kalifornien fällt er dem legendären „Hap“ Arnold auf.

Henry H. Arnold lebt von 1886 bis 1950. Er lässt sich von Wright-Brüdern im Fliegen ausbilden und wird später einer der ersten militärischen Piloten in den USA. Arnold

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

organisiert später den Aufbau einer eigenständigen Luftwaffe. Als er im Jahr 1931 nach Kalifornien versetzt wird, baut er Bekanntschaften zu zwei wichtigen Wissenschaftlern auf:

- zum Physik-Nobelpreisträger **Robert Andreas Millikan**, der gerade zum Leiter des California Institute of Technology (Caltech) geworden war,
- zum Physiker und Luftfahrttechniker **Theodore von Karman**, der rechtzeitig vor den Nazi aus Deutschland ausgewandert war, und Guggenheim Aeronautical Laboratory am (Caltech) war.

Diese Bekanntschaften werden später wichtig sein. (Arnolds Frau wurde übrigens eine Freundin von Bernard Schriever's Mutter.)

Zurück zu Schriever: bis 1954 führt sein Lebensweg durch verschiedene Stationen in der Armee. Er studiert noch einmal und macht im Jahr 1942 in Stanford seinen Master in Flugzeugbau. Während des Zweiten Weltkriegs fliegt er Einsätze über Japan und über dem südlichen Pazifik. Im Jahr 1946 wechselt er ins Pentagon als Verbindungsmann zur Wissenschaft, zum USAAF Scientific Advisory Board, das Theodore von Kármán leitet.

1947 wird die Luftwaffe aus der Army verselbständigt. Dort gibt es nun einen Bereich für die Entwicklung von neuen Systemen. Schriever arbeitet im **Development Planning Office**.

Im März 53 tagt der wissenschaftliche Beirat der Luftwaffe (Scientific Advisory Board) wieder. Auf dieser Sitzung stellen **John von Neumann** und **Edward Teller** ihre Ergebnisse vor. Sie gehen davon aus, dass man das Gewicht einer Wasserstoffbombe von aktuell 74 Tonnen auf unter eine Tonne reduzieren könne.

Das ist eine wichtige Information für Bernard Schriever: nun wird es möglich sein, atomare Sprengköpfe so klein zu bauen, dass sie mit einer Langstreckenrakete über tausende von Kilometern transportiert werden können.

Schriever findet mit **Trevor Gardner** einen wichtigen Fürsprecher in der Air Force. Gemeinsam haben sie sich beim Präsidenten für den Bau von Raketen eingesetzt.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Der wissenschaftliche Beirat hatte ein schnelles Vorgehen empfohlen, um einen Vorsprung vor den Russen zu bekommen. Nun wurde alles in die Wege geleitet. Aber wer sollte die Raketen bauen? Welche Firma hatte so viel Innovationskraft? Schriever brach mit einer Vergabe-Tradition und schlug einen anderen Weg vor, der ihn wieder nach Kalifornien führte.

Bernard Schriever war eine besondere Führungskraft in der Entwicklung der Raketenprogramme. Es gibt mehrere Artikel, die seine Vision und seine Art der Führung beschreiben:

- *Johnson, „Bernard Schriever and the Scientific Vision“.* (Johnson, 2002a)
- *Neufeld, „General Bernard A. Schriever: Technological Visionary“.* (Neufeld, 2004)
- *Sheehan, A fiery peace in a cold war: Bernard Schriever and the ultimate weapon.* (Sheehan, 2010)
- *Lonnquest, The face of Atlas: General Bernard Schriever and the development of the Atlas intercontinental ballistic missile, 1953-1960.* (Lonnquest, 1996)

Im Rahmen dieser Recherche haben wir einen Artikel und ein Video gefunden, in denen Schriever selbst das Raketenprogramm erläutert:

- *Schriever, „ICBM: A Step Towards Space Conquest“.* (Schriever, 1957)
- *Ballistic Missile Development with General Bernard Schriever (1959).* (Association of Air Force Missileers (AAFAM), 2021)

8 Ein neues Management ist nötig

Im Jahr 1954 beginnt die Entwicklung der Atlas-Rakete. Eigentlich die Armee der Firma Convair schon im Jahr 1946 den Auftrag gegeben, eine Interkontinentalrakete zu entwickeln, die einen Atomsprengkopf bis zu 8.000 km weit transportieren konnte. Aber, da man damals noch nicht wusste, wie man eine Atombombe so klein bekommt, dass sie in einer Rakete passt, wurde der Auftrag gestoppt. Convair entwickelte die Rakete auf eigene Kosten in der Hoffnung auf spätere Aufträge weiter.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Jetzt kommt Bernard Schriever und muss die Entwicklung der ICMBs organisieren. Nach Rücksprache mit verschiedenen Wissenschaftlern wird ihm klar, dass keine Firma in den USA diese Entwicklung steuern kann. Üblicherweise hatte das Verteidigungsministerium in der Vergangenheit neue Flugzeuge ausgeschrieben. Die zuständige Forschungs- und Beschaffungsstelle war am Wright-Field in Ohio. Der beste Lieferant bekam den Auftrag und hat das Flugzeug zusammen mit seinen Unterlieferanten entwickelt und gebaut.

