

PHILIPP HASSINGER

Zwischen Evolution und Revolution

Der Werkstoffwandel im Flugzeugbau



Philipp Hassinger

Zwischen Evolution und Revolution

Der Werkstoffwandel im Flugzeugbau

Technikdiskurse

Karlsruher Studien zur Technikgeschichte

12

Herausgeber:

Prof. Dr. Rolf-Jürgen Gleitsmann-Topp

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften

Institut für Geschichte, Abteilung Technikgeschichte

Zwischen Evolution und Revolution

Der Werkstoffwandel im Flugzeugbau

von

Philipp Hassinger

Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften
Tag der mündlichen Prüfung: 12. Dezember 2012

Bildnachweis Umschlag
De Havilland Hornet F1
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:De_Havilland_Hornet_F1.jpg
Wikimedia Commons, Lizenz PD-BRITISHGOV; PD-UKGOV

Impressum

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
KIT Scientific Publishing
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.ksp.kit.edu

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales
Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft



Diese Veröffentlichung ist im Internet unter folgender Creative Commons-Lizenz
publiziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>

KIT Scientific Publishing 2013
Print on Demand

ISSN 1860-3610
ISBN 978-3-86644-998-5

Vorwort des Reihenherausgebers

Technik und technischer Wandel zählen zu jenen Faktoren, die unser (all)tägliches Leben entscheidend prägen.

Dieser Sachverhalt dürfte in unserem technischen Zeitalter kaum einer besonderen Begründung bedürfen. Es liegt auf der Hand, dass die Menschheit von Technik und technischem Fortschritt abhängig geworden ist, und dies nicht erst in unserer Zeit.

Seit jeher war es der Technik entwickelnde und zielgerichtet einsetzende Mensch, der vermittels „seiner“ Technik Lebensräume gestaltete, veränderte, revolutionierte, oder auch zerstörte. Unglaublicher Wohlstand auf der einen, aber auch bitterste Armut auf der anderen Seite waren dabei mögliche Konsequenzen, die der technische Wandel hervorzubringen vermochte. Die Einsicht, dass technischer Wandel als gesellschaftliches Phänomen zu interpretieren sei, uns technische Zukunftsentwürfe gerade auch gesellschaftliche Zukunftsentwürfe darstellten, vermochte sich hingegen erst langsam Bahn zu brechen.

Die Diskussion um die Technik, oder anders ausgedrückt, Technikdiskurse, begleiten jedoch den technischen Wandel jedweder Epoche. Seit jeher scheint es vom Grundsätzlichen her zwei gegensätzliche Lager bezüglich der Beurteilung des technischen Wandels gegeben zu haben. Zum einen die Optimisten, die mit technischem Wandel Fortschritt an sich verbinden, und zum anderen die Pessimisten, die – aus welchen Gründen auch immer –, diesem Wandel eher skeptisch gegenüberstehen. Beide Positionen erscheinen geradezu als Naturgesetzmäßigkeiten, und dennoch, sie sind letztlich doch nichts anderes als Hoffnungen und Erwartungen auf der einen oder aber auch Befürchtungen und Ängste auf der anderen Seite für jene, die von diesen Wandlungsprozessen betroffen sind bzw. sie voranbringen.

Technischer Wandel stellt sich damit als gesellschaftlicher Wandel dar, und steht mithin direkt im Konfliktfeld gesellschaftlicher Kontroversen. „Wohin die Reise geht“, ist jedoch in erster Linie eine gesellschaftliche Entscheidung, und keineswegs ein technischer Sachzwang.

Der Blick zurück, also eine Analyse vergangener technischer Inventions-, Innovations- und Diffusionsprozesse stellt damit immer auch eine Analyse der jeweiligen gesellschaftlichen „Befindlichkeiten“, Machtstrukturen, Umsetzungspotentiale und Handlungsspielräume dar.

Vor diesem Hintergrund haben es sich die Technikdiskurse. Karlsruher Studien zur Technikgeschichte zum Ziel gesetzt, technischen Wandel im Kontext seines historischen Umfeldes zu analysieren und darzustellen. Keineswegs nur die Invention als solche wird, im Sinne einer funktionalistischen oder Heroengeschichtsschreibung, dabei Gegenstand der Betrachtung sein. Vielmehr soll es darum gehen, jene Kontexte herauszuarbeiten, aus denen heraus Technik entsteht und in denen Technik wirkt. Weitere Themen können u.a. auch die Kultur- und Faszinationsgeschichte des Technischen sowie Technik als soziale Konstruktion (social construction of technology/SCOT) sein.

Karlsruhe,
im Dezember 2011

Rolf-Jürgen Gleitsmann
Institut für Geschichte

Zwischen Evolution und Revolution

Der Werkstoffwandel im Flugzeugbau

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTORS DER PHILOSOPHIE

(Dr. phil.)

von der Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften

des

Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

angenommene

DISSERTATION

von

Philipp Hassinger

aus

Homburg/Saar

Dekan: Prof. Dr. Klaus Bös

1. Gutachter: Prof. Dr. Rolf-Jürgen Gleitsmann-Topp
2. Gutachter: PD Dr. Kurt Möser

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Dezember 2012

Inhalt

1.	Einleitung.....	1
2.	Eine Werkstoffgeschichte der Luftfahrt bis zum Ersten Weltkrieg.....	25
2.1	Die Anfänge der Luftfahrt.....	25
2.2	Der erste Motorflug.....	35
2.3	Der Flugzeugbau vor dem Ersten Weltkrieg.....	45
2.4	Der Flugzeugbau im Ersten Weltkrieg und danach.....	51
3.	Werkstoffe.....	63
3.1	Metall ist nicht gleich Metall.....	64
3.2	Das „deutsche“ Metall.....	72
3.3	Holz ist nicht gleich Holz.....	75
3.4	Stoff ist nicht gleich Stoff.....	80
3.5	Werkstoff-Festigkeit im Wandel der Zeit.....	82
3.6	Flugzeugwerkstoffe nach dem Zweiten Weltkrieg.....	84
3.7	Eine Momentaufnahme: Werkstoffe im aktuellen Flugzeugbau.....	93
4.	Auf dem Weg zum Ganzmetallflugzeug.....	101
4.1	Der deutsche Sonderweg.....	102
4.2	Hölzerne Briten.....	108
4.3	Verwirrtes Frankreich.....	112
4.4	Ziviler Flugzeugbau als Schrittmacher des Werkstoffwandels - die USA.....	115
4.5	Abhängig vom Holz - das sowjetische Russland.....	120
5.	Von Pionieren, Bastlern und Ingenieuren.....	123
5.1	Der fliegende Stahlrohr-Holländer: Anthony Fokker.....	126
5.2	Junkers macht Wellen.....	138
5.3	Claude Dornier und die glatte Schale.....	150
5.4	Flugzeuge mit Ecken und Kanten: Adolf Rohrbach.....	162
5.5	Focke und Co.....	168
5.6	Tradition verpflichtet: Geoffrey de Havilland & Handley Page.....	171
5.7	Gitterrumpf und rollende Bomben: Barnes Wallis.....	193
5.8	The Aviator: Howard Hughes.....	196
5.9	Generation Metall?.....	202
6.	Metall versus Holz.....	207
6.1	The clash of materials.....	208
6.2	Das Verschwinden und Wiedererscheinen des Holzes.....	226
6.3	Unterschiedliche Anforderungen = unterschiedliche Werkstoffe.....	244
7.	Der Werkstoffwandel im Vergleich.....	251
7.1	Luftschiffbau.....	253
7.1.1	Der Schienenzppelin.....	272
7.2	Segelflugzeugbau.....	274
7.3	Architektur.....	284
7.3.1	Junkersche Metallbauten.....	289
7.4	Automobilbau.....	295
8.	Schlussbetrachtung.....	305
9.	Danksagung.....	322
10.	Literaturverzeichnis.....	329
10.1	Verwendete Flight-Ausgaben.....	340

1. Einleitung

„Wir waren so von ehrfürchtigem Staunen über das absolut Neue dieser Konstruktion erfüllt, dass zunächst keiner ein lautes Wort wagte. Aber dann kam die sachverständige Kritik. Schließlich wollte es niemand für möglich halten, dass der „Blechesel“ fliegen könne. Mir allerdings imponierte diese J 1, die da ohne jede Verspannung und ohne Drähte stand.“¹

So schilderte Leutnant von Mallinkrodt am 12.12.1915 seine Eindrücke vor seinem Erstflug mit der Junkers J 1, einem der ersten Ganzmetallflugzeuge überhaupt, und ohne dass er es wusste, stand der Leutnant vor der metallenen und freitragenden Zukunft des Flugzeugbaus, die zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht absehbar war.

Obgleich der Traum vom Menschenflug sich durch die Menschheitsgeschichte zieht wie ein roter Faden, ist die Geschichte der Luftfahrt verglichen mit der anderer mechanischen Fortbewegungsmitteln, wie zum Beispiel dem Schiff, relativ kurz. Gerade aber hier vollzog sich der Werkstoffwandel von Holz zu Metall mit einer rasanten Geschwindigkeit.

Im Zeppelin- und Flugzeugbau wurden zunächst unerfüllbare Anforderungen an den Leichtbau gestellt. Die ersten erfolgreichen Modelle, die schwerer als Luft waren, bestanden fast vollständig aus Holz und Stoff, manchmal gar aus Bambus. *„Es dauerte jedoch kaum zwanzig Jahre, bis aus rätselhaften Drachensfliegern Maschinen geworden waren, die Kriegsführung und Verkehr gleichermaßen auf eine neue Grundlage stellten.“²* Das 20. Jahrhundert entwickelte sich schnell zum Jahrhundert des Fluges: *„The airplane was the wonder of the age, [...]“³*, so Crouch: *„When citizens of the distant future look back on the twentieth century, they will surely remember it as the time when humans took to the sky.“⁴*

¹ Wagner, Wolfgang: Geschichte der deutschen Luftfahrzeugtechnik. Die Junkers F 13 und ihre Vorläufer. Vom „Blechesel“ zum ersten Ganzmetall-Verkehrsflugzeug. Konstanz 1976. Seiten 19, 20.

² Budraß, Lutz: Flugzeugindustrie und Lufrüstung in Deutschland 1918-1945. Düsseldorf 1998. Seite 21.

³ Crouch, Tom D.: Wings. A History of Aviation from Kites to the Space Age. New York, London 2003. Seite 117.

⁴ Ebenda. Seite 9.

In den ersten zwanzig Jahren der Luftfahrt schwerer als Luft verdrängten Metalle und Metalllegierungen den Werkstoff Holz im Flugzeugbau schnell und nahezu vollständig. Ständig größer werdende Anforderungen an die Festigkeit, Stabilität und Sicherheit der Flugzeuge führten nach den turbulenten und abenteuerlichen Anfangsjahren⁵ der Motorfliegerei zu einer Professionalisierung und Verwissenschaftlichung des Flugzeugbaus. Dies hing auch mit der veränderten Erwartung an das Flugzeug zusammen: war man anfangs froh, dass ein Fluggerät überhaupt vom Boden abhob, so wurde die Lebensdauer eines Flugzeugs und dessen Sicherheit erst mit der steigenden Leistungsfähigkeit und dem aufkommenden zivilen Luftverkehr in der Zwischenkriegszeit wichtig. Der militärische Bedarf und die beiden Weltkriege beeinflussten die Entwicklung des Flugzeugs und seiner Werkstoffe außerordentlich stark: „*Under the pressures of war the business of building airplanes grew from small-scale batch production undertaken by craftsmen, to a mass production industry in which special purpose machines enabled semiskilled workers to send a steady stream of war planes out the factory doors in record time.*“⁶ Dieser militärische Einfluss war beim Flugzeug ungleich größer als beispielsweise beim Automobil. Der Erste Weltkrieg führte dazu, dass sich das Flugzeug in wenigen Jahren vom Freizeitvergnügen solventer und abenteuerlustiger Dandys zum Massenprodukt, zur Massenwaffe im Weltkrieg entwickelte. Alleine das deutsche Reich stellte während dieses Krieges etwa 50.000 Flugzeuge, darunter etwa 150 verschiedene Typen von 35 Herstellerfirmen, her.⁷

Ingenieure traten im Flugzeugbau an die Stelle der abenteuerlustigen Flugpioniere, Fabriken an die Stelle der Konstruktions-Schuppen der Anfangsjahre und die Flugzeugwerkstoffe folgten dieser Industrialisierung des Flugzeugbaus. Holzrahmen wichen Stahlrohrrahmen, Stoffbeplankung der Sperrholzbeplankung und diese wiederum den Duralblechen. Stark verspannte Mehrdecker wurden vom freitragenden Eindecker abgelöst. Schließlich

⁵ Vgl. hierzu Crouch 2003. Seite 124: „The men who invented the airplane and pioneered its earliest development could not fully explain how the thing worked.“ Und Mokyr bemerkt: „[...] some devices can be made to work long before it is understood why or how they do“ (Mokyr, Joel: The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress. Oxford 1990. Seite 146).

⁶ Crouch 2003. Seite 514.

⁷ Vgl. Radkau, Joachim: Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis heute. Frankfurt a. M. 2008. Seite 262.

wich die Handarbeit den industriellen Fertigungsmethoden der Massenproduktion. Der Flug entwickelte sich vom Hobby Weniger zur Profession vieler.

Innerhalb eines Jahrzehnts vervierfachte sich nach 1918 die Flächenbelastung⁸ der Flugzeuge und die Fluggeschwindigkeit verdoppelte sich nahezu. Damit einher gehend erhöhten sich die Triebwerksleistungen und –massen sowie die Betriebsstoffmengen. Um die Nutzlast und die Reichweite zu erhöhen, musste die Flugzeugzelle trotz der höheren Anforderungen im Verhältnis leichter werden. Die allgemeine Entwicklung der Flugtechnik zwang somit zur Einführung neuer Werkstoffe und Leichtbauweisen. Flugzeugstatiker sahen sich mit immer neuen Aufgaben und Problemen konfrontiert. Hatte man es früher mit verhältnismäßig einfachen Berechnungen statisch bestimmter Konstruktionen zu tun gehabt (ebene und räumliche Fachwerke), so musste man jetzt statisch unbestimmten Konstruktionen (Schalenbauweise) gerecht werden. Um tote Masse einzusparen wurden die Flugzeugstatiker zu immer größerer Genauigkeit und Wissenschaftlichkeit gezwungen. Präzise Festigkeitsberechnungen und der exakte Nachweis der inneren Kräfte der Bauteile waren notwendig, um jedes überflüssige Gramm an Masse und Material einzusparen und trotzdem noch über die notwendige Sicherheit zu verfügen. Hinzu kamen die Probleme der Betriebs- oder Dauerfestigkeit, denn die Einsatzzeiten und die Lebensdauer der Flugzeuge wurden nach dem Ersten Weltkrieg und vor allem nach dem Zweiten Weltkrieg immer größer.⁹

⁸ Die Flächenbelastung eines Flügels ergibt sich aus der Masse eines Flugzeugs geteilt durch die Flügelfläche. Eine hohe Flächenbelastung ermöglicht eine hohe Fluggeschwindigkeit, und umgekehrt.

⁹ Vgl. Wissmann, Gerhard: Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart. Eine Darstellung der Entwicklung des Fluggedankens und der Luftfahrttechnik. Berlin 1975. Seite 406.



Abbildung 1: Die Eroberung des Himmels. Aus: *Flight* (03.01.1930) Seite 9.

Die Geschwindigkeit dieses Prozesses macht es nötig, den Materialwandel im Flugzeugbau genauer zu untersuchen. Dies ist auch gerade deshalb interessant, weil das Flugzeug bis heute Spitzentechnologie geblieben ist, an der auch aus militärischen Gründen ausdauernd geforscht wurde und wird. Die Werkstofffrage wird dabei im Flugzeugbau bis heute kontinuierlich neu gestellt.

Im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung stehen motorisierte Konstruktionen, die schwerer als Luft sind und durch den dynamischen Auftrieb fliegen. Der zum Fliegen oder Schweben notwendige Auftrieb, welcher der Schwerkraft entgegen gerichtet ist, kann auf zwei Arten erzielt werden: durch die Ausnutzung des statischen Auftriebs eines Gases, das leichter als Luft ist, oder durch die Erzeugung eines dynamischen Auftriebs wie er beim Bewegen einer angestellten Fläche durch die Luft entsteht.¹⁰ Segelflugzeuge und Zeppeline sollen ebenfalls in Untersuchungen zum Werkstoffwandel einbezogen werden. Weiterhin liegt ein Schwerpunkt dieser Arbeit auf den Anfängen des Metallbaus in Deutschland, weil gerade von hier die ersten Impulse für den Werkstoffwandel von Holz zu Metall im Flugzeugbau ausgingen. Ein Fokus auf Deutschland ist auch deshalb notwendig, da die wenigen vorhandenen Arbeiten zum Werkstoffwandel im Flugzeugbau die Entwicklung in Deutschland nur streifen und weitgehend unberücksichtigt lassen.¹¹

Die leitenden Fragestellungen sind dabei: Wie entwickelten sich die Flugzeugwerkstoffe von den ersten Flugversuchen bis zur völligen Verdrängung des Werkstoffs Holz durch das Metall und darüber hinaus? Was waren die Vor- und Nachteile der jeweiligen Bauweisen und wieso setzte sich der Metallbau am Ende durch? Wie erfolgte dieser Materialwandel bei anderen Technologien und gibt es dabei Gemeinsamkeiten bzw. Singularitäten? Das Ziel ist, die Gründe des Materialwandels zu erklären, um daraus abzuleiten zu können, wie sich Werkstoffe generell durchsetzen oder aber verdrängt werden.

Am Anfang dieser Arbeit steht eine Werkstoffgeschichte der Luftfahrt von den theoretischen Arbeiten Da Vincis am Ende des Mittelalters bis zum Ersten Weltkrieg, wo das Flugzeug erstmals zum Massenprodukt wurde. Zu den wichtigsten Meilensteinen dieser 400-jährigen Vorgeschichte gehören dabei das Wirken Da Vincis, die Arbeiten Lilienthals und das erste erfolgreiche motorisierte Flug der Gebrüder Wright. Auf Grund des Umfangs kann nicht auf alle Pioniere und Konstruktionen dieser langen Vorgeschichte eingegangen werden. Die vorgestellten Pioniere und Artefakte sollen exemplarisch die Entwicklung der Fluggeräte und deren Materialien verdeutlichen. Die Schwerpunkte Da Vinci, Lilienthal, Wright wurden deshalb gewählt, weil sie materiell und konstruktionstech-

¹⁰ Vgl. Wissmann 1975. Seite 17.

¹¹ Auf den Forschungsstand und die vorhandenen Veröffentlichungen zum Werkstoffwandel im Flugzeugbau wird weiter unten noch eingegangen werden.

nisch aufeinander aufbauen und jeder für sich einen entscheidenden Schritt hin zum motorgetriebenen Flugzeug darstellt. Dabei spielt auch hier die zunehmende Verwissenschaftlichung eine wichtige Rolle. Von Da Vinci ausgehend, basierten erfolgreiche Flugmaschinen zunehmend auf empirischen Daten und nicht mehr nur auf dem Gefühl des individuellen Konstrukteurs.

Der Erste Weltkrieg wurde wiederum deshalb als Zäsur gewählt, da Flugzeuge durch diesen Krieg erstmals in großen Stückzahlen hergestellt und auf deutscher Seite bereits während dieses Krieges wichtige Weichen hin zum Ganzmetallflugzeug gestellt wurden. Das Kapitel behandelt also den Flugzeugbau von den Anfängen bis zum Erscheinen des Metallflugzeugs. Es schließt ab mit einer genaueren und differenzierten Betrachtung der Werkstoffe Holz und Metall. Dabei ist wichtig herauszustellen wie sich die beiden Werkstoffe entwickelten, welche Probleme entstanden, wie sie gelöst wurden und dass unterschiedliche Materialien mit den Sammelbegriffen „Holz“ und „Metall“ zusammengefasst werden. Dies ist vor allem deshalb problematisch, da Holz nicht gleich Holz und ebenso wenig Metall gleich Metall ist. Diese Werkstoffbetrachtung soll aber nicht auf diese beiden Werkstoffe beschränkt sein und deshalb wird hier auch die Werkstoffentwicklung im Flugzeugbau nach dem Zweiten Weltkrieg umrissen und der aktuelle Flugzeugbau skizziert.

Danach geht es um die Frage, wieso ausgerechnet in Deutschland die Anfänge des Metallflugzeugbaus lagen und stellt wichtige Protagonisten des Flugzeugbaus in der entscheidenden Phase des Werkstoffwandels und ihr Verhältnis zu den verfügbaren Werkstoffen exemplarisch vor. Da Deutschland mit Fortdauern des Krieges kriegswirtschaftlich zunehmend unter Druck geriet, erscheint es verwunderlich, aus welchem Grund man gerade hier und zu diesem Zeitpunkt erste metallene Flugzeuge entwickelte und auch schon einsetzte. Es wird aber gezeigt werden, dass gerade diese wirtschaftliche Anspannung technische Innovationen, wie das Metallflugzeug, förderte und begünstigte. Der Trend zum Metallflugzeug – auch dies soll klargestellt werden – kam nicht international gleichzeitig auf und selbst in Deutschland hielten sich Befürworter der Holz-Stoff-Bauweise. Diese internationalen Unterschiede in der Förderung und Akzeptanz neuer Werkstoffe sollen durch biographische Skizzen beispielhafter Flugzeugbauer herausgestellt werden. Außer-

dem ist das Betrachten der „*relevant social group*“¹² der Ingenieure deshalb interessant, weil ihr Wirken den Werkstoffwandel mehr beeinflusste als das jeder anderen „*relevant social group*“ und weil das individuelle Umgehen mit Problemen des Flugzeugbaus auch viel über die Probleme und Lösungen der Werkstoffwahl verrät. Wieso es so wichtig ist, sich auf die Flugzeugbauer und verantwortlichen Ingenieure zu konzentrieren, betonen auch Pinch und Bijker in einer Entgegnung auf vorgebrachte Kritik, ihr Ansatz sei zu sehr auf das Artefakt und zu wenig auf die makro-soziologischen Zusammenhänge fokussiert: „*The way to combat this argument is not to turn to macro-sociological theory, or to speculate about possible alternative technologies, but to carry out micro-studies of how engineers and technologists actually go about deciding whether or not a technology works and how it is to be tested. [...] By studying the activities of engineers in laboratories it is possible to understand how society is transformed in the laboratory.*“¹³

Anhand der vorgestellten Konstrukteure soll verdeutlicht werden, welche Art von Persönlichkeiten den werkstofflichen Wandel trug und wie sich der Flugzeugbau zum Kriegsende hin weiter verwissenschaftlichte. Dieser Prozess schlug sich auch in den Biographien der Protagonisten nieder und führte schließlich zu dem neuen Flugzeugwerkstoff Metall. Man wird erkennen, dass es trotz der Kürze der Übergangsphase unterschiedliche Generationen von Flugzeugbauern gab und sich diese Generationen auch durch ihre Offenheit gegenüber neuen Materialien voneinander abgrenzen lassen.

Das folgende Kapitel soll erklären, weshalb sich Metall zwischen dem Ende der 1920er und dem Anfang der 1930er Jahre gegenüber Holz beim Flugzeugbau so ausschließlich durchsetzte. Dabei wird der Frage nachgegangen, ob technische Vorteile des Werkstoffs Metall den Wandel bestimmten oder ob dieser Wandel auf soziale Bedürfnisse zurückzuführen ist. Interessant ist hier, dass der revolutionäre Werkstoff Dural keinesfalls frei war von Kinderkrankheiten. Ebenso wie das Holz litt das Dural der Anfangsjahre unter Problemen mit der Feuchtigkeit. Nachdem es beim Sperrholz mehrere Jahre dauerte bis die

¹² Pinch, Trevor; Bijker, Wiebe: The social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. In: Social Studies of Science, Vol. 14, Nr. 3. 1984. Seiten 414, 415. Zu Erläuterungen zur „*relevant social group*“ siehe weiter unten.

¹³ Pinch, Trevor; Bijker, Wiebe: Science, Relativism and the New Sociology of Technology: Reply to Russel. In: Social Studies of Science. Vol. 16, No. 2, May 1986. Seiten 347 – 360, hier Seiten 351, 354.

Innovation des Kunstharzes die Feuchtigkeitsanfälligkeit minderte, beendete das Alclad-Verfahren schon nach wenigen Jahren das Durabilitätsproblem des Dural. Man war offensichtlich stark davon überzeugt, dass dem Werkstoff Metall die Zukunft gehöre und verhalf ihm durch konzentriertere Forschung auch dazu. Außerdem versucht dieses Kapitel zu beantworten, wieso sich verschiedene Nationen im Zweiten Weltkrieg wieder der Holzbauweise zuwandten und welche Zusammenhänge es zwischen unterschiedlichen Anforderungen an ein Flugzeug und dessen Materialien gibt.

Anschließend wird der Werkstoffwandel im Flugzeugbau mit dem Werkstoffwandel auf anderen technischen Gebieten verglichen. Dadurch soll die Frage beantwortet werden, ob der Werkstoffwandel im Flugzeugbau ein isoliertes Phänomen darstellt, oder ob die Erkenntnisse, die aus der Betrachtung dieses Materialwandels resultieren, allgemeine Gültigkeit besitzen und sich so auch auf andere technische Anwendungsgebiete und deren Materialevolution anwenden lassen. Neben der Materialentwicklung bei Fluggeräten leichter als Luft, werden hier die Gebiete Architektur, Automobilbau, Schiffbau und Schienenverkehr auf materialtechnische Zusammenhängen und Singularitäten untersucht.

Um den Prozess des Durchsetzens bzw. Scheiterns eines Werkstoffes zu ergründen, ist es wichtig, sich auch mit theoretischen Erklärungsansätzen zu dieser Thematik zu beschäftigen.

Von Darwin¹⁴ ausgehend wird die Entwicklung und Anpassung von Lebensformen an ihre Umwelt Evolution genannt. Auch technische Artefakte unterwerfen sich, oberflächlich betrachtet, einer Evolution. Sie wandeln und entwickeln sich, passen sich an, sowohl an technische Anforderungen, wie auch an die Bedürfnisse seiner Nutzer.¹⁵

In den 1980er Jahren wurde die vorherrschende Ansicht von einer linearen, evolutionären, rein materiellen Technikentwicklung, welche sich ausschließlich auf die sich durchsetzende Technologie beschränkte, in Frage gestellt. Ferguson beschrieb diese konservative Herangehensweise als *„implicit adoption of a linear structure of technological development, which suggests that the whole history of technological development had followed an orderly or rational path, as though today's world was the precise goal towards which*

¹⁴ Darwin, Charles Robert (* 12.02.1809 in Shrewsbury; † 19.04.1882 in Downe).

¹⁵ Zum Vergleich zwischen biologischer Evolution und technologischem Wandel siehe Mokyr 1990. Seite 273 - 299.

all decisions, made since the beginning of history, were consciously directed.“¹⁶

Technik wird hier zu einem neutralen Mittel, sie ist beliebig einsetz- und nutzbar, sie wird zu einem reinen Instrument. Der Vorteil dieser These ist die Entlastung, die sie erzeugt, da jede Verantwortung für Technikfolgen auf den Bereich der Nutzung abgeschoben wird.¹⁷

Der Einfluss des Nutzers auf die Technik wiederum bleibt unberücksichtigt.

Ein früher Vertreter einer Technikgeschichte, die nicht als Wissenschaft von Technikern für Techniker verstanden wurde, war der Österreicher Hugo Theodor Horwitz¹⁸, der Technik als kulturelles Phänomen in einem interdisziplinären Kontext verstand. Der vor allem in der Zwischenkriegszeit publizierende Horwitz versuchte schon früh in Anlehnung an die Biologie, Gesetzmäßigkeiten der Technikentwicklung zu identifizieren: *„Die Entwicklung der technischen Gebilde besitzt in ihren Grundzügen eine große Ähnlichkeit mit der der lebenden Organismen. Wie bei diesen können auch bei jenen Überlebens-, Atavismen und rudimentäre Erscheinungsformen, wie auch 'Sackgassen' der Entwicklung beobachtet werden, und es liegt nahe, die Darstellungsmethoden der organischen Entwicklungsgeschichte auch auf die der technischen Gebilde anzuwenden.*“¹⁹

Und die Übertragung des Evolutionsprinzips auf die Technik hatte ja ihren Sinn: Erfolgreiche technische Neuerungen vollzogen sich in aller Regel nicht in abrupten Sprüngen, sondern in vielen kleinen Schritten²⁰, und der über langjährige praktische Erfahrungen laufende Lernprozess ließ sich nur begrenzt abkürzen oder forcieren.

Es gab einen Begriff der technischen „Entwicklung“, der seinen organischen Sinn bewahrt hatte - etwa wenn Otto Lilienthal erklärte, man könne dem Fliegen durch keine Erfindung und keinen großen Sprung, sondern nur durch stetig vermehrte Erfahrung über freie, stabile und gefahrlose Bewegungen in der Luft näher kommen: *„Ja – ,Entwickeln!‘*

¹⁶ Ferguson, Eugene: *Toward a Discipline of the History of Technology*. In: *Technology and Culture*. Vol 15. 1974. Seiten 13 – 30. Hier Seite 19.

¹⁷ Gleitsmann, Rolf-Jürgen; Kunze, Rolf-Ulrich; Oetzel, Günther: *Technikgeschichte*. Konstanz 2009. Seite 35.

¹⁸ Horwitz, Hugo Theodor (* am 27.02.1882 in Wien, Österreich; † am 28.11.1941 nach Minsk deportiert) war Schriftsteller und Technikhistoriker. Vgl. hierzu Gleitsmann; Kunze; Oetzel 2009. Seiten 287 – 292.

¹⁹ Horwitz, Hugo Theodor: *Entwicklungsgeschichte der Traglager*. in: *Geschichtsblätter für Technik, Industrie und Gewerbe*. Nr. 2, Berlin/München August 1914. Seite 45.

²⁰ Mokyr bemerkt dazu, dass es in der Biologie als auch in der technischen Entwicklung neben der schrittweisen Evolution immer wieder ausgedehnte Phasen des Stillstandes gibt (Mokyr 1990. Seite 277).

das ist der richtige Ausdruck, ‚Entwicklung‘ der richtige Begriff, dessen Beherzigung in der Flugtechnik uns Bahn brechen muß.“²¹

Wie auch schon Horwitz entdeckte, erfolgt technische Evolution selten als Selbstzweck aus sich heraus: *„Die Unstetigkeit der technischen Entwicklung hängt aber auch noch mit anderen Erscheinungsformen, die den biologischen vollkommen fremd sind, zusammen.“*²²

Pinch and Bijker rückten 1984 erstmals die soziale Dimension und den Nutzer als bestimmenden Faktor technischer Entwicklung in den Vordergrund.

Folgt man ihrem Ansatz der *„social construction of technology“* (SCOT)²³, dem sie bei der Entwicklungsgeschichte des Fahrrades auf die Spur gekommen waren, spielen soziale Gruppen und Bedürfnisse eine wichtige Rolle bei der Konstruktion und dem Formen von Wissenschaft und Technologie: *„explanations for the genesis, acceptance and rejection of knowledge-claims are sought in the domain of the Social World rather than in the Natural World.“*²⁴ Technik gehorcht nicht einem biologisch-evolutionären Gesetz. Sie entwickelt sich eben nicht aus einem Selbstzweck heraus und es setzt sich nicht immer die vermeintlich „bessere“ Technik durch. Die Nutzungsanforderungen bestimmen den technischen Wandel und nicht umgekehrt. Dabei sind sich die begrifflichen Erklärungen von Evolution und SCOT nicht unähnlich: *„In SCOT, the developmental process of a technological artifact is described as an alternation of variation and selection.“*²⁵

Pinch und Bijker waren jedoch nicht die ersten, die soziokulturelle Einflüsse auf die Technikentwicklung identifizierten. Friedrich Engels beispielsweise argumentierte bereits Mitte des 19. Jahrhunderts im Sinne eines gesellschaftlichen Bedürfnisses nach technischem und wissenschaftlichem Fortschritt: *„Wenn die Technik [...] in bedeutendem Maße vom Stande der Wissenschaft abhängig ist, so noch weit mehr diese vom Stand und den Bedürfnissen der Technik. Hat die Gesellschaft ein technisches Bedürfnis, so hilft das der*

²¹ Radkau 2008. Seite 184.

²² Horwitz 1914. Seite 46. Vgl. hierzu auch Mokyr: „The „demand“ for technology is a derived demand, that is, it depends ultimately on the demand for the goods and services that technology helps produce; there is little or no demand for technology for its own sake.“ (Mokyr 1990. Seite 151).

²³ Pinch; Bijker 1984. Siehe auch: Oudshoorn, Nelly: Introduction: How Users and Non-Users Matter. In: How Useres Matter: The Co-construction of Users and Technologies. Cambridge 2003. Seite 3.

²⁴ Pinch; Bijker 1984. Seite 401.

²⁵ Ebenda. Seite 411.

Wissenschaft schneller voran als zehn Universitäten.“²⁶

Verschiedene, für die Entwicklung und Nutzung relevante, soziale Gruppen können verschiedene Bedeutungen einer Technologie konstruieren. Dies wurde von Pinch und Bijker „interpretierbare Flexibilität“ genannt: „[...] ,not only that there is flexibility in how people think of, or interpret, artifacts, but also that there is flexibility in how artifacts are designed. There is not just one possible way, or one best way of designing an artifact.“²⁷ Winner beschrieb den Zusammenhang von „interpretierbarer Flexibilität“ und „relevant social group“ 1993 wie folgt: „*What social analysts do in this new focus is to study the „interpretive flexibility“ of technical artifacts and their uses. One begins by noticing that people in different situations interpret the meaning of a particular machine or design of an instrument in different ways. People may use the same kind of artifact for widely different purposes. The meanings attached to a particular artifact and its uses can vary widely as well. In this way of seeing, sociologists and historians must locate the 'relevant social groups' involved in the development of a particular technological device or system or process. They must pay attention to the variety of interpretations of what a particular technological entity in a process of development means and how people act in different ways to achieve their purposes within that process.*“²⁸ Diese Feststellungen werden sich auch bei der Untersuchung der verantwortlichen Flugzeugbauer und relevanten Flugzeuge sowie deren Materialien und Bauweisen zeigen. Eine vorherrschende Bedeutung und ein überwiegender Gebrauch eines Artefakts entwickeln sich erst, wenn sich eine Technologie stabilisiert und die interpretierbare Flexibilität und Probleme mit einem technischen Artefakt verschwinden. Außerdem entscheidet jede „relevant social group“ selbst, welche Probleme es bezüglich eines Artefaktes zu lösen gilt: „*In deciding which problems are relevant, a crucial role is played by the social groups concerned with the artefact, and by the meanings which those groups give to the artefact: a problem is only defined as such, when there is a social group for which it constitutes a problem. [...]. We need to have a detailed description of the relevant social groups in order better to define the function of the artefact with respect to each group. [...]. Having identified the relevant social groups for a certain artefact we are especially interested in the problems each group has with*

²⁶ Marx, Karl; Engels, Friedrich: *Ausgewählte Briefe*. Berlin 1953. Seite 559.

²⁷ Pinch; Bijker 1984. Seite 421.

²⁸ Winner, Langdon: *Upon Opening the Black Box and Finding It Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology*. In: *Science, Technology & Human Values*. Vol. 18, No. 3, 1993. Seiten 362 – 378. Hier Seite 366.

respect to that artefact. Around each problem, several variants of solution can be identified.“²⁹ Um zu verstehen, wie sich Werkstoffe durchsetzen, ist es wichtig zu untersuchen, wie mit den Problemen eines Artefakts umgegangen wird: *„To close a technological controversy the problems need not be solved [...]. The key point is whether the relevant social groups see the problem as being solved. In technology, advertising can play an important role in shaping the meaning which a social group gives to an artifact.*“³⁰ Probleme müssen also nicht gelöst werden, sondern von mindestens einer relevanten sozialen Gruppe als gelöst betrachtet werden. Hier liegt ein entscheidender Punkt für die Materialwahl gerade im Flugzeugbau, auf den noch einzugehen sein wird.

Darüber hinaus muss eine Technologie kulturell akzeptiert werden, um erfolgreich sein zu können.³¹ Auch hierauf wird noch einzugehen sein.

Die SCOT-Theorie erfuhr in den Jahren nach ihrer ersten Beschreibung durch Pinch und Bijker zahlreiche Eränzungen. Ruth Schwartz Cowan beispielsweise unterstrich 1987 die Wichtigkeit der Einbindung des Nutzers bei der Untersuchung technischer Entwicklung. Die Konzentration auf den Nutzer von Technologie erlaube es, Erfolge und Fehlschläge in der Technikgeschichte besser zu verstehen. Wissenschaft und Technologie beginne und ende nicht mit den Taten der Wissenschaftler und Ingenieure.³² Und Roger Silverstone beschrieb 1992 den Prozess des Durchsetzens einer Technologie, also des Verschwindens der „interpretierbaren Flexibilität“ als „domestication“: *„New technologies have to be transformed from unfamiliar, exciting, and possible threatening things into familiar objects embedded in the culture of society and the practices and routines of everyday life.*“³³

Sally Wyatt ergänzte die SCOT-Theorie, indem sie sich mit den Nicht-Nutzern einer Technologie befasste und deren wichtigen Einfluss auf die Formung einer Technologie heraus arbeitete: *„Non-users and people who resist technologies can be identified as important actors in shaping technological development.*“³⁴ Die Nicht(mehr)nutzung eines Artefakts führt zu seinem Verschwinden, egal wie technologisch fortschrittlich es sein mag. Die bloße Konzentration auf den progressiven, evolutionären und erfolgreichen

²⁹ Pinch; Bijker 1984. Seiten 414, 415.

³⁰ Ebenda. Seiten 426, 427.

³¹ Oudshoorn 2003. Seite 12.

³² Ebenda. Seite 5.

³³ Ebenda. Seite 14.

³⁴ Ebenda. Seite 25.

Entwicklungsweg einer Technologie verbietet sich, da gerade die nicht erfolgreichen technischen Artefakte der Technikgeschichte erklären, wie sich eine Technologie formte und am Ende durchsetzte. „*Yet any satisfactory explanation of technological change requires as much attention to failure as to success. It is only through attention to failures that historians can isolate the factors that led to the successful alternative.*“³⁵

Die SCOT-Theorie bietet einen sehr interessanten Ansatz, um das Sich-Durchsetzen einer Technologie oder eines Werkstoffs zu verstehen: „*The success of an artefact is precisely what needs to be explained.*“³⁶ Das Heranziehen des Evolutionsbegriffs für die Entwicklung von Technik mag, oberflächlich betrachtet, zutreffen, denn aus einigem Abstand betrachtet, unterliegt Technik unbestreitbar einer Evolution. Fragt man jedoch nach den Faktoren, welche die Entwicklung einer Technologie beeinflussen, so wird man um den Einfluss des Nutzers nicht herum kommen: „*What is needed is an understanding of technology from inside, both as a body of knowledge and as a social system.*“³⁷

Gerade auch im Flugzeugbau finden sich, wie zu zeigen sein wird, zumindest für einen bestimmten zeitlichen Abschnitt, Entwicklungen, die sich am ehesten durch den sozialen Konstruktivismus erklären lassen. Auch bei der Materialwahl im Flugzeugbau trifft zu, was Pinch und Bijker bei der Untersuchung der Entwicklungsgeschichte des Fahrrads feststellten: „*It is important to recognize that, in the view of the actors of those days, these variants were at the same time very different from each other and equally were serious rivals.*“³⁸

Will man erklären, wieso alternative nicht erfolgreiche, und damit vergessene, Werkstoffe selbst dann nicht in Erwägung gezogen werden, wenn sie sich für ein zukünftiges Problem als geeigneter erwiesen, so liefert der SCOT-Ansatz hier eine nur unbefriedigende Erklärung. Dieses Problem wird uns begegnen, wenn wir untersuchen, wann und wieso im Zweiten Weltkrieg wieder vermehrt Holzflugzeuge gebaut wurden. Pinch und Bijker schreiben dazu in ihrem Beispiel des Fahrrades: „*As a result of the stabilization of the artifact after 1898, one did not need to specify these details: they were taken for granted*

³⁵ Cowan, Ruth Schwarz: *More Work for Mother: The Ironies of Household Technology from the Open Hearth to the Microwave*. New York 1983. Seiten 127, 128.

³⁶ Pinch; Bijker 1984. Seite 406.

³⁷ Layton, E.: *Conditions of Technological Development*. In: Spiegel-Rösing, I.; deSolla Price, D. J. (Hrsg.): *Science, Technology, and Society*. London, Beverly Hills 1977. Seite 198.

³⁸ Pinch; Bijker 1984. Seite 411.

*as the essential „ingredients“ of the safety bicycle.“*³⁹ Das Sich-Nicht-Zurück-Erinnern-Wollen ist demzufolge ein Ergebnis des Stabilisierungsprozesses einer Technologie. Die Mentalitäten, welche ein Interesse am Behalten bestehender Werkstoffe haben, beschrieb Mokyry 1990 folgendermaßen: *„In every society, there are stabilizing forces that protect the status quo. Some of these forces protect entrenched vested interests that might incur losses if innovations were introduced, others are simply don't-rock-the-boat kinds of forces. Technological creativity needs to overcome these forces.“*⁴⁰ Die erwähnte Kreativität betrifft auch die Erwägung von Werkstoffen, die nicht (mehr) gebräuchlich sind.

Zur weiteren Beschreibung des Phänomens kann hier ein Ansatz in die Technikgeschichte eingeführt werden, der eigentlich aus der Umweltpsychologie stammt: die Theorie der „Shifting Baselines“: *„Im Alltag werden schleichende Veränderungen der sozialen und physikalischen Umwelt meist nicht registriert, weil sich die Wahrnehmung an die Veränderung ihrer Umwelten permanent nachjustiert.“*⁴¹ *Menschen halten immer jenen Zustand ihrer Umwelt für den 'natürlichen', der mit ihrer Lebens- und Erfahrungszeit zusammenfällt – in der Regel genügt der Übergang von einer Generation zur nächsten, um massive Veränderungen der Umweltwahrnehmung zu finden.“*⁴² Oder anders zusammen gefasst: Menschen haben den Eindruck, alles bliebe im Großen und Ganzen gleich, obwohl sich Fundamentales verändert hat.⁴³

Dieser Ansatz lässt sich nach Welzer auch für die Beschreibung sozialer Prozesse anwenden und wird damit als Erklärungsmodell für die kultur-soziologischen Gründe des Werkstoffwandels interessant - gerade auch deshalb, weil noch gezeigt werden wird, dass bei den Flugzeugbauern zwischen 1903 und dem Zweiten Weltkrieg mehrere, in ihrer konstruktionsweisen Herangehensweise sehr unterschiedliche Generationen deutlich unterscheidbar sind.

Im Wettstreit der Werkstoffe werden weitere Ansätze dazu beitragen den Werkstoffwandel von Holz zu Metall zu erklären. Dem „Pluto-Effekt“ von Gijs Mom folgend, übernimmt eine Technologie, die bedroht ist, von der alternativen, bedrohenden Technologie die Ei-

³⁹ Ebenda. Seite 416.

⁴⁰ Mokyry 1990. Seite 12.

⁴¹ Neitzel, Sönke; Welzer, Harald: Soldaten. Protokolle vom Kämpfen, Töten und Sterben. Frankfurt a.M. 2011. Seite 26.

⁴² Welzer, Harald: Klimakriege. Wofür im 21. Jahrhundert getötet wird. Bonn 2008. Seiten 214, 215.

⁴³ Neitzel; Welzer 2011. Seite 26.

genschaften, die sie selber nicht besitzt, aber die sie nutzen kann, um die Vorteile des Rivalen zu verringern und so den Übergang zu der neuen, vermeintlich „besseren“ Technologie weniger verlockend erscheinen zu lassen.⁴⁴ Es wird zu überprüfen sein, ob dieser Ansatz auch auf die Wahl der Werkstoffe im Flugzeugbau anzuwenden ist.

Ein weiterer Ansatz, der bei der Betrachtung des Werkstoffwandels anwendbar erscheint, ist der „Sailing-Ship-Effect“ von W. H. Ward: *„time, energy, intelligence and money are spent in improving a concept, a branch of knowledge or a device that is inevitably being supplanted by the fruit of more original thinking.“*⁴⁵ Ward identifiziert zwei Prozesse in der Entwicklung von Wissenschaft: das Erschaffen völlig neuer Konzepte und Mittel und das Verbessern bestehender. Dieser Ansatz wird uns wieder begegnen, wenn wir die Persönlichkeiten untersuchen, die den Werkstoffwandel im Flugzeugbau entweder vorantrieben oder eher blockierten.

Zum Forschungsstand der behandelten Themen der Werkstoffgeschichte der Luftfahrt und dem Übergang vom Holz- zum Metallbau bei Flugzeugen und auf anderen technischen Gebieten ist zu sagen, dass diese Themen bisher weitgehend Forschungsdesiderate blieben. Eine einheitliche Werkstoffgeschichte der Luftfahrt existiert nicht und auch auf anderen technischen Gebieten, wie dem Automobilbau, wird die Werkstofffrage meist nur gestreift. Zum Übergang von der Holz- zur Metallbauweise bei Flugzeugen erschienen bisher lediglich Arbeiten des US-Amerikaners Eric Schatzberg⁴⁶. Er konzentriert sich bei der Forschung jedoch stark auf die USA, was angesichts der deutschen Pionierleistung auf diesem Gebiet unzureichend erscheint.