Schriever hatte ernste Zweifel an der Kompetenz der Flugzeugbauer. Dazu war das Vorhaben viel zu unsicher und zu innovativ. Er schlägt einen anderen Weg vor: Die Luftwaffe übernimmt selbst die Steuerung des Projekts. Das gab es bisher noch nicht. Zusätzlich braucht er einen Partner, der sich exzellent mit Systems Engineering auskennt.

Schriever gründet in Inglewood in Kalifornien die **Western Development Division** (WDD). In **Simon Ramo** und **Dean Wooldridge** findet er zwei herausragende Ingenieure, die mit ihrer gerade gegründeten Firma **Ramo-Wooldridge Corporation** das Systems Engineering und die Beratung der Lieferanten übernehmen. Die WDD untersteht sowohl der Forschungs- als auch der Beschaffungsstelle der Luftwaffe (ARDC und AMC). Im Fortgang des Projekts gibt es immer wieder Streitigkeiten über die Zuständigkeiten. Schriever und Gardner und andere brauchen im Hintergrund mehrere Anläufe, um diese Schwierigkeiten zu klären. Schriever lässt sich mit umfangreichen Vollmachten ausstatten, um die ICMBs möglichst schnell zu bauen.

Schriegers Konzept von „Concurrency“ bringt schnell Lösungen.⁹ Er lässt die Lieferanten parallel arbeiten und testen. Allerdings führen die parallelen Arbeiten dazu, dass die Hälfte der Raketen entweder gleich beim Start oder im Flug explodierten.

Im Juni 1957 hebt die erste Atlas ab. Von acht Testflügen sind nur drei erfolgreich. Erst die Version D wird 1959 die erste einsatzbereite Interkontinentalrakete sein.

⁹ Es gibt ein Video aus dem Jahr 1959, in dem Schriever selbst vorstellt, wie Concurrency die Entwicklung beschleunigt hat (Min 8:4), siehe (Association of Air Force Missileers (AAFMM), 2021)

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Die Atlas wie auch die parallel entwickelten Titan- und Thor-Raketen hatten als Waffensystem einen entscheidenden Nachteil. Sie wurden mit flüssigem Treibstoff angetrieben. Der Treibstoff konnte aber nicht in der Rakete gelagert werden. Das war zu gefährlich. Stattdessen wurden die Raketen erst vor dem Start betankt. Als schnelle Reaktionswaffe waren sie damit nicht geeignet.

Feste Brennstoffe dagegen sind nicht so leistungsfähig, lassen sich aber gut in einer Rakete lagern. Feststoffraketen sind immer einsatzbereit.

Schriever vergab nach Atlas, Titan und Thor den vierten Entwicklungsauftrag. Diesmal bekam Boeing den Zuschlag zur Entwicklung der Rakete vom Typ Minuteman. Diese Rakete ist in der dritten Generation immer noch im Einsatz.

Schriever beauftragt diesmal **Samuel C. Phillips**¹⁰ mit dem Projektmanagement. Die erste Minuteman wird im Februar 1961 von Cape Canaveral gestartet. Direktor Phillips und Boeing hatten das Projekt in Time abgeschlossen. Boeing benutzte eine Technik, von deren Nutzen Phillips sofort überzeugt war: configuration control.¹¹

9 Konfigurationsmanagement setzt sich durch

Was war das Konfigurationsmanagement bei Boeing? Lysle Wood stellt auf einer Air Force Management Konferenz das Vorgehen bei Boeing genauer vor.¹²

Konfigurationsmanagement besteht aus drei Funktionen:

- **Identification Control:** *Means for defining and identifying precisely every element of the evolving system from initial requirement through the delivery of operable systems, including all supporting data, drawings, and hardware.*
- **Change Control:** *Means for controlling the effect of changes and for implementing them in the most expeditious manner.*

¹⁰ Siehe (Bateman, 2011)

¹¹ Siehe (Wilson, 1964) "Engineering was frozen, and strict configuration control [...] was rigidly enforced." (S. 547, Abs. 2)

¹² Siehe (Wood, 1962). Der Konferenzbeitrag ist sehr informativ. Man findet ihn bei Google Books.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

- **Accountability Control:** *Means for recording identification and changes associated with the evolving system configuration, including supporting data, drawings, and hardware.*

Wood geht in seinem Artikel auf die Details ein, z. B.