Lutz Budraß geht in seinem Buch „Flugzeugindustrie und Luftrüstung in Deutschland 1918-1945“⁴⁷ auch auf Werkstofffragen beim Flugzeugbau ein, muss aber auf Grund seiner nationalen Ausrichtung die Entwicklung auf internationaler Ebene ausklammern.

⁴⁴ Mom, Gijs: Das „Scheitern“ des frühen Elektromobils (1895 – 1925). Versuch einer Neubewertung. In: Technikgeschichte 64 (1997), Seite 269 – 285. Hier Seite 280.

⁴⁵ Ward, W. H.: The sailing ship effect. In: Bulletin of the Institute of Physics and the Physical Society 18 (1967), Seite 169.

⁴⁶ Schatzberg, Eric: Ideology and Technical Choice: The Decline of the Wooden Airplane in the United States, 1920-1945. In: Technology and Culture: The International Quarterly of the Society for the History of Technology. Baltimore 1994.

Schatzberg, Eric: Wings of Wood, Wings of Metal. Culture and Technical Choice in American Airplane Materials, 1914 – 1945. Princeton 1999.

⁴⁷ Budraß, Lutz: Flugzeugindustrie und Luftrüstung in Deutschland 1918-1945. Düsseldorf 1998.

Trotzdem liefert er viele wichtige Hinweise und Ausführungen zum Thema.

Susanne Weiß veröffentlichte 2010 mit „Kunst + Technik = Design?“⁴⁸ ein Werk, das sich mit Materialfragen im Flugzeugbau beschäftigt. Die Zusammenhänge von Kunst und Materialien stellt sie ausführlich da, ohne die politische Dimension außer Acht zu lassen. Interessant sind vor allem ihre Untersuchungen zur Innenausstattung der frühen Verkehrsflugzeuge. Ihre Ausführungen können ergänzend zu der vorliegenden Arbeit verstanden werden, in der die Frage der Flugzeuginnenausstattung leider unberücksichtigt bleiben muss. Was bei Weiß leider zu kurz kommt, ist die technische Dimension der Materialfrage im Flugzeugbau. Eine Betrachtung des Flugzeugs als technisches Artefakt bleibt bei ihr oberflächlich und auf wenige Flugzeugtypen beschränkt. Auf die hier behandelte Frage nach den Gründen für das Sich-Durchsetzen eines Werkstoffs gibt Weiß keine Antwort.

Im Bezug auf Materialfragen und die Materialgeschichte sind die Veröffentlichungen⁴⁹ des britischen Materialwissenschaftlers James Edward Gordon herauszustellen. Nach einem Studium des Schiffbaus arbeitete der 1913 geborene Gordon bis zum Zweiten Weltkrieg im Holz- und Metallschiffbau. Im Krieg war er dann am Royal Aircraft Establishment in Farnborough beschäftigt und forschte an Holzflugzeugen, Plastik und unorthodoxen Materialien jeglicher Art. Auch nach dem Krieg experimentierte er weiterhin an Materialien, wie Plastik und Glas.⁵⁰ Seine Tätigkeit in unterschiedlichen Konstruktionsgebieten ermöglichte ihm Einblicke in Materialfragen und die Materialgeschichte unterschiedlicher technischer Artefakte. Für die vorliegende Arbeit besonders interessant ist die Tatsache, dass auch er bereits auf die Tatsache stieß, dass die Materialentwicklung nicht immer rein technisch begründet werden kann.

Wichtigste Primärquelle der vorliegenden Arbeit ist die britische Luftfahrtzeitschrift

⁴⁸ Weiß, Susanne: Kunst + Technik = Design? Materialien und Motive der Luftfahrt in der Moderne. Köln, Weimar, Wien 2010.

⁴⁹ Gordon, J. E.: Structures. or Why things don't fall down. Cambridge 2003. Gordon, J. E.: The New Science of Strong Materials. Or Why You Don't Fall Through the Floor. Harmondworth 1975. Gordon, J. E.: Strukturen unter Stress. Mechanische Belastbarkeit in Natur und Technik. Heidelberg 1989.

⁵⁰ Zu Kurzbiographien J. E. Gordons siehe Klappentext von Gordon, J. E.: The New Science of Strong Materials. Or Why You Don't Fall Through the Floor. Harmondworth 1975; Homepage des Verlags PenguinBooks: <http://www.penguin.co.uk/nf/Author/AuthorPage/0,,1000004802,00.html> (Stand: 14.07.2011).

*Flight*⁵¹, die als einzige Luftfahrtzeitschrift weltweit, durchgehend seit 1909 veröffentlicht wird. Von Beginn an ist *Flight* darüber hinaus offizielles Organ des „Royal Aero Club of the United Kingdom“, einem Club, der für private und Sportfliegerei in Großbritannien sowie für Flugrekorde und Flugwettbewerbe verantwortlich ist.

Die Ausgaben beinhalten von Anfang an neben sehr detaillierten Beschreibungen des strukturellen Aufbaus der vorgestellten Flugzeuge auch von Flugzeugbauern und Ingenieuren selbst verfasste Artikel zu Konstruktionsfragen. So schrieb beispielsweise Geoffrey de Havilland 1912 einen Artikel über Fahrwerke⁵², der italienische Luftschiffpionier Umberto Nobile⁵³ 1922 einen Vergleich⁵⁴ zwischen starrem und halbstarrem Luftschiff und der deutsche Konstrukteur Gerhard Fieseler⁵⁵ 1928 einen Artikel über „Aerobatics“⁵⁶. Ab 1926 bekommt *Flight* den Bereich „*The Flight Engineer*“, in dem regelmäßig wissenschaftliche Artikel publiziert und neue wissenschaftliche Literatur vorgestellt werden. Der Trend zur Verwissenschaftlichung des Flugzeugbaus macht also auch vor *Flight* nicht halt. Ihm wird durch diesen *Flight*-Teil entsprochen. Im Zweifel beinhalten die Artikel aber grundsätzlich eher mehr als weniger technische Details, welche das Verständnis für den „Nichtfachmann“ unter Umständen stark einschränken können (siehe Abbildung „Vermerk in *Flight* zur Zielgruppe“). Ergänzt werden die Artikel durch detaillierte technische Zeichnungen und seit den 1920er Jahren werden aufwändige Risszeichnungen zu beschriebenen Flugzeugen publiziert.

⁵¹ Der Name wird auch als „Flight Magazine“ oder „Flight International“ angegeben. Dies unterstreicht die internationale Ausrichtung des Luftfahrtorgans. Im Folgenden wird die Zeitschrift nur mit „Flight“ bezeichnet. Die Website von Flight ist unter der Adresse www.flightglobal.com zu finden.

⁵² *Flight* vom 09.03.1912. Seite 217.

⁵³ Nobile, Umberto (* 21.01.1885 in Lauro; † 30.07.1978 in Rom).

⁵⁴ *Flight* vom 26.01.1922. Seite 49.

⁵⁵ Fieseler, Gerhard (* 15.04.1896 in Glesch; † 01.09.1987 in Kassel).

⁵⁶ *Flight* vom 05.01.1928. Seite 3.

THE non-technical reader should not pass over this article under the impression that it is of a very "advanced" nature ; actually, it is so phrased that anyone of normal intelligence can fully understand it, and, since it deals with a matter which may soon become of paramount importance in aircraft construction, no one who prides himself on being reasonably well informed on aeronautical matters should omit to study it

Abbildung 2: Vermerk in *Flight* zur Zielgruppe eines Artikels. Aus: *Flight* (16.01.1936).

Trotzdem richtet sich *Flight* an jeden Luftfahrtinteressierten, obgleich das Verstehen der publizierten Artikel durchaus Grundkenntnisse des Flugzeugbaus voraussetzt. Im Gegensatz zu populären deutschen Flugzeitschriften, wie beispielsweise der Zeitschrift „Flugsport“ deckt *Flight* alle Bereiche des Flugwesens ab. Dabei konzentriert sich *Flight* nicht nur auf den britischen Raum, sondern beleuchtet von Anfang an auch den Flugzeugbau in anderen Ländern. Während des Ersten Weltkriegs werden beispielsweise auch die deutschen Flugzeuge sehr detailliert beschrieben, was gerade bezüglich der ersten Ganzmetallflugzeuge interessant ist. Die internationale Ausrichtung wird auch dadurch belegt, dass ab Ende der 1920er Jahre und der Kommerzialisierung des Flugzeugbaus und der Luftfahrt auch nicht-britische Flugzeughersteller wie Rohrbach, Fiat und Ford, in *Flight* für ihre Flugzeuge werben.



Abbildung 3: Rohrbach-Werbung in Flight. Aus: Flight (04.04.1929).

An der Zunahme der Werbeanzeigen (auch der internationalen) in den 1920er Jahren lässt sich auch der hohe Stellenwert von *Flight* als internationales Luftfahrtorgan ablesen.

Die hohe Qualität der technischen Beschreibungen und die Tatsache, dass wichtige Persönlichkeiten des Flugzeugbaus hier publizieren und publizierten macht *Flight* zu einer besonderen Quelle, gerade wenn es um die Beschreibung früher Flugzeugkonstruktionen geht.

Viele der hier verwendeten Titel zur allgemeinen Luftfahrtgeschichte verweisen nur in kleinen Kapiteln oder Absätzen auf Materialfragen beim Flugzeugbau, so zum Beispiel

Crouchs und Hallions Werke zur Geschichte der Luftfahrt⁵⁷ oder Morrows Buch über die Militärliegerei zwischen 1909 und 1921.⁵⁸

Gerhard Wissmann geht in seiner Geschichte der Luftfahrt⁵⁹ an zahlreichen Stellen auf Flugzeugwerkstoffe ein. Sein Buch erschien in Ostberlin, und weißt eine ideologische Durchdringung auf. So spricht er beim Wright Flyer von einer „*typisch amerikanischen*“⁶⁰ Arbeitsweise und später verweist er auf die „*unermüdliche Fürsorge des Sowjetstaates für seine Luftfahrt*“⁶¹. Angesichts der Tatsache, dass Forschung und Politik überall Einfluss auf die Materialentwicklung nahmen, führt die ideologische Durchdringung zu Unklarheiten bezüglich der politischen Motivation neue Werkstoffe einzuführen. Abgesehen davon liefert aber Wissmanns Werk interessante Materialinformationen gerade zu den frühen Fluggeräten.

Wichtige Quellen über die deutsche Luftfahrtforschung und den Entwicklungsstand des Metallbaus zu Beginn der 1920er Jahre sind Artikel zu Materialfragen⁶², welche Konstrukteure selbst veröffentlichten und durch die Wissenschaftliche Gesellschaft für Luftfahrt herausgegebenen Artikel⁶³ zu Materialfragen des Flugzeugbaus. Weiterhin ist die Junkers-Biographie von Richard Blunck⁶⁴ aufschlussreich für die Beweggründe Hugo Junkers' sich dem Metallbau zu widmen. Junkers war sich offensichtlich seiner Pionier-

⁵⁷ Crouch, Tom D.: Wings. A History of Aviation from Kites to the Space Age. New York, London 2003. Hallion, Richard P.: Taking Flight. Inventing the Aerial Age from Antiquity to the First World War. Oxford, New York 2003.

⁵⁸ Morrow, John H. Jr.: The Great War in the Air. Military Aviation from 1909 to 1921. Smithsonian History of Aviation Series. Washington/London 1993.

⁵⁹ Wissmann, Gerhard: Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart. Eine Darstellung der Entwicklung des Fluggedankens und der Luftfahrttechnik. Berlin 1975.

⁶⁰ Ebenda. Seite 286.

⁶¹ Ebenda. Seite 386.

⁶² Junkers, Hugo: Eigene Arbeiten auf dem Gebiete des Metall-Flugzeugbaues. Vortrag auf der Jahresversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt am 10.12.1919. in: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1922. München/ Berlin 1923. Junkers, Hugo: Metal Aeroplane Construction. In: Journal of the Royal Aeronautical Society 28 (1923).

⁶³ S.o. und Brenner, Paul: Baustofffragen bei der Konstruktion von Flugzeugen. Vortrag auf der 20. Ordentlichen Mitgliederversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt e.V. (WGL). In: Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt Nr. 21. München 14.11.1931.

⁶⁴ Blunck, Richard; Junkers, Hugo: Der Mensch und das Werk. Berlin 1942.

leistungen auf dem Gebiet des Metallflugzeugs sehr bewusst. Vorträge, wie der den er 1923 vor der Royal Aeronautical Society hielt, benutzte er auch als Plattform, um den Versailler Vertrag und seine Beschränkungen für den deutschen Flugzeugbau zu kritisieren: „we are [...], chained by the clauses of the peace treaty, [...].“⁶⁵

Fokkers Autobiographie⁶⁶ ist ebenfalls aufschlussreich, da sie erkennen lässt, wie sich Fokker gegen den allgemeinen Trend der Verwissenschaftlichung des Flugzeugbaus stellte.

Dass die Untersuchung des Materialwandels bis jetzt weitgehend ein Forschungsdesiderat blieb, ist aus verschiedenen Gründen unverständlich.

Zum einen ermöglicht das Untersuchen des Werkstoffwandels im Flugzeugbau modellhaft Werkstoffveränderungen auf anderen Gebieten besser zu verstehen und Mechanismen zu erkennen wie ein solcher Wandel technologisch, sozial und kulturell beeinflusst wird und vonstatten geht. Durch den Vergleich mit anderen technischen Artefakten werden Gemeinsamkeiten, aber auch Singularitäten identifizierbar.

Zum anderen kann das Studieren des Materialwandels helfen vergangene, laufende und in der Zukunft liegende materielle Veränderungsprozesse zu verstehen und zu erkennen. Es ist weiterhin interessant nachzuvollziehen, wie sich unterschiedliche Werkstoffe in direkter Konkurrenz entwickeln und was dann letzten Endes den Ausschlag gibt, dass sich der eine gegenüber dem anderen durchsetzt.

Der Flugzeugbau ist vor allem deshalb interessant für die Betrachtung, da er eine relativ junge Technologie darstellt. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war das Flugzeug eine der wichtigsten Hochtechnologien und ist es bis heute geblieben. An einer solch populären Technik lässt sich gut erkennen, wie soziale, politische und kulturelle Einflüsse eine Technologie verändern können. Kaum ein technisches Artefakt stand so für Modernität wie das Flugzeug und so sollte es auch aus Materialien bestehen, die ebenfalls als modern galten und als solche auch gesellschaftlich angesehen waren. So schreibt Susanne Weiß über die Kunst, was sich auch auf den Flugzeugbau übertragen ließe: „*Die Moderne ist aus Metall. Das Design der zwanziger Jahre ist ohne verchromtes Stahlrohr, ohne silbrig glänzende Oberflächen, ohne den matten Schimmer des Aluminiums gar nicht zu denken.*“

⁶⁵ Junkers, Hugo: Metal Aeroplane Construction. In: Journal of the Royal Aeronautical Society 28 (1923). Seite 409.

⁶⁶ Fokker, Anton Herman Gerard; Gould, Bruce: Der fliegende Holländer. Das Leben des Fliegers und Flugzeugkonstruktors A.H.G. Fokker. Zürich, Leipzig, Stuttgart 1933.

Innerhalb weniger Jahre wird das Holz zum gestrigen Werkstoff selbst dort, wo man es eben noch mit Kenntnis und Experimentierfreude zu neuen Formen verarbeitet hat.“⁶⁷

Die Wurzeln der Luftfahrt reichen lange zurück. Über Jahrhunderte wurde versucht das Problem des Fluges durch Versuch und Irrtum (Trial and Error) zu lösen. Ähnlich verfuhr man bei der Materialwahl. Erfolge verstetigten sich erst, als sich der Flugzeugbau verwissenschaftlichte und die Konstruktionen zunehmend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und abnehmend auf dem Zufall beruhten. Auch die Materialien folgten diesem Trend, welcher der Luftfahrt zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts zu einem enormen Aufschwung verhalf.

Dabei darf jedoch nicht vergessen werden, dass sich manche Materialien je nach Anforderung durchaus besser für den Flugzeugbau eigneten als andere. Erst die relative Gleichwertigkeit verschiedener Baustoffe macht es nötig das Durchsetzen einer der beiden durch soziale und kulturelle Einflüsse zu erklären, auch wenn diese Einflüsse bereits die Materialforschung beeinflussen.

Die vorliegende Arbeit soll dem Aufruf Pinch und Bijkers nachkommen, die da forderten: *„More systematic studies of closure mechanisms in science and technology are [...] needed.*“⁶⁸ Gleichzeitig soll die Richtigkeit ihrer Annahmen, bezogen auf den Flugzeugbau, überprüft werden.

Für zukünftige Forschungen wäre es lobenswert, wenn die Werkstoffgeschichte der Luftfahrt bis zu heutigen Konstruktionen und auf die Raumfahrt ausgedehnt würde. Des Weiteren wäre es interessant den momentan stattfindenden Materialwandel hin zu modernen Kompositmaterialien weiter zu untersuchen und diesen mit dem Übergang von der Holz- zur Metallbauweise zu vergleichen.

⁶⁷ Weiß 2010. Seite 31.

⁶⁸ Pinch; Bijker 1984. Seite 430. „Closure“ bezeichnet den Zustand, wenn sich die Bedeutung und Verwendung eines technischen Artefakts, nach Überwindung der interpretierbaren Flexibilität, stabilisiert hat.

„Denn auch in Dingen, die für unseren äußeren Sinn minder anziehend sind, bietet die schaffende Natur denen, die im Stande sind, die Ursachen zu erkennen und von Natur Philosophen sind, unaussprechliche Vergnügungen dar. Denn es wäre ja widersinnig und seltsam, wenn uns [...] die Betrachtung der Naturgebilde selbst nicht noch mehr anziehen sollte, da wir die Ursachen betrachten können [...] denn in allen Naturdingen liegt etwas Bewundernswerthes; und so wie Heraklitus zu seinen Gästen gesagt haben soll, die ihn besuchen wollten, diese sahen ihn nämlich, als sie eintraten ganz erhitzt am Kamine und blieben deshalb stehen, (er aber hieß sie nur ungescheut eintreten, indem er hinzufügte: auch hier sind die Götter); ebenso müssen auch wir an die Untersuchung eines jeden Thieres gehen, ohne die Nase zu rümpfen, da ja in allen Dingen etwas natürliches und vortreffliches ist.“

- Aristoteles⁶⁹

⁶⁹ Aristoteles: De Partibus Animalium I. 5. Zitiert nach Bekke, Immanuel: Aristoteles. Über die Theile der Tiere. Berlin 1829.

2. Eine Werkstoffgeschichte der Luftfahrt bis zum Ersten Weltkrieg

2.1 Die Anfänge der Luftfahrt

Der Traum vom Fliegen ist wohl so alt wie die Menschheit selbst. Schon früh versuchten Menschen mit selbstgebauten Flügeln den Vogelflug nachzuahmen. Nach der griechischen Mythologie sammelten der griechische Baumeister Dädalus und sein Sohn Ikarus Vogelfedern, verknüpften sie und verbanden die Kiele mit Wachs. Mit je zwei auf diese Weise hergestellten Flügelpaaren, mit Tragbändern an den Armen befestigt, erhoben sie sich, der Sage nach, wie die Vögel in die Luft und flogen übers Meer, wobei das nicht hitzebeständige Wachs dem zu nahe zur Sonne fliegenden Ikarus zum Verhängnis wurde;⁷⁰ ein frühes Beispiel für ein Flugzeug-Baumaterial, das an Witterungseinflüssen scheiterte.

Ballone ermöglichten schon im 18. Jahrhundert den Menschenflug. Konstruktionen, die „schwerer als Luft“ waren, also durch den dynamischen Auftrieb einer Fläche flogen, schafften erst im 19. Jahrhundert den Menschen wenigstens durch die Luft gleiten zu lassen. Der Motorflug, zu dem gehört, dass der Start mit eigener Kraft, ohne Verwendung geneigter Ebenen oder Katapulte, erfolgen kann, die Flughöhe beibehalten und das Flugzeug vom Piloten mittels der Steuerung einwandfrei beherrscht wird⁷¹, war erst nach der Verfügbarkeit leichter Verbrennungsmotoren möglich. Die wichtigsten Zäsuren der Fluggeschichte bis zum Erscheinen des Ganzmetallflugzeugs sind das Wirken Da Vincis⁷², die Forschungen und Konstruktionen Lilienthals⁷³ und das erste Motorflugzeug der Gebrüder Wright⁷⁴ und so wird auch bei dieser Werkstoffgeschichte auf diese Zäsuren besonders eingegangen.

⁷⁰ Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow, Ludwig: Ein Jahrhundert Flugzeuge. Geschichte und Technik des Fliegens. Düsseldorf 1990. Seite 98.

⁷¹ Wissmann 1975. Seite 230.

⁷² Da Vinci, Leonardo (* 15.4.1452 in Anchiano; † 2.5.1519 in Amboise).

⁷³ Lilienthal, Karl Wilhelm Otto (* 23.5.1848 in Anklam, Pommern; † 10.8.1896 in Berlin).

⁷⁴ Wright, Orville (* 19.8.1871 in Dayton, Ohio; † 30.1.1948) und Wright, Wilbur (* 16.4.1867 in Melville, Indiana; † 30.5.1912 in Dayton, Ohio).

Bis zum Wirken da Vincis am Ende des Mittelalters war die Herangehensweise an die Konstruktion von Fluggeräten, die den Menschenflug ermöglichen sollten, überaus rudimentär. Fehlendes technisches Verständnis und die fehlenden technischen Fähigkeiten der frühen Flugapparatkonstrukteure verhinderten Erfolge im Bereich des Menschenfluges. Man versuchte den Vogelflug zu kopieren, scheiterte aber an der praktischen Umsetzung, auch weil man die komplexen physikalischen Gesetze der Aerodynamik nicht erkannte oder verstand.

*„Leonardo da Vinci seems to have been the first person to honestly believe that mechanical flight was possible and would be achieved through careful observation, the study of the basic physical principles underlying flight in nature, and a rational attempt to imagine artificial flying machines based on those principles.“*⁷⁵ Auch Da Vincis Intention war, die Natur zu kopieren oder zu imitieren: *„Leonardo’s concept of human flight strongly imitates nature. He observes nature in order to re-create it, just as he does for painting. Simply being able to fly is not enough; the goal is to re-create, in form and function, a machine with the same characteristics as creatures who fly naturally, like the birds. At least from this point of view, today’s modern, engine-driven flight would have certainly disillusioned Leonardo.“*⁷⁶

Als Vorbild nahm er neben dem Vogel auch Insekten und Fledermäuse.⁷⁷ Da Vinci glaubte, dass sich der federfreie Fledermausflügel einfacher nachbilden ließe als der Vogelflügel.⁷⁸ Seine Konstruktionen blieben meist theoretischer, skizzenhafter Natur:

*„Problems relating to the entirety of the wing structure, or proposing a completed machine, are not addressed by Leonardo in these studies. In some of the drawings the flying machine is indeed fully sketched out, but these say little from a structural and design point of view.“*⁷⁹

Zur Konstruktion des Flügels wollte er Fichtenholz, das faserig und leicht ist, Barchent⁸⁰,

⁷⁵ Crouch 2003. Seite 27.

⁷⁶ Laurenza, Domenico: Leonardo on Flight. Baltimore 2004. Seite 70.

⁷⁷ Vgl. ebenda 2004. Seite 17.

⁷⁸ Wissmann 1975. Seite 42.

⁷⁹ Laurenza 2004. Seite 54.

⁸⁰ Mischgewebe aus Baumwolle auf Leinenkette.

auf das Federn festgeklebt sind, gestärkten Taft⁸¹ und Pappe verwenden.⁸² Diese Materialien legen die Vermutung nahe, dass da Vinci bereits bestrebt war, das Gewicht des Fluggeräts möglichst gering zu halten.

Seine Fluggeräte basierten auf der menschlichen Muskelkraft. Der Flieger sollte ähnlich einem Vogel die Flügel schlagen, um zu fliegen. Der Flügelschlag wurde bis weit in das 19. Jahrhundert als einzig mögliche Antriebsform betrachtet. Mit dem Segelflug befasste sich Da Vinci ebenso wie mit Fallschirmen und Hubschrauben. Hier sah er die Verwendung von mit Stärkekleister abgedichteter Leinwand vor.

Da Vincis empirische, methodische und sehr theorielastige Vorgehensweise stellen eine erste wichtige Zäsur in der frühen Luftfahrtgeschichte dar. Über die Wichtigkeit der Forschung im Gegensatz zur Praxis äußerte sich Da Vinci wie folgt: *„Those who are enamoured of practise without science are like the helmsman who navigates without rudder and compass, never certain where he goes.“*⁸³ Seine Entwürfe und auch die von ihm verwendeten Materialien waren für die folgenden Jahrhunderte richtungweisend und inspirierend, beispielsweise für Lilienthal.

Auch in den folgenden Jahrhunderten glaubte man, dass der Mensch nur durch seine eigene Muskelkraft fliegen könne. Bei den verwendeten Materialien kann man die angestrebte Kopie des Vogelflugs erkennen, denn Federn wurden beispielsweise oft verwendet. So benutzte der Mönch Caspar Mohr aus dem Kloster Schussenried in Württemberg im Jahre 1600 Flügel aus Gänsefedern und Treibschnüren. 1729 verwendete der Schmied Grosa für seine Flügel Draht und Vogelfedern. An Armen und Beinen befestigte er zusätzlich Federn von Habicht und Möwe. 1766 ließ sich der holländische Drechsler Adrian Baartjen Adlerfedern aus den Karpaten anliefern, um aus diesen seine Flügel zu fertigen. Und auch Abbé Desforges benutzte für sein Fluggerät 1772 Vogelfedern.⁸⁴ Vom biologischen und aerodynamischen Standpunkt aus betrachtet sind Federn durchaus auch ein sehr guter Werkstoff: *„There are, no doubt, aerodynamic advantages in using feathers, since their employment extends the choice of outside shapes which the animal can make use of. For one thing, 'thick' wing-sections have often better aerodynamic efficiencies than the thin ones which result from membranes. It is easy to get an efficient 'thick' sec-*

⁸¹ leinwandbindiges Gewebe aus Seide.

⁸² Wissmann 1975. Seite 42.

⁸³ Laurenza 2004. Seite 92.

⁸⁴ Beispiele aus: Wissmann 1975. Seiten 49, 55.

tion by padding out the wing profile with feathers at the cost of very little weight increase. Furthermore, feathers are better adapted than skin and bone for providing anti-stalling devices such as 'slots' and 'flaps'.“⁸⁵

Fluggeräte wurden aber auch mit Leder, Papier oder Stoff bespannt.

1765 erbat Melchior Bauer bei seinem preußischen König Friedrich II finanzielle Mittel für ein Fluggerät, das über die bloße Verwendung von Federn weit hinausging:

*„Und so sieht der Wagen von vornen zu, deßgleichen auch von hinten. Wo die 1 stehet, das sind des Himmels [Tragflächen] Steifendräte, welche beim Kreuzen mit Hänfenöhren, die gleich mit eingebunden werden, wenn man die zusammengefüigten Rüppen [Rippen] umbindet, daß also die Steifendräte darinne unten und oben befestigt werden können, 2. die Flügel, 3. die Himmelsseulen, welche gleich sind zwey Mastbäumen, die also den ganzen Himmel steif und ausgebreitet halten können, 4. der Himmel [...] der flache Himmel, welcher also siehet: Wo die 1 stehet, ist schwacher Draht, 2. Holtz, 3. der hintere Ort oder Schwantz, 4. das sogenannte Rückrad, weil daran der Schantz und die langen und die kurtzen Himmelsrippen sind [...] ferner vom Bauen: Es wird aber das Holtz zu dem Wagenbau auß solchen Dännen, Fichten und Küfern mit Keilen gespält, welche Bäume aber gantz mager erwachsen, keine schädlichen Äste, krümmen noch wedischen Wuchs haben dürfen [...].“*⁸⁶

Bemerkenswert an Bauers Fluggerät ist die Beschreibung der geforderten Holzqualität und dass er bereits gepfeilte Flügel vorsah.⁸⁷

All diese Versuche scheiterten und führten nicht zum Fliegen, sondern zu mehr oder weniger dramatischen Unfällen: „[...] they all failed because of the lack of knowledge concerning the nature of the lift-generating air forces.“⁸⁸

Im Jahre 1807 entwickelte der Wiener Uhrmacher Jakob Degen einen Flügelapparat mit einer Spannweite von 6,7 Metern und einem Gewicht von nur neun Kilogramm (kg). Um dieses geringe Gewicht zu erreichen, verbaute er Bambus, Schilfrohr, Bindfaden und ge-

⁸⁵ Gordon 2003. Seite 130.

⁸⁶ Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 98.

⁸⁷Gepfeilte Tragflächen verringern bei hohen Fluggeschwindigkeiten den Luftwiderstand des Flugzeugs, bieten dafür aber weniger Auftrieb. An Bauers Fluggerät hätten sie aber sicherlich keinen positiven Effekt auf die Flugleistungen gehabt.

⁸⁸ Hirschel, Ernst Heinrich; Prem, Horst; Madelung, Gero: Aeronautical Research in Germany. From Lilienthal until Today. Berlin, Heidelberg 2004. Seite 19.

firnisstes Pergamentpapier.⁸⁹ Mit Hilfe eines Gegengewichts schaffte er durch Flügelschläge immerhin einen Auftrieb von 43,7 Kilopond (kp).⁹⁰ Später verwendete Degen auch Seidenstoff für die Bespannung.⁹¹

Das 19. Jahrhundert brachte der Luftfahrt vor allem die Dampfmaschine und die sich langsam durchsetzende Einsicht, dass eine solche oder ähnliche Kraftmaschine zuverlässiger und kraftvoller war als die menschliche Muskelkraft. Ab der Mitte des 19. Jahrhunderts konzentrierten sich die Bemühungen darauf, einen genügend leichten Motor zu entwickeln (geringes Masse-Leistungs-Verhältnis). So konzipierte William Henson⁹² zusammen mit John Stringfellow⁹³ im Jahre 1842, basierend auf den Erkenntnissen von Sir George Cayley⁹⁴, ein Flugzeug, das mit Dampfmaschine und Luftschrauben angetrieben wurde: *„The model consists of an extended surface or aeroplane of oiled silk, or canvas stretched upon a bamboo frame made rigid by trussing, both above and below. A car is attached to the under side of the aeroplane to contain the steam engine, passengers, &c.“*⁹⁵

Ein Motor machte das Fluggerät aber auch schwerer und so mussten für den Zellenbau stabilere Werkstoffe verwendet werden. 1857 meldeten die französischen Brüder Felix und Louis du Temple ein Patent für ein Motorflugmodell an. Sie wollten bereits einen sechs Pferdestärken (PS) starken Motor verwenden. Ein weiteres Novum war, dass dieser Motor eine Luftschraube antreiben sollte. Die Flugmasse sollte eine Tonne betragen, was auch im Zellenbau neue Materialien erforderte. Stahlrohre mit Holzleisten sollten zur

⁸⁹ Schwipps, Werner: Schwerer als Luft. Die Frühzeit der Flugtechnik in Deutschland. Koblenz 1984. Seite 15.

⁹⁰ Wissmann 1979. Seite 59. Eine Masse von 1 kg erfährt im Mittel auf der Erde in Meereshöhe die Gewichtskraft von ca. 1 kp (Kilopond). Die Gewichtskraft eines Objekts ist das Produkt seiner schweren Masse mit der am Ort herrschenden Schwerebeschleunigung g.

⁹¹ Kurz, Eugen: Albrecht Ludwig Berblinger, der Schneider von Ulm. Ein geschichtliches Lebensbild. In: Der Schneider von Ulm. Fiktion und Wirklichkeit. Veröffentlichungen der Stadtbibliothek Ulm. Band 7. Weißenhorn 1986. Seite 34.

⁹² Henson, William Samuel (* 03.05.1812 wahrscheinlich in Chard, Somerset, England; † 1888 in Newark, New Jersey, USA), auch als Mad-man Henson bekannt, war ein britischer Erfinder, der 1848 in die USA emigrierte.

⁹³ Stringfellow, John (* 1799 in Sheffield; † 13.12.1883 in London).

⁹⁴ Cayley, Sir George (*27.12.1773 in Scarborough, Yorkshire; † 15.12.1857 in Brompton).

⁹⁵ Flight vom 24.04.1909. Seite 240.

Anwendung kommen und es wurde bereits Aluminium als Baumaterial vorgeschlagen!⁹⁶ Hauptsächlich wegen des hohen Gewichts und der zu geringen Leistung dieser ersten Flugzeugmotoren waren all diese Versuche zum Scheitern verurteilt. Was benötigt wurde, war ein leichter, aber sehr starker Motor.

Auf anderem Gebiet gab es aber Fortschritte: Im Bereich der Aerodynamik und des Gleitflugs wurden wichtige Erkenntnisse gemacht: „*Gliding flight offered a direct approach to aeronautical problem solving, [...]*“⁹⁷. In England erzielte George Cayley bereits wichtige Fortschritte. So entdeckte er beispielsweise vor Lilienthal die aerodynamischen Vorteile einer gewölbten Tragfläche und leistete so wichtige theoretische Vorarbeit. In Deutschland wurden unabhängig von Cayley ebenfalls wichtige aerodynamische Gesetzmäßigkeiten entdeckt. Diese Erkenntnisse sind hier unweigerlich mit einem Namen verbunden: Otto Lilienthal.

Um es mit den Worten Werner Schwipps zu sagen: „*Mit Otto Lilienthal beginnt die Zeit der wissenschaftlichen Erforschung des Flugproblems und der planmäßigen Entwicklung der Flugtechnik.*“⁹⁸ Und auch Howard und Gunston weisen Lilienthal eine besondere Rolle in der Luftfahrtgeschichte zu: „*In Otto Lilienthal we find one of those men to whom progress in aviation has been beholden for its greatest advances; a man who combined technical knowledge with structural skill, inspiration and great physical courage. He not only thought and designed, not only studied the words of the theorists, he also built and tested.*“⁹⁹

Seine größte Entdeckung (mit seinem Bruder Gustav zusammen), die er durch jahrelange Reihenmessungen über den Luftwiderstand an ebenen und unterschiedlich gewölbten Flächen unter verschiedenen Anstellwinkeln machte, war die hohe Tragfähigkeit der schwach gewölbten Tragfläche. Er entdeckte aber auch wichtige Gesetzmäßigkeiten der Flächenbelastung und publizierte die Ergebnisse schließlich in seinem Buch „*Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*“¹⁰⁰, das in der damaligen wissenschaftlichen Welt einige Beachtung fand. Anfangs experimentierten die Brüder ebenfalls mit einem Flügelschlagapparat, ließen davon jedoch ab, als Otto Lilienthal erkannte, dass ein Vogel immer

⁹⁶ Wissmann 1979. Seite 205.

⁹⁷ Crouch 2003. Seite 45.

⁹⁸ Schwipps 1984. Seite 19.

⁹⁹ Howard, Frank; Gunston, Bill: *The Conquest of the Air*. New York 1972. Seite 38.

¹⁰⁰ Vgl.: Lilienthal, Otto: *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*. Berlin 1889.

mit großer Geschwindigkeit vorwärts fliegt und folglich das mechanische Nachahmen des Auffliegens der Vögel keine Zukunft hat.¹⁰¹ Daraufhin widmete sich Lilienthal dem Gleitflug. Erst später griff er den Flügelschlagapparat wieder auf.

Als Junge verwendete Lilienthal für seine Konstruktionen Holzleisten aus Buche und Palisander und auf Leinwand aufgenähte Gänseschwungfedern.¹⁰² Er probierte verschiedene Materialien für seine Gleiter aus, um die Zweckmäßigsten zu finden: massives Holz, Messingblech, Weidenruten mit Papierbespannung. Er kam zu dem Ergebnis, dass Weidenruten mit leichter Stoffbespannung am besten geeignet waren.¹⁰³ Seinen ersten Gleiter baute er daher: *„aus Weidenholz und wiegt achtzehn Kilogramm. Zwei stärkere Ruten laufen von den Flügelmurzeln zu den Spitzen, schwächere befestigt er quer dazu. Sie sind mit Shirting, einem englischen Baumwollgewebe, bespannt und mit Lack überzogen.“*¹⁰⁴

Als er die Apparate zusammenlegbar konstruierte, wurde das Gewebe in Wachs getränkt, anstatt mit Lack überzogen.¹⁰⁵ Lilienthals Konstruktionen hatten einen Prellbügel aus Weidenholz, der den Piloten bei Abstürzen schützen sollte. Offenbar war dieser Bügel nicht montiert¹⁰⁶ als sich Lilienthal am 9. August 1896 bei einem Absturz schwer verletzte und am darauf folgenden Tag verstarb.

Vier Jahre vorher, am 8. November 1892 beschrieb Lilienthal gegenüber einem Zeitgenossen einen Flugapparat detaillierter:

„[...] Die starken Ruten bestehen aus 25 – 35 mm dicken Weidenholztrieben, die nach den Spitzen zu auf ca. 15 mm Stärke auslaufen und wenn sie nicht in einer Länge zu haben sind, zusammengesetzt werden müssen. Die dünneren Querruthen werden 10 – 14 mm stark. Die punktierten Linien sind verzinkter Eisendraht von 2 mm Dicke. [...] Das Fluggerüst wird mit dünnem aber dichtem Shirting überspannt und zwar durch Aufleimen. Die

¹⁰¹ Vgl.: Schwipps 1984. Seite 20.

¹⁰² Wassermann, Michael: Otto Lilienthal. Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner. Band 81. Leipzig 1985. Seite 52.

¹⁰³ Schwipps 1984. Seite 21.

¹⁰⁴ Seifert, Karl-Dieter; Wassermann, Dr. Michael: Otto Lilienthal. Leben und Werk. Eine Biographie. Hamburg, Wien 1992. Seite 62.

¹⁰⁵ Vgl. ebenda.

¹⁰⁶ Vgl. Wissmann 1975. Seite 263.

Leimstellen sind nachträglich mit Collodiumanstrich¹⁰⁷ wasserdicht zu machen. [...] Die Hinterkante der Flügel wird durch eine 1,5 mm starke Schnur gebildet, um welche das Zeug herumzukleben ist. Das Weidenholz erhalten Sie bei den Lieferanten der Korbmacher. Die größte Ruthe [...] mache ich immer aus Bambus, das über einer Flamme vorgewärmt sich leicht biegt. Auch die übrigen Ruthen lassen sich aus Bambus herstellen, was für sie vielleicht noch einfacher ist, da die Behandlung des Weidenholzes etwas Übung erfordert. Bambus besitzt aber nicht die Zähigkeit des Weidenholzes. Alles Übrige muß ich Ihrem praktischen Sinn überlassen und rathe Ihnen nur frisch drauf los zu bauen. Übertriebene Sorgfalt ist nicht angebracht. Die ersten Apparate gehen doch bei den Proben bald entzwei.“¹⁰⁸

So sehr sich Lilienthal auf seine Empirie verließ, was seine Gleitapparate betraf, so sehr forderte er auch das praktische Versuchen der Apparate. Dies war auch deshalb von Nöten, da man die Lilienthalgleiter durch Gewichtsverlagerung steuerte, was einige Erfahrung voraussetzte. Der letzte Satz des Zitats ist hinsichtlich der verwendeten Baumaterialien interessant, weil er nahe legt, dass es Lilienthal auch wichtig gewesen sein dürfte, eher kostengünstige Materialien zu verwenden.

Die Form der Flügel, die denen von Fledermäusen ähneln¹⁰⁹, lässt vermuten, dass sich Lilienthal auch von da Vincis Studien inspirieren ließ.

Lilienthal erforschte später auch die Doppeldeckeranordnung der Flügel und einen motorgetriebenen Flügelschlagapparat.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass Lilienthals Erkenntnisse auf dem Gebiet der Aerodynamik nicht hoch genug zu schätzen sind. Der Aerodynamiker Ludwig Prandtl¹¹⁰ meinte später, die von Lilienthal erreichte Güte der Messungen hätte erst durch moderne Arbeiten im Windkanal überboten werden können.¹¹¹

Das Flugzeug ist nicht nach den Vorbildern aus der Natur entstanden. Zwar widmete Otto Lilienthal den Großteil seiner systematischen Arbeit dem Nachempfinden des Vogelflugs,

¹⁰⁷ Kollodium ist ein zähflüssige Lösung aus Kollodiumwolle (nitrierte Cellulose, die man z.B. durch Einwirkung von Salpeter- und Schwefelsäure auf Baumwolle erhält) in einer Mischung aus Äther und Alkohol (1:2).

¹⁰⁸ Lilienthal, Otto: Brief an Sigmund Strauss vom 8. November 1892. Technisches Museum Wien.

¹⁰⁹ Schwipps 1984. Seite 22.

¹¹⁰ Prandtl, Ludwig (* 4.2.1875 in Freising; † 15.8.1953 in Göttingen).

¹¹¹ Schmitt, Günter; Schwipps, Werner: Pioniere der frühen Luftfahrt. Bindlach 1995. Seite 195.

seine Leistung bestand jedoch gerade darin, das kaum zu erfassende Problem des Flügelschlags zu vernachlässigen und die Komplexität des Vogelflugs auf das Verhalten von starren Tragflächen einzugrenzen.¹¹²

Igo Etrich¹¹³ entwickelte zwischen 1903 und 1908 ebenfalls einen Gleitflieger, dessen natürliches Vorbild der „Zanonia macrocarpa“-Samen war: *„Als Baumaterial für die Träger und Rippen des Tragdecks wurde Bambus benutzt. Etrich verwandte dieses Material jedoch nicht etwa in seinem natürlichem Zustande, sondern spaltete aus den äußeren harten und festen Teilen der Bambusrohre im Querschnitt dreikantige Stäbchen, wobei eine Seite dieser Stäbchen von der harten Rinde der Rohre gebildet wurde und fügte darauf mehrere derselben mit den Spaltflächen aneinander, so daß er einen im Querschnitt polygonalen, meist sechseckigen Stab erhielt [...]“*¹¹⁴

Da die wichtigsten aerodynamischen Erkenntnisse für den Menschenflug mit Lilienthal erreicht waren und sich gezeigt hatte, dass die menschliche Muskelkraft als Kraftquelle nicht ausreichte, wurde in den folgenden Jahren das (Er)Finden eines flugtauglichen Hochleistungsmotors zur Voraussetzung für das Fliegen aus eigener Kraft.

*„Early in the Roman Empire, technicians could have cut, framed, and assembled the basic structure of a wood-and-fabric airplane, and had they possessed the Wrights' insight, could have flown and controlled it – but a 'prime mover' required the high-temperature materials, fuels, propeller design, and engines of the late Industrial Revolution.“*¹¹⁵

Nicolaus August Otto¹¹⁶ und Eugen Langen¹¹⁷ entwickelten 1877 das Viertaktverfahren. Diese neue Technik basierte auf der Vergasung der Treibstoffe und war viel Platz sparen-

¹¹² Vgl. Wissmann 1979. Seiten 257 - 263; Schwipps 1984. Seiten 19 - 24.

¹¹³ Etrich, Ignaz „Igo“ (* 25.12.1879 in Ober Altstadt, Österreich-Ungarn (Böhmen); † 4.2.1967 in Salzburg).

¹¹⁴ Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 99.

¹¹⁵ Hallion 2003. Seite 198.

¹¹⁶ Otto, Nicolaus August (* 10.6.1832 in Holzhausen an der Haide/Taunus; † 26.1.1891 in Köln). Mokyř schreibt über Otto: „He was an inspired amateur without formal technical training“ (Mokyř 1990. Seite 131).

¹¹⁷ Langen, Karl Eugen (* 9.10.1833 in Köln; † 2.10.1895 bei Elsdorf/Rheinland).

der als die herkömmlichen Motoren. Gottlieb Daimler¹¹⁸ entwickelte ein neues Zündverfahren und sorgte so dafür, dass die neuen Motoren auch die zum Fliegen nötige Antriebskraft bereitstellten.¹¹⁹ Auch auf das Flugzeug trifft hier zu, was Mokyr über den Telegraphen und die Eisenbahn schrieb: Es war eine typische Erfindung des 19. Jahrhunderts, die aus einer Kombination von verschiedenen technischen Erfindungen, im Fall des Motorflugzeugs Segelflugzeug und Verbrennungsmotor, resultierte.¹²⁰

Die Verfügbarkeit von flugtauglichen Motoren führte in Europa und den USA fast gleichzeitig zu den ersten erfolgreichen Motorflügen. Vor allem die Verwindungslenkung¹²¹ des von den Gebrüder Wright konstruierten „Flyers“ sollte richtungweisend werden.

¹¹⁸ Daimler, Gottlieb Wilhelm (* 17.3.1834 in Schorndorf; † 6.3.1900 in Canstatt).

¹¹⁹ Vgl. Wissmann 1975. Seite 272, 273.

¹²⁰ Vgl. Mokyr. 1990. Seite 123.

¹²¹ Anstatt mit Steuerungsklappen wurden Flugzeuge mit Verwindungssteuerung durch das Verdrehen der Flügelenden gesteuert.

2.2 Der erste Motorflug

*„We step upon the threshold of 1900,
which leads to the new century,
facing a still bright dawn of civilization.“*¹²²

Ursprünglich besaßen die Wrights einen Fahrradladen, in dem sie Fahrräder bauten und verkauften. Für ihre Flugzeuge übertrugen sie ihre Erfahrungen aus dem Fahrradbau konsequent auf den Flugzeugbau: die präzise Verarbeitung von Holz und Metall und die Fähigkeit leichtgewichtige Strukturen zu konstruieren. Sie übertrugen auch einige Fahrradkonstruktionsteile direkt auf den Flugzeugbau: die Radnaben, die Kette für die Kraftübertragung von Motor auf Luftschraube, Zahnräder, Speichendraht und die Verwendung von Rohren. Die wichtigste Lehre aber, die sie aus dem Fahrradbau mitnahmen, war die Kontrolle eines instabilen Geräts (Gerät ohne eigene Stabilität).¹²³

Auch die Wrights verwendeten vor allem Holz und Gewebe für ihre Konstruktionen.

Der unmotorisierte Gleiter, den sie vor ihrem erfolgreichen Motorflugzeug bauten, bestand aus Eschenleisten, Metallstreben, Draht und französischem Satinstoff.¹²⁴

Der motorisierte Wright-Flyer war ein Doppeldecker, welcher das Leitwerk vor dem Tragwerk und den Propeller hinter dem Tragwerk hatte. Der Motor hatte 12,5 PS bei einem Gewicht von etwa 100 kg und trieb über Fahrradketten die beiden gegenläufigen Luftschrauben an, eine Konstruktion, die anfangs zwar genial einfach war, später aber zu Unfällen führte, da die Ketten dazu neigten zu reißen.¹²⁵ Der Pilot hatte seinen Platz direkt neben dem Motor. Die Steuerung des Flugzeugs erfolgte über das vorne liegende Leitwerk und durch die Verwindung der Flügelenden.

Die Flügelholme fertigten sie aus Kiefernholz und die kürzeren Rippen aus Eschenholz.

¹²² New York Times vom Silvesterabend 1899. Zitiert nach: Hooper McCarty, Jennifer; Foecke, Tim: What really sank the Titanic. New forensic Discoveries. New York 2009. Seite 7.

¹²³ Vgl. Crouch 2003. Seite 60.

¹²⁴ Combs, Harry: Brüder des Winds. Orville und Wilbur Wright – ihr Traum vom Fliegen. Königs-
stein 1981. Seite 68.

¹²⁵ Schwipps 1984. Seite 58.

Sie bespannten die Flügel mit einem sehr eng gewebten Stoff. Dieser Stoff war das strukturelle Schlüsselement ihrer Konstruktionen, da er die Rippen und Holme an Ort und Stelle hielt und auch die im Flug entstehenden Kräfte aufnehmen musste. Gleichzeitig verteilte der Stoff die Last auf die ganze Spannweite. Eine Besonderheit war, dass der Stoff nicht aufgeleimt, sondern aufgenagelt wurde. Nach einigen Erfahrungen verwendeten sie für die Bespannung einen eng gewebten Musselin-Stoff^{126, 127}.

Das Fahrwerk des Flyers bestand aus Holzkufen und die Luftschrauben oder Propeller waren ebenfalls aus Holz gefertigt.¹²⁸

Flight ging in einem Rückblick von 1953 nochmals auf die Konstruktionsdetails des Flyers ein: „*Spruce and ash are widely used in the construction of the biplane. [...] On the mainplanes, spruce is used for the ribs and tips, and ash for the main spar, leading edge, and the short central tailing edge which supports the upper rudder struts. [...]. The interplane struts, made of spruce, [...]. [...], The trailing edge of the wing is of piano wire pocketed into the fold of fabric ('Pride of the West' muslin¹²⁹) and attached to the ribs by tape. [...]. Construction of the elevators was of spruce, again with 'Pride of the West' muslin as a covering for the flying surfaces. [...]. Wires and chandelier chains passing over the spruce pulley connect the control frame directly with the pulley at the end of the pilot's horizontal control bar [...]. [...]. Spruce and ash are again used for the members of this [main fuselage] frame, [...].“¹³⁰*

¹²⁶ Musselin ist eine sehr leichte, feinfädrige und glatte Stoffart. Er wird aus Baumwolle, Viskose-Spinnfasern (Fasern aus Zellulose) oder Wolle in Leinwandbindung hergestellt.

¹²⁷ Vgl. Crouch 2003. Seiten 62, 63.

¹²⁸ Schwipps 1984. Seite 39.

¹²⁹ Aus „Pride of the West“ Muslin wurde normalerweise Frauenwäsche hergestellt.

¹³⁰ Flight vom 11.12.1953. Seite 788.

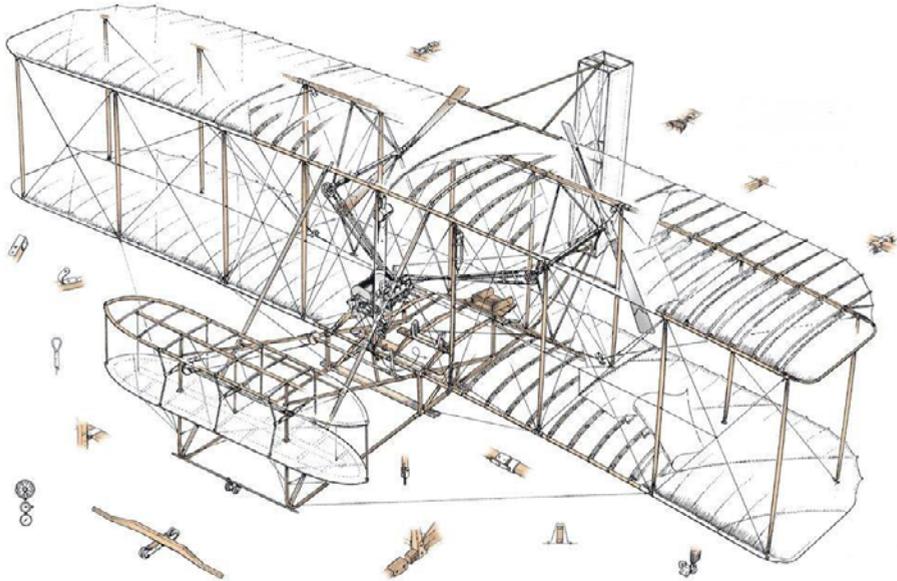


Abbildung 4: Konstruktionszeichnung des Wright-Flyer.

Aus: <http://www.flightglobal.com/airspace/media/wrightbrothers/wright-flyer-cutaway-7339.aspx> (Stand 10.11.2011). Flightglobal.com ist die Website von Flight.

Die Leistung der Gebrüder Wright bestand vor allem darin, dass sie die Erkenntnisse Lilienthals aufnahmen und sie um Komponenten, die den Vortrieb (Propeller und leichter Motor) und die Steuerung (Verwindung der Tragfläche) ihres Flugzeugs ermöglichten, ergänzten.¹³¹

Bis in das Jahr 1906 verbesserten die Wrights ihr Flugzeug, ohne die Grundkonstruktion dabei zu ändern. Ab diesem Zeitpunkt konzentrierten sich die Brüder vor allem auf die Vermarktung ihrer Erfindung. Die amerikanischen Streitkräfte, die man als Kunden gewinnen wollte zeigten sich jedoch zunächst wenig begeistert: „*The machine consisted of a most unlikely, spiderlike frame, with twin cotton covered horizontal frames, one above the other, about six feet apart. The propellers resembled nothing more than shaped fence boards stained green.*“¹³²

¹³¹ Budraß 1998. Seite 22.

¹³² Crouch 2003. Seite 6.

In Europa machte die Fliegerei „schwerer als Luft“ gleichzeitig nur langsam Fortschritte. Der erste Motorflug, der über die vorherigen Luftsprünge hinausging, gelang auf einem Voisin¹³³-Flugzeug. Am 26. Oktober 1907 wurde eine Strecke von 771 m zurückgelegt. 1908 war man dann auch steuerungstechnisch mit den Gebrüdern Wright gleichgezogen. Bis mindestens in die 1920er Jahre sollten nun die europäischen Flugzeugbauer die Führung in der Luftfahrttechnik übernehmen.

Zu den verwendeten Materialien bei den Voisin-Flugzeugen schrieb *Flight* 1909: „*Ash is used throughout in the construction of the machine, with the exception of the steel tube work employed in the chassis. As timber, ash is characterised by its flexibility, and on the Voisin machine it must be confessed that there is not lacking evidence of its capacity in this respect, many of the struts and spars being very much inclined to bend under the load imposed upon them. in flying machine design every effort is, of course, made to keep down the weight, and sections have to be reduced to a minimum in consequence. For the small fittings such as the socket-brackets for the struts, aluminium is employed, and this metal was also used for the main supporting brackets above the springs, until it gave way during a rough landing. Messrs. Short Brothers the introduced a pair of manganese steel brackets when making the repair; and as these members are in any case not large, the increase in weight is in no way comparable with the value of the additional strength thus obtained for such an important member. The fabric used for covering the decks is Continental rubber-proofed material.*“¹³⁴

¹³³ Voisin, Gabriel (* 5. Februar 1880 in Belleville-sur-Saone; † 25. Dezember 1973).

¹³⁴ *Flight* vom 21.08.1909. Seite 507.

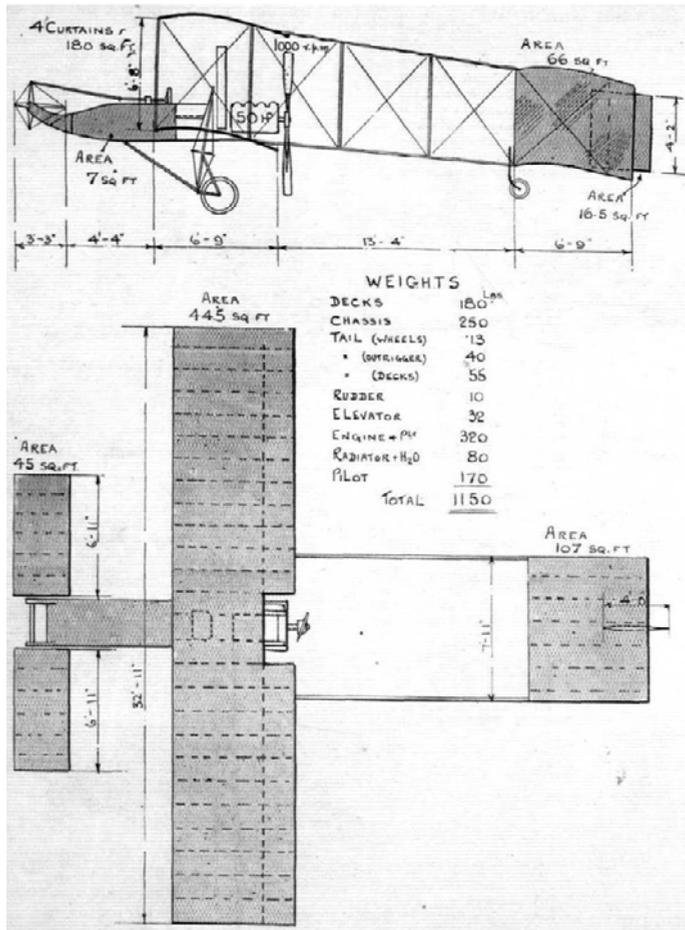


Abbildung 5: 2-Seiten-Ansicht des Voisin-Flugzeugs. Aus: *Flight* (14.08.1909). Seite 486.

1908 verkauften die Wrights ihre ersten Maschinen an das US-War-Department und reisten nach Europa, um auch hier ihre Maschine zu demonstrieren und zu vermarkten. Es zeigte sich einmal mehr, dass die Wright-Konstruktion, vor allem was die Lenkbarkeit anging, den europäischen Maschinen überlegen war.

In Europa entwickelten 1909 und 1910 der Franzose Louis Blériot¹³⁵ und der Österreicher Igo Etrich¹³⁶ unabhängig voneinander die ersten Eindecker und Blériot überquerte mit seiner Konstruktion am 25. Juli 1909 als erster Mensch den Ärmelkanal.

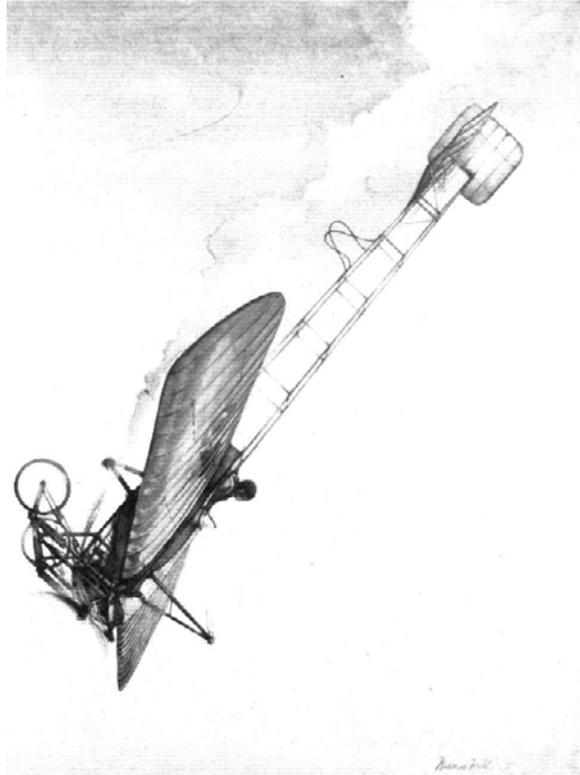


Abbildung 6: Der erste Looping eines Engländers. Bei dem Flugzeug handelt es sich um einen verstärkten Blériot-Eindecker. Aus: *Flight* (06.12.1913). Seite 1319.

Die Etrich-„Taube“, wie der Eindecker Etrichs genannt wurde, war am Boden und vor allem in der Luft eine sehr stabile Konstruktion. Der aus Holz gefertigte Rumpf hatte einen trapezförmigen Querschnitt. Die Flügelholme und Rippen waren aus Holz gefertigt. Die hinteren Enden der Flügelrippen bestanden aus Bambusrohren. Die auf die Holmleisten einwirkenden Kräfte wurden durch Spanndrähte abgefangen.

¹³⁵ Blériot, Auguste Louis Charles-Joseph (* 1. Juli 1872 in Cambrai; † 2. August 1936 in Paris).

¹³⁶ Etrich, Ignaz „Igo“ (* 25. Dezember 1879 in Ober Altstadt, Böhmen; † 4. Februar 1967 in Salzburg).

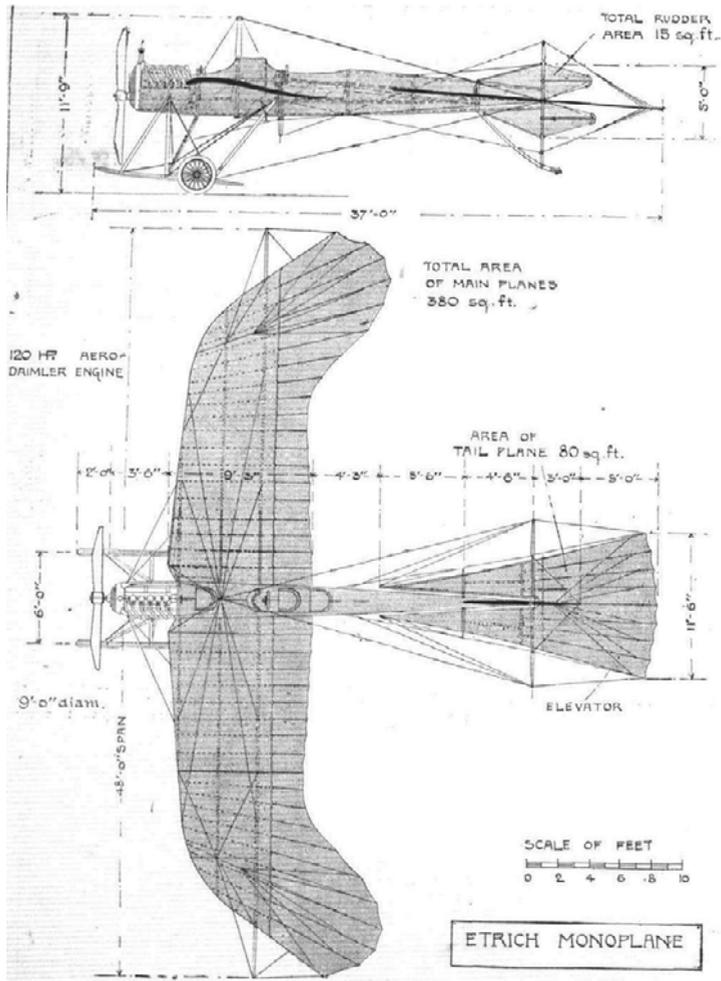


Abbildung 7: 2-Seiten-Ansicht der Etrich "Taube".
Aus: *Flight* (11.11.1911). Seite 974.

Die Bespannung der Flächen und des Rumpfes bestand aus imprägniertem Baumwollstoff.¹³⁷

Das Fliegen mit der Etrich-Taube war wegen der hohen Eigenstabilität der Konstruktion narrensicher. Sie wurde in Deutschland bis weit in den Ersten Weltkrieg geflogen.

In Deutschland kam der Flugzeugbau nur langsam in Schwung. Bis 1910 war der Lizenz-

¹³⁷ Kranzhoff, Jörg Armin: Die deutsche Luftfahrt. Edmund Rumpler - Wegbereiter der industriellen Flugzeugfertigung. Bonn 2004. Seite 40.

bau eines französischen oder amerikanischen Modells die Regel bei den deutschen Flugzeugbauunternehmen.¹³⁸ Hier baute Edmund Rumpler¹³⁹ die Etrich-Taube beispielsweise zunächst in Lizenz. Später leitete Rumpler eine eigene Taube aus der Etrich-Taube ab.

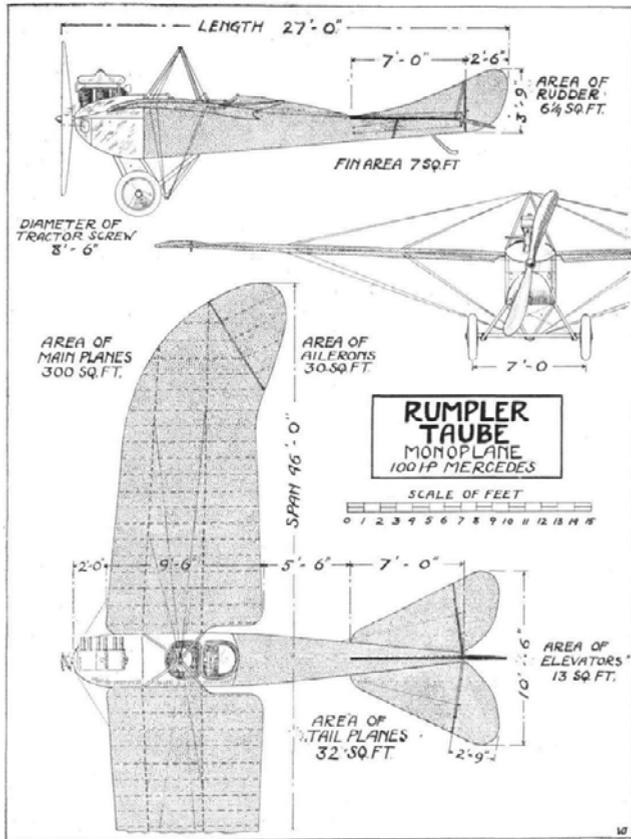


Abbildung 8: 3-Seiten-Ansicht der Rumpler "Taube". Aus: Flight (09.07.1915). Seite 491.

Rumpler verwendete für seine Taube bruchsichere Stahldrahtseile, reduzierte die Zahl der Spanndrähte und vereinfachte Spannschlösser und Anschlussverbindungen. Die geschweißten Eckverbindungen stabilisierten zwar die Struktur, erschwerten aber Reparaturen im Gelände, da entsprechende Schweißapparate außerhalb des Werks nicht zur Verfügung standen. Bespannt wurde die Rumpler-Taube zuerst mit einem gummierten Baum-

¹³⁸ Vgl. Budraß 1998. Seite 22.

¹³⁹ Rumpler, Edmund (* 4. Januar 1872 in Wien; † 7. September 1940 in Neu Tollow, Kreis Wismar).

wollgewebe, später kommt ein „Aeroplan-Stoff“ der Firma Continental zur Anwendung. Die Gummierung erwies sich jedoch als witterungsunbeständig und aerodynamisch ungünstig. Außerdem erhöhte der durch Öl- und Benzinrückstände zerstörte Kautschuk die Brandgefahr. Als widerstandsfähiger und zugleich feuersicherer erwies sich eine neuartige, mit Spritzapparaten aufgebrauchte Cellaon-Emailit-Beschichtung. Sie hatte eine 50 Prozent größere Festigkeit und erzeugte eine äußerst glatte Oberfläche, so dass sich die Luftreibung um 12 bis 18 Prozent verringerte. Der seinerzeit als „Bootskörper“ bezeichnete geschlossene Rumpf war strömungsgünstiger als der offene Gitterrumpf und bot der Besatzung größere Sicherheit. Die Stahlrohrbauweise lehnte Rumpler ab, weil er befürchtete, dass die geringe Stärke der Stahlrohre den Rumpf empfindlich gegen seitliche Stöße machen könnte. Bei der Fertigung des Fahrgestells wurde jedoch ausschließlich Stahlrohr mit autogen geschweißten Stahlhülsen verwendet.

Rumpler gilt darüber hinaus als Pionier der industriellen Flugzeugfertigung, da er seine Taube früh standardisierte und so eine Serienfertigung seiner Flugzeuge möglich machte. Fast alle Einzelteile der Rumpler-Taube wurden bereits in gesonderten Werksabteilungen nach genormten Verfahren produziert.¹⁴⁰

Bis zum Ersten Weltkrieg nahmen die Flugleistungen kontinuierlich zu. Die Baumaterialien blieben jedoch weitestgehend gleich. Die Leistungssteigerung war hauptsächlich auf die verbesserten Flugmotoren zurückzuführen. Hatte der Wright-Flyer 1903 gerade einmal 12,5 PS so waren im Jahre 1914 100 PS keine Seltenheit mehr.¹⁴¹ Auch neue Motorentypen, wie beispielsweise der Umlauf- oder Rotationsmotor, kamen auf. Mit ihm konnte erstmals ein Masse/Leistungs-Verhältnis von 1 kg/PS erreicht werden.

Dass der bis zu diesem Zeitpunkt gängige Flugzeugbau wegen der verfügbaren Motorenleistung kaum andere Werkstoffe als Holz, Stoff und Draht erlaubte soll an dieser Stelle hervorgehoben werden. Gordon führt diesen immens wichtigen Punkt näher aus:

„It is generally a mistake to despise any form of construction and this certainly includes the „stick and string“ biplane. The main factor which governs the choice of materials and structural form is the ratio of the load on the structure to its dimensions. When the loads are comparatively small in relation to the size it is generally best to concentrate the compression loads into a few compact, rod-like members and to diffuse the tensions into fab-

¹⁴⁰ Zur Rumpler Taube vgl. Kranzhoff 2004. Seiten 114 - 126.

¹⁴¹ Wissmann 1975. Seite 320.

ric and cords. [...] All the early aircraft had very low wing loadings for sufficient reasons. Their actual dimensions were, in many cases, not much smaller than those of equivalent modern aircraft, but their weights were less than a tenth of modern, hard skinned machines. In the circumstances, a construction of fabric over a wire-braced framework of wood or bamboo was logical and efficient, and sometimes, nothing else would have got off the ground with the power available.“¹⁴²

¹⁴² Gordon 1975. Seite 152.

2.3 Der Flugzeugbau vor dem Ersten Weltkrieg

*„Die vor dem Krieg gebauten Flugzeuge zeigten noch alle Mängel, die jeder wenig erprobten Maschine anhaften.“*¹⁴³

Unverkleidete Gitterrümpfe verschwanden zwischen 1910 und 1914. Diese hatten einen zu hohen Luftwiderstand und schützten den Piloten nur ungenügend vor Witterungseinflüssen.¹⁴⁴ Im Rumpfbau herrschte eine einfache Holzgerüstbauweise vor. Gerade in Deutschland wurden aber bereits Rümpfe aus Stahlrohr (siehe Fokker¹⁴⁵) hergestellt. Erschwert wurde der Metallbau durch die Tatsache, dass Schweißverbindungen nicht kontrolliert werden konnten, wie das heute zum Beispiel durch Röntgenuntersuchung möglich ist. Der Stahlrohrumpf an sich wurde aus einer Menge einzelner Stahlrohre zusammengesetzt. Es gab also viele Punkte, an denen die Rohre miteinander verbunden werden mussten. Weil man Schweißstellen schlecht kontrollieren konnte, wurden solche Verbindungen auch durch Muffen oder Hartlötungen hergestellt.¹⁴⁶

Die Holzrümpfe bestanden aus einem Holzfachwerk, das jedoch nur wenig Verdrehungsfestigkeit besaß. Diese wurde durch das Auskreuzen fast sämtlicher Felder der Gitterstruktur mit Klaviersaitendraht hergestellt.

Zusätzlich gab es aber auch Rümpfe mit tragender Sperrholzbeplankung. Diese Technik wurde zwischen 1910 und 1912 durch Armand Deperdussin¹⁴⁷ in Frankreich verfeinert. Bei dieser Bauweise wurde das innere Holzgerüst auf ein Minimum reduziert. Die Außenhaut übernahm die tragende Funktion mit.

¹⁴³ Langsdorff, Werner von: Die Entwicklung des Motorflugzeugs. in: Die Umschau 27 (1923). Seiten 823 – 829. Hier Seite 824.

¹⁴⁴ Vgl. Schwipps 1984. Seite 95.

¹⁴⁵ Fokker, Anton Herman Gerard „Anthony“ (* 6.4.1890 bei Kediri, Java; † 23.12.1939 in New York).

¹⁴⁶ Vgl. Wissmann 1975. Seite 321.

¹⁴⁷ Deperdussin, Armand (*1860 in Paris; † 11.6.1924).

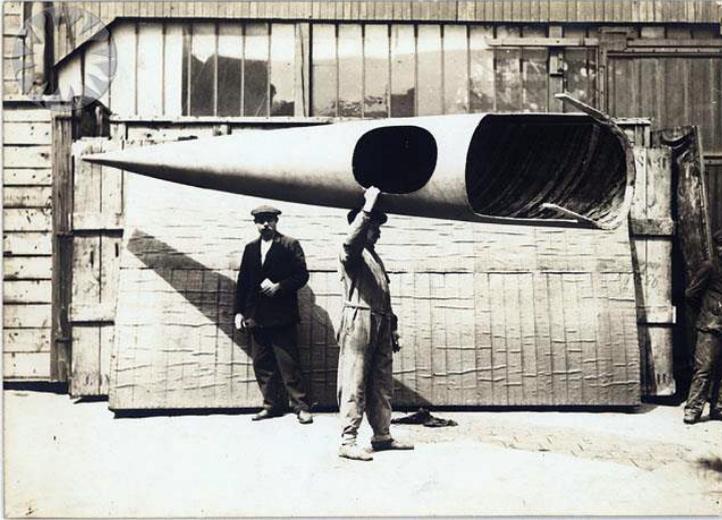


Abbildung 9: Deperdussin-Rumpf. Deutlich wird hier das geringe Gewicht des Rumpfes. Aus: Crouch 2003. Seite 131.

Hier übernahm man Herstellungsverfahren aus dem Rennbootbau.¹⁴⁸ Die Beplankung wurde in schmalen Holzstreifen diagonal zur Rumpflängsachse auf die Gurte und Spanten aufgebracht:

*„Thin strips of tulip, a wood favored by cabinetmakers, were criss-crossed and glued together in three thin layers inside a mold, and the covered, inside and out, with varnished fabric. The resulting shell, a lightweight masterpiece of the woodworker ' art, would carry heavy stresses without the need for internal bracing.“*¹⁴⁹

¹⁴⁸ Wissmann 1975. Seite 322.

¹⁴⁹ Crouch 2003. Seite 128, 129. Zur Bauweise Deperdussins siehe auch Hallion 2003. Seite 321.

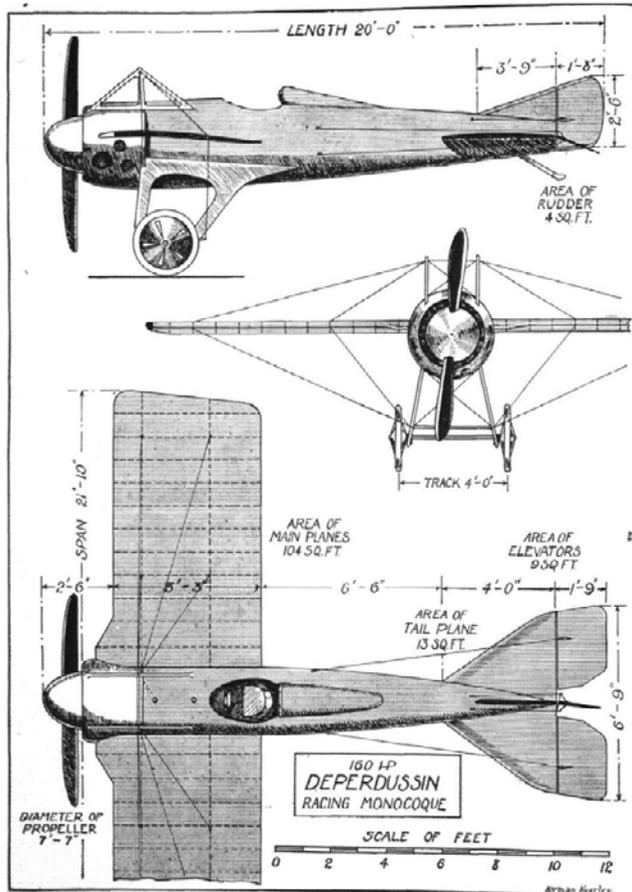


Abbildung 10: 3-Seiten-Ansicht eines Deperdussin-Flugzeugs von 1913. Deutlich wird hier die Stromlinienform des Rumpfes. Aus: *Flight* (22.11.1913). Seite 1270.

Die Rumpfstruktur wurde so selbst tragend. Das heißt, sie kam ohne innere Verstreben aus. Auch das Auskreuzen der Gitterstruktur mit Draht war nicht mehr nötig. Diese Bauweise der selbst tragenden Flugzeugstruktur wird auch Monocoque-Bauweise genannt: „*Monocoque construction, in which the fuselage skin contributed to the aircraft's load-bearing structure thus minimizing internal framework.*“¹⁵⁰

Zu den Vorteilen dieser Bauweise schrieb *Flight*: „*In the case of [monocoque] fuselages the chief advantage, apart from the question of withstanding extremes of temperature and*

¹⁵⁰ Robins, James G.: *The Wooden Wonder. A short History of the wooden Aeroplane.* Rigby 1975. Seite 20.

humidity, is that the unobstructed space left inside, for a given overall cross-section, is a maximum.“¹⁵¹

Die frühen quadratischen oder rechteckigen Rumpferüste waren aber auch oft mit Verkleidungen versehen, die dem Rumpfüßeren eine ovale Stromlinienform gaben: „*In the older girder type, the rounded fairings added to the rectangular-section primary structure was of little use for storage of equipment, or for affording freedom of movement to the crew.*“¹⁵² Vom Standpunkt der Flugzeugfertigung brachte die Monocoque-Bauweise aber auch Probleme mit sich, da Equipment schwerer eingebaut werden konnte, zusätzlich konnten weniger Arbeiter an oder in einem Monocoque-Rumpf arbeiten.

Wie die Rümpfe wurden auch die Tragwerke überwiegend in Holzbauweise hergestellt. Das Tragwerk bestand normalerweise aus Holmen und Rippen. Es kam aber auch schon eine Gemischtbauweise zur Anwendung. Hier waren die Holme aus Metall und die Rippen aus Holz. Das übliche Material für Gurte und Holme war Kiefern- oder Eschenholz, selten auch Bambus. Bei Maschinen mit Verwindungssteuerung wurden die Endleisten der Flächen aus Draht gefertigt.¹⁵³ Die Verdrehungsfestigkeit der Tragflächen wurde durch innere und äußere Verspannung hergestellt. Geringe Profilhöhen machten die Flächen instabil. Die Stabilität musste auch hier durch Verspannungen erreicht werden. Auch die Verwindungssteuerung anstelle von Querrudern machte eine freitragende Konstruktion der Flächen zu diesem Zeitpunkt unmöglich. Die Leitwerke wurden ähnlich gebaut wie die Tragflächen.

Bespannt waren meistens Ober- und Unterseite des Flügels, selten aber auch nur die Flügelunterseite. Die Tragfläche sollte möglichst glatt und so straff wie nur möglich bespannt sein, da die Stabilität der Tragfläche von der festen Bespannung abhängig war. Meistens wurde zur Verspannung Leinestoff benutzt, der durch Leimen oder Nageln mit der Fläche verbunden wurde. Das Leinen wurde beispielsweise mit nicht brennbarem Cellon-Emallit¹⁵⁴ bestrichen. Der Flügel wurde auf diese Weise glatt, windschlüpfrig, wetterfest und widerstandsfähig gegen Öl und Benzin.¹⁵⁵

¹⁵¹ Flight vom 25.11.1937. Seite 502.

¹⁵² Ebenda.

¹⁵³ Wissmann 1975. Seite 322.

¹⁵⁴ Cellon-Emallit ist eine Lösung von Celluloid (Kunststoffverbindung, die aus Nitrozellulose und Campher hergestellt wird).

¹⁵⁵ Schmitt/Schwipps 1995. Seite 113.



Abbildung 11: Cellon Werbung. Aus: Flight (29.08.1929). Seite (Advertisements) 59.

Die Fahrwerke der Flugzeuge waren sehr unterschiedlich konstruiert. Die Wrights benutzten lange einfache Holzkufen. Die Voisins benutzten gerne Speichenräder von Motorrädern oder Autos. Auch Holzscheiben mit oder ohne Gummimantel wurden verwendet.¹⁵⁶ Die Ballonbereifung setzte sich erst viel später durch. In den meisten Fällen bestand das Fahrwerk aus zwei Radpaaren.¹⁵⁷

Die Steuerung der Flugzeuge standardisierte sich in der Vorkriegszeit. Die Knüppel- und Pedalsteuerung setzte sich vollständig durch. Die Propeller der Flugzeuge wurden entweder aus Stahl oder aus Holz hergestellt. Es gab auch schon die ersten Propeller die wenigstens zum Teil aus Aluminium bestanden.

¹⁵⁶ Wissmann 1975. Seite 323.

¹⁵⁷ Schwipps 1984. Seite 96.

In Deutschland etablierten sich im Vorfeld des Ersten Weltkriegs Flugwettbewerbe, die bereits einen offensichtlichen militärischen Anstrich hatten. Nach langem Zögern war das Militär trotz der Zeppelineuphorie in Deutschland, auf das Flugzeug aufmerksam geworden. Aus den Bedingungen der Heeresverwaltung für diese militärischen Wettbewerbe lässt sich herauslesen, dass man in Deutschland bereits nach Kriegsflugzeugen suchte und bei deren Bau, bezogen auf die Werkstoffe, Autarkie anstrebte. Flugzeuge sollten bereits komplett aus Teilen hergestellt sein, die in Deutschland produziert wurden und die auch nur aus deutschen Materialien bestanden. Weiterhin sollten die Maschinen unempfindlich gegen Witterungseinflüsse sein.¹⁵⁸ Es wurde also schon vor Beginn des Ersten Weltkrieges militärisch auf die Materialverwendung der damaligen Flugzeuge Einfluss genommen. Einen weiteren Beweis für die zunehmende Militarisierung des Flugzeugbaus vor dem Ersten Weltkrieg, nicht nur in Deutschland, liefert auch ein Bericht, der 1913 in der Zeitschrift des VDI über die fünfte internationale Luftschiffahrttausstellung in Paris veröffentlicht wurde. Darin heißt es: *„Sehr in die Augen fallend war, dass fast alle ausgestellten Flugzeuge, sowohl Land- wie Wasserflugzeuge, unter dem Gesichtspunkt ihrer Verwendung für militärische Zwecke erbaut waren.“*¹⁵⁹

¹⁵⁸ Schwipps 1984. Seite 91.

¹⁵⁹ Kaemmerer 1914. Seite 122.

2.4 Der Flugzeugbau im Ersten Weltkrieg und danach

*„Between 1914 and 1918, Allied and German aviators pushed the limits of aviation technology in efforts to help restore mobility to the deadlocked struggle on the Western Front.“*¹⁶⁰

Wurden die Flugzeuge in der Vorkriegszeit immer stabiler, so stellte der Krieg ganz neue Anforderungen an Flugzeuge, Piloten und Materialien. Das Fliegen im Kampf unterschied sich vom zivilen Fliegen vor allem in den Flugmanövern, die nun viel höhere Anforderungen an die Struktur der Flugzeuge stellte: *„The aerodynamic stresses of combat, however, revealed a great many structural problems.“*¹⁶¹ Und Morrow ergänzt dazu: *„A significant factor in the nervous strain associated with aerial warfare arose from the unpredictability of the material, the ever-present threat of mechanical failure.“*¹⁶²

Die ersten Jagdmaschinen, wie beispielsweise die Nieuport 11 Béb , neigten dazu, dass sich ihre Stoffbespannung (auf)löste. Die Albatros-Jäger der Jahre 1916/1917 litten unter mangelnder Torsionsstabilit t. Und noch der ber hmt  Fokker-Eindecker D.VIII des Jahres 1918 war berüchtigt für seine Fl gelprobleme.¹⁶³

*„Bei Kriegsausbruch waren die Flugzeuge nichts weiter als Flugmaschinen, keine Kampfwerkzeuge.“*¹⁶⁴ Die ersten reinen Kampfflugzeuge des Krieges waren stark verspannte Eindecker. Sie entsprachen dem Niveau des Vorkriegsflugzeugbaus.

1916 erfolgte dann bei allen Kriegsparteien der Übergang zur Doppeldeckerauslegung, da diese eine höhere Wendigkeit, bei kleinerer Spannweite versprach. Die Massen waren beim Doppeldecker dichter um die Drehachse konzentriert. Auch die Verspannung

¹⁶⁰ Cain, Anthony Christopher: The forgotten Air Force. French air doctrine in the 1930s. Smithsonian Institution, USA 2002. Seite 9.

¹⁶¹ Crouch 2003. Seite 167.

¹⁶² Parsons, Edwin C.: I flew with the Lafayette Escadrille. Indianapolis 1963. Seite 132.

¹⁶³ Crouch 2003. Seite 167.

¹⁶⁴ Fokker, Anton Herman Gerard; Gould, Bruce: Der fliegende Holländer. Das Leben des Fliegers und Flugzeugkonstruktors A.H.G. Fokker. Zürich, Leipzig, Stuttgart 1933. Seite 151.

konnte reduziert werden. Doppeldecker waren außerdem dann vorteilhafter als Eindecker, wenn es bei geringen Geschwindigkeiten (bei denen der Luftwiderstand noch keine signifikante Rolle spielt) auf große Tragfähigkeit ankam. Bei größeren Fluggeschwindigkeiten konnte mit Eindeckern ein besseres Auftrieb-zu-Widerstand-Verhältnis erzielt werden¹⁶⁵. Ein weiterer Nachteil der Eindecker war, dass der Geschwindigkeitsbereich zwischen Minimal- und Maximalgeschwindigkeit gering war. Die Flugzeuge erforderten daher ein höheres Können und größere Aufmerksamkeit vom Piloten. Darüber hinaus besaßen Eindeckerzellen, besonders die Tragflächen, oft strukturelle Schwächen, die bei den Doppeldeckern wegen der starken Verspannung geringer ausfielen. Es gab mehr Unfälle mit Ein- als mit Doppeldeckern.¹⁶⁶

Auch Geoffrey de Havilland stellte in seiner Autobiographie ein paar Überlegungen zum Thema Ein- oder Doppeldecker an:

*„Blériot had favoured the monoplane for his cross-Channel machine, but in 1912 the biplane was definitely in favour, and there were only two Army monoplanes on manoeuvres in that year. Monoplanes, with their reduced resistance, were accepted as being faster, but speed at that time, when to get off the ground, fly safely and return were enough, was of no importance. Take-Off and landing were the most difficult and dangerous operations, and the biplane with its larger wing area and therefore lower loading allowed lower landing and take-off speeds. [...] With the coming of the monoplane as the demand rose for greater speed for both commercial and military purposes, the wing-loading and landing speed rose higher and higher, [...]. The early biplanes were also more reliable structurally than monoplanes. [...] The rigidly braced structure of the biplane made it far less prone to flutter than the more flexible structure of the monoplane.“*¹⁶⁷

1917 wurden auch Dreidecker eingesetzt. Ihre Spannweite war noch geringer als die der Doppeldecker. Sie waren daher sehr leicht, sehr wendig und hatten gute Steiggeschwindigkeiten. Dafür stürzten sie wegen des hohen Luftwiderstandes zu langsam und hatten eine relativ geringe Höchstgeschwindigkeit. Außerdem hatten sie strukturelle Schwächen und so kehrte man Ende 1917 wieder zum Doppeldecker zurück.

¹⁶⁵ Trischler, Helmuth; Schrogl, Kai-Uwe: Ein Jahrhundert im Flug. Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1907-2007. Frankfurt a. M., 2007. Seite 59.

¹⁶⁶ Vgl. Wissmann 1975. Seite 317.

¹⁶⁷ De Havilland, Sir Geoffrey: Sky Fever. London 1961. Seiten 81, 82. Zum Unterschied zwischen Ein- und Doppeldecker vgl. auch Gordon 2003. Seiten 261, 268.

Die bekannten Albatros Doppeldecker „Albatros DI-V“, die seit dem Jahr 1916 gebaut wurden, hatten einen an Deperdussin erinnernden Sperrholzrumpf, der aber noch durch einen Holzrahmen unterstützt wurde. Der Albatrosrumpf war im Durchschnitt rund oder zumindest oval und damit schon relativ stromlinienförmig. Die Tragflächen waren stoffbespannt und besaßen zwei Kastenholme, welche die nötige Verspannung weiter reduzierten. Anhand einer *Flight*-Ausgabe vom 28. Juni 1917 lässt sich die Konstruktion näher beschreiben: „*Only one pair of struts on each side of the fuselage separate top and bottom planes, these struts being of streamline steel tube.[...] The stabilising plane, [...] [...], without any external bracing. The framework is of wood and the covering fabric. [...] A rounded vertical fin, like the stabilising plane very thick, is mounted on the top of the fuselage some distance forward of the extremity of the latter. It has a wood framework and a covering of three-ply. [...] A small triangular fin, also of three-ply, is formed under the fuselage by the supports for the tail skid. The framework of the elevator and rudder is of steel tubing, covered with fabric. [...] It [the fuselage] is a modification of the standard Albatros system of fuselage construction, but differs in that it approaches nearer the true monocoque. It is, in fact, a compromise between the two, and suggests itself as an excellent solution to the problem of the „commercial“ monocoque - simple in construction, low in cost, and of great strength.*“¹⁶⁸

Beim Fokker Dreidecker „Fokker Dr I“ wurde die Flügelverstrebung weiter reduziert. Das deutsche Jagdflugzeug mit den besten Flugleistungen, die „Fokker D VII“, baute Anthony Fokker im Jahre 1918. Dieses Fokker-Modell erwies sich leistungsmäßig und konstruktionell seinen alliierten Kontrahenten überlegen. Das Kapitel über die Flugzeugbaupioniere wird näher auf die einzelnen Fokker-Konstruktionen eingehen.

Auf alliierter Seite vertraute man weiter auf eine konventionelle „Stick and String“-Bauweise: „*The Allied powers rarely veered from the wood/wire/fabric formula - preferring to rely on the tried and proven than possibly waste time and money on alternatives at such a critical time.*“¹⁶⁹ Die Sopwith F.1 Camel, eines der berühmtesten Flugzeuge der Alliierten, die 1917 zum Fronteinsatz kam, hatte drahtverspannte und stoffbespannte Holzflügel, einen drahtverspannten hölzernen Gitterrumpf, der vorn mit Alublech und

¹⁶⁸ *Flight* vom 28.06.1917. Seiten 642, 643.

¹⁶⁹ Robins 1975. Seite 23.

hinten mit Sperrholz beplankt und mit Stoff bespannt war.¹⁷⁰ Der Rumpf war also noch nicht selbsttragend oder aerodynamisch vorteilhaft.

„The British and French used primarily fuselages of longerons trussed with wooden and wire struts and ties and covered with linen. When they used plywood, it was to cover flat or slightly curved areas.“¹⁷¹

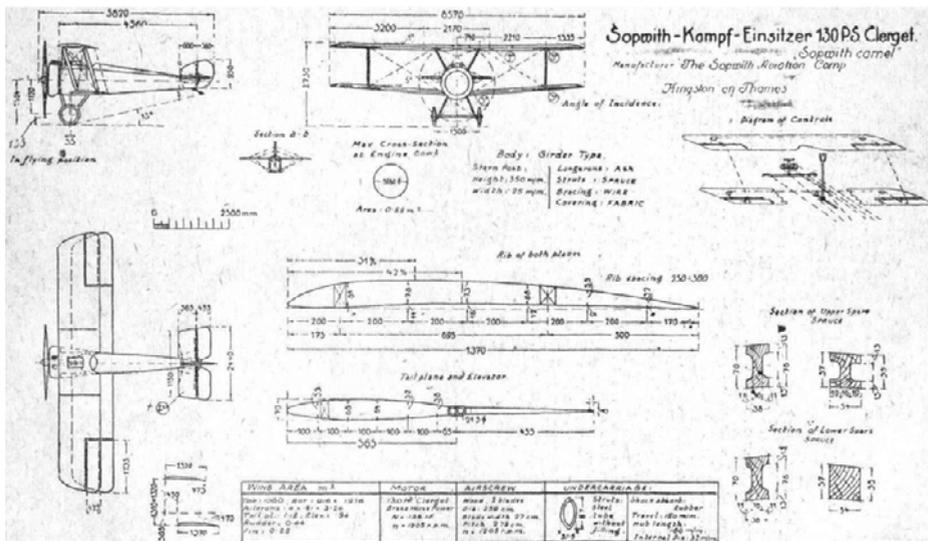


Abbildung 12: Details der Sopwith "Camel". Aus: Flight (12.09.1918). Seite 1021.