- Es muss ein formales System geben, in dem alle technischen Anforderungen eines Systems und alle „End Items“ erfasst werden.
- Es braucht ein Schema zur eindeutigen Benennung aller End Items.
- Es gibt einen Konfigurationsmanager, der dem Programmmanager untersteht. In jeder Linienabteilung gibt es ebenfalls Mitarbeiter, die für das Konfigurationsmanagement zuständig sind.
- Der Konfigurationsmanager leitet ein Change Board mit Vertretern aus den verschiedenen Bereichen, damit alle Beteiligten die nötigen Änderungen freigeben können.

Wood fasst am Ende noch einmal zusammen, warum das Konfigurationsmanagement wichtig ist: *„the primary purpose ... is to avoid degradation of system reliability and cost in an environment of concurrent production and development.“* Er führt weiter aus, dass die entsprechenden Positionen frühzeitig und kompetent besetzt werden müssen. Im gleichen Konferenzband findet sich auch ein Beitrag des Offiziers Benjamin N. Bellis, der betont, dass man bei schneller Entwicklung besseres Management und mehr Formalismus braucht, als bei Entwicklungen, die nicht zeitkritisch sind.

Phillips geht einen Schritt weiter: er koppelt die Freigabe an Konfigurationsänderungen an das Liefern von zusätzlichen Informationen. Ein Change wird nur freigegeben, wenn der entsprechende Ingenieur auch Aussagen trifft, wie sich diese Änderung auf den Zeit- und Kostenplan auswirkt. (Johnson, 2001)

Damit bekommt er Kosten und Zeitplan in Griff. Minuteman wird geliefert, auch wenn die Rakete nicht die komplett geforderte Reichweite wie geplant hat.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Inzwischen wurde die NASA gegründet. Sie ist die Nachfolgerin der N.A.C.A.. Die NASA übernimmt ihre Forschungseinrichtungen Langley, Glenn Research Center und Ames. Dazu bekommt sie das JPL und die Marshall- und das Goddard Space Flight Center. Man kann sich vorstellen, dass hier ganz unterschiedliche Managementstile aufeinandertrafen.

Im Jahr 1963 wird George Mueller neuer Leiter des Apollo-Programms er strafft die Management-Strukturen. Dazu holt er sich Hilfe bei der Air Force. Er bittet Schriever darum, sich Sam Phillips ausleihen zu können. Schriever lässt einen seiner besten Leute ungern ziehen. Er stimmt dem Ausleihen unter der Bedingung zu, dass Phillips einen Direktorenposten bekommt. Er wird Direktor des Manned Lunar Lander Program.¹³

Als Phillips ankommt, merkt er, dass die NASA zu wenig gute Manager hat. Er bittet Schriever formell um 55 weitere Air Force Manager.

Phillips schreibt ein Konfigurationsmanagementhandbuch (1964). Er setzt es bei allen Forschungszentren der NASA durch und sorgt für klare Berichtslinien. Das führt zum Beispiel dazu, dass es das erste Mal verbindliche Spezifikationen für das Apollo-Programm gibt.

Er bereitet Schulungen für die NASA-Projektleiter vor. Die reagieren sehr reserviert und nur eine Handvoll Personen erscheint. An verschiedenen Stellen entstehen Widerstände („zu teuer“, „Entwicklung lässt sich nicht planen“, „man braucht dafür zu viele Leute“). Phillips kann sie entkräften. Mueller und Phillips überstimmen die Direktoren der Forschungszentren schließlich. Aber die Lieferanten sperren sich ebenfalls. Sie setzen nur Teile der Vorgaben um, stellen hohe Rechnungen für die zusätzliche Bürokratie usw. Phillips lässt nicht locker. Es dauert schließlich bis 1968, bis sich alle Beteiligten an die Änderungskontrolle halten.

Die Arbeit von Phillips trägt entscheidend zum Erfolg des Apollo-Programms bei. Aber wie kommt es eigentlich nach Europa und Deutschland?