Man versuchte auf alliierter Seite vor allem durch leistungsfähigere Motoren die Leistung der Kampfflugzeuge zu erhöhen. Beispielhaft ist hier, dass sich Deutschland bis Kriegsende insbesondere auf die Weiterentwicklung des Daimler Sechszylinder Reihenmotors beschränkte, wohingegen auf alliierter Seite bei Kriegsende bereits Motoren mit 12 Zylindern und 400 PS in Produktion waren.¹⁷² Der sechszylindrige Standardmotor der Daimler-Motoren-Gesellschaft lieferte in seiner letzten Entwicklungsstufe gerade einmal 180 PS im Gegensatz zu den weit über 200 PS der wesentlich leichteren Motoren der Alliierten Hersteller.¹⁷³

¹⁷⁰ Green, William; Swanborough, Gordon: Jagdflugzeuge der Welt. Eine illustrierte Enzyklopädie. Zürich 1996. Seite 535.

¹⁷¹ Morrow 1993. Seiten 162, 163.

¹⁷² Vgl. Wissmann 1975. Seite 347.

¹⁷³ Vgl. Budraß 1998. Seite 33.

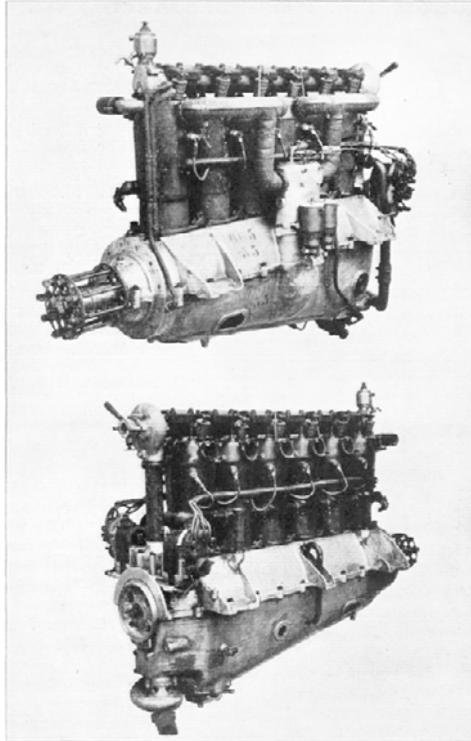


Abbildung 13: Sechszylinder-Reihenmotor der Firma Mercedes (180 PS). Aus Flight (20.06.1918). Seite 682.

Erst im Frühjahr 1918 konnte ein neues Modell von BMW (IIIa) an die Leistung etwa der Motoren von Hispano-Suiza anknüpfen.¹⁷⁴ Wieso man in Deutschland sich erst spät leistungsfähigeren Motoren zuwandte lag daran, dass man von einer Entwicklungszeit von 1,5 bis 2 Jahren ausging und man glaubte dass die Frontreife und der Serienbau zu spät für einen Kriegseinsatz kämen.¹⁷⁵

Auch die Riesenflugzeuge der Deutschen waren konventionell aufgebaut. Sie waren ohne Ausnahme verspannte Doppeldecker und bestanden überwiegend aus konventionellen

¹⁷⁴ Vgl. Ittner, Stefan: Dieselmotoren für die Luftfahrt. Innovation und Tradition im Junkers-Flugmotorenbau bis 1933. Oberhaching 1996. Seiten 68-72.

¹⁷⁵ Vgl. Gersdorff, Kyrril von; Grasmann, Kurt; Schubert, Helmut: Die deutsche Luftfahrt. Flugmotoren und Strahltriebwerke. Entwicklungsgeschichte der deutschen Luftfahrtantriebe von den Anfängen bis zu den internationalen Gemeinschaftsentwicklungen. Bonn 1995. Seite 33.

Flugzeugwerkstoffen.¹⁷⁶ Beim Aufbau kann man vier Typen unterscheiden: Flugzeuge mit verspanntem Holz(gitter)rumpf (Staaken, Linke-Hofmann), solche mit verspanntem Stahlrohr(gitter)rumpf (AEG), jene mit unverspanntem Stahlrohr(gitter)rumpf und die Flugzeuge mit Sperrholz(schalen)rumpf.¹⁷⁷ Die R-Flugzeuge waren also von ihrem Aufbau und von den verwendeten Baumaterialien her mit den kleinen Ein- und Doppelsitzern vergleichbar.

Außer beim SperrholZRumpf waren gemischte Verkleidungen bei den Großflugzeugen üblich. Der vordere Rumpfabschnitt war normalerweise mit Sperrholz beplankt, wobei einzelne Deckenbereiche oder Abdeckungen aus Alu-Blech sein konnten. Bei den mit Sperrholz beplankten Rumpfteilen konnte auf eine Seitenverspannung des Gerüsts verzichtet werden, bei fester Spantausbildung auch auf die Querverspannung. Die Befestigung der einzelnen Sperrholzplatten erfolgte gewöhnlich durch Aufleimen und Nageln. Sperrholzbekleidungen wurden vielfach mit dünnem Stoff überzogen und lackiert.

Die Rumpffestigkeit entsprach in fast allen Fällen den Anforderungen. Mit der Biege- und Verdrehsteifigkeit gab es hingegen insbesondere bei verspannten Holzrümpfen Probleme, welche die Steuerung beeinträchtigten. Diese konnten bei den Staaken-Flugzeugen nie ganz behoben werden.¹⁷⁸

Alle gebauten R-Flugzeuge waren verspannte, mehrstielige Doppeldecker mit in der Regel ungestaffeltem und stoffbespanntem Tragwerk. Der Flügelaufbau und die verwendeten Baumaterialien wurden grundsätzlich vom Kleinflugzeugbau übernommen. Außer AEG verwendeten alle anderen Hersteller Holz als Hauptbaustoff. Als Baustoffe dienten Eschen-, Fichten- und Kiefernholz sowie Sperrholz. Der konstruktive Aufbau der Leitwerksflossen folgte jener der Tragflächen, allerdings mit entsprechend leichter ausgeführten Holmen und Rahmenrippen. Die Ruder waren häufig als Stahlrohrgerüste ausgeführt.¹⁷⁹

Der Aufbau einer Staaken RVI veranschaulicht zu jener Zeit gängige Bauweisen: *„Der Rumpf ist ein Holz-Gitterwerk und mit Stoff bespannt. [...] Die Längsholme laufen von vorne nach hinten durch, die Stiele eines jeden Feldes bilden einen rechteckigen Rahmen. Diese Rahmen sind durch Drahtdiagonalen verspannt.[...] An das Rumpfmittelstück wird*

¹⁷⁶ Vgl. Roeder, Jean: Die deutsche Luftfahrt. Bombenflugzeuge und Aufklärer. Von der Rumpler-Taube zur Dornier Do 23. Bonn 1990. Seite 84 ff.

¹⁷⁷ Typen aus Roeder 1990. Seite 89.

¹⁷⁸ Roeder 1990. Seite 89.

¹⁷⁹ Ebenda 1990. Seiten 90-92.

das Rumpfen­teil mit Beschlägen aus Stahl­form­guß an­ge­schraubt. [...] Holme unter Druck­be­lastung sind aus Esche, die unter Zug­be­lastung aus Fichte. Die Eisen­bes­chläge um­fassen die Holme und sind mit Alumi­nium­schrauben be­festigt. [...] Die Rippen werden aus Cottonwood (Pappelart) oder aus Fichte her­ge­stellt. Die Tuch­be­spannung wurde mit den Rippen ver­schraubt. [...] Alle Ruder waren zu­nächst aus Stahl­rohren ge­schweißt. Später ergab sich beim Über­gang auf eine Alumi­nium­Gitter­Konstruktion eine erhebliche Ge­wichts­re­duzierung.“¹⁸⁰

Wenn man sich die verwendeten Materialien im Flugzeugbau während des Ersten Krieges betrachtet, stellt man schnell fest, dass es auf diesem Gebiet kaum Innovationen gab: *„[...] the war did not produce revolutionary advances.“*¹⁸¹ Alle verwendeten Materialien wurden auch schon vor dem Krieg verbaut. Die Sperrholzbeplankung und der Stahlrohr­rumpf waren ebenfalls bereits bekannt: *„Important wartime innovations – steeltube construction, the introduction of duralumin, and the production of all-metal aircraft, multiengine bombers, and flying boats capable of crossing the Atlantic – were rooted in the prewar era.“*¹⁸² Der Kriegseinsatz half hier aber sicherlich, dass sich diese Konstruktionsverfahren aufgrund ihrer Vorteile im Einsatz und im Kampf durchsetzten.

So sah das auch der Leiter des ersten deutschen Reichsluftamtes August Euler 1919: *„Die Flugzeugindustrie und das Flugwesen ist von einzelnen Privatleuten auf ihre Kosten in nur fünf Friedensjahren entwickelt worden. Der Krieg hat, rein flugtechnisch gesehen, wenig aufgebaut. Er hat das vor dem Kriege Vorhandene durch den Krieg ins Vielfältige übertragen. Dasselbe versteht sich bezüglich der hier in Betracht kommenden Produktionsmittel [...].“*¹⁸³

Und auch der Herausgeber der englischen Luftfahrtzeitschrift „The aeroplane“, C.G. Grey bemerkte 1924: *„Als eine Tatsache hat der Krieg den flugtechnischen Fortschritt behindert, [...].“*¹⁸⁴

Wissmann folgend, zählte im Krieg eben nur das, was in kurzer Zeit einsatzbereit war. Vor allem auf alliierter Seite blieb daher der wichtigste Faktor in der Flugtechnik, nämlich

¹⁸⁰ Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seiten 101, 102.

¹⁸¹ Crouch 2003. Seite 193.

¹⁸² Ebenda. Seite 193.

¹⁸³ Hauptstaatsarchiv Dresden. MDI, 15092, Blatt 122.

¹⁸⁴ Weiss, J.B. : Gliding and Soaring Flight. London 1924. Seite 14.

die Anwendung der Erkenntnisse der Aerodynamik, so gut wie unberücksichtigt.¹⁸⁵ Dieser Annahme widersprechen jedoch die deutschen Fortschritte auf dem Gebiet neuer Materialien und verbesserter Aerodynamik, die zeigten, dass trotz des Krieges Forschung möglich war. Und auch Junkers und Dornier ließen sich von Materialknappheiten bei ihren konstruktionsmäßigen Innovationen kaum beeindrucken.¹⁸⁶ Deutsche Flugzeugkonstrukteure wie Hugo Junkers und Ernst Heinkel ließen dann auch keinen Zweifel daran, dass durch den Krieg ein gewaltiger technologischer Schub im Flugzeugbau ausgelöst wurde.¹⁸⁷

Wenn man im Ersten Weltkrieg auch noch nicht von einer industriellen Flugzeugherstellung sprechen kann, so bleibt festzustellen, dass trotz der Vielfalt der Flugzeugtypen und der werkstattmäßigen Produktionsweise in den meist noch kleinen Firmen teilweise bereits eine Art Großserienfertigung zustande kam.¹⁸⁸

Eine ausgewogene Argumentation zu der Frage, ob der Erste Weltkrieg die Flugzeugentwicklung förderte oder bremste, bietet Hans-Joachim Braun:

„Die Flugzeug- und Flugzeugmotorenentwicklung des Ersten Weltkrieges übte einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die zivile Flugzeugproduktion nach dem Kriege aus. Dies gilt etwa für die Umsetzung aerodynamischer Kenntnisse in die Praxis, die Anwendung rationeller Fertigungsverfahren und den Einsatz verbesserter Motoren und Treibstoffe. Allerdings liegen die Ursprünge dieser Neuerungen häufig schon in der Zeit vor dem Kriege; sie erfuhren aber durch den Krieg eine Beschleunigung. Auf der anderen Seite darf die Bedeutung des Ersten Weltkrieges für die Entwicklung der Flugzeugtechnik nicht überbetont werden. Die Kriegssituation erforderte nämlich kurzfristig realisierbare Neuerungen und den weitgehenden Verzicht auf langfristige Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. Normierung und Standardisierung setzten sich nur partiell durch. Zudem brachte der Krieg eine Unterbrechung des internationalen Technologietransfers

¹⁸⁵ Wissmann 1979. Seite 348.

¹⁸⁶ Morrow 1993. Seite 375.

¹⁸⁷ Vgl. Blunck, Richard; Junkers, Hugo: Der Mensch und das Werk. Berlin 1942. Heinkel, Ernst: Stürmisches Leben. Preetz 1963.

¹⁸⁸ Radkau 2008. Seite 262.

mit sich; knappe materielle und personelle Ressourcen führten zu relativ einfachen, anspruchslosen Konstruktionen.“¹⁸⁹

Auf deutscher Seite wandte man sich bereits zum Kriegsende neuen Werkstoffen zu: „*The Germans were more adventurous [...]*.“¹⁹⁰ Anthony Fokker bereitete mit seiner Verwendung von Stahlrohr ab 1910 schon vor und während des Krieges dem Metallbau den Weg, auch wenn er sich nie vom Gemischtbau verabschiedete und die Flügel seiner Konstruktionen noch in den 1930er Jahren überwiegend aus Holz bestanden.

Die Firma AEG verwendete ab 1911 ebenfalls Profilstahlrohr für ihre Rumpf- und Teile der Flügelstrukturen. Die Struktur der zweimotorigen Doppeldecker-Bomber der G-Serie bestand bis auf die Flügelrippen bereits vollständig aus verschweißtem Stahlrohr und war mit Stoff, am Rumpfbug auch mit Sperrholz, beplankt.¹⁹¹

Hugo Junkers¹⁹² und Claude Dornier¹⁹³ entwickelten dann erste Flugzeuge die komplett aus Metall bestanden. Sie übertrugen den Werkstoff Aluminium vom Luftschiff- auf den Flugzeugbau. Dies stellt eine Hauptzäsur in der Werkstoffgeschichte des Flugzeugbaus da, denn damit begann eine ganz neue Ära der Flugzeugkonstruktion.

Einen Versuch, die im Ersten Weltkrieg verwendeten Jagdflugzeuge in Generationen einzuteilen, lieferte Richard Hallion 1988 in seinem Buch „*Rise of the Fighter Aircraft 1914 – 1918*“. Er unterscheidet für den Ersten Weltkrieg fünf Jagdflugzeuggenerationen.¹⁹⁴

- dem Kriegsdienst angepasste Vorkriegsflugzeuge in Eindeckerauslegung,

¹⁸⁹ Braun, Hans-Joachim: Flugzeugtechnik 1914 bis 1935. Militärische und zivile Wechselwirkungen. In: Technikgeschichte, Band 59. Jahrgang 1992. Seite 341.

Zur Wechselwirkung zwischen Krieg und technischer Entwicklung vgl. Mokyř 1990. Seiten 183 - 186. Mokyř kommt zu dem Schluss, dass technische Entwicklung im Großen und Ganzen durch Krieg eher verzögert als beschleunigt wird. Gunston kommt zu dem Schluss, dass es vor allem ein quantitativer Impuls war, der durch Ersten und Zweiten Weltkrieg ausgelöst wurde. Die militärischen Anforderungen hätten eine aeronautische Evolution überlagert (Vgl. Howard; Gunston 1972. Seite 104).

¹⁹⁰ Robins 1975. Seite 23.

¹⁹¹ Vgl. Flight vom 06.06.1918. Seiten 611 – 616; Flight vom 13.06.1918. Seiten 640 – 645.

¹⁹² Junkers, Hugo (* 3.2.1859 in Rheydt; † 3.2.1935 in Gauting).

¹⁹³ Dornier, Claude Honoré Desiré (* 14.5.1884 in Kempten; † 5.12.1969 in Zug, Schweiz).

¹⁹⁴ Vgl. hierzu Hallion, Richard P.: Rise of the Fighter Aircraft 1914 – 1918. Baltimore, Maryland, USA 1988. Seiten 44 ff., 111, 114. und Hallion 2003. Seite 353.

- von vorneherein als Waffenplattform konzipierte Doppeldecker, die aber oft noch auf Vorkriegskonzepten beruhten,
- Flugzeuge, die auf Grund der Erfahrungen des Luftkriegs über der Westfront konzipiert waren und ein verbessertes strukturelles Design aufwiesen,
- Mehrzweckflugzeuge mit verstärkten Strukturen, großer Motorleistung, verbesserter Bewaffnung und Bedienbarkeit,
- Ganzmetalleindecker.

Obwohl diese Periodisierung vom militärischen Standpunkt aus betrachtet durchaus einleuchtend erscheint, so muss sie für die Wahl der Werkstoffe klar verneint werden.

Bezogen auf den Ersten Weltkrieg lassen sich werkstofftechnisch lediglich vier „Generationen“ unterscheiden: mit Stoff bespannte Holzstrukturen, Monocoque-Holzflugzeuge, mit Holz oder Stoff beplankte Stahlrohrstrukturen und erste Flugzeuge ganz aus Metall. Der Begriff „Generation“ ist jedoch problematisch, weil durch ihn der Eindruck entsteht, dass die eine Bauweise von der anderen abgelöst wurde. Dies war nicht der Fall. Es sollte also eher von Grundströmungen bei der Werkstoffwahl gesprochen werden.

Fokker verwendete schon für seinen Eindecker ein Stahlrohrgerüst. Dagegen gab es auch bei Flugzeugen der fünften Generation noch stoffbespannte Holzstrukturen. Die Periodisierung Hallions erweist sich also bei der Betrachtung der Werkstoffentwicklung als irreführend und nicht zutreffend. Auf eine Periodisierung von Bauweisen bezogen auf die verwendeten Werkstoffe wird im Schlusskapitel eingegangen.

Der Doppeldecker verschwand im Vorfeld des Zweiten Weltkriegs fast vollständig. Dies hatte einfache, praktische Gründe: „*the thicker wing of the monoplane probably offers as great profile drag as the thin aerofoil of the biplane, plus its struts and bracing.*“¹⁹⁵ Außerdem ermöglichte der dicke Flügel durch den undurchkreuzten inneren Raum das Einziehfahrwerk zu realisieren. „*[...] in a high-performance aircraft, the undercarriage may account for as much as one-sixth of the total drag, its retraction has become a matter of primary importance.*“¹⁹⁶ Dagegen bot das feste Fahrwerk auch gewisse (militärische) Vorteile: „*The fixed undercarriage relieves the pilot of one extra control to operate, and probably maintenance in the field is slightly easier.*“¹⁹⁷ Der Raum im Flügel bot zusätz-

¹⁹⁵ Flight vom 25.11.1937. Seite 503.

¹⁹⁶ Ebenda.

¹⁹⁷ Ebenda. Seite 504.

lich Platz für Ausrüstung, wie zum Beispiel Treibstofftanks oder Bewaffnung. Das höhere Gewicht des Eindecker-Flügels wurde durch den besseren Auftrieb des dicken Flügels und den allgemein niedrigeren Luftwiderstand des Eindeckers ausgeglichen. Durchgesetzt hatte sich des Weiteren meist die Tiefdeckeranordnung der Tragflächen. Dies geschah hauptsächlich wegen der Unterbringung des Fahrwerks in den Tragflächen.

Flight fasste 1940 den damals aktuellen Jagdflugzeugbau, der wegen der besonders hohen Anforderungen an die Flugleistungen dieser Flugzeuge als *die* damalige Königsdisziplin des Flugzeugbaus darstellte, wie folgt zusammen:

„Particularly in these days, when large numbers of high-performance fighters have to be built in a very short time, aerodynamic questions must be studied with careful reference to structural considerations, though of proper judgment is not exercised a „good production job“ may turn out to be an aerodynamic monstrosity. Structural design is further complicated by the necessity for providing inspection and access to doors, wheel wells, gun ports, etc., which, although seemingly trivial, present great problems in a machine of small overall dimensions, particularly if stressed skin construction is employed. Gun recoil has also to be considered.

[...] the main varieties as applied to fighters are: all wood; a tubular metal girder framework with fabric, light metal or ply covering; a girder-type fuselage in conjunction with stressed-skin wing; and complete stressed skin. The last-named is now the most generally used for high-speed fighters. The fabric-covered system, although undesirable on aerodynamic grounds, makes for cheap, rapid production as it enables the complex military equipment to be quickly installed.

The limitations imposed by fabric may be overcome by the introduction of some other form of covering over the open girder structure. Plastic sheet or plywood are suggested.“ ¹⁹⁸

Zur Frage, warum der Holzbau im Zweiten Weltkrieg ein Comeback erlebte, wird an anderer Stelle noch eingegangen werden.

Mit dem Einsetzen des Jetzeitalters und den damit stark steigenden Flugleistungen gegen Ende des Zweiten Weltkriegs wurde die Materialfrage im Flugzeugbau wieder neu aufgeworfen. Holzstrukturen konnten den neuen physikalischen Belastungen nicht mehr standhalten - eine schmerzliche Erfahrung die unter anderem die Firma Heinkel mit der

¹⁹⁸ Flight vom 14.03.1940. Seite 246.

He 162 und die Firma De Havilland mit ihrem Experimentalflugzeug D.H.108 machen musste. Auch Aluminium litt unter nicht ausreichender Stabilität. Seit dem Beginn des Jetzeitalters erleben wir eine langsam fortschreitende Abkehr vom Aluminium, hin zu stärkeren Metalllegierungen und modernen Kompositmaterialien, wie Kohle- oder Glasfaser.

3. Werkstoffe

„Es ist die Aufgabe des Flugzeugbauers, als des ausgezeichnetsten Vertreters des Leichtbaus, ständig auf der Suche nach Möglichkeiten zu sein, die die Wirtschaftlichkeit seiner Arbeit verbessern könnten. Neben der rein aerodynamischen Formgebung sind es die Wahl des Werkstoffes und die Art seiner Verwendung, die hierbei die Hauptrolle spielen.“¹⁹⁹

In diesem Kapitel soll auf die im Flugzeugbau verwendeten Werkstoffe genauer eingegangen werden. Wird in anderen Kapiteln mitunter nur ungenau zwischen den einzelnen Werkstoffgruppen Metall und Holz unterschieden, so soll dieses Kapitel helfen, diese Werkstoffgruppen genauer zu differenzieren.

¹⁹⁹ Nicolaus, Fr.: Elektronmetalle als Werkstoff im Flugzeugbau. in: Fortschritte der Luftfahrt. Jahrbuch 1927/28. Frankfurt a.M. 1927. Seiten 327 – 363. Hier Seite 327.

3.1 Metall ist nicht gleich Metall

„Rust is what iron wants to be.“²⁰⁰

Es muss betont werden, dass nicht nur eine Art Metall bei der Flugzeugproduktion zur Anwendung kam. Die Werkstoffgruppe Metall beinhaltet eine Vielzahl von Metallen und Metalllegierungen, die im Flugzeugbau benutzt wurden und werden. Anders ausgedrückt: Metall ist nicht gleich Metall.

Zunächst zu Eisen und Stahl. Der Luftfahrtpionier Fokker verwendete für die Rumpfe seiner Gemischtbau-Flugzeuge ab 1913 ein Gerüst aus einfachem Stahlrohr und die Junkers J1, die 1915 erstmals flog, hatte eine Außenhaut aus einfachem 0,5 mm bis 1 mm starkem Eisenblech.

Verschiedene Stähle fanden im Flugzeugbau 1939 noch mannigfache Anwendung. Die folgenden Stahlvarianten und ihre sehr unterschiedlichen Anwendungsgebiete geben Aufschluss über den damaligen Stellenwert des Stahls als Flugzeugwerkstoff.

Stähle mit niedrigem Kohlenstoffgehalt (weniger als 0,2 Prozent Kohlenstoff) und einer folglich einfachen Verformbarkeit wurden zur Fertigung von Voll- und Hohlketten, Sicherungsdrähten, Leitungsrohren, kleineren Behältern und von Teilen der Auspuffanlage, die keinen hohen Temperaturen ausgesetzt waren, verwendet.

Wiesen Sie einen mittleren Kohlenstoffgehalt (0,2 - 0,45 Prozent Kohlenstoff) auf, wurden sie zur Herstellung von Massenteilen mittlerer Beanspruchung benutzt, etwa für Schrauben, Muttern, Spannschlösser und ähnliche Dreh- und Frästeile. Zum Teil wurden aus ihm auch Stahlrohre mit kleinem Querschnitt hergestellt.

Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt (0,6 bis 0,9 Prozent Kohlenstoff) wurden für durch Dauerleistung beanspruchte Fertigteile herangezogen. Dazu gehörten Spannbänder, Spanndrähte, Drahtseile, Bandfedern, Schraubenfedern und Ventilefedern.

Manganstähle (bis 2,5 Prozent Mangan) boten sich wegen ihrer guten Schweiß- und Festigkeitseigenschaften zur Herstellung von Beschlügen und Holmrohren an.

²⁰⁰ Hooper Mc Carty, Foecke 2009. Seite 189.

Weit verbreitet im Flugzeugbau waren Chrom-Molybdänstähle. Sie wurden wegen ihrer hohen Festigkeit für besonders beanspruchte Flugzeug- und Motorenteile verwendet. Um einige Beispiele zu nennen: Flügel- und Rumpferüste, Streben, Fahrgestellachsen, Luftschraubennarben, Zahnräder, Schrauben und Bolzen.

Äußerst stark beanspruchte Bauteile, wie zum Beispiel Zylinder luftgekühlter Motoren oder Laufbüchsen von flüssigkeitsgekühlten Motoren, wurden wegen des hohen Verschleißes aus sehr harten Chromstählen hergestellt.

Dagegen fanden Gußeisen-Sonderlegierungen (mit Graphit, Silizium, Phosphor), dank ihrer guten Laufeigenschaften Verwendung bei Motorenteilen wie Kolbenringen, Feuer- ringen von Dieselkolben, Ventillführungen und Laufbüchsen.

Kupfer und Zinn wurden nur in geringem Maße benutzt. Die Verwendung von Kupfer beschränkt sich fast ausschließlich auf die elektronische Ausrüstung und Zinnlegierungen wurden beispielsweise für Grund- und Pleuellager von Flugmotoren benutzt.²⁰¹

Nachdem man entdeckt hatte, dass Aluminium eine signifikante Gewichtsreduzierung der Flugzeugstruktur ermöglichte und mit dem Duralumin auch eine Legierung bereit stand, welche die benötigte Stabilität versprach, erfolgte ein international sehr unhomogener und nicht zeitgleicher Übergang zur Verwendung neuer Leichtmetalllegierungen im Flugzeugbau. Stahl konnte jedoch auch später noch seine Vorteile, wie die bessere Hitzestabilität und damit besserer Eignung für den Hochgeschwindigkeitsflug, unter Beweis stellen, wie wir später noch bei der MiG-25 sehen werden.

Aluminium war 1825 von dem dänischen Physiker und Chemiker Hans Christian Ørsted²⁰² entdeckt worden. Parallel forschten in der Folgezeit der deutsche Chemiker Friedrich Wöhler²⁰³ und der französische Chemiker Henri Sainte-Claire Deville²⁰⁴ an dem neuen Metall. Das öffentliche Interesse stand zu dieser Zeit in keinem Verhältnis zu dem Ansehen, das das Aluminium in der Wissenschaft genoss. Selbst nachdem es 1855 auf der Pariser Weltausstellung präsentiert worden war, blieb das öffentliche Echo zurückhal-

²⁰¹ Stähle und ihre Verwendung im Flugzeugbau aus: Hollbach, O.: Deutscher Flugzeugbau. Handbuch der Luftfahrttechnik. Frankfurt a.M. 1939. Seite 173 ff. Vgl. dazu auch: Berg, H.: Metalle für den Luftfahrzeugbau. in: Fortschritte der Luftfahrt. Jahrbuch 1927/28. Seiten 489 - 503.

²⁰² Ørsted, Hans Christian (* 14.08.1777 in Rudkøbing; † 09.03.1851 in Kopenhagen).

²⁰³ Wöhler, Friedrich (* 31.07.1800 in Eschersheim, Frankfurt a. M.; † 23.09.1882 in Göttingen).

²⁰⁴ Deville, Henri Etienne Sainte-Claire (* 11.03.1818 in Saint Thomas, Westindien; † 01.07.1881 in Boulogne-sur-Seine, heute: Boulogne-Billancourt).

tend. Anfangs wurde das neue Metall ausschließlich chemisch und nur in Frankreich hergestellt. Die chemische Herstellung war sehr aufwendig: 1854 so teuer wie Gold, war Aluminium 1884 noch genauso teuer wie Silber.²⁰⁵ Es war „*ein sündhaft teures Metall, umgeben von einer Aura des Luxus und der Exklusivität.*“²⁰⁶ Erst die Entwicklung der Schmelzflusselektrolyse 1886²⁰⁷ führte zu einem Aluminiumpreisverfall und machte aus dem Edelmetall für Schmuck ein Alternativwerkstoff mit mannigfaltigen Anwendungsmöglichkeiten. Der Preis pro Kilogramm Aluminium sank von 1 000,- Mark im Jahre 1855 auf 2,- Mark im Jahre 1900.²⁰⁸

Jahr	Preis pro Kilogramm Aluminium in Francs
1854	3000
Frühjahr 1856	1.000
Herbst 1856	300
1860	130
1889	61

*Tabelle 1: Preisverfall des Aluminiums.*²⁰⁹

Die Eigenschaften des Aluminiums fasste der Autor Jules Verne²¹⁰ in seinem Buch „Von der Erde zum Mond“ wie folgt zusammen: „*Dieses wertvolle Metall ist hell wie Silber, unveränderlich wie Gold, widerstandsfähig wie Eisen, schmelzbar wie Kupfer und leicht wie Glas; [...].*“²¹¹

Trotz den attraktiven Eigenschaften blieb das neue Metall als Alternative zu bestehenden Werkstoffen weitgehend unbeachtet. Das lag auch daran, dass es keine Erfahrungen mit

²⁰⁵ Vgl. Crouch 2003. Seite 170; Wissmann 1975. Seite 148; Marschall, Luitgard: Aluminium - Metall der Moderne. München 2008. Seite 73.

²⁰⁶ Marschall 2008. Seite 73.

²⁰⁷ Charles Martin Hall (1863-1914) und Paul Touissant Héroult (1863-1914) entwickelten unabhängig voneinander 1886 ein elektrolytisches Verfahren, mit dem die wirtschaftliche Gewinnung von Aluminium möglich wurde.

²⁰⁸ Vgl. Brockhaus Konversations-Lexikon. I.Band, 14. Aufl., Berlin-Wien 1901. Seite 482.

²⁰⁹ Daten aus Marschall 2008. Seiten 73 - 76.

²¹⁰ Verne, Jules-Gabriel (* 08.02.1828 in Nantes; † 24.03.1905 in Amiens).

²¹¹ Verne, Jules: De la Terre à la Lune. Trajet direct en 97 heures 20 minutes. Paris 1865. Hier: deutsche Fassung des Herausgebers Volker Dehs. München 2008. Seite 65.

der Verarbeitung des Leichtmetalls und dessen Eigenschaften gab und Verfahren sowie Werkzeuge erst entwickelt werden mussten. Ähnlich wie später im Flugzeugbau verweherten anfangs etablierte Wissenschaftler und Maschinenbauer auf Grund technischer Vorurteile dem neuen Metall eine weite Verbreitung. Franz Reuleaux²¹² beispielsweise spottete 1886 über das Aluminium: „*Was kann man von einem Metall erwarten, das von der harmlosesten Flüssigkeit, selbst vom Schweiß, in Tonerde verwandelt wird?*“²¹³

Verbraucher und Produzenten blieben ratlos, was man mit dem neuen Metall anfangen sollte. Zur Rettung für die junge Aluminiumindustrie wurde ausgerechnet die Stahlindustrie, die das Leichtmetall zur Bindung des Sauerstoffs bei der Stahlschmelze verwendete.²¹⁴

Die Eigenschaften des Baustoffs Aluminium und der gefallene Preis des neuen Werkstoffs waren auch der Grund, warum sich Luftschiffpioniere wie David Schwarz²¹⁵ oder Ferdinand Zeppelin schon früh für das Metall interessierten. Reines Aluminium hatte jedoch keine befriedigenden Eigenschaften. Es war zu weich, um tragende Funktionen zu übernehmen. Frühe Versuche, eine beständige Aluminiumlegierung zu finden, zum Beispiel durch den Zusatz von Zink und Kupfer, die Zeppelin mit dem Industriellen Carl Berg zusammen betrieb, waren nicht von Erfolg gekrönt. Durch das Interesse und die Forschung Zeppelins wurde Aluminium jedoch als Konstruktionsmetall prominenter, was wiederum eine Konzentration der metallurgischen Forschung bei Leichtmetallen bewirkte. Je mehr das Luftschiff an Bedeutung gewann, desto wichtiger wurde die Suche nach einer hochfesten und alterungsbeständigen Aluminiumlegierung für beanspruchte Metallkonstruktionen.²¹⁶

Aluminium ist im Rohzustand weich, schwer zu verarbeiten und zeigt keine nützlichen Eigenschaften. Erst Zusätze von anderen Metallen machten es zum revolutionären Werkstoff.

Reines Aluminium wurde im Flugzeugbau anfangs zur Herstellung von Betriebsstoffbe-

²¹² Reuleaux, Franz (* 30.09.1829 in Eschweiler-Pumpe; † 20.08.1905 in Berlin-Charlottenburg).

²¹³ Geschichte der Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft Neuhausen 1888-1938. Band 1. Zürich 1942. Seite 26.

²¹⁴ Vgl. Marschall 2008. Seite 79.

²¹⁵ Zum Materialwandel im Luftschiffbau und David Schwarz siehe das Kapitel „Materialien im starren Luftschiffbau“.

²¹⁶ Vgl. Budraß 1998. Seite 30.

haltern, Rumpf- und Motorenverkleidungen, Rohrleitungen und Armaturen verwendet und Verbindungen aus Aluminium und Silizium boten sich auf Grund ihrer geringen Wärmeausdehnung besonders für die Verarbeitung in Motoren an.²¹⁷

Zur internationalen Luftschiffahrt-Ausstellung in Frankfurt vom 10. bis 17. Oktober 1909 wurde ein „*Wettbewerb für Leichtmetalle von erheblicher Festigkeit*“ ausgeschrieben.

Im gleichen Jahr patentierte der deutsche Wettbewerbsteilnehmer Alfred Wilm eine Aluminiumlegierung namens „Duralumin“ oder kurz „Dural“. Hierbei handelte es sich um eine Verbindung aus 95% Aluminium, 4% Kupfer, 0,5% Mangan und 0,5% Magnesium.²¹⁸ Nach dem Gießen wurde diese Legierung während des viertägigen Lagerns immer stärker und härter.²¹⁹ Im Endzustand hatte Duralumin bei gleichen Eigenschaften wie Eisenblech nur ein Drittel des Gewichts. Innerhalb weniger Jahre entwickelte sich Dural anschließend zu einem der wichtigsten Flugzeugwerkstoffe und führte schnell zur Überzeugung: „*Aushärtbare Aluminium-Kupfer-Magnesium Legierungen sind der hauptsächliche Baustoff des Metallflugzeugbaus.*“²²⁰

Der Name „Dural“ setzte sich aus Aluminium, dem Namen des Herstellers²²¹, der „Dürener Metallwerke AG“, einer Tochtergesellschaft der Deutschen Waffen- und Munitionsfabriken, und dem lateinischen Wort für „durus“, zu deutsch hart, zusammen.

Nachdem erkannt worden war, dass das „*Silber aus Lehm*“ neben dem „*Salpeter aus Luft*“ ein wichtiges Instrument zur Autarkisierung einer Kriegswirtschaft darstellte, zielte die weitere Erforschung der festen Aluminiumlegierungen vor allem in Deutschland ausdrücklich darauf, Rezepte gegen die vermeintliche Rohstoffarmut zu finden. In diesem Sinne konnte man die Wilmsche Erfindung auch so verstehen, dass das mit Erzen aller Art nicht gesegnete Deutsche Reich in Gestalt seiner Tonvorkommen unversehens über eine fast unbegrenzte Rohstoffbasis für ein Metall verfügte, das in zentralen Anwendungsbereichen Kupfer und Stahl ersetzen konnte.²²²

²¹⁷ Vgl. Hollbach 1939. Seite 176.

²¹⁸ Vgl. Blunck, Richard: Hugo Junkers. Ein Leben für Technik und Luftfahrt. Düsseldorf 1951. Seite 102.

²¹⁹ Vgl. Crouch 2003. Seite 170.

²²⁰ Hollbach 1939. Seite 176.

²²¹ Die Dürener Metallwerke AG hatte Alfred Wilm das Patent für das Duralumin abgekauft.

²²² Budraß 1998. Seite 36.

Der Luftschiffbau wurde zum größten Abnehmer des neuen Metalls²²³ und die Verwendung der statischen Berechnungen, die im Stahlbrückenbau entwickelt worden waren, machte den Luftschiffbau um Graf Zeppelin zum Zentrum der technischen Dynamik, die zum freitragenden, metallenen Flugzeug führen sollte. Ab 1914 schrieb das Reichsmarinemat sogar die Verwendung von Duralumin beim Bau von Luftschiffen vor.²²⁴ Angesichts der Existenz der hölzernen Schütte-Lanz Luftschiffe dürfte diese Vorgabe mit Fortdauern des Krieges wohl gelockert worden sein.

Das Rezept für Duralumin wurde von deutscher Seite streng geheim gehalten und so suchte man im Ausland zum Teil noch weit über den Ersten Weltkrieg hinaus nach der Herstellungsmethode für das stabile Leichtmetall. In den USA gelang es erst 1922 mit umfangreicher staatlicher Unterstützung, eine dem Duralumin vergleichbare Leichtmetalllegierung zu produzieren. Hersteller war hier die Firma Alcoa, der zu dieser Zeit weltweit größten Aluminiumproduzentin.²²⁵

Die Verwendung von Dural brachte aber auch Probleme mit sich. Es konnte nicht geschweißt werden und machte eine Weiterverarbeitung schwierig. Erst das Nieten vereinfachte die Verarbeitung so weit, dass sich für das Dural ein breiteres Anwendungsspektrum erschloss.

Ein weit größeres Problem des Dural war jedoch, dass es in seiner reinen Form stark zur Korrosion neigt, wenn es mit Sauerstoff in Berührung kommt: *„Die Korrosionsbeständigkeit der kupferhaltigen [Aluminium-] Legierungen ist schlechter als die der kupferfreien.“*²²⁶

Salzhaltige Luft und Salzwasser verstärkten das Problem weiter.²²⁷ *„Eindringendes Seewasser setzt sich hauptsächlich in den unzugänglichen Ecken an Verbindungsstellen der Innenkonstruktion fest. Das Austrocknen des Flügelinnern geht wegen schlechter Lüftung und weil sich verdampftes Wasser sofort wieder an den kühleren Metallflächen niederschlägt, nur außerordentlich langsam vorstatten. Durch das Verdampfen und Kondensie-*

²²³ 1913 setzte das Unternehmen 37 Tonnen Duralumin an die Zeppelinwerke ab. 1916 waren es dann schon 750 Tonnen. Vgl. hierzu Hassler, F.: Dürener Metallwerke 1885-1935. Berlin 1935. Seite 84.

²²⁴ Weiß 2010. Seite 44.

²²⁵ Vgl. ebenda. Seite 44; Schatzberg 1999. Seite 32 f.

²²⁶ Hollbach 1939. Seite 176.

²²⁷ Crouch 2003. Seite 171.

ren des Wassers ändert sich ferner ständig die Salzkonzentration an den Korrosionsstellen, was einen beschleunigten Angriff im Gefolge hat.“²²⁸ Da die im Flugzeugbau verwendeten Duralteile sehr dünnwandig waren und dünnwandige Bleche schneller von Korrosion zerstört werden, war das Korrosionsproblem des Dural von sehr ernster Natur.

Diese Korrosionsanfälligkeit des Dural spielte im Krieg jedoch keine große Rolle, da die Lebenserwartung eines Flugzeugs ohnehin sehr gering war.²²⁹

Das Rostproblem von Duralumin wurde 1927 durch den Alclad-Prozess (auch Plattierung genannt) gelöst. *„Alclad might be described as a 'duralumin sandwich', the meat or core being plain duralumin coated on each side with pure aluminium. Theoretically, the pure aluminium is electro-negative to the aluminium alloy, and in the case of galvanic action acts as a barrier to corrosion to the core. The aluminium coating thus serves as a guard against corrosion, similar to the action of zinc on steel.“*²³⁰ Man bedient sich also einer Form von Korrosion, um eine andere zu verhindern.

Auch Kratzer in dieser Schutzschicht sind kein Problem: *„It is said that if this thin film is scratched, the chemical action causes it to 'heal', [...]“*²³¹ Die Deckschicht über dem Dural kann aber auch aus einer kupferfreien Aluminiumlegierung, zum Beispiel einer Aluminium-Magnesium-Legierung, bestehen.

*„Fertigteile werden nach dem elektrischen Oxydationsverfahren (Eloxalbehandlung) behandelt, wodurch die Oberfläche zu Aluminiumoxyd umgewandelt wird. Die Eloxalschicht ist porös und muß deshalb mit Chromsalzen oder Kunstharz nachgedichtet werden; die Schicht bietet einen guten Untergrund für Anstriche aller Art.“*²³²

Zu den Gründen für die lange Zeitspanne bis zur Lösung des Korrosionsproblems gehört auch, dass die Korrosionsanfälligkeit des Durals anfangs nicht erkannt wurde. Die Lebenserwartung eines Flugzeugs war dafür einfach oft zu kurz.

Außer zu einer witterungsbeständigen Deckschicht wurden Aluminium-Magnesium-Legierungen auch zu Drähten, Nieten und Rohren verarbeitet.

²²⁸ Brenner 1931. Seite 644.

²²⁹ Crouch 2003. Seite 171.

²³⁰ Flight vom 22.05.1931. Seite 464.

²³¹ Flight vom 14.11.1930. Seite 1236.

²³² Hollbach 1939. Seite 179.

Die leichtesten im Flugzeug- und Motorenbau verwendeten metallischen Werkstoffe waren Magnesiumlegierungen. Sie sind empfindlich gegenüber Korrosion und wurden zur Herstellung von Anschlussbeschlägen, Fahrwerksträgern, Motortragringen, Motoren- und Pumpengehäusen, Brennstoff- und Ölbehältern, Klappen, Verkleidungen, Blechen, Pressprofilen, Rohren und Schmiedestücken verwendet.²³³

²³³ Hollbach 1939. Seite 177.

3.2 Das „deutsche“ Metall

1909 präsentierte die Firma Griesheim-Elektron anlässlich der Internationalen Luftfahrt-ausstellung in Frankfurt a. M. das von ihr entwickelte Elektronmetall. Die schwierige Verarbeitung ließ jedoch nur wenig Interesse seitens der Luftfahrtindustrie aufkommen. Das änderte sich im Ersten Weltkrieg: *„Erst der Krieg mit seiner Rohstoffknappheit, dem Suchen nach Ersatzstoffen führte wieder zu einer intensiveren Beschäftigung mit Elektron und brachte die entscheidende Wendung, dass das Material aus dem Versuchsstadium in das Stadium einer großen Produktion übergeleitet werden konnte.“*²³⁴ Durch neue Press-techniken konnte man das Metall ebenso leicht verarbeiten wie Messing oder Aluminium. In der Zwischenkriegszeit halfen neue Gussverfahren die Verarbeitung des Elektrons wei-ter zu verbessern.

Elektron besteht zu über 90 % aus Magnesium und erhält Zusätze beispielsweise aus Aluminium, Silizium, Zink und Mangan. Die Verarbeitung des Elektrons ist einfacher als die des Aluminiums, da es unabhängig von einer Wärmebehandlung ist. *„Es ist also bei Elektron ohne weiteres möglich, auf dem Flugplatz einen zerbeulten Rumpf mit Lötlampe und Holzhammer in Ordnung zu bringen.“*²³⁵

Die Festigkeitswerte des Elektrons sind je Legierung, wie bei anderen Leichtmetallen auch, verschieden.

Wie Duralumin neigte Elektron anfangs ebenfalls zur Korrosion, welche jedoch durch verbesserte Legierungen und Schutzlacke verhindert werden konnte: *„Die Beständigkeit des Elektrons gegen irgendwelche äußeren Einflüsse wird natürlich durch einen entsprechen- den Schutzanstrich wie bei jedem anderen Metall auch beträchtlich erhöht.“*²³⁶

1926 hatte Rohrbach dem Elektron noch keine besondere Zukunft vorausgesagt: *„Electron ist zu wasserempfindlich, um für die lebenswichtigen Flugzeugteile verwendet zu wer- den, dagegen ist es für kleinere Armaturen, wenig beanspruchte Hebel etc. gut zu brauchen.“*²³⁷

²³⁴ Nicolaus 1927. Seiten 327, 328.

²³⁵ Ebenda. Seite 328.

²³⁶ Ebenda. Seiten 333.

²³⁷ Rohrbach, Adolf: Entwurf und Aufgaben des Leichtbaus. in: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt. 1926. Seiten 64-70. Seite 66.

Dagegen prophezeite Nicolaus 1927, dass Elektron eine zunehmend wichtigere Rolle im Flugzeugbau spielen würde: *„Es ist anzunehmen, dass eine steigende Verwendung von Elektron einen außerordentlichen Fortschritt in wirtschaftlicher und technischer Beziehung bedeuten wird, zumal mehr als wahrscheinlich ist, daß der heutige Stand der Metallforschung für Elektron noch nicht der endgültige sein wird.“*²³⁸

Im Zuge der Wiederaufrüstung Deutschlands und den Autarkiebestrebungen des „Dritten Reiches“ geriet Elektron wieder in den Fokus (es hieß unberechtigtweise, dass das Leichtmetall eine erhöhte Feueranfälligkeit besitze²³⁹) der offiziellen Stellen, da es eine billige und einfache Alternative zum Aluminium darstellte.