¹³ Siehe (Johnson, 2001), S. 698ff

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

10 Ende der 1960er-Jahre kommt das Anforderungsmanagement nach Europa

Ungefähr zur gleichen Zeit des Apollo-Programms tun sich mehrere europäische Staaten und Australien zusammen, um ein Raketensystem zu entwickeln. Die European Launcher Development Organisation (ELDO) sollte eine europäische Trägerrakete, die Europa entwickeln. Die ELDO war von Anfang an zum Scheitern verurteilt. Es fehlte zum einen ein gemeinsames Ziel mit der entsprechenden Unterstützung aus der Politik. Zum anderen fehlte es an Managementkompetenz, um die Rakete erfolgreich zu starten. Von 11 geplanten Starts fanden nur 9 statt. Davon waren nur 4 erfolgreich. (Johnson, 2006)

Die beteiligten Staaten zogen sich zurück. Im Jahr 1973 wurde ELDO aufgelöst. Die entsprechenden Einrichtungen gingen dann in der ESA auf.

Gleichzeitig haben mehrere Forscher die Gründung der European Space Research Organisation (ESRO) angestoßen. Die ESRO folgte in der Organisation dem Modell der CERN. Sie ließ Forschungssatelliten entwickeln und arbeitete dafür eng mit der NASA zusammen, weil sie auf ihre Trägerraketen angewiesen war.

(Johnson, 2006) beschreibt, wie die NASA ESRO und die beteiligten Unternehmen beim Aufbau der nötigen Managementstrukturen unterstützt hat.

Zum Beispiel vergab ESRO den Auftrag zum Bau des HEOS-Satelliten an die Firma Junkers. Junkers bekam dazu Hilfe von Lockheed. Die beiden Firmen haben das Angebot zusammen in Sunnyvale in den USA geschrieben. Dabei wurde besonders das Management solcher Projekte betont.

Ein anderes Beispiel ist die Entwicklung des ESRO-II-Satelliten. Hier bekam die britische Firma Hawker-Siddeley den Zuschlag. Diese Firma bekam große Unterstützung von TRW. TRW war die Firma, die Ramo und Wooldridge gegründet hatten.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

NASA bot ESRO an, die ersten beiden Satelliten kostenlos ins All zu schießen. Experten aus dem Goddard Space Center unterstützten das Personal der ESRO intensiv.

Boeing beteiligte sich an der Firma Bölkow für Raumfahrtprojekte. Es gab also einen regen Austausch zwischen den amerikanischen und europäischen Managern.

Die Satelliten ESRO-I, ESRO-II und HEOS wurden 1968 von der NASA erfolgreich im All abgesetzt. Die Zusammenarbeit mit den Amerikanern wurde 1973 zum Bau des Spacelab weiter intensiviert. Am Spacelab hat die deutsche Firma ERNO, die sich McDonnell Douglas als Partner für das Systems Engineering suchte.

11 Zusammenfassung

Die Raumfahrtprogramme der Amerikaner und Europäer waren so komplex, dass die Manager neue Techniken brauchten, um die Entwicklung zusammenzuhalten.

Anfang des 20. Jahrhunderts begann man in Europa, Russland und in den Vereinigten Staaten an Raketenantrieben zu forschen. Das Militär in Nazideutschland finanzierte im großen Stil die Raketenentwicklung. Daraus entstand das Aggregat 4 bzw. die V2. Nach dem Zweiten Weltkrieg wechseln im Rahmen der Operation Paperclip Wernher von Braun, Walter Dornberger, Kurt Debus und andere in die Vereinigten Staaten. Sie entwickeln dort die V2 weiter. Die Nachfolgemodelle spielen eine wichtige Rolle im Raumfahrtprogramm der Amerikaner. Von Braun und Debus bekommen Direktorenposten in der NASA.

Im Jahr 1954 beginnt Bernard Schriever mit Nachdruck die Entwicklung der Interkontinentalraketen als Abschreckungswaffe. Die Entwicklung von Raketen ist unsicher und von Fehlschlägen geprägt. Nach jedem Start wird etwas verbessert. Aber nicht immer passen alle Änderungen zusammen.

Erst die Einführung von Konfigurationsmanagement bringt Zuverlässigkeit in den Entwicklungsprozess. Samuel Phillips ist der Manager, der bei Entwicklung der Minuteman-Rakete das Konfigurationsmanagement von Boeing übernimmt. Er

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

verbindet Konfigurationsänderungen mit der Pflicht, die Auswirkungen auf Zeit- und Kostenplan mitzuliefern.

Schriever leiht Samuel Phillips ans Apollo-Programm aus. Zusammen mit George Mueller strafft er die losen Managementstrukturen an den Forschungszentren der NASA und macht Konfigurationsmanagement zur Pflicht.