„Für die Herstellung von Elektron aus deutschen Rohstoffen mussten im Gegensatz zur Aluminiumproduktion aus Ton keine besonderen Verfahren entwickelt werden.

Die Herstellung von Elektron basierte auf Karnallit, dem wichtigsten der mitteldeutschen Kalisalze. Später genügten sogar die Abraumsalze der Kaliherstellung. Kalisalz hat eine orange-rote bis hellbraune Farbe, die durch die eingelagerten Eisenoxide hervorgerufen wird. Das herauslösbare und chlorfreie Magnesium ist ideal für die Metallverarbeitung. Hinzu kommt, dass es in Mitteleuropa große Vorkommen von Kalisalzen gibt.

*Neue Verfahren zur Magnesiumgewinnung aus Kalisalz führten im Laufe der 1930er Jahre zu einem Preisverfall bei Magnesium. Die Anwendungshäufigkeit entwickelte sich jedoch nicht proportional zum sinkenden Preis. Zwar fiel das Verhältnis von Gewicht zur Festigkeit gerade im Flugzeugbau eindeutig zugunsten des Elektrons und gegen Duralumin aus. Das Misstrauen gegen das Metall verlor sich aber trotz aller Bemühungen nicht über Nacht, zumal seine Korrosionsanfälligkeit - besonders in Salzwasser - technisch nicht völlig beherrscht wurde.“*²⁴⁰

Da nun aber Elektron einige Probleme der deutschen Rüstungsplanung ausräumte, steigerte man sich in der zweiten Hälfte der 1920er Jahre auf offizieller Seite in eine wahre Elektron-Euphorie. Es wurde beschlossen, bei Leipzig das weltweit erste Elektron-Walzwerk überhaupt zu errichten und auch eine weltweit einzigartige Spritzgussmaschine wurde in Auftrag gegeben.

Die Firma Albatros baute ab 1927 mit der „Elektra“ das erste Flugzeug, das ausschließ-

²³⁸ Nicolaus 1927. Seiten 347.

²³⁹ Vgl. ebenda. Seite 329.; Berg 1927. Seite 497.

²⁴⁰ Budraß 1998. Seite 211.

lich aus Elektron bestand. Versuche und Untersuchungen an diesem Modell zeigten aber, „dass Elektron als Ersatz für Duralumin nicht uneingeschränkt brauchbar war.“²⁴¹ Im Zuge der Elektron-Euphorie erging vom Reichsverkehrsministerium 1929 an mehrere Flugzeugfirmen der Auftrag die Anwendungsmöglichkeiten von Elektron im Flugzeugbau zu untersuchen. Die Bayerischen Motorenwerke (BMW) sollten beispielsweise ihr Flugzeug M 26 aus Elektron bauen. Es zeigte sich sehr bald, dass aus Gründen aufwendigerer Verarbeitungsmethoden und geringerer Festigkeit die Konstruktionspläne der M 26 nicht ohne weiteres dem Elektron angepasst werden konnten. Die Arbeiten wurden daher schnell eingestellt, und Elektron wurde nur noch für wenig belastete Teile, zum Beispiel einfache Verkleidungen, verwendet.²⁴²

Der Ruf der Legierung als Autarkiemetall blieb jedoch erhalten und setzte sich soweit durch, dass in allen Flugzeugen der Luftwaffe schließlich Konstruktionsteile aus Elektron verwendet wurden.²⁴³

²⁴¹ Ebenda. Seite 212.

²⁴² Ebert, Hans J.; Kaiser, Johann B.; Peters, Klaus: Die deutsche Luftfahrt. Willy Messerschmitt - Pionier der Luftfahrt und des Leichtbaues. Bonn 2008. Seite 93.

²⁴³ The German Magnesium Industry, BIOS Misc. Rep. No. 5, UB Bochum, zur Verwendbarkeit des Magnesiums.

3.3 Holz ist nicht gleich Holz

„Holz ist der organische Baustoff höherer Pflanzen und stellt ein hartes, festes Zellgewebe dar, das vom Kambium unter der Rinde erzeugt wird.“²⁴⁴

Wie „Metall“, stellt auch „Holz“ als Werkstoff einen Sammelbegriff sehr verschiedener Werkstoffe dar.

Zunächst zum Vollholz: Bei Holzflugzeugen mit nichttragender Außenhaut wurde das Rumpf- und Flügelgerüst meist aus Massivholz hergestellt. Das übliche Material für Rippenurte, Spantstäbe, Luftschrauben und Holmlamellen war dabei Kiefern- oder Eschenholz, selten auch Bambus.²⁴⁵ Anschließend wurde das Flugzeug mit Stoff, Sperrholz oder Dural beplankt.

Eine wichtige Rolle spielten ab etwa 1912 auch Sperr- und Pressholzverkleidungen und -rumpfe. Für Sperr- oder Schichtholz wurde hier hauptsächlich Birke oder Buche verwendet.²⁴⁶

Sperrholz wird hergestellt, indem man mehrere Lagen Furnier im rechten Winkel zueinander übereinander leimt. Sperrholz hat gegenüber Massivholz den Vorteil, dass es eine höhere Formbeständigkeit besitzt. Weiterhin stellt die natürliche Formlimitierung des Holzes durch die Sperrholztechnik kein Problem mehr da, weil Sperrholz aus einzelnen Holzstücken zusammengeleimt wird. Die verwendeten Stücke können dabei Korngröße besitzen.

„Plywood also reduces the variability of wood by allowing adjacent layers to compensate for small defects and variations. The thin veneers are also easier to inspect for defects than solid lumber. In addition, plywood can be more easily formed into curves shapes than solid wood.“²⁴⁷

²⁴⁴ Merkel, Manfred; Thomas, Karl Heinz: Taschenbuch der Werkstoffe. München 2008. Seite 544.

²⁴⁵ Vgl. Wissmann 1975. Seite 322; Vgl. auch Hollbach 1939. Seite 177.

²⁴⁶ Vgl. Hollbach 1939. Seite 177.

²⁴⁷ Perry, Thomas D.: Modern Plywood. New York 1942. Seite 18 – 47.

Diese Eigenschaften machten es möglich stromlinienförmige und selbst tragende Rumpfe ohne innerer Stützstruktur oder Stützverspannung aus Sperrholz herzustellen.

Die Forschungen des Franzosen Deperdussin führten 1912 zum ersten Flugzeug mit Sperrholzzumpf. Deperdussin leimte erst eine Schicht Furnierstreifen auf einen Attrappenrumpf. Anschließend folgte eine Schicht Stoff. Die folgende Furnierschicht wurde im rechten Winkel zur ersten aufgeleimt. Dann folgte wieder Stoff und wieder Furnier. Am Ende wurde die Attrappe herausgenommen und der selbsttragende Rumpf war fertig. Diese Prozedur dauerte allerdings mit den ständigen Trocknungspausen sieben Tage und war wegen der erforderlichen Handarbeit sehr aufwändig.²⁴⁸

Versuche, dieses Verfahren zu vereinfachen, zeigten erst 1919 mit der „*plywood molding method*“ Erfolg. Eingeführt wurde diese Methode durch Anthony Stadlman bei der Firma Loughead. Das Neue an dieser Methode war, dass alle Schichten des selbsttragenden Sperrholzzumpfes gleichzeitig in einer Form miteinander verleimt wurden. Der Rumpf wurde nicht komplett hergestellt, sondern aus zwei Hälften zusammengesetzt.²⁴⁹

Schwachpunkt der Sperrholzbauweise waren die Leime. Üblich war nach dem Ersten Weltkrieg die Verwendung von Caseinleimen²⁵⁰, welche sich jedoch anfällig gegenüber Feuchtigkeit und verschiedenen Mikroorganismen zeigten.²⁵¹ Die Haltbarkeit und Lebensdauer dieser Leimverbindungen war also gerade in feuchter Umgebung ungenügend.

Erst die Verwendung von Kunstleim, auch Kunstharz genannt, machte das Sperrholz widerstandsfähiger gegen Witterungseinflüsse. Dieser Leim (oder Harz) wurde 1907 durch den belgischstämmigen Amerikaner Leo Baekeland²⁵² entwickelt und 1912 von ihm als Alternative zu den organischen Leimen patentiert. Industriell wurde Kunstharz erstmals 1926 in Deutschland von Thomas E. Goldschmidt als Tego Film²⁵³ produziert.

Eine zweite Kunstleimgruppe sind die flüssigen Harnstoff-Formaldehydharze (Aminoplaste), die sowohl als Warm- wie als Kaltleime (Kaurit) verwendbar sind. Als Warmleime werden sie ebenfalls zur Sperrholzherstellung benutzt, während sie als Kaltleime

²⁴⁸ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 115.

²⁴⁹ Vgl. ebenda. Seite 117.

²⁵⁰ Casein ist ein grobflockig gerinnendes Protein und die wichtigste Eiweißart der Milch. Es wird unter anderem als Bindemittel in Farben oder als Leim verwendet.

²⁵¹ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 127.

²⁵² Baekeland, Leo Hendrik (*14.11.1863 in Ghent, Belgien; † 23.2.1944 in Beacon, New York, USA).

²⁵³ 0,05 bis 0,1mm dicke Folien aus bakelitartigen Phenol-Formaldehydharzen.

hauptsächlich für Leimverbindungen an Flugzeugkomponenten Anwendung finden.²⁵⁴

Das neue Kunstharz war stärker als die traditionellen Leime und reduzierte die Feuchtigkeitsabsorption erheblich. Auch bei der Verleimung der Furniere mit paralleler Faserrichtung, dem so genannten Schichtholz, ergibt der hohe Kunstharzgehalt eine etwa doppelt so hohe Druckfestigkeit und Querfestigkeit wie das Vollholz. Aus Schichtholz wurden beispielsweise Holmgurte und Luftschrauben hergestellt.²⁵⁵

Erst durch die Kunstleime wurde das Sperrholz zur Konkurrenz für das Dural. Durch Kunstleime und Kunstharze wurden moderne Kompositwerkstoffe, wie faserverstärkte Kunststoffe, die im heutigen Flugzeugbau unabdingbar sind erst möglich.

Kunstharze sind zum Beispiel Phenoplaste und Thermoplaste. Phenoplaste werden als Pressstoffe mit Holzmehl- oder Gewebeschnitzel-Füllstoffen zu Massenartikeln wie Gehäuse und Einzelteilen von Bordgeräten, Seilrollen, Führungsteilen, Griffen, etc. verpresst. Ihre großen Vorteile sind das niedrige spezifische Gewicht und die Beständigkeit gegenüber Feuchtigkeitseinflüssen und Betriebsstoffen. Auch das britische „Aerolite“ ist ein solches phenolbasiertes Kunstharz, das als Zugabe Flachsfasern enthält.

Thermoplaste (Mischpolymersiate aus Vinylverbindungen bzw. Polyakrylsäureester) werden wegen ihrer guten Lichtdurchlässigkeit und ihrer leichten Verformbarkeit zu Führerraumverkleidungen, Scheinwerfereinbauten und ähnlichen Zwecken verwendet.²⁵⁶

Howard Hughes verwendete für seine legendäre „Spruce Goose“ ein spezielles Sperrholz namens „Duramold“²⁵⁷. Hughes hatte sich dabei der Erfahrungen der Firma Fairchild bedient²⁵⁸. Duramold ist dem Sperrholz sehr ähnlich: Schichten aus einzelnen Furnierstücken werden übereinander geleimt. Besonders ist, dass die Furnierstücke sehr dünn sind („*one-thirty-second an inch*“²⁵⁹). Die Duramold-Stücke wurden in speziellen Formen gepresst und anschließend durch ein geheimes Verfahren, das die Verwendung von Dampf einschloss, geformt. Ebenfalls besonders war, dass eine Furnierschicht komplett und ohne

²⁵⁴ Vgl. Hollbach 1939. Seite 178.

²⁵⁵ Vgl. ebenda. Seite 177.

²⁵⁶ Vgl. ebenda. Seite 178.

²⁵⁷ Angaben zu Duramold aus: McDonald, John J.: Howard Hughes and the Spruce Goose. The story of the largest and most controversial airplane ever built and the man who made it happen! 1981. Seiten 100 ff.

²⁵⁸ Hughes hatte die Rechte für das Duramold 1939 Sherman Fairchild abgekauft.

²⁵⁹ McDonald 1981. Seite 101. Dies entspricht etwa einer Dicke von acht Millimetern.

Nahtstellen mit Furnierstücken belegt wurde. „*This method provided not only greater strength, but also eliminated any surface disturbance for the air flow. The skin of the Flying Boat is uniformly smooth.*“²⁶⁰ Neue Maschinen mussten für den Duramold-Prozess entwickelt werden: „*Glue pressure for attaching the hull skin was provided by thousands of small nails driven by specially developed nailing guns. After the glue was cured the nails were removed by specially developed nail pullers. Approximately eight tons of nails were used.*“²⁶¹

Auch der Leim war eine Besonderheit: „*Intensive basic research in glues by two subcontractors resulted in the earliest practical solutions to the use of epoxy resins²⁶², which are chemical, thermosetting glues rather than organic glues. Further research and development resulted in special machinery and equipment for bonding, curing, and forming of high quality plywoods. Three different types of epoxy resin glues were used: phenol formaldehyde resin cured by heating to 300°F, a urea formaldehyde resin which cured at 70°F or above, and a medium-temperature resorcinal formaldehyde type glue that became available after the project was well under way.*“²⁶³

Die hohen Ansprüche, die Hughes an das Material stellte, führten dazu, dass er Sperrhölzer ablehnte, welche die Briten beispielsweise ohne Beanstandung für die Mosquito verwendeten.²⁶⁴

²⁶⁰ Ebenda. Seite 101.

²⁶¹ Hughes Flying Boat - World's Largest Airplane. In: Automotive and Aviation Industries. 15.08.1945. Seite 15.

²⁶² Epoxidharze bestehen aus Polymeren, die je nach Reaktionsführung unter Zugabe geeigneter Härter einen duroplastischen Kunststoff von hoher Festigkeit und chemischer Beständigkeit ergeben. Werden Epoxidharz und Härter gemischt, erfolgt je nach Zusammensetzung und Temperatur üblicherweise innerhalb von wenigen Minuten bis einigen Stunden die Aushärtung des ursprünglich flüssigen Gemisches.

²⁶³ Barton 1982. Seite 82.

²⁶⁴ McDonald 1981. Seite 101.

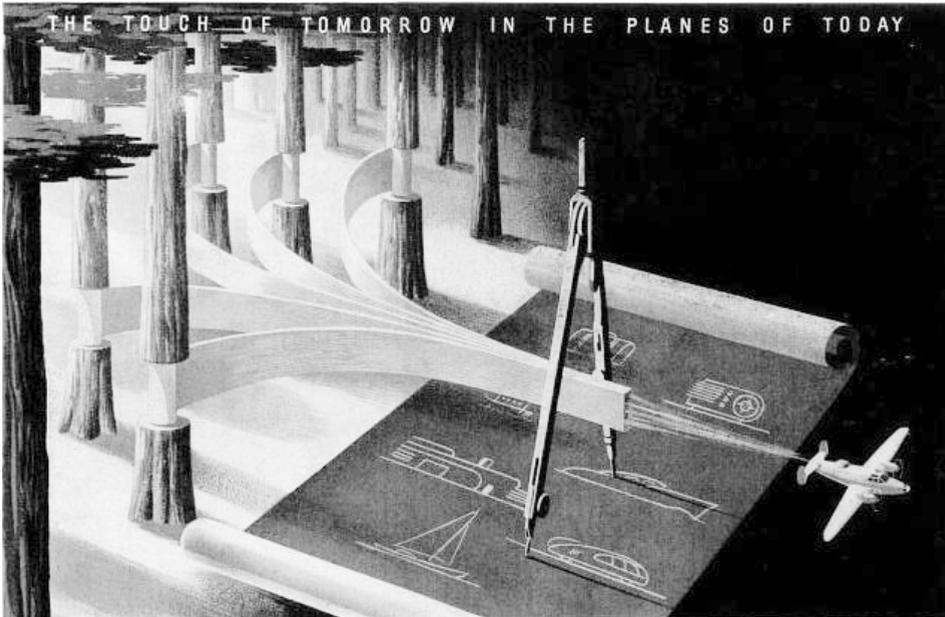


Abbildung 14: Bild aus DURAMOLD-Werbung der Firma Fairchild. LIFE-Magazin 30.08.1943. Seite 90.

Einen interessanten Gemischtbau aus Holz und Metall verwendete die Firma De Havilland unter anderem für die D.H. Hornet. Sie verklebte in einem „Redux“-Verfahren Sperrholz direkt mit Duralblech: „*Very briefly summarised, the wing is a two-spar structure of 45ft. span and is made in one piece. Light-alloy extrusions are embodied in spars of mixed construction; ribs are either of wood, alloy or a mixture of the two, and the skin is a wood sandwich on top and metal below. In the main, wood is used in compression and shear, and metal in tension.*“²⁶⁵

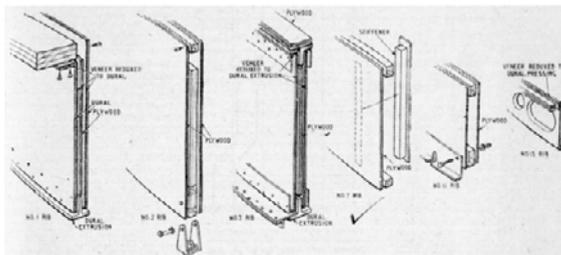


Abbildung 15: Gemischtbau bei der D.H. "Hornet". Aus: Flight (24.01.1946). Seite 87.

²⁶⁵ Flight vom 24.01.1946. Seite 86.

3.4 Stoff ist nicht gleich Stoff

*„Zur Bespannung von Fachwerkkonstruktionen bei kleinen und mittleren Flugzeugen finden meist Gewebe aus Leinen und Baumwolle Verwendung. Je nach Flächenbelastung der Maschine werden Stoffe verschieden hoher Festigkeit und entsprechenden Gewichtes verarbeitet. Die leichteste Bespannstoffart wiegt etwa 100g/m² und besitzt eine Festigkeit von 700kg/m Breite, die schwerste wiegt 180g/m² und besitzt eine Festigkeit von 1800kg/m Breite.“*²⁶⁶

Die Steigerung der Fluggeschwindigkeiten brachte die Leinwand an ihre Festigkeitsgrenze. Ihr Ersatz durch Beplankungen aus Sperrholz oder Metall wurde alleine schon deshalb nötig.²⁶⁷ Stoff wurde aber weiterhin zur Bespannung der Ruderflächen verwendet, wodurch gegenüber einer Blechbeplankung eine Gewichtsreduzierung erzielt werden konnte. Erst die hohen Fluggeschwindigkeiten, die das Jetzeitalter mit sich brachte, machten den Stoff auch bei den Steuerflächen obsolet.²⁶⁸ In neuerer Zeit hat Stoff und Draht bei dem Bau von Drachen und Ultraleichtflugzeugen wieder große Bedeutung gewonnen.²⁶⁹

Wie der Bespannungsprozess mit Stoff genau vor sich ging, erläutert das folgende Zitat:

„A number of pieces are cut simultaneously from a pattern, and several are stitched together so that they will cover the entire wing, top and bottom. This is wrapped around the wing so that the two edges join near the under surface of the trailing edge, the various joints being made with a special stitch. Reinforcing strips and patches are added wherever required, and the whole work calls for highly skilled attention. After assembly the fabric is treated with dope in a separate department set aside for this work, the temperature being kept at a constant temperature of 65° F. A first application of a dope with sun-resisting properties is made with stiff brush, and certain patches are added. This is followed by another similar coat of dope. Two or more coats of a pigment dope are sprayed after this, each being allowed to dry before the next is applied. The final stage, after the

²⁶⁶ Hollbach 1939. Seite 178.

²⁶⁷ Vgl. Richthofen 1929. Seite 10.

²⁶⁸ Vgl. Ebert, Kaiser, Peters 2008. Seite 261.

²⁶⁹ Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 102.

addition of identification and other markings, is the application of a coat of transparent dope and then varnish.“²⁷⁰

Verwendete man anfangs reinen Baumwollstoff zum Bespannen, wurden schon früh Versuche unternommen, durch das Auftragen verschiedener Substanzen den Baumwollstoff widerstandsfähiger und glatter zu machen. Der Brite Wallace Barr erfand daraufhin den mit Cellon imprägnierten Flugzeugstoff, der sich ab 1910 zunehmend als Hauptbespannungsmaterial von Flugzeugen durchsetzte: *„The original Cellon dope had cellulose acetate as a basis, and to it were added the appropriate plasticisers and solvents (the latter was amyl acetate).*“²⁷¹ Während des Ersten Weltkriegs wurde die Rezeptur weiter verfeinert: *„During the last war the use of tetrachlorethane was abandoned and the present nitro-cellulose adopted as a basis for aircraft dopes.*“²⁷² Der mit Cellon imprägnierte Stoff wurde abschließend noch mit der gewünschten Farbe bestrichen. Zum Imprägnierungsprozess schrieb *Flight*: *„The mixer was a 10-gallon drum, and the 'works' were a small shed at Clapham. The solid ingredients were placed in the drum, and one-half of the solvents were added. The mixture was stirred with a broomstick, which was graduated to show the amount of solvent which had to be added to make the correct mixture. The dope was then left until the next morning, when the rest of the solvent was added and the mixture stirred again.*“²⁷³

²⁷⁰ Molloy, E.: Aircraft Production. A practical Survey of Materials and Processes used in the Construction of Modern Aircraft. New York 1941. Seite 86.

²⁷¹ Flight vom 17.04.1941. Seite 287.

²⁷² Ebenda. Seite 288.

²⁷³ Ebenda. Seite 288.

3.5 Werkstoff-Festigkeit im Wandel der Zeit²⁷⁴

Die kontinuierliche Entwicklung der Leichtbauweisen wäre ohne die dazu notwendigerweise parallel verlaufende Entwicklung der Werkstoffe nicht möglich gewesen. Vergleiche der Bruchfestigkeitswerte der Werkstoffe über viele Jahrzehnte sind erschwert, da sich in dieser Zeitperiode die Dimensionsangabe für Spannungen (Kraft bezogen auf die Fläche) mehrfach geändert hat. Gab man die Werte zunächst in kg/m^2 , später in kp/cm^2 und nach dem Zweiten Weltkrieg in N/mm^2 an, so ist heute die übliche Bezeichnung MPa (MegaPascal).

Holz, der Werkstoff der Anfänge, erreichte Bruchfestigkeitswerte je nach Belastungsrichtung (längs oder quer zur Faser) und je nach Belastungsart (Zug oder Druck) von 1100 kg/cm^2 (Pappel) bis zu 2000 kg/cm^2 (Esche). Verspannungsdrähte in Form von Klaviersaiten, je nach Herstellungsart und Zusammensetzung, weisen Bruchfestigkeitswerte von 8000 bis hin zu $19\,000 \text{ kg/cm}^2$ auf.

Die Entwicklung der Leichtmetalllegierungen eröffnete neue Möglichkeiten im Verhältnis Gewicht zu Festigkeit. Das berühmte Duralumin erbrachte einen maximalen Bruchfestigkeitswert von 4400 kg/cm^2 .

Die in unserer Zeit zum Einsatz kommenden modernen Leichtmetalllegierungen werden ständig durch neue Legierungszusätze (beispielsweise Lithium) und noch ausgefeiltere, zum Teil mehrstufige Wärmebehandlungsprozesse in ihren Eigenschaften verbessert. Je nach Gussart, Walz- oder Reckart (kalt oder warm), Art des Halbzeugs (Blech, Band, Pressprofile, Platten, Stangen, Rohre usw.) sind heute Legierungen im Handel, die eine maximale Bruchfestigkeit von 9500 kg/cm^2 haben (Titanlegierung).

Im Leichtbau konstruiert sich heute der Flugzeugbauer seinen Werkstoff selbst. Aus Fasern (Belastungsaufnehmer) und Matrix (Bettungsmasse) entstehen, als Anleihe aus der Natur, belastungsgerecht ausgelegte und geformte Bauteile.

²⁷⁴ Aus: Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 116.

Glasfasern können Bruchfestigkeitswerte bis 4000 N/mm^2 (MPa)²⁷⁵, Aramidfasern bis 3000 MPa und Kohlenstoff-Fasern bis 5000 MPa erreichen.

Die Harzsysteme kommen auf Bruchfestigkeiten, die variabel im Hinblick auf die Belastungsart ausfallen: Polyester 90/80/150 MPa (Zug/Druck/Biegung), Phenol 60/100/120 MPa, Epoxid 140/200/180 MPa, Polyimid 75/170/100 MPa.

Der komponierte Verbundwerkstoff im Bauteil wird je nach Aufbau (Faserart, Fasergehalt, Winkellage der Faserschichten, Harzsystem usw.) beim Einsatz von Kohlenstoff-Fasern mit Bruchfestigkeitswerten von ca. 300 bis 700 MPa aufwarten können.

²⁷⁵ $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$

3.6 Flugzeugwerkstoffe nach dem Zweiten Weltkrieg

Die Fluggeschwindigkeiten, die sich auch dank der neuen Strahltriebwerke gerade im militärischen Bereich immer schneller erhöhten, erforderten neue Werkstoffe im Flugzeugbau aber auch in der Raketenentwicklung, da vor allem Holzstrukturen sowie Aluminiumverbindungen zunehmend unbrauchbar wurden. „*The most pressing problem was the high air temperatures produced by supersonic flight, which quickly reduced the strength of aluminium alloys.*“²⁷⁶ Dass Holzstrukturen mit den hohen Fluggeschwindigkeiten, welche die neuen Düsentriebwerke erlaubten, enorme Probleme hatten, zeigte sich bereits während des Zweiten Weltkriegs. Die deutsche He 162, ein Düsenabfangjäger der letzten Stunde, der im Rahmen des Jägernotprogramms²⁷⁷ entwickelt und gebaut worden war, litt schon bei seinen ersten Flügen unter Strukturproblemen. Am 10. Dezember 1944 verunglückte die zweite Versuchsmaschine als auf Grund von Verleimungsproblemen die rechte Flächennase abplatzte und das Querruder wegflog.²⁷⁸ Anschließend mussten zahlreiche Veränderungen vor allem bei der Holzverleimung vorgenommen werden. Auch wenn die He 162 von vorne herein als Verschleißgerät konzipiert gewesen war, so überstiegen die anfänglichen strukturellen Schwächen sicherlich den Rahmen des Tolerierbaren. Auch das Schicksal der D.H.108²⁷⁹ zeigte, dass Holzstrukturen enorme Schwierigkeiten mit den hohen Belastungen des Fliegens nahe der Schallgeschwindigkeit hatten.

Auch der entstehende zivile interkontinentale Luftverkehr verlangte nach Werkstoffen, die dessen Flugzeugen und deren Strukturen dauerhafte Stabilität garantierten. Die Frage des Ermüdungsverhaltens der Flugzeugzelle trat gegenüber der rein statischen Festigkeit stark in den Vordergrund. Das Ermüdungsproblem zeigte sich, verstärkt durch die lange

²⁷⁶ Schatzberg 1999. Seite 226, 227.

²⁷⁷ Der Begriff Jägernotprogramm bezeichnet ein gegen Ende des Zweiten Weltkriegs entwickeltes Konzept des Reichsluftfahrtministeriums, welches durch den Bau massenproduzierter Abfangjäger der alliierten Bomberoffensive Einhalt geboten sollte.

²⁷⁸ Vgl. Köhler, H. Dieter: Die deutsche Luftfahrt. Ernst Heinkel - Pionier der Schnellflugzeuge - Eine Biographie. Bonn 1999. Seite 210; Vgl. hierzu auch Heinkel 1962. Seite 447.

²⁷⁹ siehe Kapitel über Geoffrey de Havilland.

Nutzungsdauer, die vielen tausend Starts und Landungen sowie insbesondere im Rumpf durch die wechselnden Druckbelastungen bei großen Reiseflughöhen. Es ereigneten sich neuartige Unfälle, die durch Ermüdungsrisse verursacht wurden.²⁸⁰

Die North American X-15²⁸¹, eines der ersten Überschall-Experimentalflugzeuge der US-Amerikaner, konnte aus strukturellen Gründen nicht mehr aus Aluminium hergestellt werden.²⁸² Das Hauptproblem beim Bau der Struktur der X-15 war *Flight* zufolge: „[...] *the fact that almost the entire aircraft might experience peak skin temperatures as high as 1,000 deg F.*“²⁸³ Zu den verwendeten Materialien wird angemerkt: „[...] *in the event the choice fell upon an airframe fabricated from a mixture of stainless steels and titanium beneath an outer skin of Inconel X284. Aluminium alloys are restricted to internal applications where the ambient temperatures and stresses permit their use.*“²⁸⁵ Diese Werkstoffe blieben auch im Überschallflug und den dabei entstehenden sehr hohen Reibungstemperaturen stabil.

„[...] *, weight savings now required the use of lightweight materials capable of withstanding the extreme temperatures inside a jet engine and the heat generated by flight beyond the speed of sound.*“²⁸⁶

Vor allem Titan²⁸⁷, aber auch spezielle Edelstahlverbindungen kamen verstärkt zum Einsatz.

Auch das britische Experimentalflugzeug Bristol 188²⁸⁸ musste Anfang der 1960er Jahre wegen der auf es einwirkenden physikalischen Kräfte aus damals neuen Werkstoffen her-

²⁸⁰ Vgl. Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 110. Ein Beispiel für diese neuartigen Unfälle sind die Probleme mit der D.H. 106 „Comet“ (Erstflug 1949).

²⁸¹ Erstflug 1959.

²⁸² Crouch 2003. Seite 462, 463. Vgl. auch *Flight* vom 08.05.1959. Seite 639.

²⁸³ *Flight* vom 08.05.1959. Seite 639. 1.000 Grad Fahrenheit entsprechen etwa 538 Grad Celcius.

²⁸⁴ Eine Nickel-Legierung.

²⁸⁵ *Flight* vom 08.05.1959. Seite 639.

²⁸⁶ Crouch 2003. Seite 515.

²⁸⁷ Leicht, fest, dehnbar, weiß-metallisch glänzend und korrosionsbeständig ist Titan besonders für Anwendungen geeignet, bei denen es auf hohe Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit und geringes Gewicht ankommt. Reines Titan kommt auf der Erde kaum vor. Es wird aus Ilmenit oder Rutil gewonnen. Der dabei verwendete Herstellungsprozess ist sehr aufwendig, was sich im hohen Preis für Titan niederschlägt.

²⁸⁸ Erstflug: 14.04.1962.

gestellt werden: „*The Bristol 188 is the first British aeroplane, and one of the first in the world, designed to fly so fast that kinetic heating prohibits the use of traditional materials. [...] Evaluation of possible materials began by plotting specific strength and modulus against temperature. These curves suggest that commercially-pure beryllium and the Al/Mn titanium alloy are outstanding; but the former is even today out of the question as a major structural material, and even seven years ago the titanium alloy was neither a known quantity nor commercially available. Eventually it was decided to make the major part of the airframe from two grades of stainless steel, which promised to be more readily available in usable form and to pave the way for structures potentially capable of use at temperatures higher than those which the 188 is designed to reach.*“²⁸⁹



Abbildung 16: Experimentalflugzeug Bristol 188.
Aus: *Flight* (03.05.1962). Seite 693.

Um das Gewicht zu reduzieren, die Struktur aber gleichzeitig stabiler zu machen, wurden nun komplexe Strukturelemente an einem Stück gefertigt (Integralbauweise). Die Niete wurde zunehmend durch andere Verbindungsmethoden abgelöst, um die Oberfläche zu glätten.²⁹⁰ Bei der X-15 wurden beispielsweise die meisten Verbindungen durch Schweißen hergestellt: „*In sharp contrast to normal practice, some 65 per cent of the airframe joints are welds.*“²⁹¹

²⁸⁹ *Flight* vom 03.05.1962. Seite 694.

²⁹⁰ Vgl. Crouch 2003. Seite 516.

²⁹¹ *Flight* vom 08.05.1959. Seite 640.

Hochleistungsflugzeuge, wie das Mach²⁹² 3 schnelle Aufklärungsflugzeug Lockheed SR-71²⁹³ bestanden fast vollständig aus Titan und waren damit sprichwörtlich ihr Gewicht in Gold wert. Die Verarbeitung von Titan ist schwierig und aufwändig. 1950 musste daher für Titanoberflächen mit einem Preis von 200 bis 600 US-Dollar pro square-foot²⁹⁴ gerechnet werden!²⁹⁵

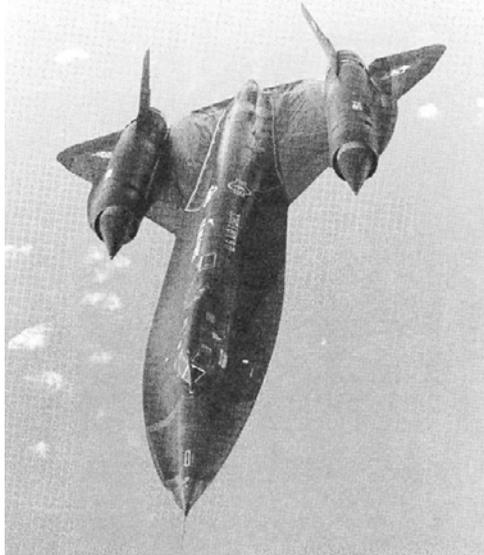


Abbildung 17: Strategischer Höhengaufklärer SR-71 "Blackbird". Aus Flight (20.05.2003). Seite 12.

Dass der Trend zur Verwendung von Titan nicht in allen Ländern zu finden ist, zeigt die sowjetische Mikojan-Gurewitsch MiG-25²⁹⁶, die konstruiert wurde, um die SR-71 abfangen zu können. Als 1976 ein russischer Pilot mit seiner MiG-25 nach Japan desertierte, stellten westliche Geheimdienste mit Verwunderung fest, dass der Titan- und Aluminiumanteil bei dem Abfangjäger relativ gering war. Die MiG-25 bestand zu 80 Prozent aus

²⁹² Die Mach-Zahl (benannt nach dem Physiker und Philosophen Ernst Mach) ist eine physikalische und dimensionslose Kennzahl der Geschwindigkeit. Mach 1 steht für die einfache Schallgeschwindigkeit. Mach 3 für die dreifache Schallgeschwindigkeit.

²⁹³ Erstflug 1964.

²⁹⁴ 1 square-foot (Quadratfuß) entspricht etwa 0,09 Quadratmeter.

²⁹⁵ Crouch 2003. Seite 516.

²⁹⁶ Erstflug 1964.

einer Nickel-Stahl-Legierung, zu 11 Prozent aus Aluminium und nur zu 9 Prozent aus Titan.²⁹⁷ *Flight* fasste die Erkenntnisse bezüglich der verwendeten Materialien bei der MiG 1977 wie folgt zusammen: *“With hindsight, the major surprises which followed examination of Lt Belenko's MiG-25 should not have been surprises at all. Although the Soviet Union is well up in titanium technology now, it is knowledge that has been acquired only recently”*²⁹⁸. *Faced with a requirement for a Mach 3 interceptor in production by 1964, the Mikoyan bureau had no chance to carry out the first-principles research into titanium fabrication which the A-11*²⁹⁹ *programme was spurring in the US. The Foxbat*³⁰⁰ *was accordingly built of steel, with Titanium used only in critical hot-spots such as the leading edges and tailpipes.*

*The use of steel is unique and ingenious, and comparatively labour-intensive. Arc-welding is used extensively to build up components which would be cast or forged in Western aircraft. The skins are steel sheet with reinforcements of steel welded in place. The wide-scale use of steel may seem primitive, but the scorn levelled at the MiG-25 when first details appeared was misplaced. The empty weight of the Foxbat is only 17 per cent more than that of the machined-aluminium-alloy Vigilante*³⁰¹, *and incidentally, the Vigilante uses twice as much Titanium as the Foxbat.* “³⁰²

Stahl, der seit dem Ersten Weltkrieg in Flugzeugen verbaut wurde, konnte es also in der richtigen Legierung auch im Jet-Zeitalter mit dem modernen, hochpreisigen und aufwändig zu verarbeitenden Titan aufnehmen. Auch die Fertigungsmethoden unterschieden sich, zumindest zwischen westlichen und östlichen Flugzeugbauern, offenbar signifikant. Von einer international vorherrschenden und akzeptierten Ansicht, wie ein modernes Hochleistungsflugzeug zu bauen sei, kann also auch nach dem Zweiten Weltkrieg nicht gesprochen werden.

²⁹⁷ Eden, Paul: Mikoyan MiG-25 „Foxbat“. In: Encyclopedia of Modern Military Aircraft. London 2004. Seite 308.

²⁹⁸ Die Sowjetunion stellte Titan erstmals Ende 1953 industriell her (Gunston, Bill: The Osprey Encyclopedia of Russian Aircraft 1875 – 1995. London 1995. Seite XVIII).

²⁹⁹ Die Lockheed A-11 war der konzeptionelle Vorgänger der SR-71, der schon viele Merkmale der SR-71 besaß, aber nicht in Serie gebaut wurde.

³⁰⁰ NATO-Codename der MiG-25.

³⁰¹ North American A-5 Vigilante, Erstflug 1958.

³⁰² Flight vom 23.04.1977. Seite 1122.

Die Natur hat das Problem des Erreichens ausgezeichneter mechanischer Eigenschaften bei sparsamstem Materialeinsatz seit Jahrmillionen gelöst. Bei Pflanzen und Tieren übernehmen die in Lastrichtung liegenden Fasern die entscheidende Rolle im Hinblick auf Festigkeit und Steifigkeit. Eine Matrix, zum Beispiel Bindegewebe oder Zellmaterial, übernimmt die Stütz- und Schutzfunktion. Fasern und Matrix setzen sich zu einem Verbund oder Komposit zusammen. Dieses Prinzip wird auch von den Faserverbundwerkstoffen verwendet: Verstärkungsfasern werden entsprechend der Belastung im Bauteil ausgerichtet und in eine Kunststoffmatrix eingebettet.³⁰³

Die Fasern der Faserverbundwerkstoffe können aus Kohlenstoff, Aramid und Glas bestehen. Kohlenstofffasern haben eine hohe Steifigkeit, aber eine geringe Dehnbarkeit. Umgekehrt verhält es sich bei den Aramidfasern, die aus organischen Polymeren bestehen. Der Vorteil der Glasfasern liegt vor allem in ihrem günstigeren Preis³⁰⁴.

Die bekanntesten Materialien der Kunststoffmatrix sind Harze aus Polyester, Phenol, Epoxid und Polyimid.

Die einzelnen Kompositschichten werden entweder mit gleicher Faserrichtung (unidirektional) oder unterschiedlicher Faserrichtung (multidirektional) miteinander verbunden. Die Fasern einer oder mehrerer Schichten können auch miteinander verwoben werden. Es ist hier wichtig darauf hinzuweisen, dass viele Weiterentwicklungen der Faserverbundwerkstoffe erst aktuell stattfinden.

Besonders im zivilen Bereich wurden Kompositwerkstoffe aus Fiberglas³⁰⁵ oder Carbon³⁰⁶ nach dem Krieg zunehmend wichtig. Karbon hat dabei den Vorteil, dass es 35 Prozent³⁰⁷ weniger wiegt als vergleichbares Metall, aber neun Mal so elastisch ist.³⁰⁸ *Flight* kommt in einem Artikel zu Fiberglas-Bepunktungen zu ähnlich positiven Beurteilungen:

³⁰³ Zur Entwicklung der Faserverbundwerkstoffe vgl.: Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seiten 115-125.

³⁰⁴ Zur Festigkeit der einzelnen Fasern siehe Abschnitt „Werkstoff-Festigkeit im Wandel der Zeit“.

³⁰⁵ Fiberglas = Glasfaserverstärkter Kunststoff. Der Begriff steht für ein Faser-Kunststoff-Verbund aus einem Kunststoff (z.B. Polyesterharz, Epoxidharz oder Polyamid) und Glasfasern.

³⁰⁶ Carbon = Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff. Der Begriff bezeichnet einen Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoff, bei dem in eine Matrix (z.B. aus Kunststoff) Kohlenstofffasern, meist in mehreren Lagen, als Verstärkung eingebettet werden.

³⁰⁷ Arendt und Dörner geben sogar 37 Prozent an. Vgl.: Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 122.

³⁰⁸ Schatzberg 1999. Seite 227.

„[...] a Fiberglass airframe structure, in comparison with a comparable all-metal assembly, can be produced in one-fourth of the engineering man-hours, one-sixth of the production man-hours, and 20 per cent of the tooling and equipment costs.“³⁰⁹ Verbundwerkstoffe aus Kohlefaser sind dafür sehr teuer. Zu Beginn der 1970er Jahre kostete ein Kilogramm Kohlenstofffaser je nach Typ bis zu 1.800 DM.³¹⁰

Seit den 1970er Jahren hielt die Verwendung von Carbon Einzug in die zivile Luftfahrt³¹¹ und auch das Militär interessierte sich für den Werkstoff, nicht zuletzt weil er die Reduktion der Radarsignatur eines Flugzeugs versprach. Die amerikanische Lockheed-Martin F-117³¹² und die ebenfalls amerikanische Northrop-Grumman B-2³¹³ bestehen heute überwiegend aus Faserverbundwerkstoffen. Ihre „Stealth“-Eigenschaft³¹⁴ macht es äußerst schwer sie auf dem Radar zu orten. Die aufwendige Carbonverarbeitung hat jedoch ihren Preis: Eine einzelne B-2 kostete 1988 2,3 Milliarden US-Dollar.³¹⁵

Auch im zivilen Bereich halten die Faserverbundwerkstoffe Einzug in den Flugzeugbau. Bestand der Airbus A 300³¹⁶ noch zu weniger als fünf Prozent aus den neuen Kompositmaterialien, enthält der A 320³¹⁷ schon 15 Prozent des neuen Werkstoffs. Von einem anderen Blickwinkel betrachtet, wird der aktuelle Werkstoffwandel im Flugzeugbau deutlicher: Mitte der 1970er Jahre bestand ein Flugzeug noch zu 80 Prozent aus Aluminiumlegierungen. Derzeit sind es im zivilen Bereich noch etwa 70 Prozent, wobei aktuelle Entwicklungen zeigen, dass der Anteil weiter reduziert werden wird.³¹⁸ Hierzu gibt die folgende Momentaufnahme des Flugzeugbaus Aufschluss.

³⁰⁹ Flight vom 21.09.1956. Seite 526.

³¹⁰ Brinkmann/Zacher 1999. Seite 148.

³¹¹ siehe Kapitel über die Entwicklung der Segelflugzeuge.

³¹² Erstflug: 18.06.1981.

³¹³ Erstflug: 17.07.1989.

³¹⁴ „Stealth“ engl. für Heimlichkeit. Tarnkappentechnik, auch Stealthtechnik genannt, bezeichnet alle Technologien, welche die Ortung eines Objekts durch Unterdrückung der vom georteten Objekt ausgesandten oder reflektierten Emissionen erschweren.

³¹⁵ Crouch 2003. Seite 516.

³¹⁶ Erstflug: 28.10.1972.

³¹⁷ Erstflug: 27.04.2005.

³¹⁸ Marschall 2008. Seiten 123, 124.

Auch Keramik und Faserverbundwerkstoffe mit Keramik werden in Zukunft bei größer werdenden Fluggeschwindigkeiten und Flughöhen an Bedeutung gewinnen, da die Hitzebeständigkeit bei steigender Geschwindigkeit, wegen der entstehenden Reibungshitze, eine immer wichtigere Rolle spielen wird.

Es wird aber noch einige Zeit dauern bis Kompositwerkstoffe wie Carbon die leichten Metallverbindungen als Hauptflugzeugwerkstoff ablösen. „[...] *composites still have a long way to go before dethroning light alloys as the principal material for aircraft structures.*“³¹⁹

Vor allem die Verarbeitungstechnik muss erst noch erlernt werden, damit „Plastik“ zu einer echten Konkurrenz für das seit so vielen Jahren bewährte Leichtmetall wird. Keramik konnte im Bereich der Raumfahrt seine enorme Hitzebeständigkeit beweisen.

Die gegenwärtige Situation erinnert an die Konkurrenzsituation zwischen Holz und Metall zu Beginn des vergangenen Jahrhunderts, wobei Carbon die Rolle des damaligen modernen Baustoffs Dural übernimmt. Dick Rutan, Pilot des Voyager Flugzeugs³²⁰ prophezeite:

*„Aluminium had served aviation well, [...], but now the age of aluminium is nearly over.“*³²¹

³¹⁹ Schatzberg 1999. Seite 227, 228.

³²⁰ Flugzeug aus modernen Kompositwerkstoffen, das die Erde 1987 nonstop umrundete.

³²¹ Hotz, Robert: A New Materials Revolution. In: Aviation Week & Space Technology. Heft 89 vom 30. September 1986. Seite 11.

3.7 Eine Momentaufnahme: Werkstoffe im aktuellen Flugzeugbau

Der Übergang von metallenen zu modernen Flugzeugstrukturen aus Faserverbundwerkstoffen soll in der Folge durch zwei Beispiele verdeutlicht werden. Anhand des Airbus A380 wird der aktuelle Stand des zivilen Flugzeugbaus und dessen Werkstoffe beleuchtet; dagegen sollen gegenwärtige Entwicklungen des militärischen Flugzeugbaus beispielhaft durch die Konstruktionsmaterialien der Lockheed F-22 „Raptor“ dargestellt werden.

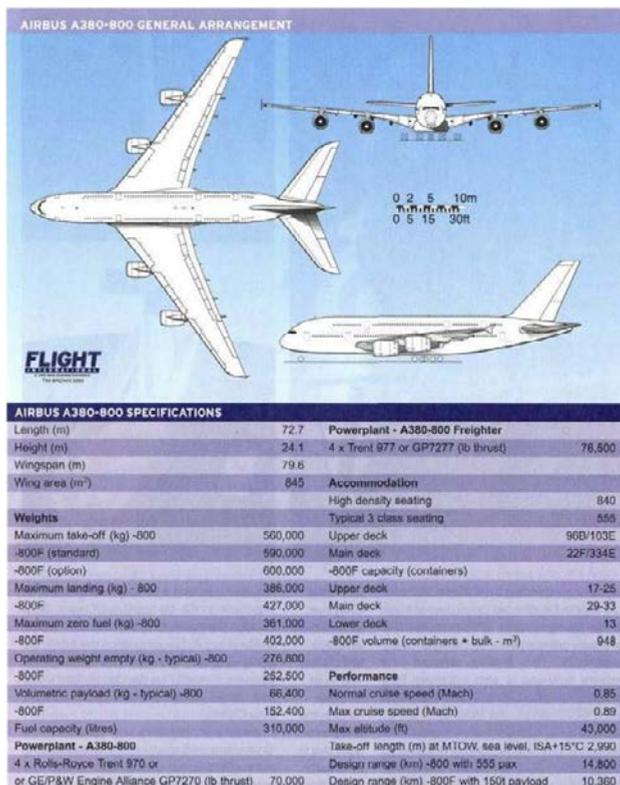


Abbildung 19: 3-Seiten-Ansicht und Leistungsdaten des Airbus A380. Aus Flight Supplement (20.05.2003).

Konzipiert in den 1980er Jahren, konstruiert in den 1990er Jahren, erfolgte der Erstflug des A380 am 27. 04. 2005. Der Airbus besitzt zwei durchgehende Decks, eine Länge von

72,30 Metern und eine Spannweite von 79,80 Metern. Um bei dieser Größe das Gewicht nicht zu groß werden zu lassen und auch eine gewisse Wirtschaftlichkeit während des Betriebes (z. B. Kerosinverbrauch) zu gewährleisten wurde es nötig die modernsten Flugzeugwerkstoffe einzusetzen.

Um eines vorweg zu nehmen: Aluminiumlegierungen bleiben beim A380 die wichtigsten Werkstoffe. 61 % der Struktur des derzeit größten Passagierflugzeugs bestehen weiterhin aus diesen Materialien.

Darüber hinaus kommen jedoch einige neue Werkstoffe und Bauverfahren zum Einsatz:

„The major innovations are:

- *Carbonfibre-reinforced plastic (CFRP) composites are used for the construction of the centre wingbox, rear pressure bulkhead, unpressurised fuselage and wing ribs, in combination with advanced technologies. Intermediate-modulus carbonfibre material is also used in some areas.*
- *Glare - a metal/fibre laminate - is used in the construction of the upper fuselage panels on the forward and aft sections. This equates to 3% of the A380's weight, exclusive of the 22% that is composite.*
- *Airbus has also introduced two categories of advanced alloys - aluminium alloys (for the wing box) and aluminium-lithium.*
- *Laser beam welding technology, first introduced on the A318, is used in combination with 6000-series aluminium alloys on lower fuselage panels.*³²²

„Glare“ steht kurz für „*glassfibre reinforced aluminium*“ und wird beim A380 vor allem für die vordere und hintere Rumpfstruktur verwendet. Es bietet gegenüber Aluminiumlegierungen eine 15-30 prozentige Gewichtseinsparung bei exzellenten Festigkeitseigenschaften. Zusammengesetzt ist das Komposit aus wechselnden Schichten aus Aluminium und „*glassfibre reinforced bond film*“. Jede Schicht hat eine Dicke von 0,38 Millimetern. Mindestens vier Schichten werden verwendet, wobei bei besonders beanspruchten Stellen auch zusätzliche Schichten hinzugefügt werden können. *"The glassfibres function both as a load path and as a crackstopper between adjacent aluminium layers, [...]. Corrosion resistance is also increased relative to aluminium, he adds, with corrosion unable to penetrate the glassfibre layers. [...]. The material can be treated as aluminium by the operator for repairs, [...]. We're still defining inspection intervals, but we know we're con-*

³²² Flight vom 13.07.2004. Seite 63.

servative if we stick to those for aluminium.“³²³

Mangelnde Erfahrung mit dem neuen Material lässt die Konstrukteure dieses noch vorsichtig verwenden: „*De Koning*³²⁴ *says the upper front and rear fuselage makes best use of the material's tensile strength properties. 'The shear loads in the centre fuselage are too high for current Glare configurations,' he says. However he doesn't rule out more widespread application on future A380 variants as the material's properties can be tailored to different requirements.*“³²⁵

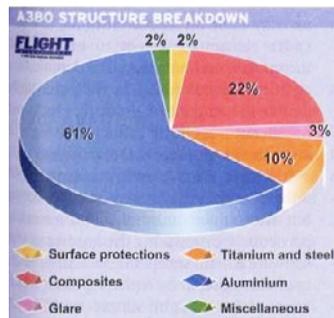


Abbildung 20: Materialzusammensetzung des Airbus A380. Aus: *Flight* (13.07.2004).

Ein Viertel des A380 besteht bereits aus Carbonfaser und dem beschriebenen „Glare“. Dreiviertel des Flugzeugs bestehen aus, heute traditionell anmutenden, Materialien wie Aluminium und Stahl (10%). Auch wenn der Anteil der neuen Werkstoffe noch nicht groß erscheint so weist er doch die Richtung in die sich der zivile Flugzeugbau entwickelt. Die Vorteile der neuen Verbundwerkstoffe erscheinen zu groß, als dass Hemmnisse wie Preis, mangelnde Erfahrung und schwierige Herstellung sie auf lange Sicht aufhalten könnten.

Etwas anders sieht dies im militärischen Flugzeugbau aus. Wie bereits beschrieben ist die strukturelle Belastung bei modernen Kampfflugzeugen ungleich größer als bei zivilen Flugzeugen. Dies liegt unter anderem an den höheren Fluggeschwindigkeiten.

Diese höhere Belastung ist der Grund dafür, weshalb die Einführung moderner Faserverbundwerkstoffe zwar auch im militärischen Bereich enorme Fortschritte macht, Metall aber weiterhin wichtig für die strukturelle Stabilität bleibt. Gleichzeitig ist die potentielle

³²³ Flight vom 20.05.2003. Supplement. Seite 10.

³²⁴ Präsident von Stork Aerospace.

³²⁵ Flight vom 20.05.2003. Supplement. Seite 10.

Gewichtersparnis auch für das Militär so attraktiv, dass weiterhin sehr intensiv an verbesserten Verbundwerkstoffen geforscht wird. Außerdem ist die Reduzierung der Radar-signatur nur mit Verbundwerkstoffen möglich.

Ein Beispiel für die noch relativ spärliche Verwendung von modernen Kompositwerkstoffen ist die Lockheed Martin F-22 „Raptor“³²⁶. Der Prototyp YF-22 bestand zu 32 Prozent aus Aluminium, zu 27 Prozent aus Titan und nur zu 21 Prozent aus Kompositmaterial. Bei der Serienversion wurden die Werkstoffe nochmals geändert. Die Serien-F-22 besteht zu 16 Prozent aus Aluminium, 39 Prozent aus Titan und 24 Prozent aus Kompositwerkstoffen. *„Titanium content was increased at the expense of aluminium because of loads, temperatures and damage-tolerance requirements. Composites content was once intended to be as high as 35%, but cost was a driver in reducing the use of thermoplastics, which accounted for 11% of the YF-22 's structure, to less than 1%.“*³²⁷ Auch Beschusstests führten dazu, dass zum Beispiel Tragflächenholme aus Titan und nicht aus Kompositmaterial hergestellt werden mussten: *„Every third wing intermediate spar was changed to titanium after live-fire testing revealed that the original all-composite design could not withstand a round exploding in the fuel tank.“*³²⁸

Moderne europäische Kampflugzeuge wie der Eurofighter „Typhoon“³²⁹ oder die Dassault „Rafale“³³⁰ verfolgen werkstofftechnisch ein völlig anderes Konzept. Auch wenn diese Flugzeuge taktisch kaum vergleichbar mit der F-22 zu sein scheinen, so lohnt es sich doch die zur Anwendung kommenden Baumaterialien zu vergleichen.

Im Gegensatz zur F-22 verwenden diese europäischen Muster fast vollständig moderne Verbundwerkstoffe. Der Eurofighter besteht zu 70 Prozent aus kohlefaserverstärktem Kunststoff, zu 12 Prozent aus glasfaserverstärktem Kunststoff und nur noch zu 15 Prozent aus Leichtmetall und Titan. Die Vorteile dieser Bauweise beschreibt man auf der offiziellen Website des Eurofighter: *„In tandem with the aerodynamically unstable design, these strong but lightweight materials mean that the weight and size of the airframe and engine are 10 - 20% smaller and 30% lighter, than they would otherwise have been.“*³³¹

Die französische Dassault „Rafale“ besteht ebenfalls hauptsächlich aus modernen Kom-

³²⁶ Erstflug am 29.09.1990 (YF-22), 07.09.1997 (F-22).

³²⁷ Flight vom 15.04.1997. Supplement. Seite 25.

³²⁸ Ebenda.

³²⁹ Erstflug 27.03.1994.

³³⁰ Erstflug 04.07.1986.

³³¹ http://www.eurofighter.com/et_mp_ma_cf.asp (Stand 17.03.2010).

positmaterialien. Auf der Website von Dassault wird ein Anteil von 70 Prozent angegeben. Zur Begründung für diese Materialwahl heißt es dort: „*They also account for the 40% increase in the max take-off weight to empty weight ratio from traditional airframes built with aluminium and titanium.*“³³²

In Europa wurde also vor allem auf die Gewichtsersparnis durch die neuen Werkstoffe und die Wirtschaftlichkeit der Projekte geachtet. Und in der Tat kosten die europäischen Flugzeuge mit 64 bis 70 Millionen Euro³³³ (Rafale) und 86 Millionen Euro³³⁴ (Eurofighter) nur knapp die Hälfte der amerikanischen F-22 (ca. 150 Millionen US-Dollar³³⁵).

Verbundwerkstoffe bieten bei geringerem Gewicht gleiche Stabilität und ermöglichen sowohl leichtere und kleinere Flugzeuge, als auch höhere Zuladungskapazitäten: Argumente, die im militärischen Bereich den Trend zum Kunststoff-Flugzeug beschleunigen und die Verwendung von Metalllegierungen in naher Zukunft obsolet machen könnten.

³³² <http://www.dassault-aviation.com/en/defense/rafale/optimized-airframe.html?L=1>
(Stand 17.03.2010).

³³³ Preis aus: Französischer Senat, Projet de loi de finances pour 2009: Défense – Equipement des forces („Gesetzesvorschlag für das Budget 2009: Verteidigung - Ausrüstung der Streitkräfte“). Weblink: <http://www.senat.fr/rap/a08-102-5/a08-102-516.html#toc236> (Stand: 10.03.2011).

³³⁴ Preis aus: Endspiel um den Eurofighter beginnt. Handelsblatt 18.03.2009. Weblink: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/endspiel-um-den-eurofighter-beginnt/3137282.html>. (Stand: 10.03.2011).

³³⁵ Preis aus: United States Air Force. Committee Staff Procurement Backup Book – FY 2009 Budget Estimates. Weblink: <http://www.saffm.hq.af.mil/shared/media/document/AFD-080204-081.pdf>. (Stand: 10.03.2011).

Flugzeug	Erstflug	Materialien	Größe, Gewicht	Stückpreis
F-22, „Raptor“ (USA)	29.09.1990 (YF-22), 07.09.1997 (F-22)	YF-22: 32% Aluminium 27% Titan 24% Faserverbund- werkstoffe (FVW)	Länge: 18,87 m Spannweite: 13,56 m Leergewicht: 19.700 kg	Ca. 150 Mio. US-Dollar
		F-22: 16% Aluminium 39% Titan 24% FVW		
Eurofighter „Typhoon“ (GB, D, I, Sp)	27.03.1994	82% FVW 15% Aluminium und Titan	Länge: 15,96 m Spann- weite: 10,95 m Leerge- wicht: 11.150 kg	86 Mio. Euro
Dassault „Rafale“ (Frankreich)	04.07.1986	70% FVW	Länge: 15,27 m Spannweite: 10,80 m Leergewicht: 10.220 kg	64-70 Mio. Euro

Table 2: Moderne Militärflugzeuge im Vergleich.

Fassen wir zusammen: Als der Mensch vor mehr als 200 Jahren zunehmend systematisch daran ging, sich seinen Traum vom Fliegen zu erfüllen, benutzte er für seine Fluggeräte zunächst Materialien des täglichen Lebens, die meistens organischer Natur waren: Federn, Bambus, Holz, Stoff und Draht. Der nächste Schritt zu leistungsfähigen, motorgetriebenen Flugzeugen führte zum breiten Einsatz der anorganischen und damit beherrsch- und belastbarer erscheinenden Metalle. Stahl wurde im Ganzmetallflugzeug schnell von Leichtmetalllegierungen abgelöst. Das Nachempfinden von Leichtbaustrukturen der Natur führte den Menschen zu den Faserverbundwerkstoffen.

Es ist wahrscheinlich, dass in der nahen Zukunft der Mensch im Leichtbau weiter versuchen wird, das durch langwierige natürliche Ausleseverfahren bei den Bauweisen in der Natur entstandene „Know-How“ der Optimierung noch besser nachzuvollziehen. Das Bestreben wird sein, in kürzerer Zeit als es die Natur geschafft hat, ökonomisch aber auch ökologisch, Faserverbundbauteile und -strukturen zu entwickeln. Faserverbundwerkstoffe mit „Nerven, Gedächtnis und Muskeln“ sowie einem Selbstheilmechanismus, so genannte „Smart Materials“, liegen durchaus im Bereich des Möglichen. Diese neuen Werkstoffe können sich den jeweiligen Betriebsanforderungen von selbst anpassen.³³⁶ Sie reagieren auf wechselnde äußere Einflüsse mit der Veränderung ihrer Eigenschaften.

Ohne die Bionik ist die Entwicklung von neuen Werkstoffen, aber auch von Leichtbaumaterialien und Konstruktionssystemen, nicht mehr denkbar. So werden zum Beispiel an den ultraleichten Flügeln von Insekten Zusammenhänge von Material, Struktur und Funktion untersucht.³³⁷

³³⁶ Vgl. Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 125.

³³⁷ Vgl. Stattmann, Nicola: Handbuch Material Technologie. Ludwigsburg 2003. Seite 102.

4. Auf dem Weg zum Ganzmetallflugzeug

Im vorangegangenen Kapitel wurde neben den verschiedenen Werkstoffen selbst auch die Entwicklung der Flugzeugwerkstoffe geschildert. Gerade in Deutschland wurden schon während des Ersten Weltkrieges wichtige Weichen hin zum Ganzmetallflugzeug gestellt. Interessant ist hier, wieso ausgerechnet Deutschland diese technische Revolution einläutete und welche Konstrukteure sich dabei besonders hervortaten. Es geht hier darum den Charakter und die wichtigsten Entdeckungen dieser Pioniere herauszustellen. Da nur die Anfänge des Ganzmetallbaus in Deutschland dargestellt werden sollen, enden auch die jeweiligen Biographien mit dem Kriegsende oder kurz danach. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung, die zu den ersten Metallflugzeugen führte und nicht auf deren weiteren Fortgang in der Weimarer Republik oder im „Dritten Reich“. Zum Vergleich werden auch einige britische und amerikanische Flugzeugbauer biographisch vorgestellt, denn nur im Vergleich wird der deutsche „Sonderweg“ deutlich.

4.1 Der deutsche Sonderweg

*„Die gesonderte deutsche Entwicklung ist auf ein Bündel von Faktoren zurückzuführen, die sich ergänzten und teilweise bedingten. Die Tatsache, dass das neue statische und aerodynamische System in Deutschland und hier allein entstand, war auf die Rückständigkeit des deutschen Flugzeugbaus, die intensive staatliche Förderung und die frühe Verwissenschaftlichung der Diskussion über Fragen der Konstruktion zurückzuführen.“*³³⁸

Entscheidend für die Sonderrolle bei der Materialentwicklung im Flugzeugbau waren vor allem der Erste Weltkrieg und der Versailler Vertrag. Das Deutsche Reich befand sich schon früh, auch den Flugzeugbau betreffend, in einer quantitativen Unterlegenheit gegenüber seinen Kriegsgegnern. Man versuchte daher auf deutscher Seite durch technische Innovationen und technischen Vorsprung die quantitative Überlegenheit der Entente-Mächte auszugleichen: *„In a long war, Germany had no hope of matching the Entente’s capacity for aircraft production. German industrial inferiority placed a premium on the search for technological superiority.“*³³⁹

Die Hinwendung zum Flugzeugbaustoff Metall entsprach also dem Streben nach einem technischen Vorsprung im Angesicht einer rüstungswirtschaftlichen Unterlegenheit. Und in der Tat bewahrte die umfangreiche deutsche Luftfahrtforschung die deutschen Luftstreitkräfte vor dem totalen Zusammenbruch: *„Research gave Germany a technological edge.“*³⁴⁰ Und Penrose attestiert: *„German aircraft technology emerged superior, as English and French observers noted after the war.“*³⁴¹ Es ist kein Zufall, dass die Fokker D. VII als das beste Jagdflugzeug des Ersten Weltkriegs angesehen wird. Auch die Zahlen der von den Kriegsteilnehmern produzierten Flugzeuge verraten, dass Deutschland durch

³³⁸ Budraß 1998. Seiten 27, 28.

³³⁹ Schatzberg, Eric: *Wings of Wood, Wings of Metal. Culture and Technical Choice in American Airplane Materials, 1914 – 1945.* Princeton 1999. Seite 22. (im Folgenden wird dieser Titel mit „Schatzberg 1999“ abgekürzt).

³⁴⁰ Crouch 2003. Seite 168.

³⁴¹ Penrose, Harald: *British Aviation: The Great War and Armistice 1915 – 1919.* London 1969. Seite 456, 457.

eine qualitative Überlegenheit die quantitative Überlegenheit der Entente-Mächte nahezu ausglich.

Auch machten gerade die militärischen Niederlagen, die sich gegen Ende des Krieges häuften, die Deutschen experimentier- und innovationsfreudiger als ihre Entente-Gegner.³⁴²

Ein anderer Grund für die deutsche Pionierarbeit auf dem Gebiet des Metallbaus ist die, mit Fortdauern des Krieges, immer problematischer werdende Rohstoffversorgung der deutschen Rüstungs- und Flugzeugindustrie.³⁴³

Ein aufschlussreiches Beispiel sind hier die Zahlen die Wolfram von Richthofen in seiner Dissertation über die Flugzeugwerkstoffe im Kriege zum Sperrholzbedarf vorlegt: *„Innerhalb eines Jahres können in Deutschland an brauchbarem Birkenholz etwa 100 000 m³ eingeschlagen werden. Das bedeutet, dass unter Berücksichtigung des bei einer Sperrholzfabrikation auftretenden hohen Abfalls nur 150 000 m³ hochwertigen Birkensperrholzes mittlerer Stärke monatlich zur Verfügung stehen. Bei einem erhöhten Bedarf nach neuzeitigen Gesichtspunkten, dessen Höhe der Monatsproduktion an Flugzeugen im Jahre 1918 wesentlich nachsteht und unter Berücksichtigung der Verwendung verschiedener Bauarten tritt ein Monatsbedarf an Sperrholz von rund 200 000 m³ auf.“*³⁴⁴

Radkau merkt an, dass in Deutschland Holz seit Mitte des 19. Jahrhunderts importiert werden musste. Damit gehöre es zu denjenigen Materialien, die man im Ersten Weltkrieg durch einheimische zu ersetzen suchte, zum Beispiel durch Stahl.³⁴⁵

Es überrascht daher wenig, dass sich das deutsche Militär auch nach alternativen Baustoffen für seine Flugzeuge umsah. *„A lack of aircraft-quality lumber, and the ease with which unskilled workers could be taught to weld, favored steel-tube construction.“*³⁴⁶

³⁴² Vgl. Creveld, Martin van: *The Changing Face of War. Combat from the Marne to Iraq.* New York 2008. Seite 99.

³⁴³ Vgl. Wissmann 1979. Seite 347.

³⁴⁴ Richthofen, Wolfram von: *Der Einfluss der Flugzeugbauarten auf die Beschaffung unter besonderer Berücksichtigung militärischer Gesichtspunkte.* Berlin 1929. Seite 9.

³⁴⁵ Vgl. Radkau, Joachim; Schäfer, Ingrid: *Holz. Ein Naturstoff der Technikgeschichte.* Reinbek 1987. Seite 49f.

³⁴⁶ Crouch 2003. Seite 173.

Zusätzlich stand Aluminium, im Vergleich zu verschiedenen Erzen, in ausreichender Menge zur Verfügung.³⁴⁷

Und auch Schatzberg sieht hierin die Hauptmotivation des Deutschen Reiches: „*Concern over the wartime supply of aircraft timber was one of the original motivations behind support for metal aircraft construction during World War I.*“³⁴⁸

Die Holzknappheit förderte auch die Verwendung von Sperrholz: „*This method suited Germany, which lacked large numbers of workers and the access to American spruce that was the source for the French, British, and Italian aircraft industries. [...] The quality of aircraft construction material was steadily deteriorating, as the industry rapidly consumed the best wood. [...] Plywood was one alternative to spruce; metal construction was an alternative to both.*“³⁴⁹

Auch beispielsweise Baumwollstoff wurde zur Mangelware. Man ging dazu über die Flugzeuge mit Seide zu bespannen.³⁵⁰ Diese Engpässe beim Bespannungsmaterial dürften eine Suche nach Alternativen ebenfalls mitverursacht haben.

Zusätzlich hatte man auf deutscher Seite aber auch Angst vor einer Stahlverknappung. Daher wurde Fokker und auch die Firma Albatros angewiesen Versuche anzustellen, den Rumpf ihrer Flugzeuge nicht aus einem Stahlrohrgerüst, sondern aus Holz herzustellen. Da Stahlrohr aber bis zum Kriegsende verfügbar blieb, gingen diese Holzversionen nie in Serienfertigung.³⁵¹

Bei den Flugzeugmotoren beschränkte sich das Deutsche Reich, auf Grund der angespannten Kriegslage, vor allem auf die Weiterentwicklung des Sechs-Zylinder-Motors von Daimler.³⁵² „*Government planners frowned on the development of improved engines*

³⁴⁷ siehe das Kapitel über die Werkstoffe. Vgl. hierzu auch Richthofen 1929. Seite 11. Wahrscheinlich ist, dass Aluminiumlegierungen zum Kriegsende hin ebenfalls knapp wurden. So weisen Gersdorff, Grasmann und Schubert beim Flugmotorenbau darauf hin, dass: „Eine Gewichtssenkung durch Aluminium-Blockbauweise - wie beim Hispano - war für den deutschen Flugmotorenbau damals wegen der knappen Alu-Produktion nicht möglich. Sie reichte nicht einmal für die allgemeine Einführung der Alu-Kolben. (Gersdorff, Grasmann, Schubert 1995. Seite 33.)

³⁴⁸ Schatzberg 1999. Seite 144.

³⁴⁹ Morrow 1993. Seite 163.

³⁵⁰ Vgl. Fokker 1933. Seite 273. Zum Engpass bei Bespannstoffen vgl. auch Richthofen 1929. Seiten 9, 10.

³⁵¹ Vgl. Engels, Sven Achim: Deutsche Flugzeugtechnik 1900 – 1920. Heft Nr. IV. Fokker und seine Flugzeuge. Schorndorf 1996. Seite 293.

³⁵² Vgl. Wissmann 1979. Seite 347.

[...] *because it might slow current production.*“³⁵³ Hier behinderte also die angespannte Industrieproduktion technische Innovationen. Auf alliierter Seite waren zum Kriegsende hin bereits Flugmotoren mit 12 Zylindern in Produktion. Seit Kriegsbeginn gab es somit (auf deutscher Seite) einen Problemdruck im Flugmotorenbau, der durch eine forcierte Entwicklung auf diesem Gebiet allein nicht bewältigt werden konnte. Vielmehr eröffnete sich die Perspektive, jenen Rückstand, der schon allein wegen des Mangels an Legierungsmetallen kaum aufholbar schien, durch eine radikale Ausschöpfung der Erkenntnisse über die Aerodynamik des Flugzeugs zu kompensieren. Eine selbsttragende³⁵⁴ Außenhaut, freitragende Flügel und die Eindeckerauslegung versprachen diese aerodynamischen Verbesserungen.³⁵⁵

Auch das Luftschiff förderte die Innovationen im „Flugzeugbau schwerer als Luft“. Bis zum Ersten Weltkrieg erfreuten sich die Luftschiffe von Ferdinand von Zeppelin und August von Parseval einer größeren Popularität als die Tragflächenflugzeuge und konnten beträchtliche Summen aus Spenden und dem Staatshaushalt mobilisieren. Obwohl die Zeppeline den Flugzeugbau in Deutschland in den Schatten stellten, und nicht wenig zu dessen verspäteter Entwicklung beitragen, erleichterten sie als eine Versuchsanordnung geringerer Komplexität die Anwendung der wissenschaftlichen Aerodynamik und stellten darüber hinaus ein besonders attraktives Forschungsfeld für Statiker dar, deren Interesse schließlich vom Luftschiff auf den Flugzeugbau transferiert wurde.³⁵⁶

Als Versuchsanordnung hatten die Zeppeline noch in anderer Hinsicht eine zentrale Bedeutung. In einer Zeit, als weit gestreckte eiserne Hallenkonstruktionen, Brücken und Krananlagen den technischen Fortschritt schlechthin repräsentierten, bildete das Gerüst des Starrluftschiffs, das vielfältigen Beanspruchungen ausgesetzt war und eine weitaus komplexere Kraftübertragung zu gewährleisten hatte und dabei leichter sein musste als ähnliche Konstruktionen aus Metallträgern, eine besondere Herausforderung für die Statik als Wissenschaft. Das Interesse, die Erkenntnisse über die Statik des Metallbaus zu erwei-

³⁵³ Crouch 2003. Seite 173.

³⁵⁴ Freitragend bedeutet, dass die Außenhaut des Flügels und/oder des Rumpfes ohne äußere Verspannung auskommt. Auch die inneren Verstreben konnten auf ein Minimum reduziert werden. Die Außenhaut war so stabil, dass sie alle entstehenden Kräfte aufnehmen konnte. Junkers verstrebe das Flügelinnere durch ein Dural-Rohrgerüst.

³⁵⁵ Vgl. Budraß 1998. Seite 33.

³⁵⁶ Vgl. ebenda. Seite 28. Vgl. auch: Wissmann 1979. Seiten 147 - 156.

tern, übte einen wesentlichen Impuls auf den Flugzeugbau aus. „*Das Luftschiff war in diesem Sinne der ideale Ansatz für die integrierte Untersuchung von Aerodynamik und Statik.*“³⁵⁷

Auch die öffentliche Förderung der Luftfahrt, beispielsweise durch Spenden, half dem Deutschen Reich, sich einen technischen Vorsprung zu verschaffen.

Als Beispiel für die öffentlichen Spenden, welche die Luftfahrt in Deutschland maßgeblich förderten, sei hier die Nationalflugspende erwähnt. Zu dieser rief 1912 das Reichskomitee zur Förderung der Flugtechnik auf. Durch Spenden, die hauptsächlich von Industrie und Handel aufgebracht wurden, sollte die Weiterentwicklung von Flugapparaten, die Pilotenausbildung und die Hinterbliebenen verunglückter Piloten unterstützt werden.³⁵⁸ Die Nationalflugspende ermöglichte es, die Entwicklung der Flugtechnik in Deutschland planmäßig voran zu treiben. Auch die Flugzeug- und Motorenhersteller selbst profitierten von der Spende, durch die sie Mittel für Entwicklungsarbeiten erhielten.³⁵⁹

Vor allem auf die militärische Luftfahrtforschung wirkte sich die Phase zwischen den Weltkriegen negativ aus.

Nach dem Ersten Weltkrieg entwickelte sich, vor allem die militärische Luftfahrt sehr unterschiedlich und eher auf nationaler, als auf internationaler Ebene. „*While the Treaty of Versailles had not destroyed the German aircraft industry, it had made things very difficult.*“³⁶⁰

³⁵⁷ Budraß 1998. Seite 29.

³⁵⁸ Vgl. Schwipps, Werner: Kleine Geschichte der deutschen Luftfahrt. Berlin 1968. Seite 58.

³⁵⁹ Vgl. ebenda. Seite 58, 65.

³⁶⁰ Crouch 2003. Seite 369.

In Deutschland verhinderte der Versailler Vertrag³⁶¹ zum einen Neuentwicklungen, zum anderen förderte er sie, denn das ehemalige deutsche Reich musste Reparationen, unter anderem in Form von Flugzeugen, an die Siegermächte übergeben. Dies führte zu einem Überangebot von ehemaligen Kampfflugzeugen bei den Siegermächten.³⁶² Das Angebot war dort größer als die erst entstehende Nachfrage und so führte der Export von deutschen Flugzeugen dazu, dass man bei den Siegermächten für die größer werdenden zivilen Aufgaben („*Before 1925, there was little demand for commercial aircraft.*“³⁶³) überwiegend auf ehemalige Kampfflugzeuge zurückgriff. „*Vom kaufmännischen Standpunkt konnte die Einstellung der in großer Zahl vorhandenen ehemaligen Kriegsflugzeuge gerechtfertigt erscheinen. Deshalb begnügte man sich zunächst mit dem Ausbau des Kriegesgerätes und dem Einbau geschlossener Gasträume.*“³⁶⁴

Das Limitieren der Motorenstärke durch den Versailler Vertrag förderte außerdem in Deutschland Neuentwicklungen auf den Gebieten des Leichtbaus und der Aerodynamik.

Hinzu kam, dass andere Nationen wenig Interesse an der Verwendung von Metall als Baumaterial für Flugzeuge zeigten.

³⁶¹ Im dritten Abschnitt des Vertragstextes heißt es unter Artikel 198: „Die bewaffnete Macht Deutschlands darf keine Land- oder Marine-Luftstreitkräfte umfassen. Kein Lenkluftschiff darf unterhalten werden.“ Artikel 201 verbot die Herstellung und Einfuhr von Luftfahrzeugen und Flugmotoren für die Dauer von sechs Monaten. Dieses Verbot blieb jedoch länger bestehen, weil nach Ansicht der alliierten Kontroll-Kommission die Ablieferungsbestimmungen (Artikel 202 des Versailler Vertrags) nicht korrekt eingehalten wurden. Am 5. Mai 1922 hoben die Alliierten das Bau- und Einfuhrverbot für die zivile Luftfahrt auf. Der Flugzeugbau blieb weiter beschränkt: die Gipfelhöhe deutscher Flugzeuge wurde auf 4.000 Meter festgelegt, die Geschwindigkeit durfte 170 km/h, die Nutzlast 600 kg nicht übersteigen. Die letzten Beschränkungen des Versailler Vertrags für den zivilen deutschen Flugzeugbau fielen im Mai 1926. (Schwipps 1968. Seiten 82, 83.)

³⁶² Vgl. Morpurgo, J. E.: Barnes Wallis. Harmondsworth, England 1972. Seiten 112, 113.

³⁶³ Schatzberg 1999. Seite 96.

³⁶⁴ Langsdorff 1923. Seiten 828, 829.

4.2 Hölzerne Briten

„*Britain lacked Germany's innovative spirit.*“³⁶⁵ Nach dem Verlust des britischen Luftschiffs *Mayfly* im Jahre 1911³⁶⁶, dessen Gerüst hauptsächlich aus deutschem Dural gefertigt war, verbot die britische Regierung anschließend die Verwendung von Dural bei der Flugzeugkonstruktion.³⁶⁷

Außerdem hatte auch Großbritannien mit Materialknappheiten, wie zum Beispiel einem Engpass an Nickel-Chrom-Verbindungen, zu kämpfen. Und auch andere Materialien waren knapp: „[...] *Britain's lack of suitable materials such as magnets, hard rubber insulating material, and fine copperenameled wire.*“³⁶⁸

Des Weiteren unterstützte die Auftragspolitik der britischen Luftwaffe die Bedeutung der „normalen“ Technologie. Die Royal Air Force setzte weiterhin auf Modelle, die leicht herzustellen, preiswert und ohne großen Aufwand sich verändernden militärischen Einsatzbedürfnissen anzupassen waren.³⁶⁹ Diesen Anforderungen wurde vor allem der konventionelle Holz- oder Gemischtbau gerecht. Der Glaube von *Flight* dagegen, dass zukünftige Flugzeuge aus Dural hergestellt werden müssten, blieb 1918 Randnotiz und fand offensichtlich wenig Beachtung bei den Verantwortlichen: „[...] *; to the author's mind the elimination of wood, canvas, and to lesser extent wire bracing, is the keynote to improved construction.* [...]“

³⁶⁵ Crouch 2003. Seite 172.

³⁶⁶ Die „*Mayfly*“ war das erste starre Luftschiff Großbritanniens. Gebaut wurde es ab 1909, erste Tests erfolgten 1911. Das Gerüst der „*Mayfly*“ bestand aus Duralumin. Schon bei den ersten Versuchen zerbrach das Luftschiff, ohne je geflogen zu sein: „[...] a monument of wasted effort and money.“ aus: *Flight* vom 30.12.1911. Seite 1126. Vgl. auch: *Flight* vom 27.05.1911. Seiten 461, 462. Siehe hierzu auch den Exkurs über den Luftschiffbau.

³⁶⁷ Crouch 2003. Seite 172. Vgl. dazu auch *Flight* vom 31.05.1923, Seite 289: „It is a somewhat curious fact that whereas in this country we are not allowed to use Duralumin for highly-stressed parts, both in Germany and in France this material is being extensively used, and, apparently, with no ill effects on the strength and life of machines.“

³⁶⁸ Morrow 1993. Seite 186.

³⁶⁹ Vgl. Fearon, Peter: *The British Airframe Industry and the State 1918 - 1935.* in: *Economic History Review* 27 (1974), Seiten 236 – 251. Hier Seite 239.

An all-metal construction, preferably of duralumin, would seem to possess many advantages over the existing type, in addition to being non, inflammable.“ 370

Die britische Luftfahrtindustrie hatte nach dem Ersten Weltkrieg mit ähnlichen Problemen zu kämpfen wie die französische. Auch die britische Politik war vom Pazifismus geprägt: *„British statesmen remained obstinately rooted in the pacific habit of a decade earlier and blithely convinced that their policies must be directed still to resolving problems created by the First World War rather than to preparing for the Second.“* 371

Was die Situation in Großbritannien gegenüber der in Frankreich günstiger machte, war die Tatsache, dass man in Großbritannien wegen der Versorgung und Überwachung seiner Kolonien mehr auf Flugzeuge angewiesen war.³⁷² Stark gebremst wurde dagegen gerade der militärische Flugzeugbau durch gesellschaftliche Vorbehalte: *„[...] the replacement of the Liberals by Labor in 1919-20 was accompanied by the emergence of a powerful anti-militarist, anti-imperialist sentiment.“* 373

Die britische Haltung gegenüber dem Metallflugzeugbau Mitte der 1920er Jahre, veranschaulicht folgendes Beispiel: Anlässlich der Abnahme eines Eindecker-Ganzmetall-Flugboots der Firma Rohrbach im Jahre 1925 erklärte der Leiter der Abnahmekommission des „Marine Aircraft Experimental Establishment“, ein gewisser Master of Sempill, dass die Engländer nicht die Absicht hätten, diese Entwicklungsrichtung weiter zu verfolgen, denn einerseits führe der Metallbau zu einem hohen Leergewicht, andererseits gewährleiste ein Eindecker bei gleichem Gewicht nicht die Sicherheit eines Doppeldeckers. Das Flugboot vom Typ Ro III wurde anschließend ausschließlich für Bruchtests verwendet.³⁷⁴

Das Beharrungsvermögen und der technische Konservatismus der Generation von Pionierunternehmern wie Sir Frederick Handley-Page oder Sir Geoffrey de Havilland taten ein Übriges, um die Aufnahme des freitragenden Systems und neuer Werkstoffe im briti-

³⁷⁰ Flight vom 14.02.1918. Seite 167.

³⁷¹ Morpurgo 1972. Seite 235.

³⁷² Vgl. Crouch 2003. Seite 380; Vgl. hierzu auch Boot, Max: War Made New. Weapons, Warriors, and the Making of the Modern World. New York 2006. Seite 271.

³⁷³ Creveld 2008. Seite 83.

³⁷⁴ Vgl. Wagner, Wolfgang: Die deutsche Luftfahrt. Kurt Tank – Konstrukteur und Testpilot bei Focke-Wulf. Bonn 1991. Seite 15.

schen Flugzeugbau bis in die dreißiger Jahre hinein zu verzögern.³⁷⁵

Anlässlich der Pariser Luftfahrtausstellung 1928 erklärte man in *Flight* die überwiegende Verwendung von Aluminium im kontinentaleuropäischen Flugzeugbau damit, dass man dort einfach nicht den Zugang zu größeren Eisenvorkommen habe und dadurch auf den Aluminiumbau angewiesen sei, obwohl sich der Stahlrohrbau bald als überlegen zeigen werde. Besonders in Frankreich müsse Eisen importiert werden, wohingegen Aluminium billig und in großen Mengen verfügbar sei.³⁷⁶ In Großbritannien war dies genau umgekehrt. Wie später noch zu erläutern sein wird, war die Aluminiumknappheit ein Grund für das lange britische Festhalten am Gemischtbau aus Holz, Stahl und Stoff. Auch der reine Holzbau bot eine gewisse Unabhängigkeit vom Import strategischer Rohstoffe.

Bis in die frühen 1930er Jahre hinein entsprach der englische Flugzeugbau weitgehend den Bauweisen, die auch schon Ende des Ersten Weltkriegs benutzt wurden. Dies begann sich erst in den späten 1920er und frühen 1930er Jahren zu ändern. Zum einen bewertete man die strategische Rohstoffversorgung neu: „*It was realised that with aviation gradually attaining far greater importance than it had in the Great War of 1914-18, the question of suitable timber was likely to prove vital.*“³⁷⁷ Man sah die Gefahr einer Holzverknappung („*supplies of silver spruce were difficult to obtain*“³⁷⁸), die sich bereits am Ende des Ersten Weltkriegs eingestellt hatte³⁷⁹, und nun forderte das Air Council den Ganzmetallflugzeugbau, den es vorher verhindert hatte. Der Zugang zu strategischen Rohstoffen wie Holz, Eisen und Aluminium wurde also auf britischer Seite gerade in der Zwischenkriegszeit immer wieder unterschiedlich bewertet. Dieses Hin und Her erklärt sehr gut, wieso sich in Großbritannien der Holz- und Gemischtbau länger behaupten konnte als in Deutschland. Zusätzlich bewertete man den strategischen Stellenwert des Flugzeugs neu, vor allem als sich die militärischen Krisen in den 1930er Jahre häuften. Auch die geostrategische Lage Großbritanniens als Insel spielte dabei eine Rolle. „*The bomber had a particular attraction for interwar Britons who did not want to fight again on the Continent and saw it as a low-cost alternative to large and expensive standing armies.*“³⁸⁰

³⁷⁵ Vgl. Barnett 1986. Seite 129f.

³⁷⁶ *Flight* vom 30.08.1928. Seite 748a.

³⁷⁷ *Flight* vom 20.05.1932. Seite 433.

³⁷⁸ Ebenda.

³⁷⁹ Vgl. Morpurgo 1972. Seite 106.

³⁸⁰ Boot 2006. Seite 271.



"The coming of Britannia's Third Service and "Supremacy in the Air." From an original drawing by Tom Morgas

Abbildung 21: Illustration in Flight, die belegt, dass man sich in Großbritannien schon im Ersten Weltkrieg der kommenden geo-strategischen Bedeutung des Flugzeugs bewusst wurde. Aus *Flight* (03.02.1916). Seite 91.

Außerdem hoffte man durch den Bomber die eigenen Verluste minimieren zu können:
„The bomber, it seemed to those close to the center of British power, offered a means of avoiding the mass slaughter of the Western Front.“³⁸¹

³⁸¹ Crouch 2003. Seite 380.

4.3 Verwirrtes Frankreich

Frankreich, das vor 1914 so beständig Innovationen hervorgebracht hatte, konzentrierte sich im Krieg mehr auf Quantität als auf Qualität der produzierten Flugzeuge. Auf aerodynamische Verbesserungen wurde weniger großen Wert gelegt. Der erste und einzige Windkanal wurde in Frankreich beispielsweise erst im Jahre 1910 gebaut.³⁸²

Ähnlich wie das deutsche Reich mit seiner blockierten Motorenentwicklung, hatte man in Frankreich Angst vor der Verschwendung von Ressourcen: „*Large expenditures on research or radical innovations, officials reasoned, represented a foolish waste of effort at a moment of national crisis.*“³⁸³ Man beschränkte sich auf wenige Flugzeugmodelle um hohe Stückzahlen herstellen zu können. Ähnlich verfuhr man bei den Flugmotoren. An dieser Stelle sind auch Zahlen interessant, die Crouch zur Flugzeugentwicklung während des Krieges vorlegt und die belegen, wie viel Wert Frankreich auf Standardisierung und zentralisierte Kontrolle der Produktion legte und wie Großbritannien und vor allem Deutschland in die Forschung investierte.

Land	Anzahl der in Serie produzierten Flugzeugtypen	Anzahl der hergestellten Prototypen
Frankreich	38	264
Großbritannien	73	309
Deutschland	72	610

*Tabelle 3: Verhältnis von Serienflugzeugen zu Prototypen.*³⁸⁴

Trotzdem beendete Frankreich den Ersten Weltkrieg als eine der technologisch führenden Nationen auf dem Gebiet der Militärluftfahrt.³⁸⁵ Kriegsschulden, ein ausgeprägter gesell-

³⁸² Vgl. Crouch 2003. Seite 172. Deutschland bekam seinen ersten Windkanal bereits im Jahre 1908.

³⁸³ Ebenda.

³⁸⁴ Zahlen aus Crouch 2003. Seite 167.

³⁸⁵ Vgl. Cain 2002. Seite 10.

schaftlicher Pazifismus³⁸⁶ und die Weltwirtschaftskrise verhinderten größere staatliche Aufträge für die Luftfahrtindustrie bis in die späten 1930er Jahre hinein: *„The late 1920s and early 1930s witnessed a surge of technical developments in aviation. France’s air industry was no exception to this phenomenon. [...] Fears for the economy, coupled with an active disarmament movement, served as a brake on modernization initiatives for the air force until the mid-1930s.“*³⁸⁷

*„Nationalization succeeded in reducing the level of chaos and led to a sharp rise in government expenditures and production in 1938 and 1939. But it was too little, too late. [...] When war came, the number of French aircraft that met the world standard was very small.“*³⁸⁸ Ein Grund dafür war auch, dass die französische Luftfahrtindustrie, die im Vergleich zu modernen Konstruktionsverfahren und Fertigungsmethoden zu diesem Zeitpunkt dem internationalen Standard bereits hinterher hinkte.³⁸⁹ *„Industrial plants, particularly the aviation industry, hewed to a craftsman ethic in France, where the concept of developing institutions and production practices geared toward competing in modern, machine-age warfare lagged behind the leading industrialized nations.“*³⁹⁰

Obleich es in Frankreich schon seit den frühen 1920er Jahren wichtige Schritte hin zum Metallflugzeugbau gegeben hatte³⁹¹ und man 1927 die erste Passagiermaschine in Ganzmetallbauweise in Betrieb nahm³⁹², zeigten in den späten 1930er Jahren entwickelte französische Jagdflugzeuge, dass man die moderne Schalenbauweise zwar beherrschte es aber auch weiterhin stark traditionelle Bauweisen gab. Die Dewoitine D 520 war ein moderner Ganzmetalljäger in Schalenbauweise. Die Morane 406 dagegen war zwar ihrer äußeren Erscheinung nach durchaus fortschrittlich, ihre Struktur war jedoch noch nicht selbsttragend ausgelegt. Auf das metallene Rumpferüst wurden unterschiedliche Beplankungen aufgebracht: *„The whole wing is covered with Plymax panels. This material consists of a layer of plywood and a second (on the outside) of aluminium. [...] The fuselage has four tubular duralumin longerons and traverse members. In the forward part (metal covered)*

³⁸⁶ Vgl. hierzu Creveld 2008. Seite 84: *„Female or male, most French citizens came to think of war as an evil necessity at best, a horror to be avoided at almost any cost at worst.“*

³⁸⁷ Cain 2002. Seite 26.

³⁸⁸ Crouch 2003. Seite 379.

³⁸⁹ Vgl. Cain 2002. Seite 30.

³⁹⁰ Ebenda. Seite 106.

³⁹¹ Vgl. hierzu den Flight-Artikel über die Michel Wibault 3C1 vom 31.05.1923. Seite 289 f.

³⁹² Vgl. hierzu den Flight-Artikel über die Avimeta A.V.M.132 vom 17.11.1927. Seite 793 ff.

these are in the form of frames, and at the rear, which is covered with fabric, are composed of vertical and horizontal struts with wire bracing. The tail surfaces have U-section duralumin spars and Elektron covering.“³⁹³



Abbildung 22: Morane 406. Aus: Flight (04.04.1940). Seite 307.