Nachdem die Europäer mit der eigenen Raketenentwicklung gescheitert sind, bauen sie eine neue Weltraumagentur auf. Für ihre Satellitenprogramme suchen sie die Zusammenarbeit mit der NASA und amerikanischen Firmen.

Was können wir aus der Geschichte lernen:

- Das Systems Engineering und das Konfigurationsmanagement der Air Force war aufwändig. Aber es hat die Zuverlässigkeit der Raketen von 50% auf über 90% erhöht.
- Das Durchsetzen von Konfigurationsmanagement ist nicht ohne Widerstände. Bei den Raketenbauern hat die Kopplung von Konfigurationsänderungen an Updates an den Projektplan das KM etabliert.
- Konfigurationsmanagement ist besonders dann wichtig, wenn es schnell gehen muss. Für abgeschossene Raketen gab es keine zweiten Versuche. Bei anderen Systemen funktioniert die Entwicklung auch ohne Konfigurationsmanagement, weil man nach dem Testen einfach nacharbeiten kann.

Man hat übrigens versucht, Systems Engineering auf andere Projekte auszuweiten. Das hat allerdings nicht funktioniert. Oft waren der politische Wille und die Ziele nicht stark genug, um ein Projekt zum Abschluss zu bringen. In diesem Sinne ist das Anforderungsmanagement keine Universallösung.

Bei Boeing hat es das Konfigurationsmanagement angefangen. In den Raketenprogrammen kam die Idee auf, die Konfiguration mit der gleichen Sorgfalt zu pflegen wie Modelle und die echte Hardware, Software und Dokumentation. Daraus hat sich der digitale Zwilling entwickelt.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

12 Über die Autoren

Jan Fischbach (Dipl.-Ing. (FH) Elektrotechnik/Technische Informatik) ist Trainer und Berater im Scrum-Events-Netzwerk. Er trainiert und berät sowohl Firmen in der Privatwirtschaft als auch in der öffentlichen Verwaltung. Sein Ziel sind leistungsfähige Teams mit guten Führungskräften. LinkedIn-Profil:

<https://www.linkedin.com/in/janfischbach/>

Jean Pierre Berchez ist seit 1992 im Bereich Informationstechnologien mit dem Schwerpunkt Software-Engineering und Projektmanagement tätig. Seinen ersten Kontakt mit Agilität und Scrum hatte er 1995, als er zur selben Zeit wie Dr. Jeff Sutherland, bei der Firma EASEL arbeitete, der dort das erste Scrum Team gebildet hat. Heute arbeitet er als zertifizierter Scrum-Trainer (Scrum.org) und Scrum-Coach. Er organisiert unter anderem Scrum-Zertifizierungsworkshops mit den Erfindern von Scrum Dr. Jeff Sutherland und Ken Schwaber, sowie die deutsche Scrum-Anwenderkonferenz - den Scrum-Day. LinkedIn-Profil:

<https://www.linkedin.com/in/jpberchez/>

Kontakt über www.scrum-events.de.

Anhang A: Netzwerke

Die folgenden Abbildungen zeigen ausgewählte Knotenpunkte (Personen und Institutionen), die Ideen vermittelt haben.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