Dieses Flugzeug vereinte in sich viele der gängigen Konstruktionsmaterialien und ist deshalb sinnbildlich für den französischen Flugzeugbau der Zwischenkriegszeit, der taktisch und konstruktionell durch und durch ziellos wirkte.

³⁹³ Flight vom 04.04.1940. Seiten 307, 308.

4.4 Ziviler Flugzeugbau als Schrittmacher des Werkstoffwandels - die USA

Amerika besaß bis 1917 im Vergleich zu den kriegführenden europäischen Ländern eine sehr bescheidene Flugzeugindustrie³⁹⁴. „*When the United States declared war on Germany in April 1917, it had barely 100 military airplanes.*“³⁹⁵ Und die meisten davon waren Aufklärer. Präsident Theodore Roosevelt schrieb an den Sekretär des Aero Club of America: *“This country, which gave birth to aviation, has so far lagged behind that now, three years after the great war began, and six months after we were dragged into it, we still have not a single machine competent to fight the war machines of our enemies.*“³⁹⁶

Mit dem amerikanischen Kriegseintritt verlangten die europäischen Verbündeten nun nach Unterstützung durch die amerikanische Flugzeugindustrie, die daraufhin erst einmal aufgebaut werden musste. Dabei erwiesen sich die Methoden Fords zur Massenfertigung als kaum übertragbar auf den Flugzeugbau, der auf Grund der aufwändigen Bauweise der Flugzeuge von gelernten Fachkräften abhängig blieb und sich kaum mechanisieren ließ.³⁹⁷ Da man bei der Flugzeugentwicklung und den Flugmotoren Europa hinterherhinkte und die europäischen Verbündeten schnell unterstützen wollte, entschloss man sich kriegserprobte europäische Flugzeugmodelle in Lizenz in den USA herzustellen.³⁹⁸ Es gab in den USA auch schon während des Krieges Versuche, Teile von erprobten konventionell gebauten Flugzeugen aus Metall herzustellen. Es wurde jedoch auf dem Gebiet der Metallverwendung beim Flugzeugbau kein technischer Durchbruch erzielt. Das lag auch daran, dass vor dem Krieg in den USA überhaupt kein Dural hergestellt worden war.³⁹⁹

³⁹⁴ Zu den Gründen für die Rückständigkeit der amerikanischen Flugzeugindustrie siehe Hallion 2003. Seite 388.

³⁹⁵ Hallion 2003. Seite 389.

³⁹⁶ Zitiert nach Hallion 2003. Seite 388.

³⁹⁷ Vgl. Hallion 2003. Seite 389.

³⁹⁸ Vgl. Crouch 2003. Seite 189.

³⁹⁹ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 32.



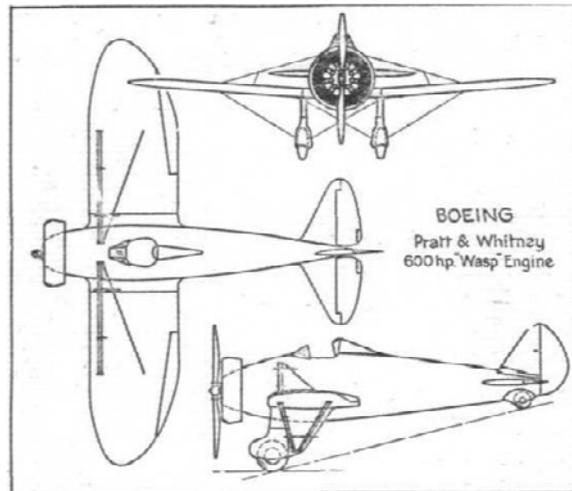
Abbildung 23: Karrikatur in *Flight* über den erwarteten Kriegseintritt der USA. Aus: *Flight* (22.03.1917). Seite 265.

Innovationen gab es in den USA hauptsächlich auf dem Gebiet der Flugmotoren. Auf der Suche nach einem Standardmotor, der leichter in großer Stückzahl produziert werden konnte, wurden sehr leistungsstarke Liberty-Motoren entwickelt. Etwa 13.000 wurden davon bis Kriegsende hergestellt.

Auch was die Flugzeugproduktion angeht, wurde mit dem Kriegseintritt der USA „ein schlafender Riese“ geweckt. In nur 20 Monaten holte Amerika den europäischen Vorsprung in der Flugzeugtechnik nahezu auf.⁴⁰⁰ Es verstrichen jedoch einige Jahre bis sich der Metallbau auch in den USA durchsetzte. Sinnbildlich für die amerikanische Skepsis gegenüber Ganzmetallflugzeugen ist hier die Aussage eines amerikanischen Colonels beim Anblick eines Junkers Ganzmetallflugzeugs im Jahre 1920: „*If that airplane will fly,*

⁴⁰⁰ Vgl. Crouch 2003. Seite 193.

a battleship will fly“⁴⁰¹. Den ersten Ganzmetalleindecker erhielt das U.S. Army Air Corps erst 1933 (!) in Form der Boeing P-26 „Peashooter“⁴⁰². Bis in die 1920er Jahre bediente man sich in den USA ausländischem Know-How, ausländischer Technologie und ausländischer Flugzeuge.⁴⁰³



THE BOEING P-26 : General arrangement outline drawings.

Abbildung 24: Boeing P-26 "Peashooter".
Aus: *Flight* (23.08.1934). Seite 864.

Dagegen kamen zivile bzw. kommerzielle Ganzmetallflugzeuge etwas früher auf den amerikanischen Markt. Anders als in anderen Ländern wurde die zivile und weniger die militärische Luftfahrt zum Innovationsmotor der amerikanischen Luftfahrtindustrie. „Commercial aviation in America developed directly from military technologies. After World War I, American commercial airplanes differed little from military aircraft in materials and structures.“⁴⁰⁴ Der sich gerade erst entwickelnde Luftverkehr verhinderte, dass Flugzeugbauer in den meisten Ländern das kostspielige Risiko der Ganzmetallkonstruktion auf sich nahmen: „Few firms could combine the capital and expertise needed to pro-

⁴⁰¹ Dienstbach, C.; Wilson, L. J.: The Wonderful New All-Metal Monoplane. As revolutionary as the first iron ship. *Popular Science Monthly*. Oktober 1920. Volume 97, Nr. 4.

⁴⁰² Vgl. Swanborough, Bowers 1989. Seite 99.

⁴⁰³ Vgl. Hallion 2003. Seite 393.

⁴⁰⁴ Schatzberg 1999. Seite 96. Zu den Gründen, welche die amerikanische Luftfahrtindustrie stimulierten siehe auch Hallion 2003. Seite 393.

duce metal airplanes for an air transport market that remained almost entirely hypothetical.“⁴⁰⁵ Der in den USA bereits früh bestehende Wettbewerb zwischen den Fluglinien, der durch die Privatisierung des Luftpost-Verkehrs eingesetzt hatte, förderte Innovationen auf dem Gebiet des Flugzeugbaus. Übernommen wurde zuerst der Stahlrohrumpf und erst viel später, gegen Ende der 1920er Jahre, der Ganzmetall- und Schalenbau. Bis zu diesem Zeitpunkt besaßen deutsche Hersteller, wie Junkers oder Dornier ein Monopol, was den Metallflugzeugbau betraf, auch wenn ihre Produktion durch den Versailler Vertrag eingeschränkt wurde.

Henry Ford konstruierte mit der 4-AT, die 1926 erstmals flog, ein kommerziell sehr erfolgreiches Ganzmetallflugzeug: „*Ford sold a total of seventy-eight 4-ATs, making it the first commercial metal airplane produced in quantity in the United States.*“⁴⁰⁶ Bei diesem Modell wurde jedoch die Außenhaut noch nicht als tragendes Element verwendet, Rumpf und Flügel waren innen stark verstrebt. Die Ford Company selbst beschrieb das Flugzeug und sein Material wie folgt: „*The entire structure and covering of the Ford plane is metal, all exposed surfaces being 'Alclad' alloy which is non-corroding. Aside from the obvious advantage of freedom from rotting, splitting, tearing, and warping, all-metal construction assures the perfect fit of all replacement parts, and its strength may be predetermined with accuracy.*“⁴⁰⁷

Jedoch baute man in den USA bis in die frühen 1930er Jahren überwiegend noch Passagierflugzeuge mit Rahmenstrukturen.⁴⁰⁸

Luftfahrttechnisch tonangebend wurden die USA Anfang der 1930er Jahre mit der Entwicklung schneller einmotoriger und metallener Transportflugzeuge, bei denen nun auch die Außenhaut tragende Funktion hatte. Erwähnt seien hier die Boeing Monomail und die Northrop Alpha. Aber auch die noch mit Holzflügeln ausgerüsteten Lockheed Vega und Orion veranlassten das deutsche Reichsverkehrsministerium 1931 von Heinkel und Junkers ein Schnellverkehrsflugzeug zu fordern, „*um den sensationellen Vosprung der Amerikaner einzuholen.*“⁴⁰⁹

Ähnlich wie in Großbritannien wurde auch in den USA das wirtschaftliche und geostrate-

⁴⁰⁵ Schatzberg 1999. Seite 96.

⁴⁰⁶ Ebenda. Seite 110.

⁴⁰⁷ Anzeige in Flight vom 11.07.1929.

⁴⁰⁸ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 158.

⁴⁰⁹ Wagner, Wolfgang: Die deutsche Luftfahrt. Hugo Junkers Pionier der Luftfahrt - seine Flugzeuge. Bonn 1996. Seite 363.

gische Potential des Flugzeugs erkannt: „*The United States was also drawn to strategic bombing in the 1920s and 1930s, largely for the same economic reasons that attracted the British.*“⁴¹⁰

Im Zweiten Weltkrieg sollten dann in den USA 305.000 Militärflugzeuge aus Aluminiumlegierungen hergestellt werden.⁴¹¹

⁴¹⁰ Boot 2006. Seite 271.

⁴¹¹ Vgl. Aluminium Lexikon. Seite 96.

4.5 Abhängig vom Holz - das sowjetische Russland

Russland, gebeutelt durch die innere Revolution und die Krise der globalen Wirtschaft, musste seine Luftfahrt- und Leichtmetallindustrie ebenfalls erst aufbauen. Im Ersten Weltkrieg und bis 1922 kaufte man Flugzeuge überwiegend in Großbritannien und Frankreich oder fertigte diese Flugzeuge in Lizenz. Während des Ersten Weltkriegs stieg die Flugzeugproduktion in Russland im Vergleich zum Vorkriegsstand auf das Zehnfache, in Frankreich, Großbritannien und Deutschland im Durchschnitt jedoch auf das Fünzigfache.⁴¹²

Ab 1920 wurde in einem eigens dafür eingerichteten Komitee die Herstellung und Verwendung von Leichtmetalllegierungen untersucht.⁴¹³

Obwohl man auf Grund der Rohstoffversorgung (Holz in mehr als ausreichender Menge, relativ geringe Metallproduktion⁴¹⁴) im russisch/sowjetischen Flugzeugbau lange am Holz- oder Gemischtbau festhielt, entstanden auch schon früh Ganzmetallflugzeuge. Das erste sowjetische Ganzmetallflugzeug, die wellblechbeplankte ANT-2 des Konstrukteurs Tupolew⁴¹⁵ hatte ihren Erstflug 1924. Weitere ANT-Varianten folgten. Dem ersten sowjetischen Passagierflugzeug aus Metall, der ANT-9, vom selben Hersteller widmete *Flight* am 29. August 1929 einen eigenen Artikel: „*The body is made entirely of metal, [...]. Structurally this forward part of the body, as well as the middle one, represents a truss, built of Koltchugalumin*⁴¹⁶ *structural sections and tubes, encased by corrugated Koltchugalumin sheets of 0,3 mm thickness. [...]. The rear part of the body, from the passenger cabin to the tail, is of a construction fully utilising the strength of the metal covering. [...]. The fin, the rudder, the tailplane and the elevator are built of Koltchugalumin*

⁴¹² Vgl. Eyermann, Karl Heinz: Die Luftfahrt der UdSSR 1917 – 1977. Berlin (Ost) 1977. Seite 9.

⁴¹³ Vgl. Gunston 1995. Seite XVIII.

⁴¹⁴ Der Preis von Edelstahl war 1930 so hoch wie der von Silber (Gunston 1995. Seite XVIII).

⁴¹⁵ Tupolew, Andrei Nikolajewitsch (* 29.10. 1888 in Pustomasowo, Oblast Twer; † 23.12.1972 in Moskau).

⁴¹⁶ Kolchugalumin, benannt nach seiner Produktionsstadt Kol'chugino, war eine Kopie des deutschen Duralumin, das erstmal 1922 industriell hergestellt wurde.

tubes and structural sections and are covered by Kotchugalumin sheet of 0,3 mm thickness.“⁴¹⁷ Bemerkenswert ist, dass man bereits die Außenhaut als tragendes Element heranzog, wenn auch nur in geringem Maße.

Holz spielte aber zumindest bis in den Zweiten Weltkrieg hinein eine entscheidende Rolle im russisch-sowjetischen Flugzeugbau: „*Soviet Union led world in application of wood to advanced airframes, [...]*.“⁴¹⁸ Im Gegensatz zu Großbritannien verwendete man hier aber kein Balsaholz. Der typische Sperrholzbau bestand aus etwa 1 mm dicken Birkenfurnieren, die über einer Form, ohne Anwendung von Hitze oder Druck, durch organischen Casein- oder Albumen⁴¹⁹leim zusammengeklebt wurden. Später wurden die Furniere vor dem zusammenleimen durch verschiedene, zum Teil importierte organische Harze imprägniert. Ab 1940 ersetzten dann Kunstharze (Bakelit) die zuvor verwendeten organischen Leime.⁴²⁰

Nachdem der Erläuterung der deutschen Pionierarbeit im metallenen Flugzeugbau, sollen anschließend wichtige Konstrukteure dargestellt werden, die den Flugzeugbau in Deutschland, aber auch in Großbritannien und den USA durch ihre Persönlichkeit und ihr Engagement vorantrieben. Technische Innovationen hatten in dieser „Pubertät“ des Flugzeugbaus zwischen den 1920er und 1930er Jahren sehr viel mit der Innovationsfreudigkeit etablierter Flugzeugbauer zu tun.

⁴¹⁷ Flight vom 29.08.1929. Seiten 914, 915.

⁴¹⁸ Gunston 1995. Seite XVIII.

⁴¹⁹ Wie Kasein-, ist Albumenleim ein organischer Leim, der aus Eiweiß gewonnen wird.

⁴²⁰ Vgl. Gunston 1995. Seite XVIII

5. Von Pionieren, Bastlern und Ingenieuren

*„Wood is not a material which suffers fools gladly and a great deal of the trouble with wooden aeroplanes was due to wooden people.“*⁴²¹

Nach der Darstellung des deutschen Sonderwegs und der Zurückhaltung anderer Nationen im metallenen Flugzeugbau, werden nun wichtige Flugzeugkonstrukteure exemplarisch dar- und vorgestellt, die den Flugzeugbau in Deutschland, Großbritannien und den USA entweder schon früh in Richtung des Metallflugzeugbaus lenkten oder sich weiterhin dem traditionellen Flugzeugbau mit Holzstrukturen verschrieben. Diese drei Nationen wurden gewählt, da sie in der Zeit vom Beginn des Flugzeugbaus bis in den Zweiten Weltkrieg hinein mit einer großen Konstanz Flugzeuge bauten und den Flugzeugbau mit nationalen Bautraditionen stark beeinflussten und in Bahnen lenkten. Nationen wie Russland, Frankreich oder Italien dagegen durchlebten im betreffenden Zeitraum jeweils Phasen, in der der Flugzeugbau stark eingeschränkt wurde oder ganz zum Erliegen kam.

Die vorgestellten Flugzeugbauer sollen exemplarisch dazu dienen nationale Strömungen zu verdeutlichen. Die Umrisse der nationalen Bautraditionen, die so gewonnen werden, können nur durch eine Studie aller Flugzeugbauer in allen flugzeugbauenden Nationen im betreffenden Zeitraum eine größere Exaktheit erlangen. Künftige Forschungen können dazu beitragen, die hier noch bestehenden Lücken zu schließen.

Die damaligen Konstrukteure können auf Grund ihres großen Einflusses auf die Entwicklung des Flugzeugbaus und der Materialwahl als wichtige, wenn nicht gar wichtigste „relevant social group“ definiert werden. Ihr Einfluss auf Flugzeugbau und Materialwahl ist kaum zu überschätzen, denn „*the sociocultural and political situation of a social group shapes its norms and values, which in turn influence the meaning given to an artefact.*“⁴²² Die individuelle Betrachtung wichtiger Flugzeugbauer ist wichtig, weil auch im Flugzeugbau zutrifft, was Makyr an anderer Stelle beobachtete: „*[...], luck and inspiration mattered, and thus individuals made a difference. Scholars who cast doubt on the importance of individuals often rely on a dispensability axiom: if an invention had not been*

⁴²¹ Gordon 1975. Seite 161.

⁴²² Pinch; Bijker 1984. Seite 428.

made by X it would have been made by Y, a conclusion typically inferred from the large number of simultaneous discoveries. Although this regularity holds true for some inventions, including the telephone and the incandescent lightbulb, it is not applicate to scores of other important inventions.“⁴²³



Abbildung 25: Karrikatur des Flugzeugdesigners. Aus: Flight (10.03.1921). Seite 165.

Bei der Darstellung soll besonderer Wert auf die jeweils konstruierten Flugzeuge der Flugzeugbauer gelegt werden. Am Artefakt lässt sich auf diese Weise am besten eine Werkstoffentwicklung und die Einstellung der Hersteller zu ihren Werkstoffen ablesen:

⁴²³ Makyr 1990. Seite 13.

*„Rather than try to explain things through such loosely conceived notions as the trajectory of a technical field or technical momentum, we need to look very closely at the artifacts and varieties of technological knowledge in question and at the social actors whose activities affect their development.“*⁴²⁴

Zu Beginn werden ausgewählte deutsche Konstrukteure beispielhaft behandelt. Der deutsche Flugzeugbau darf am Ende des Ersten Weltkriegs als der technisch fortschrittlichste angesehen werden. Zum einen wurden konsequent aerodynamische Verbesserungen in den Flugzeugbau eingeführt und zum anderen wurden neue Werkstoffe bei der Flugzeugkonstruktion verwendet. Später wird auch das Wirken britischer und amerikanischer Flugzeugbauer beleuchtet.

⁴²⁴ Winner, Langdon: Upon Opening the Black Box and Finding It Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology. In: Science, Technology & Human Values. Vol. 18, No. 3, 1993. Seiten 362 – 378, hier Seite 364.

5.1 Der fliegende Stahlrohr-Holländer:

Anthony Fokker

„It appears that, generally speaking, German designers either try to do without metal altogether, or else go to the other extreme and use it exclusively. [...] The Fokker triplane indicates that its designer does not belong exclusively to either school, but is influenced by both.“⁴²⁵

Anton Herman Gerard, oder kurz Anthony, Fokker wurde am 06.04.1890 auf Java, Niederländisch-Indonesien geboren. Seine Familie kehrte aber schon bald in die Niederlande zurück, wo der junge Fokker schon als Kind erste Flugzeugmodelle aus Papier und Zelluloid herstellte.

Ab 1910 besuchte er die Technische Schule in Bingen (Rhein), um an einem Lehrgang über Automobilbau teilzunehmen. An Theorie war Fokker aber nicht besonders interessiert. Die Tristesse eines Klassenzimmers konnte er nur schwer ertragen. Schon früh bevorzugte er einen praxisorientierten Zugang und versuchte durch Versuche an das gewünschte Ziel zu gelangen.⁴²⁶ Fokker wechselte noch im ersten Jahr die Schule und besuchte fortan einen Kurs für Aviatik in der Nähe von Mainz.

Das erste Flugzeug des Lehrgangs war zu schwer und untermotorisiert, um zu fliegen. Das zweite machte durch einen wesentlich besseren Motor erste Luftsprünge, wurde aber durch eine Bruchlandung völlig zerstört.

Da die finanziellen Mittel des Technikums danach erschöpft waren, verließen viele Schüler den Lehrgang. Fokker schloss sich mit Oberleutnant Franz von Daum zusammen, der sich bereit erklärte ein Flugzeug, das Fokker konstruieren und bauen sollte, mit zu finanzieren. Bei Erfolg wollten beide ihre Pilotenlizenz auf diesem Flugzeug erwerben. Im Herbst 1910 konstruierte Fokker einen Eindecker mit hoher Eigenstabilität, einer Flügelpfeilung und ohne Seitenruder, genannt „Spinne“. Der Rumpf bestand bereits aus einem Stahlrohrgerüst, das Fokker von einer Firma in Frankfurt nach seinen Plänen anfertigen ließ. Auch die Holzteile für Rumpf und Tragwerk ließ Fokker in einer nahe gelegenen

⁴²⁵ Flight vom 02.05.1918. Seite 472.

⁴²⁶ Vgl. Engels 1996. Seite 245.

Schreinerei anfertigen. Kleinere Metallteile wurden am Technikum selbst hergestellt. Deutlich wird hier, dass Fokker bereits für seine erste Konstruktion eine unübliche Gemischtbauweise aus Metall und Holz verwendete. Gebaut wurde dieses erste Fokker-Flugzeug in der meist leeren Zeppelinhalle in Baden-Baden.

Nach einer Beschädigung des Flugzeugs durch Daum und der anschließenden Reparatur und Verbesserungen wurde das Hauptquartier der Flugzeugbauer nun nach Mainz verlegt. Dort kam Fokker in Kontakt mit Jacob Goedecker⁴²⁷, einem erfahrenen Flugzeugkonstrukteur, der ihn anstellte und ihm auch half seine Maschine zu verbessern. Die so entstandene „Spinne 2“ hatte als wichtigste Verbesserung nun ein Seitenruder.

Am 16.05.1911 machte Fokker auf dieser verbesserten Spinne seine Pilotenprüfung⁴²⁸. Im Sommer 1911 kaufte Fokker Daum für 1200 Reichsmark dessen Anteile am gemeinsamen Unternehmen ab und war fortan sein eigener Herr.⁴²⁹

Kurz darauf wurde bei Goedecker eine weitere Spinne gebaut, die zum ersten Exemplar einer Serie werden sollte. Bei dieser Spinne wurde schon eine Rumpferkleidung aus Aluminiumblechen erprobt.⁴³⁰ Bei verschiedenen Anlässen führte Fokker dieses Flugzeug vor und kehrte dann nach Mainz zurück, um als Fluglehrer tätig zu sein. Im Dezember 1911 wechselte Fokker nach Johannisthal bei Berlin, um dort eine Flugschule zu eröffnen. Johannisthal war damals das Zentrum des deutschen Motorflugs und so machte sich Fokker in der jungen Luftfahrtszene schnell einen Namen. Außerdem verkaufte er seine Spinne recht gut: bis 1913 konnte er 25 Stück verkaufen.

1912 meldete er das Patent auf seine Spinne an und gründete die „Fokker Aviatik GmbH“ in Berlin. Ebenfalls 1912 lieferte er die ersten Spinnen an das deutsche Militär und hatte auch die ersten militärischen Flugschüler. Die Militär-Spinne bekam den Namen Fokker M1. Versuche das Flugzeug ins britische oder russische Ausland zu verkaufen, schlugen fehl.

Zu den Werkstoffen der Fokker-Spinne hier nun ein Zitat von Engels:

„Der Rumpf des Apparates bestand aus zwei einfachen, parallel angebrachten Holzlatten. Er wurde durch Aluminiumblech verkleidet [...]. An den Holzgurten wurde das Triebwerk befestigt. [...] Hinter dem Motor war ein senkrechter Pylon aus zwei Holzleisten angebracht. [...] Die Spannseile an der Oberseite bestanden aus Stahlseilen. [...] Die Rippen

⁴²⁷ Goedecker, Jacob (*1882 in Warschau; † 1957).

⁴²⁸ Pilotenschein Nr. 88 des Deutschen Luftfahrerverbandes (DLV).

⁴²⁹ Vgl. Hegener, Henri: Fokker. The man and the Aircraft. Harleyford 1961. Seite 16.

⁴³⁰ Vgl. Engels 1996. Seite 334.

des Leitwerks bestanden aus Bambusrohren. [...] Die Seitenruder waren ein dreieckiges, bespanntes Stahlrohrgerüst, das drehbar an einer senkrechten Holzstange befestigt war. [...] Der Rumpf hatte auf jeder Seite jeweils zwei Stahlbeschlüge, welche die Flügelholme aufnahmen. [...] Die Achse (der Laufräder) selbst bestand aus zwei ineinander geschobenen Stahlrohren. [...] Das gesamte Fahrwerk wurde mit Stahldraht abgespannt. [...] Bespannt waren die Flügel lediglich an ihrer Oberseite. [...] Sie (die Holme) bestanden aus Stahlrohren, und zwar so, dass jeder Holm aus drei Stahlrohrstücken mit jeweils dünnerem Durchmesser aufgebaut war. Die einzelnen Stahlrohrstücke wurden miteinander vernietet. [...] Die Rippen hatten im vorderen Bereich gebogenes Stahlrohr; in das Bambusstäbe gesteckt wurden [...].“⁴³¹

Der Flugplatz Johannistal war zunehmend überlastet: *„Einmal landete ich selbst um ein Haar auf einer anderen Maschine, die unter mir ausgeschwebt war, aber nicht so rasch ausrollte, wie ich erwartet hatte.“*⁴³² und so siedelte Fokker nach Schwerin über. Dieser Umzug wurde durch das Militär unterstützt und Fokker verpflichtete sich im Gegenzug weiter Militärpiloten auszubilden.

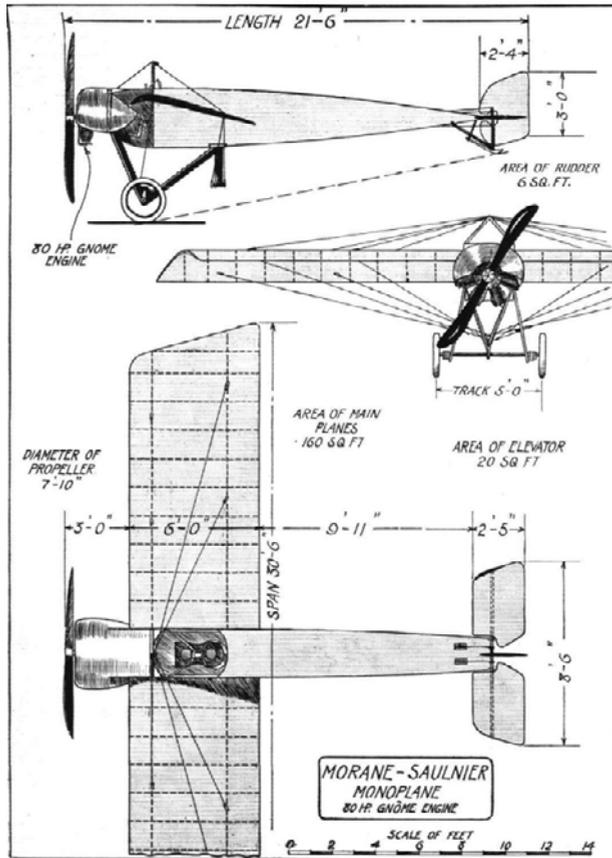
Eine Militärausschreibung für ein einfach zu transportierendes Flugzeug führte dazu, dass Fokker ein völlig neues Flugzeug konstruierte. Er übernahm von einem Konkurrenten die Idee des geschweißten Stahlrohrgerüsts für den Rumpf. Das Stahlgerüst bekam seine ovale Form durch ein zusätzliches Holzgitter. Auch die Tragflächen waren völlig neu konzipiert. Die Holme waren aus massivem Holz, die Rippen aus Sperrholz. Beide Seiten der Tragflächen waren mit Leinen bespannt. Bei diesem Modell wurden konstruktionell auch die Grundlagen für die erfolgreichen Kriegsflugzeuge gelegt. Der für die späteren Fokker-Entwürfe typische Stahlrohrumpf des Konkurrenzmodells (Stahltaube) hatte bei seiner Vorführung bleibenden Eindruck bei den Militärs hinterlassen.⁴³³ Dies ist sicherlich ein Grund, wieso Fokker diese Technik übernahm. Die zusammenlegbaren Konkurrenzmodelle neigten dazu an den Klappstellen zu brechen. Der Stahlrohrumpf bot gegenüber dem Holzrumpf den Vorteil, dass er widerstandsfähiger gegen physikalische Einwirkungen, wie beispielsweise Stöße, war. Gegen die natürliche Abnutzung waren Gemischtflugzeuge widerstandsfähiger als Holzflugzeuge. Des Weiteren konnten auftretende Schäden besser repariert werden.⁴³⁴

⁴³¹ Engels 1996. Seite 336.

⁴³² Fokker 1933. Seite 135.

⁴³³ Vgl. Engels 1996. Seite 255.

⁴³⁴ Vgl. Richthofen 1929. Seite 30.



*Abbildung 26: 3-Seiten-Ansicht des Morane-Saulnier Eindeckers.
Aus: Flight (24.05.1913). Seite 562.*

Die M2, wie dieses Fokker-Modell genannt wurde, überzeugte 1913 weniger durch ihre Leistung als vielmehr durch ihre Sicherheit. Auch die M3, ebenfalls von 1913, brachte keine entscheidenden Leistungssteigerungen. Eine völlig neue Konstruktion musste her.

Die M4 brachte Neuerungen wie die Klappensteuerung anstelle der Verwindungssteuerung, war aber ebenfalls nicht leistungsfähig genug.

Um dem Militär nun endlich ein leistungsstarkes Flugzeug anbieten zu können, kopierte Fokker mehr oder weniger den französischen Morane-Saulnier Eindecker.

Den Rumpf stellte er wieder aus Stahlrohr her. Das hatte triftige ökonomische Gründe:

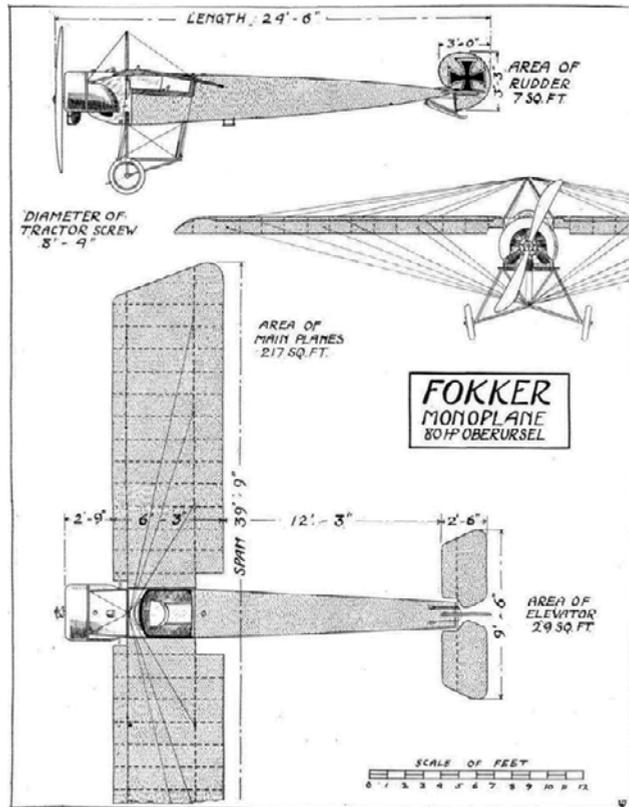


Abbildung 27: 3-Seiten-Ansicht des Fokker Eindeckers. Die Ähnlichkeit zum Morane-Saulnier Eindecker ist sehr deutlich.
Aus: *Flight* (10.12.1915). Seite 964.

der komplette Rumpf mit allem, was dazu gehört, konnte in nur 40 Arbeitsstunden hergestellt werden. Außerdem war der Stahlrumpf leichter als das Original aus Holz. „Obendrein konnten die Schweißarbeiten mit Leichtigkeit von Frauen durchgeführt werden und die Anlernzeit für neue Arbeiter war extrem kurz.“⁴³⁵

Das deutsche Militär war begeistert von der M5 und so wurde sie als E (für Eindecker) I in Dienst gestellt. Dieses erfolgreiche Muster wurde noch zur E II und zur E III weiterentwickelt, wobei vor allem bessere Motoren die Leistung steigerten. Konstruktionell waren die Modelle weitestgehend identisch: Sie hatten einen geschweißten Stahlrohr-rumpf, Holzflügel und Stoffbespannung.⁴³⁶

⁴³⁵ Engels 1996. Seite 261.

⁴³⁶ Green, Swanborough 1996. Seite 218.

Fokker widmete sich aber nicht nur den Flugzeugen selbst, sondern auch der Bewaffnung. Schon 1915 wurde festgestellt: „*The most important defect of the majority of modern aircraft, when regarded as fighting machines, is the restriction of forward gun fire imposed by the presence of the tractor screw.*“⁴³⁷ Fokker entwickelte einen Mechanismus, der den Propeller mit dem Maschinengewehr synchronisierte, wobei er auf schon existierende Arbeiten zurückgriff. Mit diesem Mechanismus konnten Flugzeuge nach vorne durch den Propellerkreis feuern, ohne den Propeller zu beschädigen: „*The action of the firing mechanism is to pull the trigger of the gun once for every revolution of the engine and propeller, at the moment when neither of the two propeller blades is in the line of fire, in spite of the high rate of revolution of the propeller which normally reaches some 1,200 r.p.m. or 20 revolutions per second.*“⁴³⁸

Das moderne Jagdflugzeug wurde durch diesen Mechanismus erst möglich, da sich das Maschinengewehr nun direkt vor dem Piloten befand und er mit der ganzen Maschine zielen konnte. Auch wenn diese Erfindung im Kriegsverlauf viele Leben kostete, war Fokker stolz auf seine Entwicklung: „*Ich war riesig stolz, eine Erfindung gemacht zu haben, die [...] die ganze Luftkriegsführung umgestalten musste, [...].*“⁴³⁹

Die Fokker E-Modelle konnten so bewaffnet sehr erfolgreich über der Front agieren.⁴⁴⁰

⁴³⁷ Flight vom 05.11.1915. Seite 861.

⁴³⁸ Flight vom 25.01.1917. Seite 86.

⁴³⁹ Fokker 1933. Seite 161.

⁴⁴⁰ Die britische Presse nannte diese Phase der deutschen Luftüberlegenheit die „Fokker Scourge“ (dt.: „Fokker Plage“).

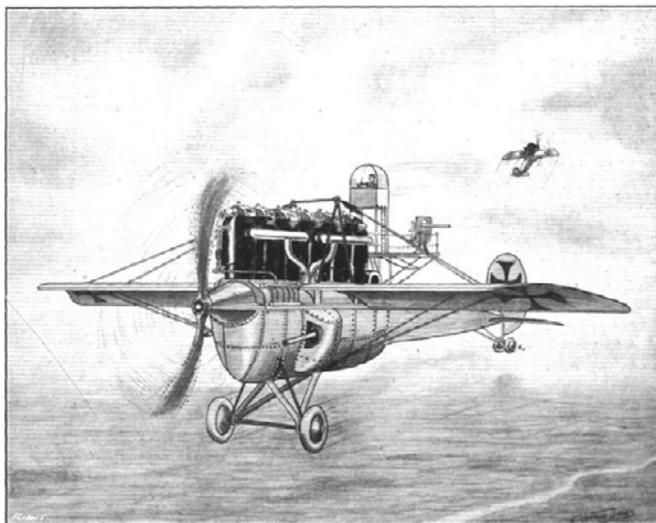


Abbildung 28: Illustration in Flight zur Fokker-Plage.
Aus: *Flight* (03.02.1916). Seite 103.

1916 waren diese Eindecker aber den neuesten Entente-Flugzeugen soweit unterlegen, dass Ersatz nötig wurde. Fokker konstruierte Nachfolger, die aber eher mäßig erfolgreich waren und vor allem außer einer Doppeldeckeranordnung kaum konstruktive Neuerungen brachten. Das änderte sich mit der berühmten Dr I von 1917. Sie war ein Dreidecker, dessen Tragflächen bereits freitragend konstruiert waren, sie wurden jedoch wegen der Skepsis der Piloten, die dem freitragenden Flügel nicht so recht trauen wollten durch Verbindungsstiele an den Flügelenden gestützt. „*Mention has already been made of the fact that the interplane struts are extremely thin, and are in effect ties rather than struts. They are made of wood, [...].*“⁴⁴¹

Der Rumpf des Dreideckers bestand aus dem bewehrten Stahlrohrgerüst und war mit Sperrholz und Stoff bespannt. Die Flügel waren für damalige Verhältnisse ungewöhnlich dick und bestanden innen aus einem hölzernen Hauptholm: „*There are two spars as in the majority of other wings, but placed absurdly close together. Each spar is of the box type inasmuch as it consists of spruce flanges top and bottom, with a web of three-ply on each side. The top and bottom faces of these spars are then united by a sheet of three-ply covering them up so as to form in effect two boxes within a box.*“⁴⁴² Die fehlenden Verstre-

⁴⁴¹ *Flight* vom 23.05.1918. Seite 568.

⁴⁴² *Ebenda*. Seite 567.

bungen und der dicke Flügel wirkten aerodynamisch sauberer, auch wenn *Flight* bei seinen Untersuchungen zu dem Ergebnis kam: „*As regards the aerodynamical qualities of the Fokker wing section, it is difficult to express an opinion. [...] It would appear that the section is suited for good climb rather than for great speed, and according to German claims, the climb of the Fokker is what they like to boast of rather than speed. [...] Taking it all around, it is doubtful if the gain in reduction of head resistance due to absence of external lift wiring is sufficient to make up for the necessarily heavier wing construction.*“⁴⁴³ Anders ausgedrückt: die Anzahl der Tragflächen hob die Verbesserung des Luftwiderstands, die durch die Reduzierung der Verspannungen erreicht wurde mehr oder weniger auf.

Die Beplankung der Flügel war an der Flügelvorderkante aus Sperrholz und sonst aus Stoff. Kleinere Teile des Flügels bestanden auch aus Stahl.⁴⁴⁴

Der freitragende Flügel wurde bereits zur Jahreswende 1916/1917 von der Firma Fokker unter der maßgeblichen Mitarbeit von Reinhold Platz⁴⁴⁵ erforscht, da man auf der Suche nach Einfachheit war und der freitragende Flügel einen einfachen Bau und einfaches Auf- und Abbauen versprach. Platz schuf Ende 1916 ein freitragendes System, das aus einem geschweißten Stahlrohrumpf und Flügeln bestand, die ein sehr großes Dickeverhältnis aufwiesen und von einem einzigen Kastenholm aus Holz getragen wurden.⁴⁴⁶ Auch wegen des Trägheitsmoments der freitragenden Tragfläche, wurde die Flügeldicke vergrößert, wiederum im Rückgriff auf bereits existierende Forschungen von Platz. Die Skepsis der Militärs ließ aber Fokker dazu übergehen, die Tragflächen wenigstens etwas zu verstreben.

⁴⁴³ *Flight* vom 30.05.1918. Seiten 586, 587.

⁴⁴⁴ Green, Swanborough 1996. Seite 224, 225.

⁴⁴⁵ Platz, Reinhold (* 16.01.1886 in Cottbus; † 15.09.1966 in Ahrensburg) war ein deutscher Flugzeugkonstrukteur und leitender Mitarbeiter der Fokker-Werke.

⁴⁴⁶ Budraß 1998. Seite 33.

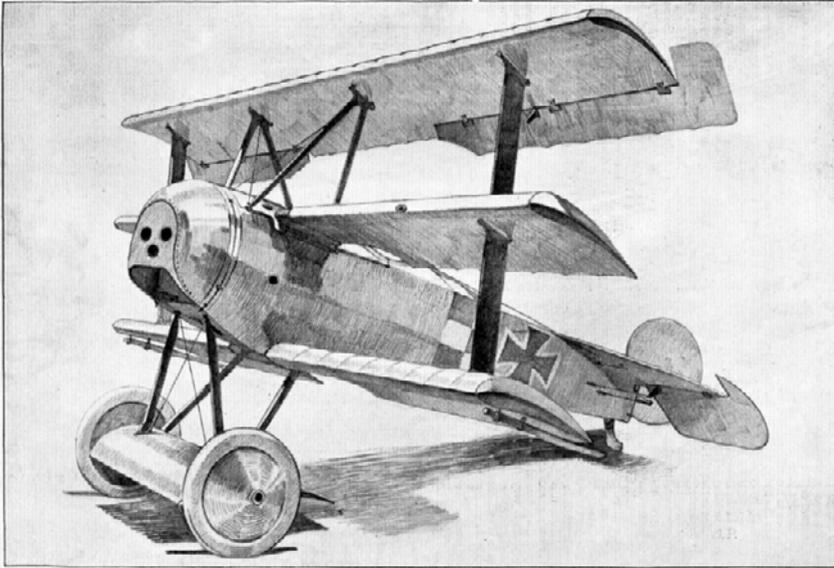


Abbildung 29: Fokker Dr I. Deutlich werden in dieser Illustration die dicken Flügel und die dünnen Streben dazwischen. Aus: Flight (14.03.1918). Seite 279.

Als Folge war auch die Fokker D VII verstrebt, obwohl sie auch ohne diese Stabilisierung ausgekommen wäre. In dieser Maschine in Doppeldeckeranordnung verband Fokker alle Kriegserrungenschaften und kreierte so eines der leistungsstärksten Flugzeuge des Ersten Weltkriegs: „*This machine was the result of a series of no less than 22 experimental machines.*“⁴⁴⁷

Die D VII hatte dicke Flügel mit Kastenholmen aus Holz und einer Bespannung aus Stoff und Sperrholz an der Flügelvorderkante, einen geschweißten Stahlrohrumpf, eine Sperrholzbeplankung für den Rumpf, wobei Einzelteile des Flugzeugs auch aus Aluminium gefertigt wurden.⁴⁴⁸

⁴⁴⁷ Flight vom 12.02.1920. Seite 175.

⁴⁴⁸ Vgl. Green, Swanborough 1996. Seite 226.

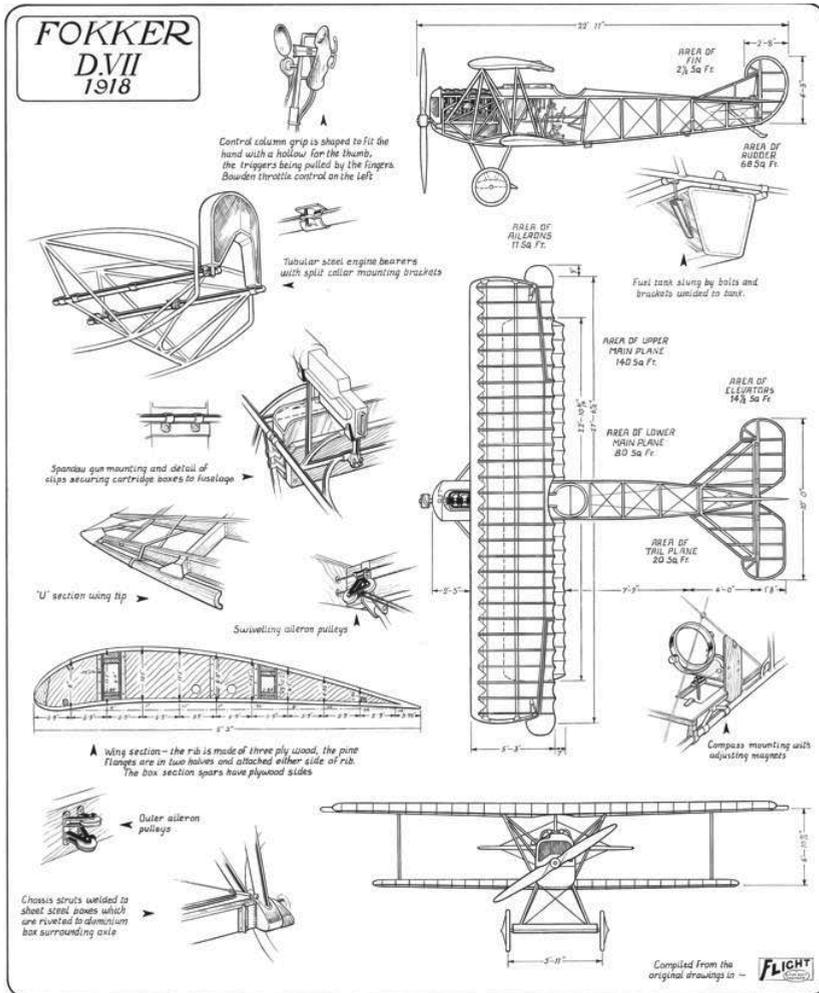


Abbildung 30: Details der Fokker D.VII.

Aus: <http://www.flightglobal.com/airspace/media/militaryaviation1903-1945cutaways/fokker-d-vii-cutaway-drawing-82689.aspx> (Stand 10.11.2011).

Nach dem Erfolg von Fokker und Platz etablierte sich das freitragende System im deutschen Kriegsflugzeugbau. Die zu erbringenden Reparationsleistungen zeigten für wie überlegen die Alliierten die späten Fokker-Kriegsflugzeuge hielten: Die Forderung nach Auslieferung von „1700 Jagd- und Bombenabwurfsflugzeuge(n)“ präzisierten die Alliierten mit dem Zusatz, dass „insbesondere alle Apparate D 7“ abzugeben seien.⁴⁴⁹

⁴⁴⁹ Vgl. Budraß 1998. Seite 34. Für Fokker war diese besondere Bestimmung der Alliierten seiner Meinung nach „eine wundervolle Reklame“: Fokker 1933. Seite 281.

1917 wurde Fokker in eine Zusammenarbeit mit Hugo Junkers befohlen. Sie war jedoch wenig fruchtbar und so trennten sich ihre Wege bald wieder. Das Kapitel über Junkers wird etwas näher darauf eingehen.