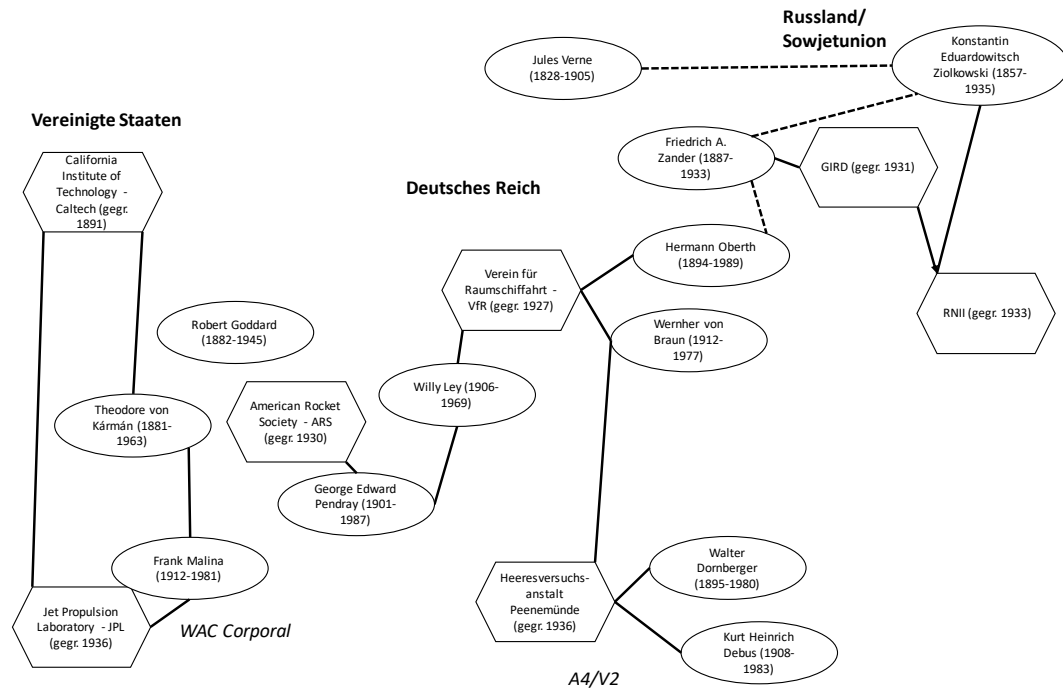


Abbildung 1: Die Anfänge der Raketentechnik

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Vereinigte Staaten

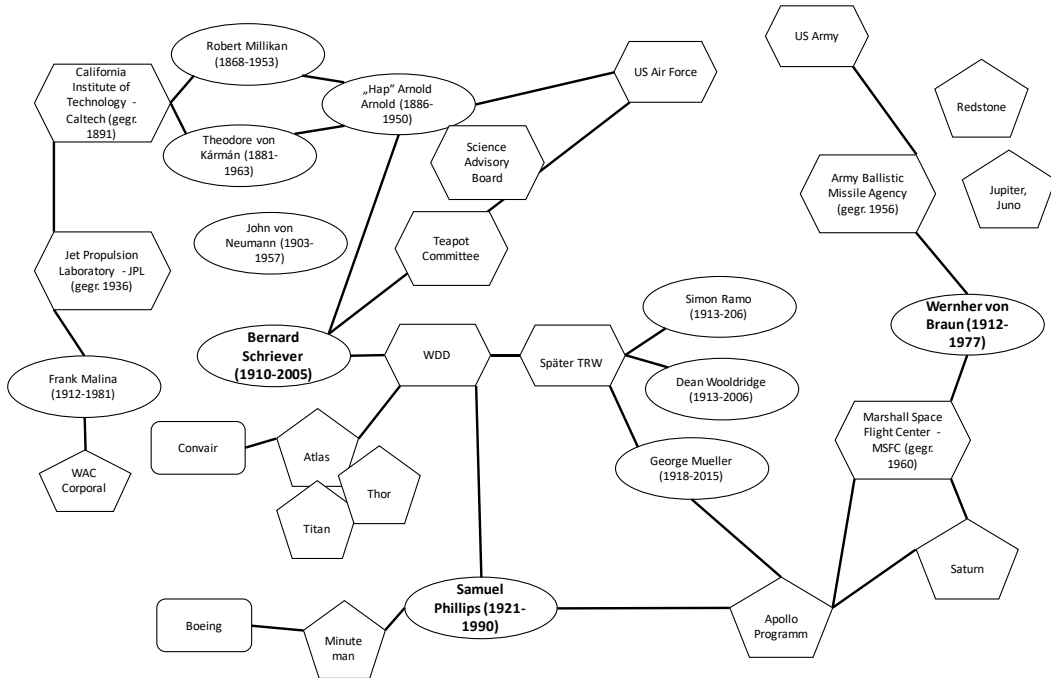


Abbildung 2: Netzwerk der Raketenentwicklung in den USA

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Anhang B: Personen

Arnold, Henry Harley „Hap“ Arnold (1886-1950), Offizier der US-Luftwaffe,
https://de.wikipedia.org/wiki/Henry_H._Arnold

Bossart, Karel (1904-1975), Techn. Entwickler der Atlasrakete,
https://en.wikipedia.org/wiki/Karel_Bossart

Braun, Wernher von (1912-1977), Raketenpionier,
https://de.wikipedia.org/wiki/Wernher_von_Braun

Debus, Kurt Heinrich (1908-1983), deutscher Raketenpionier,
https://de.wikipedia.org/wiki/Kurt_Heinrich_Debus

Dornberger, Walter (1895-1980), Ingenieur, Offizier, Raketenpionier,
https://de.wikipedia.org/wiki/Walter_Dornberger

Gardner, Trevor (1915-1963), Physiker und Berater der Air Force,
https://en.wikipedia.org/wiki/Trevor_Gardner

Getting, Ivan Alexander (1912-2003), Physiker, Ingenieur,
https://en.wikipedia.org/wiki/Ivan_Getting

Goddard, Robert Hutchings (1882-1945), Raketenpionier,
https://de.wikipedia.org/wiki/Robert_Goddard

Hall, Edward Nathaniel (1914-2006), US-amerikanischer General, Ingenieur und Initiator des US-Raketenprogramms Minuteman, https://en.wikipedia.org/wiki/Edward_N._Hall

Kármán, Theodore von (1881-1963), Physiker und Pionier der Raketenforschung,
https://de.wikipedia.org/wiki/Theodore_von_K%C3%A1rm%C3%A1n

Koroljow, Sergei Pawlowitsch (1907-1966), ukrainisch-sowjetischer Raketenkonstrukteur und Weltraumpionier, https://de.wikipedia.org/wiki/Sergei_Pawlowitsch_Koroljow

Ley, Willy (1906-1969), deutscher Wissenschaftspublizist, Raketenkonstrukteur,
https://de.wikipedia.org/wiki/Willy_Ley

Malina, Frank Joseph (1912-1981), amerikanischer Raketeningenieur,
https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Malina

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Millikan, Robert Andrews (1868-1953), Physiker und Leiter des Caltech,

https://de.wikipedia.org/wiki/Robert_Andrews_Millikan

Mueller, George Edwin (1918-2015), US-amerikanischer Elektro- und Raumfahrtingenieur,

https://de.wikipedia.org/wiki/George_E._Mueller

Neumann, John von (1903-1957), ungarisch-US-amerikanischer Mathematiker,

https://de.wikipedia.org/wiki/John_von_Neumann

Oberth, Hermann Julius (1894-1989), Raketenpionier,

https://de.wikipedia.org/wiki/Hermann_Oberth

Pendray, George Edward (1901-1987), Amerikanischer Schriftsteller,

https://en.wikipedia.org/wiki/George_Edward_Pendray

Phillips, Samuel Cochran (1921-1990), US-amerikanischer General,

https://en.wikipedia.org/wiki/Samuel_C._Phillips

Putt, Donald Leander (1905-1988), US-amerikanischer General, <https://www.af.mil/About-Us/Biographies/Display/Article/105883/lieutenant-general-donald-leander-putt/>

Ramo, Simon (1913-206), Physiker, Ingenieur, https://en.wikipedia.org/wiki/Simon_Ramo

Schriever, Bernard Adolph (1910-2005), Direktor im US-amerikanischen Raketen- und Raumfahrtprogramm, https://de.wikipedia.org/wiki/Bernard_Schriever

Strughold, Hubertus (1898-1986), Pionier der Raumfahrtmedizin,

https://de.wikipedia.org/wiki/Hubertus_Strughold

Teller, Edward (1908-2003), Physiker, https://de.wikipedia.org/wiki/Edward_Teller

Verne, Jules-Gabriel (1828-1905), Schriftsteller, https://de.wikipedia.org/wiki/Jules_Verne

Wilson, Thornton Arnold (1921-1999), Manager von Minuteman und später Präsident von Boeing, https://en.wikipedia.org/wiki/Thornton_Wilson

Wooldridge, Dean (1913-2006), Ingenieur, https://en.wikipedia.org/wiki/Dean_Wooldridge

Zander, Friedrich Arturowitsch (1887-1933), deutschbaltisch-russischer und später sowjetischer Gelehrter, https://de.wikipedia.org/wiki/Friedrich_Arturowitsch_Zander

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Ziolkowski, Konstantin Eduardowitsch (1857-1935), Raketenpionier,

https://de.wikipedia.org/wiki/Konstantin_Eduardowitsch_Ziolkowski

Anhang C: Institutionen

Air Materiel Command - AMC (gegr. 1946),

https://en.wikipedia.org/wiki/Air_Materiel_Command

Air Research and Development Command - ARDC (gegr. 1950),

https://en.wikipedia.org/wiki/Air_Force_Systems_Command

American Rocket Society - ARS (gegr. 1930),

https://en.wikipedia.org/wiki/American_Rocket_Society

Army Ballistic Missile Agency - ABMA (gegr. 1956),

https://en.wikipedia.org/wiki/Army_Ballistic_Missile_Agency

California Institute of Technology - Caltech (gegr. 1891),

https://de.wikipedia.org/wiki/California_Institute_of_Technology

European Launcher Development Organisation - ELDO (gegr. 1962),

https://de.wikipedia.org/wiki/European_Launcher_Development_Organisation

European Space Agency - ESA (gegr. 1975),

https://de.wikipedia.org/wiki/Europ%C3%A4ische_Weltraumorganisation

European Space Research Organisation - ESRO (gegr. 1962),

https://de.wikipedia.org/wiki/European_Space_Research_Organisation

Guggenheim Aeronautical Laboratory - GALCIT (gegr. 1926),

https://en.wikipedia.org/wiki/Guggenheim_Aeronautical_Laboratory

Heeresversuchsanstalt Peenemünde - HVP (gegr. 1936),

https://de.wikipedia.org/wiki/Heeresversuchsanstalt_Peenem%C3%BCnde

Jet Propulsion Laboratory - JPL (gegr. 1936),

https://en.wikipedia.org/wiki/Jet_Propulsion_Laboratory

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Marshall Space Flight Center - MSFC (gegr. 1960),

https://en.wikipedia.org/wiki/Marshall_Space_Flight_Center

National Advisory Committee for Aeronautics - NACA (gegr. 1915),

https://de.wikipedia.org/wiki/National_Advisory_Committee_for_Aeronautics

National Aeronautics and Space Administration - NASA (gegr. 1958),

<https://de.wikipedia.org/wiki/NASA>

Ramo-Wooldridge Corporation - RW (gegr. 1953), https://en.wikipedia.org/wiki/TRW_Inc.

Reaktiwny Nautschno-Issledowatelski Institut - RNI (gegr. 1933),

<https://de.wikipedia.org/wiki/RNI>

Redstone Arsenal (gegr. 1941), https://de.wikipedia.org/wiki/Redstone_Arsenal

Space Technology Laboratories - STL (gegr. 1958), https://en.wikipedia.org/wiki/TRW_Inc.

Strategic Air Command - SAC (gegr. 1946),

https://en.wikipedia.org/wiki/Strategic_Air_Command

The Aerospace Corporation (gegr. 1960),

https://en.wikipedia.org/wiki/The_Aerospace_Corporation

Verein für Raumschiffahrt - VfR (gegr. 1927),

https://de.wikipedia.org/wiki/Verein_f%C3%BCr_Raumschiffahrt

White Sands Missile Range - WSMR (gegr. 1941),

https://de.wikipedia.org/wiki/White_Sands_Missile_Range

Группа изучения реактивного движения - GIRD (gegr. 1931),

<https://de.wikipedia.org/wiki/GIRD>

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Literatur

Association of Air Force Missileers (AAFAM) (Regisseur). (2021, Oktober 2). *Ballistic*

Missile Development with General Bernard Schriever (1959).

<https://www.youtube.com/watch?v=xRzrxGWj2vA>

Boyne, W. J. (2000). The Man Who Built the Missiles. *Air Force Magazine*, 83(10), 80–86.

Braun, W. von. (1963). The Redstone, Jupiter, and Juno. *Technology and Culture*, 4(4), 452. <https://doi.org/10.2307/3101379>

Johnson, S. B. (2001). Samuel Phillips and the Taming of Apollo. *Technology and Culture*, 42(4), 685–709.

Johnson, S. B. (2002a). Bernard Schriever and the Scientific Vision. *Air Power History*, 49(1), 30–45.

Johnson, S. B. (2002b). *The United States Air Force and the Culture of Innovation, 1945-1965*. <https://media.defense.gov/2010/May/26/2001330260/-1/-1/0/AFD-100526-019.pdf>

Johnson, S. B. (2006). *The secret of Apollo: Systems management in American and European space programs*. JHU Press.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Lonnquest, J. C. (1996). *The face of Atlas: General Bernard Schriever and the development of the Atlas intercontinental ballistic missile, 1953-1960*. Duke University.

Moon, F. C. (2014). *Social networks in the history of innovation and invention*. Springer.

NASA. (06.02.20219). *Systems Engineering Handbook–NASA*. The National Aeronautics and Space Administration.

<https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/>

Neufeld, J. (2004). General Bernard A. Schriever: Technological Visionary. *Air Power History*, 51(1), 36–43.

Schriever, B. (1957). ICBM: A Step Towards Space Conquest. *Astronautics Symposium, San Diego, CA*, 19.

<https://play.google.com/books/reader?id=X11VAAAAYAAJ&pg=GBS.PA2&hl=de>

Sheehan, N. (2010). *A fiery peace in a cold war: Bernard Schriever and the ultimate weapon*. Vintage.

Thurston, R. H. (1878). *A History of the Growth of the Steam-Engine* (Bd. 24). D. Appleton.

Wilson, T. A. (1964). Making the Minuteman. *Ordnance*, 48(263), 546–548.

Das ist doch Raketenwissenschaft! Was können wir aus der Ideengeschichte von komplexer Produktentwicklung lernen?

Wood, L. A. (1962). Configuration management. *paper delivered at the Air Force Systems Command Management Conference, Monterey, Calif, 2-4.*