Die Entwicklung der Jagdflugzeuge nach dem Ersten Weltkrieg nahm Fokker bereits mit der D VIII von 1918 vorweg: ihr Flügel war nicht nur freitragend, sondern sie verzichtete auch bereits auf die, in dieser Zeit obligatorische, zweite Tragfläche. Der Flügel des Hochdeckers bestand fast vollständig aus Holz, wobei hochmodernes Sperrholz zum Einsatz kam, das zum Schutz gegen Witterungseinflüsse imprägniert wurde.⁴⁵⁰

Mit Kriegsende hörte Fokker keineswegs auf Flugzeuge zu konstruieren. Er siedelte mit seiner Firma nach Holland zurück, auch um den flugtechnischen Repressionen des Versailler Vertrags zu entgehen.

Bei seinen Nachkriegsflugzeugen blieb er seiner Gemischtbauweise treu. Selbst Fokker-Modelle aus den 1930er Jahre waren noch keine Ganzmetallflugzeuge. So hatte die Fokker D XXIII des Jahres 1939 immer noch Holzflügel.⁴⁵¹

Fokkers Persönlichkeit und seine Abneigung gegen theoretische Forschung und Entwicklung führten dazu, dass, als sich Metall Ende der 1920er Jahre endgültig als Flugzeugbaustoff durchsetzte, die Firma Fokker diesem Trend nicht folgte, was sich auch wirtschaftlich negativ auf die Firma auswirkte.⁴⁵² Fokker hegte Misstrauen gegen seine Ingenieure und war davon überzeugt, dass die praktische Erfahrung mehr zählte als Forschung und Entwicklung: „[...] jeder Abiturient ist imstande, eine (Flugzeugkonstruktion) zu entwerfen. Was diesen Konstruktionen aber fehlt, sind die vielen Feinheiten, die man nur durch praktische Erfahrung, durch eigenes Fliegen lernt. [...] Aber manche meiner besten Ingenieure liefern Entwürfe, die sich als praktisch gänzlich unbrauchbar erweisen, denn ein paar kleine Unvollkommenheiten können die Verwendbarkeit eines Flugzeugs in der Praxis völlig ausschließen.“⁴⁵³

Im Gegensatz zu Junkers war Fokker ein Mann der Praxis und nicht der Theorie und das war ihm auch bewusst: „In gewissen Fächern des Flugzeugbaus bin ich heute noch mehr oder weniger ein Laie. Glücklicher Weise gibt es genügend viele Sachverständige für Festigkeitsanalysen, Materialprüfungen, chemische Formeln und die komplizierten Gebiete

⁴⁵⁰ Vgl. Flight vom 12.02.1920. Seite 175.

⁴⁵¹ Vgl. Green, Swanborough 1996. Seite 234.

⁴⁵² Vgl. Dierix, Marc: Fokker. A Transatlantic Biography. Washington, London 1997. Seite 147.

⁴⁵³ Fokker 1933. Seite 342.

der Aerodynamik. “⁴⁵⁴ Diese Konzentration auf die Praxis passte sehr gut in die Anfangsjahre der Fliegerei, war sie doch die Voraussetzung für die ersten erfolgreichen Flugzeuge. Junkers galt bei der Fliegertruppe als hervorragender Wissenschaftler, der aber keinerlei fliegerische Erfahrung hatte. Umgekehrt war es mit Anthony Fokker. Dieser flog seine Flugzeuge stets selbst ein und gehörte zu den besten Testpiloten seiner Zeit. Er war Erfinder, Konstrukteur und Versuchspilot zugleich, ein Mann von genialer Flexibilität.⁴⁵⁵

Zugleich machte ihn sein praktisches Genie im Flugzeugbau innerhalb weniger Jahre vom Schüler zum Lehrer. Auf Fokker trifft zu, wie Crouch die frühen Flugpioniere beurteilt: „*They were far less interested in scientific theory or the fundamental physical principles underlying flight.*“⁴⁵⁶

Da Fokker die Praxis der Theorie stets überordnete, sah er keine Not zum Ganzmetallflugzeugbau über zu gehen. Die damalige Entwicklung der Flugtechnik verlief jedoch umgekehrt: der Flugzeugbau verwissenschaftlichte sich. Die Praxis wurde der Theorie, also der Forschung und Entwicklung, untergeordnet. Die rechnenden Ingenieure verdrängten zunehmend die bastelnden Flugpioniere der Anfangsjahre.

War seine wissenschaftsfeindliche Einstellung in den abenteuerlichen Anfangsjahren der Motorfliegerei noch durchaus weit verbreitet, so musste sie Ende der 1920er Jahre bereits als rückwärtsgewandt und konservativ angesehen werden. Ironischerweise beschleunigte Fokker durch sein Festhalten an der Gemischtbauweise noch indirekt den Übergang zum Ganzmetallbau. Der Absturz einer in Gemischtbauweise gefertigten amerikanischen Fokker F-10A am 31. März 1931, bei dem der berühmte amerikanische Footballtrainer Knute Rockne ums Leben kam, verstärkte den öffentlichen Eindruck vom gefährlichen und rückständigen Flugzeugbaustoff Holz.⁴⁵⁷

⁴⁵⁴ Fokker 1933. Seite 342.

⁴⁵⁵ Vgl. Wagner 1976. Seite 61.

⁴⁵⁶ Crouch 2003. Seite 124.

⁴⁵⁷ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 132, 133. Im Schluss-Kapitel wird noch einmal auf diesen Unfall eingegangen.

5.2 Junkers macht Wellen

*„Die Junkers-Werke sind ein auf die Fruktifizierung technisch-wirtschaftlicher Forschung eingestelltes Unternehmen [...]“*⁴⁵⁸

Auch wenn Hugo Junkers im Ersten Weltkrieg noch keinen bedeutenden Konkurrenten für Fokker darstellte, so wurde er es spätestens mit dem aufkommenden internationalen Luftverkehr in den 1920er Jahren.

Hugo Junkers wurde am 03.02.1859 im niederrheinischen Rheydt in wohlhabende Verhältnisse geboren. Nach höherer Bürgerschule und Abitur studierte Junkers an den Technischen Hochschulen Berlin, Karlsruhe und Aachen. 1883 machte er sein Examen als Regierungsbauführer. Das Studium zum Regierungsbaumeister brach er jedoch 1888 ab und wechselte zur Continental-Gasgesellschaft von Wilhelm Oechelhäuser⁴⁵⁹ nach Dessau. Diese Anstellung folgte auf die Empfehlung von Professor Slaby⁴⁶⁰, seinem Berliner Dozenten, der früh Junkers' Hang zur praktischen Forschung erkannte und förderte:

*„Slaby hatte bei aller Schärfe des theoretischen Denkens und allem Wissen doch stets auch die Praxis und die Wirtschaftlichkeit vor Augen und war von echtem technischem Pioniergeist beseelt. Ein solcher Mann war nach dem Herzen von Hugo Junkers.“*⁴⁶¹

In Dessau forschte Junkers zunächst vorrangig an Gasmotoren. 1890 wurde er gleichberechtigter Partner von Oechelhäuser und 1893 machte sich Junkers mit seinem Motorenbau selbstständig. Eine seiner wichtigsten Entwicklungen, den Gasbadeofen, leitete Junkers aus seiner patentierten Erfindung eines Messgerätes zur Ermittlung des Heizwertes flüssiger und gasförmiger Brennstoffe anhand von Wasser ab. Die Brüder Junkers stiegen in das Geschäft ein und Hugo konzentrierte sich nun ausschließlich auf die Fabrikation.

⁴⁵⁸ Budraß 1998. Seite 42.

⁴⁵⁹ Oechelhäuser, Wilhelm sen, 1883 geadelt (* 26.10.1820 in Niederwalluf, † 25.9.1902 in Dessau) Generaldirektor der Deutschen Continental-Gas-Gesellschaft (Contigas), Dessau.

⁴⁶⁰ Slaby, Adolf Karl Heinrich (* 18.4.1849 in Berlin; † 6.4.1913 in Berlin) war der erste Ordinarius für Elektrotechnik an der TH Charlottenburg.

⁴⁶¹ Blunck 1951. Seite 18, 19.

Die Produkte wurden ständig weiterentwickelt und auch an Motoren wurde weiter geforscht. All dies brachte Hugo Junkers noch nicht direkt dem Flugzeugbau näher, doch er lernte viel in der Verarbeitung von Eisenblechen.⁴⁶²

1897 wurde Junkers Professor für Thermodynamik an der Technischen Hochschule Aachen. Doch das permanente Wiederholen des gleichen Lehrstoffes von Semester zu Semester war nicht nach seinem Geschmack, außerdem war er wegen seiner industriellen Tätigkeit ständigen Anfeindungen ausgesetzt.⁴⁶³ Daraufhin verließ er 1912 wieder den Lehrbetrieb.

1908 kam Junkers in Kontakt mit dem Aachener Kollegen Hans Reissner⁴⁶⁴, der sich zu diesem Zeitpunkt schon mit der Fliegerei und dem Flugzeugbau beschäftigte. Junkers, der bereits länger Interesse für die Fliegerei hegte, half Reissner einen Eindecker-Entenflügler⁴⁶⁵ zu konstruieren. Mit dieser Maschine betraten sie technisches Neuland: *„Bei der Reissner-Konstruktion handelt es sich um einen Eindecker in Entenbauweise mit einem zehn Meter langen Gitterrumpf, der als Fachwerkträger mit Diagonalen aus Stahlrohr besteht. Das Höhenleitwerk liegt weit vorn. Die etwas V-förmig aufgehängten und gegen einen Spannturm verspannten Tragflächen bestehen aus einer einzigen Lage Aluminium-Wellblech. [...] Heiligers⁴⁶⁶ betont, dass die Idee, die Reissner-'Ente' aus Metall zu bauen, von Professort Junkers stammt. Er ist durch seine Badeöfen und Kalorifere mit der Verarbeitung dünner Bleche bestens vertraut und kann Reissner davon überzeugen, dass diese Bauweise besser ist als die herkömmliche mit Holz und Stoff.“*⁴⁶⁷ Die Berliner Zeitung vermerkte über das Fluggerät: *„[...] es ist dies der erste flugfähige Apparat mit Metallflächen [...]“*⁴⁶⁸

Junkers beschäftigte sich nun zunehmend mit der Fliegerei, vernachlässigte aber nicht seine Motorenforschung. Am 27.11.1923 gründete er in Dessau die „Junkers Motorenbau GmbH“, kurz „Jumo“ genannt.

Junkers war der Überzeugung, dass aus wirtschaftlichen Gründen den Flugzeugen, und

⁴⁶² Vgl. Trunz, Helmut: Pionierleistungen der deutschen Luffahrtindustrie bis 1945. Stuttgart 2006. Seite 14.

⁴⁶³ Vgl. ebenda. Seite 14.

⁴⁶⁴ Reissner, Hans Jacob (* 18.1.1874 in Berlin; † 2.10.1967 in Colton (Oregon), USA).

⁴⁶⁵ Leitwerk vorn, Tragflächen hinten.

⁴⁶⁶ Werkmeister bei Reissner.

⁴⁶⁷ Wagner 1996. Seite 66.

⁴⁶⁸ B.Z. am Mittag vom 7. August 1912.

nicht den Luftschiffen, die Zukunft gehöre. Er sah im Flugzeug dabei vor allem ein neues Verkehrsmittel: „*Es hat seinen Sinn erst erfüllt, wenn es Personen und Nutzlasten befördern kann, und zwar schneller als die bisherigen Verkehrsmittel und mit mindestens gleicher Sicherheit. Diese wirtschaftlichen Aufgaben müssen seine Gestaltung bestimmen!*“⁴⁶⁹

1910 patentierte Junkers ein Flugzeug, das äußerlich wie ein einziger großer Flügel aussah: „Gleitflieger mit zur Aufnahme von nicht Auftrieb erzeugenden Teilen dienenden Hohlkörpern.“ Es war freitragend und Personen und Nutzlast sollten quasi im Flügel untergebracht werden. Dabei erkannte Junkers die aerodynamischen Vorteile eines dicken Flügels, wobei es ihm anfangs eher um die Lösung eines rein statischen Problems ging⁴⁷⁰: „*The streamlining, or fairing, or covering, must be shaped as a hollow space producing a minimum drag with a maximum lift.*“⁴⁷¹ Zur Flügelform schrieb Junkers: „*Bei allen bis dahin gebauten Flugzeugen zeigte sich das Bestreben, einen möglichst dünnen Querschnitt anzuwenden, und das entsprach auch meiner natürlichen Anschauung. Auch ich hatte die Idee, daß man mit einem dünnen Flügel die besten Wirkungen bezüglich Auftrieb und Widerstand erziele, und ich hätte wohl kaum den Mut gehabt, an solche dicken Flügel mit einiger Aussicht auf Erfolg heranzugehen, wenn nicht schon damals hochinteressante Ergebnisse von Göttinger und Eiffelschen Versuchen vorgelegen hätten, die zeigten, daß der Widerstand des Körpers in der Luft durchaus nicht in erster Linie von dem Querschnitt senkrecht zur Luftströmung abhängt.*“⁴⁷²

Modernere Nurflügel-Flugzeuge wie Konstruktionen von Northrop, in Form der YB-35⁴⁷³ oder des B-2 Bombers⁴⁷⁴, oder die Entwürfe der deutschen Gebrüder Horten ähneln erstaunlich stark den Entwürfen Junkers von 1910.

Bei seinen Forschungen zum Bau von Flugzeugen ging er systematisch und mit hoher Professionalität vor, ähnlich wie Otto Lilienthal: „*It is necessary to submit the laws of*

⁴⁶⁹ Blunck 1951. Seite 81, 82.

⁴⁷⁰ Vgl. Budraß 1998. Seite 40.

⁴⁷¹ Junkers, Hugo: Metal Aeroplane Construction. In: Journal of the Royal Aeronautical Society 28 (1923). Seite 416.

⁴⁷² Junkers, Hugo: Eigene Arbeiten auf dem Gebiete des Metall-Flugzeugbaues. Vortrag auf der Jahresversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt am 10.12.1919. in: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1922. München/ Berlin 1923. Seite 69.

⁴⁷³ Erstflug: Juni 1946.

⁴⁷⁴ Erstflug: Juli 1989.

aerodynamics and resistance, the structural shaping, materials, adaptation of workshops, and even the requirements of the market to a systematic examination before the original idea may be pronounced a success.[...] the realisation of technical ideas must be the fruit of an institute of research[...]“⁴⁷⁵

Bereits 1911 gründete Junkers in Eigeninitiative das aerodynamische Institut der Universität Aachen, nebst Windkanal. 1913 errichtete er auf der Frankenburg seinen zweiten Windkanal und erforschte durch unzählige Versuche das Verhältnis von Auftrieb zu Widerstand und den Einfluss von Flügeldicke und Flügelumriss. Ergebnisse dieser Versuche waren die Vorteilhaftigkeit des dicken, tropfenförmigen Flügels und die aerodynamischen Vorteile des Eindeckers: *„Thus the ratio of height to span is undoubtedly best with the monoplane; the strength being equal, the latter (the monoplane) is the lighter, and in addition has the advantage of having a larger hollow space.“*⁴⁷⁶

Seine Überlegungen beschäftigten sich auch mit den Werkstoffen zur Herstellung seiner Flugzeuge. Er kam zu der Überzeugung, dass bei großen Flugzeugen Holz als Baumaterial entfällt, weil Holz nicht die Anforderungen an Stabilität, Steifigkeit und Dimensionierung erfüllen könne;⁴⁷⁷ der Ausweg für ihn: Metall.

Junkers war sich bewusst, dass Metall zwar schwerer war als Holz, er war aber davon überzeugt, dass der geringere Widerstand des dicken, freitragenden Flügels diesen Nachteil mehr als wettmachen würde. Die von Junkers entworfene und erstmals 1915 geflogene J 1, gab ihm Recht. Sie war ein freitragender Eindecker mit Stahlwellblechbeplankung. Der Rumpf der J 1 bestand aus einem geschweißten Stahlrohrgerüst, das mit Glattblech beplankt wurde. Da der Werkstoff Duralumin in größeren Mengen noch nicht zu bekommen war, wurde das Flugzeug in Stahlblech ausgeführt.⁴⁷⁸ Gewelltes Blech bot gegenüber glattem Blech den Vorteil größerer Stabilität, da das verwendete Material sehr dünn war und durch hohe Beanspruchung Verformungen der Oberfläche (auch „buckling“ genannt) auftreten konnten. Die Wellung des Blechs verhinderte dies. Die Verarbeitung des Metalls gestaltete sich jedoch anfangs als sehr schwierig: *„Die Verarbeitung des Eisenblechs von*

⁴⁷⁵ Junkers, Hugo: Metal Aeroplane Construction. In: Journal of the Royal Aeronautical Society 28 (1923). Seite 412.

⁴⁷⁶ Ebenda. Seite 425.

⁴⁷⁷ Vgl. Trunz 2006. Seite 18.

⁴⁷⁸ Vgl. Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 103.

1/10 bis 1/20 Millimeter Dicke machte unendliche Schwierigkeiten. Ehe die für Junkers-Flugzeuge typische Riffelung der Bleche „erfunden“ wurde, arbeiteten wir mit glatten Blechen. Um die nötige Festigkeit zu erzielen, wurden unter die glatte Blechhaut Lamellen geschweißt. Die noch reichlich unvollkommene Schweißtechnik machte diese Arbeit, bei denen es besonders galt, schwaches und stärkeres Eisenblech zusammenzuschweißen, außerordentlich schwierig. Erst nach und nach bekamen wir Übung, sammelten Erfahrungen. Schwierig gestaltete sich dann das Zusammenschweißen der einzelnen Flügelabschnitte, der 'Schüsse'. Immer wieder traten Spannungen auf, das Blech bekam große Blasen, wo es doch glatt sein sollte.“⁴⁷⁹

Die J 1 erreichte bei etwa einer Tonne Gewicht und einem 120 PS Motor die damalige Rekordgeschwindigkeit von 170 km/h: *„a remarkable performance for an experimental machine.“*⁴⁸⁰. Lediglich die Steigleistung ließ noch zu Wünschen übrig. Auch die danach entwickelte J 2 war einfach noch zu schwer, um gut steigen zu können.

Die Lösung lag für Junkers in der Verwendung von einer Aluminiumlegierung, anstatt des schweren Eisenblechs. Auf den neuen Werkstoff war Junkers von Claude Dornier aufmerksam gemacht worden, der Junkers auch von der Verwendung von Eisen im Flugzeugbau abriet.⁴⁸¹ Da Dural nicht geschweißt werden kann, weil es sonst seine Festigkeit verliert, führte Junkers die Technik des Nietens in den Flugzeugbau ein. Nach weiteren Windkanalversuchen und ausgiebigen Werkstoffprüfungen baute Junkers die J 3 unter Verwendung von gewelltem Dural. Ganz fertig wurde die J 3 aber nicht. *„Das Flugzeug sollte eine Abflugmasse von nur 770 kg haben, also immerhin 395 kg weniger als der Vorläufer J 2. Diese Zahl verdeutlicht den enormen Fortschritt bei der Verwendung von Leichtmetall anstelle von Eisenblech. [...] Rumpf und Flügel bestanden aus einem Gerüst von Duraluminrohren. Die Rohrholme des Flügels wurden durch Z-Streben zu einem festen Gerüst verbunden und mit Wellblech aus Duralumin beplankt, das aufgrund seiner hohen Beulfestigkeit zugleich als tragende Haut dienen konnte.“*⁴⁸²

Da Junkers das Geld knapp zu werden drohte, orientierte er sich an den Bedürfnissen des

⁴⁷⁹ Otto Seifert, Meister des Junkerswerks über Schwierigkeiten mit der J 1. in: Wagner 1976. Seite 16. Vgl. auch: Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 104.

⁴⁸⁰ Junkers, Hugo: Metal Aeroplane Construction. In: Journal of the Royal Aeronautical Society 28 (1923). Seite 413.

⁴⁸¹ Vgl. Budraß 1998. Seite 49.

⁴⁸² Wagner 1976. Seite 34.

deutschen Militärs. Dieses benötigte einen gepanzerten Infanterieflieger für die Luftnahunterstützung über den erstarrten Fronten des Ersten Weltkriegs. Wegen der hohen Flächenbelastung sah Junkers sich hier gezwungen, einen Doppeldecker zu konstruieren. Bei dieser J 4 schützte eine 5 mm dicke und über 400 kg schwere Chromnickelstahl-Panzerwanne Motor, Tanks und Besatzung. Gleichzeitig fungierte diese Wanne als sehr robustes Rumpfergüst: „*The Junker is not an ordinary two-seater machine to which armour has been subsequently added, but the armour plate comprises the fuselage, [...]*.“⁴⁸³ Das Heranziehen der Panzerung als strukturunterstützendes Bauteil fand man später auch bei der russischen Iljuschin Il-2 (Erstflug 1939) und danach bei der amerikanischen Fairchild-Republic A-10 Thunderbolt II (Erstflug 1972), die beide für einem ähnlichen Zweck konstruiert worden waren.

Das Rumpffende der J 4 war aus Dural-Rohr Fachwerk und wurde aus Gewichtsgründen mit Stoff bespannt.⁴⁸⁴ Die Tragflügel hatten feste Mittelstücke und abnehmbare Außenflügel und waren aus einem Duralrohrgerüst mit Dural-Wellblechaußenhaut gefertigt. Die Robustheit der J 4 vor allem auch im Kampf, machte sie sehr beliebt bei den Fliegern an der Front. Einziges Holzteil an der J 4 war der Hecksporn aus Eschen-Holz.⁴⁸⁵

Flight zitiert 1920 aus einem deutschen Handbuch zur J 4, das explizit auf die Kugelsicherheit, die Feuerunanfälligkeit und die Wetterfestigkeit des Panzerflugzeugs hinweist: „*The machines can withstand the most powerful stresses.*“⁴⁸⁶ Um diese Zuverlässigkeit zu gewährleisten wurden beispielsweise alle Kontrolleinrichtungen doppelt eingebaut, um bei Beschädigungen durch Beschuss die Überlebensfähigkeit des Flugzeugs zu erhöhen. Es gibt interessante Parallelen bei Konzipierung, Anforderungen und Leistung der Junkers J 4 und der Fairchild A-10 von 1972! Die Rumpfpanzerung ist etwa gleich schwer, auch bei der A-10 sind die wichtigen Kontrolleinrichtungen doppelt ausgelegt und auch Robustheit wurde bei der A-10 speziell gefordert: "*[...] an aircraft that was uncomplicated, easy to maintain in the field and required the minimum of ground support facilities. [...] [...], to be able to withstand extensive battle damage, [...]*." ⁴⁸⁷

Im Vergleich dazu *Flight* 1920 über die J 4: "*It is evidently a serious attempt to reduce to a minimum the dangers due to enemy action while in flight, and to lengthen the life and*

⁴⁸³ *Flight* vom 04.03.1920. Seite 262.

⁴⁸⁴ Wagner 1976. Seite 35.

⁴⁸⁵ Grant, R. G.: *Fliegen. Die Geschichte der Luftfahrt*. München 2008. Seite 105.

⁴⁸⁶ *Flight* vom 18.03.1920. Seite 315.

⁴⁸⁷ Swanborough/ Bowers 1989. Seite 321.

endurance of the machine in spite of exposure to bad weather and to rough handling.“⁴⁸⁸

Die J 4 setzte Standards, die auch bei modernen Bodenangriffsflugzeugen noch Geltung besitzen.

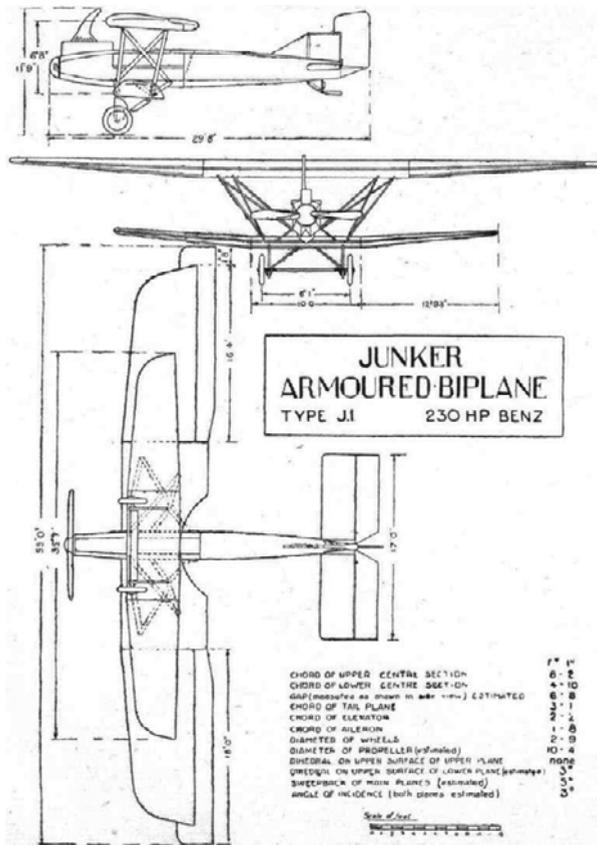


Abbildung 31: Urvater der Schlachtflugzeuge. 3-Seiten-Ansicht der Junkers J 4. Aus: Flight (26.02.1920). Seite 230.

1917 wurde Junkers gezwungen, sich mit Anthony Fokker zusammenzuschließen. Fokker sollte dem „Professor“, der selbst nicht fliegen konnte, mit seiner Praxiserfahrung zur Seite stehen und auch seine Erfahrungen des Serienbaus einbringen. Ziel war eine Leistungssteigerung der Flugzeuge durch Gemischtbauweise.⁴⁸⁹

Schon bald zeigte sich aber, dass die Zwangsehe für keinen der beiden von Nutzen war. Fokker mit seiner genialen, draufgängerischen Abenteurernatur mit Tüftler-Charakter und

⁴⁸⁸ Flight vom 26.02.1920. Seite 229.

⁴⁸⁹ Trunz 2006. Seite 21.

der sich systematisch vortastende Professor Junkers harmonierten nicht. Außerdem hatte Junkers „eine geradezu unüberwindliche Abneigung gegen jede Partnerschaft.“⁴⁹⁰ Und auch Fokker vermerkte im Nachhinein: „Ich bin mein ganzes Leben ein Alleingänger gewesen.“⁴⁹¹ Mit dem Kriegsende endete auch die Zusammenarbeit von Junkers und Fokker.

Dessen ungeachtet entwickelte Junkers 1917 die J 7. Sie nahm bereits die typischen Merkmale der Nachkriegs-Junkersflugzeuge (wie der F 13) vorweg: der als Eindecker ausgelegte Tiefdecker bestand vollständig aus Dural und besaß unter dem Rumpf verlaufende Rohrholme und ein kurzes Fahrgestell. Der Rumpf wurde auf die Tragfläche aufgesetzt. Dies sollte unter anderem den Insassen bei einer Notlandung Schutz bieten. Der J 7 folgten im Krieg noch die J 9, J 10 und J 11. Die J 9, auch D 1 genannt, war dabei eine weiterentwickelte J 7.

Zur J 9/D I veröffentlichte *Flight* am 1. April 1920 einen Artikel anlässlich der Untersuchung dieses Modells auf dem Flugplatz Evere bei Brüssel. Zum Flügelaufbau wurde folgendes berichtet: „In both Junker machines⁴⁹² the designer has separated himself completely from the influence due to the use of the wood spars and ribs that are almost universally employed in a non-metal wing construction, and has set out to use his new material in the best possible way. [...] A series of tubular duralumin spars are strongly braced by means of riveted duralumin cross-pieces, and to the frame thus formed is riveted a corrugated sheet covering, also of duralumin. [...] It will be understood, therefore, that the corrugated covering completes the system of triangulation upon which the strength of the structure depends. [...] Spars and covering are joined by iron rivets spaced in the hollows of the waves.“⁴⁹³ Auch der Rumpf wurde genau untersucht: „Generally speaking, the body consists of a framework of duralumin formers, covered by a single riveted-on skin of sheet duralumin corrugated lengthwise.“⁴⁹⁴ Darüber hinaus wurde die neuartige Beplankung genau untersucht, die zum Teil schon tragende Funktion besaß: „The covering thus constitutes an important factor in the fuselage construction, and takes a larger share in the strengthening of the body than does the three-ply of a wood fuselage, where substantial longerons are generally employed. [...] A further anal-

⁴⁹⁰ Blunck 1951. Seite 106.

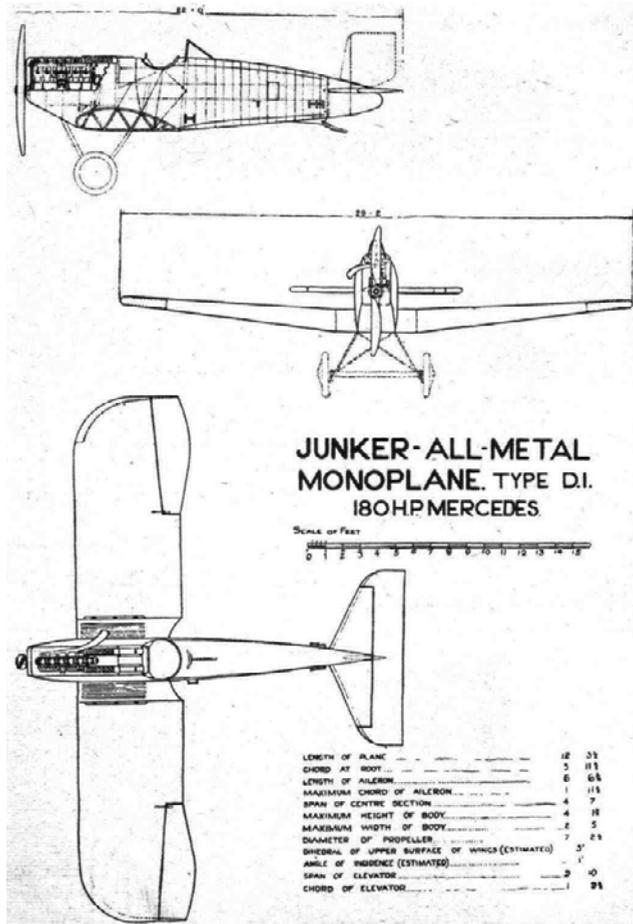
⁴⁹¹ Fokker 1933. Seite 346.

⁴⁹² Gemeint sind die D 1 und die J 4.

⁴⁹³ *Flight* vom 01.04.1920. Seiten 376, 378, 380.

⁴⁹⁴ *Flight* vom 08.04.1920. Seite 394.

ysis of the comparison and contrast between three-ply and metal construction leads one to realise that the corrugations take the place of the wood longerons found in the three-ply system.“⁴⁹⁵



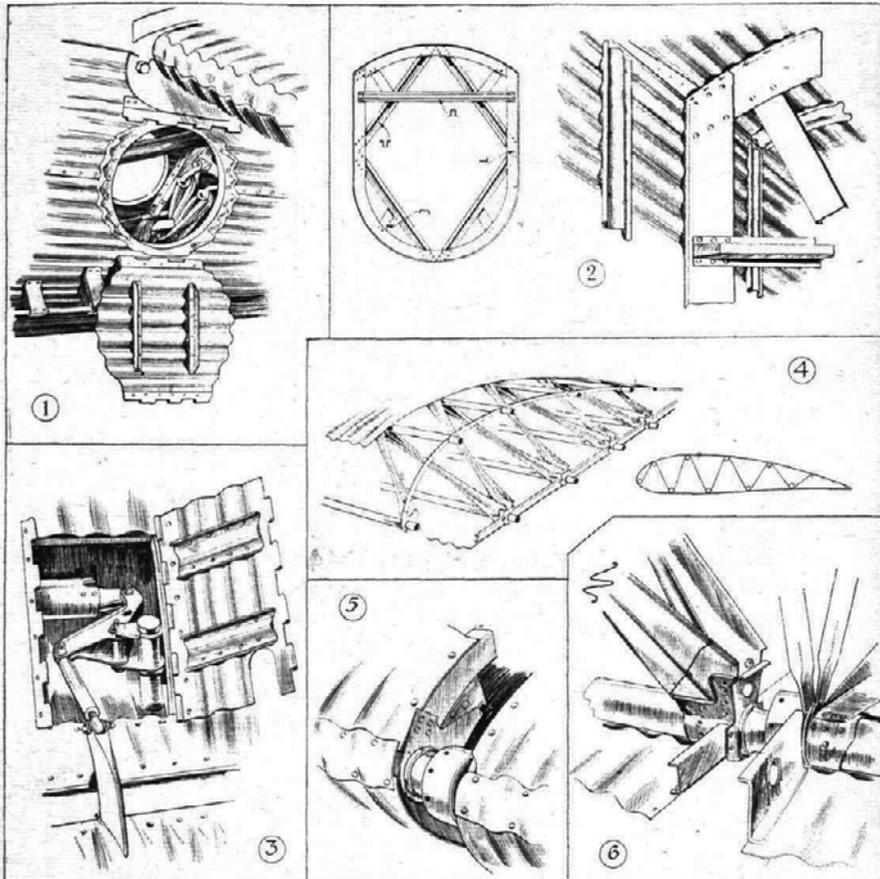
*Abbildung 32: 3-Seiten-Ansicht der Junkers D I (J 9).
Aus: Flight (01.04.1920). Seite 377.*

Weltweite Berühmtheit erlangte Hugo Junkers mit der 1919 zugelassenen F 13. Mit ihr verwirklichte Junkers seinen Traum vom wirtschaftlichen Verkehrsflugzeug. Sie hatte die zuvor beschriebenen Merkmale und konnte bis zu acht Personen oder eine Nutzlast von etwa einer halben Tonne befördern.

„Wir stellten uns vor, dass man im Verkehrsflugzeug genauso bequem und wettergeschützt

⁴⁹⁵ Ebenda. Seite 394.

wie in einem geschlossenen Personenkraftwagen reisen können müsse“, stellte einer der beteiligten Ingenieure fest. „Die Sitzordnung in einer Limousine war unser Vorbild: vorn der Pilot und der Beobachter, in der Kabine vorn zwei Polsterklappsitze, hinten eine Polstersitzbank mit einem Gepäckraum darunter und dahinter, in der Kabine links und rechts eine Einstiegstür [...]. Die Maßverhältnisse im Innern der Kabine wurden denjenigen eines Luxuswagens angepasst und mittels einer Attrappe erprobt.“⁴⁹⁶



THE Junkers Monoplane : Some sketches of constructional details. 1 shows the inspection door in the side of the fuselage which gives access to the tail skid. The large tube runs to the elevator crank. The trimming tank is just in front of the door, inside the body. 2, details of the fuselage construction. No longerons are used, the corrugations of the covering taking the place of separate longitudinal members. 3 shows the aileron tube-and-crank control which takes the place of cables. 4 is a general view of the wing construction. The small inset is a diagram of the wing section, showing approximate location of spars and bracing strips. 5, the union joint in the front spar. 6, a typical joint between wing root spars and the spars of the end pieces. In the wing roots the bracing members are tubular, whereas in the end pieces the spars only are tubular, the bracing members being made from strip metal, crinkled as indicated in the two sections.

Abbildung 33: Konstruktionsdetails der Junkers F 13. Aus: Flight (18.01.1923). Seite 37.

⁴⁹⁶ Schmitz, F. W.: Die „Junkers F13“ - nach 25 Jahren gesehen. in: Luftwissen 11, 1944. Seite 153.

Die F 13 war dabei so revolutionär, dass sie in die ganze Welt exportiert wurde und viele Linienflugstrecken durch sie erst entstanden. Ihre Rolle für den Übergang von der Holz- zur Metallbauweise kann nicht überschätzt werden: *„Die Bauweise und die Leistungen dieses ersten wirklichen Verkehrsflugzeuges waren so überzeugend, dass man es als ersten Nagel zum Sarg des Doppeldeckers in Holzbauweise ansehen muss.“*⁴⁹⁷

Auch eine Entente-Kommission zeigte sich am 16. Juni 1920 von der F 13 beeindruckt:

*„Die neue Flugzeugkonstruktion des deutschen Professors Junkers, dessen Metallflugzeug gerade jetzt in Amerika auf Grund praktischer Vorführungen außerordentliches Aufsehen erregt hat und von den bedeutendsten Fachmännern als sämtlichen amerikanischen Konstruktionen weit überlegen bezeichnet wird, begegnet neuerdings auch in französischen Militärkreisen größtem Interesse. So hat kürzlich der Vizepräsident des Staatsausschusses für Luftfahrtwesen, General Hirschauer, das deutsche Junkermodell angelegentlich für Neubauten empfohlen, da es bei seiner Bauart ganz aus Stahl und Aluminium gegenüber den bisherigen Typen wesentliche Vorzüge besitze.“*⁴⁹⁸

1925 flogen weltweit 178 Junkers-Flugzeuge, die nahezu 100.000 Reisende und 650 t Fracht beförderten und dabei fünf Millionen Flugkilometer zurücklegten. Das noch recht überschaubare Weltluftverkehrsnetz wurde 1925 zu 40 Prozent mit Junkers-Flugzeugen abgedeckt.⁴⁹⁹

Durch die schnellen amerikanischen Verkehrsflugzeuge wie der Lockheed Vega oder der Lockheed Orion unter Druck geraten, veranlasste Hugo Junkers für eigene Konzepte von kleinen und schnellen Reiseflugzeugen den Übergang zum Glattblechbau, da dieser höhere Geschwindigkeiten wegen der aerodynamisch günstigeren Oberfläche versprach. Dessen ungeachtet entstand die berühmte Ju 52⁵⁰⁰ noch in der Junkers-typischen Wellblechbauweise.

Bei den Nationalsozialisten fiel Junkers, der sich nicht in seine Forschung und Entwicklung hineinreden lassen wollte, schnell in Ungnade. Am 16. Oktober 1933 wurde Hugo Junkers von den Nationalsozialisten aus seinem Unternehmen heraus gedrängt. Er musste 51 Prozent der Aktien der beiden Werke Ifa und Jumo an den Handelskammerpräsidenten als Treuhänder des Reiches übertragen.

⁴⁹⁷ Wissmann 1979. Seite 378.

⁴⁹⁸ Wagner 1976. Seite 96.

⁴⁹⁹ Vgl. Poturzyn, Dresel. Seite 70.

⁵⁰⁰ Erstflug 1930.

Am dritten Februar 1935 verstarb Hugo Junkers. So erlebte er den Umbau seines Flugzeugunternehmens zur Luftrüstungsschmiede im „Dritten Reich“ nicht mehr.

Noch 1933 war ein Wirtschaftsprüfer bei den Junkers-Werken zu dem Ergebnis gekommen: *„Die Junkers-Betriebe stellen in ihrer Rangordnung und in ihrem wirtschaftlichen Wert Gebilde höherer Art dar als die Industrieunternehmungen landläufiger Art. Sie sind als Prototyp einer Industrie anzusprechen, die sich auf Grund planmäßiger Forschung stetig verjüngt und damit auch die sonst so schwierige Absatzfrage der Gegenwart und Zukunft entwicklungsmäßig und planvoll vorbereitet und meistert. Damit zeigt Junkers besonders der deutschen Industrie jenen Weg, der ihr in Anpassung an die natürlichen Grundlagen Deutschlands vorgezeichnet ist.“*⁵⁰¹

Junkers kam über Umwege zum Flugzeugbau. Er war weder Pilot, noch war er ein begeisterter Anhänger der frühen Fliegerei. Er hatte vor allem Erfahrung in der Metallverarbeitung und im Motorenbau. Trotzdem ließ er sich von der Fliegerei begeistern und wurde so, durch seine empirische und sehr systematische Forschung und dem richtigen Gespür für zukünftige Flugzeuanforderungen, zu einem Urvater der Verkehrsfliegerei. Er erkannte früh das Potential der freitragenden Ganzmetallbauweise und des dicken Flügels und verbesserte seine Flugzeuge konsequent. Einen Höhepunkt seiner Entwicklungsarbeit stellte die F 13 dar. Mit ihr verwirklichte Junkers seinen Traum vom metallenen, freitragenden, wirtschaftlichen Verkehrsflugzeug. Außerdem erlangte er mit diesem Modell internationales Auf- und Ansehen. Auch sein Beitrag zur Motorenentwicklung, insbesondere auf dem Schweröl-Sektor, war und ist bedeutend.

*„Wenn die Karriere Junkers‘ auf einen Nenner gebracht werden soll, so gelingt das über Anspruch und Methodik seiner wissenschaftlich-unternehmerischen Arbeit. Junkers zielte auf technische Komplettlösungen für eindeutig definierte Probleme, in der Hoffnung, dass die daraus hervorgehenden Produkte kommerziell erfolgreich genug sein würden, um die weitere Forschungstätigkeit zu finanzieren.“*⁵⁰²

Aber auch ein anderer deutscher Flugzeugbauer, der nach dem Ersten Weltkrieg vor allem für seine metallenen Wasserflugzeuge berühmt werden sollte, beschäftigte sich schon während des Krieges mit dem Metallflugzeugbau: Claude Dornier.

⁵⁰¹ Blunck 1951. Seite 265.

⁵⁰² Budraß 1998. Seite 42.

5.3 Claude Dornier und die glatte Schale

Claude Honore Desiré Dornier wurde am 14. Mai 1884 in Kempten geboren. Nach dem Gymnasium ging Dornier an die Technische Universität in München, um dort Maschinenbau zu studieren.

Nach dem Studium fiel es Dornier schwer eine Stelle als Ingenieur zu finden: *„Ich habe mir mit dem Anfertigen von Bewerbungsunterlagen beinahe die Finger wund geschrieben.“*⁵⁰³

Im Elternhaus betrieb er ein kleines Konstruktionsbüro und beschäftigte sich bereits mit Flugapparaten, bis er 1907 von der Karlsruher Maschinenfabrik Nagel angestellt wurde.

1909 wechselte er die Stellung. Fortan war die Firma Luig in Illingen (Saar), welche im Brücken- und Hochbau tätig war, sein neuer Arbeitgeber. Dort half er stählerne Eisenbahnbrücken zu verstärken und lernte, dass viele, voneinander unabhängige Bauteile eine höhere Sicherheit versprachen - wichtige Grundlagen für sein späteres Wirken im Flugzeugbau. Schon seine frühe berufliche Tätigkeit stützt die These: *„Die Verbindung von Statik und Aerodynamik spiegelte sich im beruflichen Werdegang von Dornier.“*⁵⁰⁴

Nach der Erkrankung des Vaters, musste Claude als ältester Sohn das finanzielle Auskommen der Familie sicherstellen. Wegen des besseren Gehalts wechselte er erneut die Anstellung und heuerte beim Eisenwerk Kaiserslautern an. Durch den dortigen Oberingenieur erkannte er eine weitere Voraussetzung für seinen erfolgreichen späteren Flugzeugbau: er begriff, das *„gute Technik immer schön ist“*.⁵⁰⁵

1910 kam dann die lang erhoffte Reaktion auf seine Bewerbung bei dem Friedrichshafener Luftschiffbau: er war angenommen. Zu dieser Zeit war gerade in Deutschland der Luftschiffbau besonders populär. An Flugzeuge, die „schwerer als Luft“ waren, dachte noch kaum jemand.

⁵⁰³ Wachtel, Joachim: Claude Dornier. Ein Leben für die Luftfahrt. Friedrichshafen 1989. Seite 12. Zitiert nach: Dornier, Claude: Aus meiner Ingenieurlaufbahn. Zug 1966.

⁵⁰⁴ Budraß 1998. Seite 35.

⁵⁰⁵ Wachtel 1989. Seite 13.

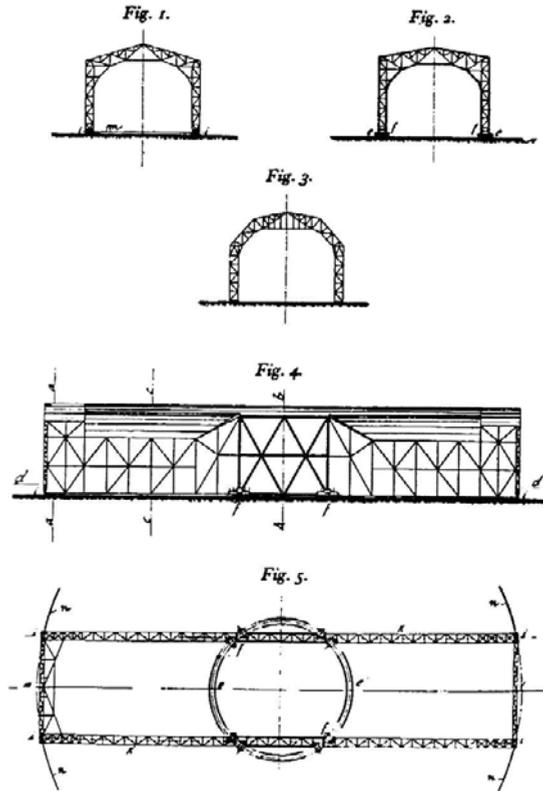


Abbildung 34: Von Dornier konstruierte, drehbare Luftschiffhalle (1912). Aus: Wachtel 1989, Seite 15.

In Friedrichshafen beschäftigte sich Dornier zunächst mit Konstruktionen, die nur indirekt etwas mit dem Luftschiffbau selbst zu tun hatten. 1912 entwarf und patentierte Dornier eine freitragende Halle ohne Boden, die sich über einen Drehturm in der Mitte der Halle schwenken ließ und zum Unterbringen der Luftschiffe am Boden gedacht war.

Ähnlich wie etwas später beim Flugzeugbau trat beim Luftschiffbau nun eine gewisse Verwissenschaftlichung der Konstruktionen ein. Dornier half mit bei einem Versuchsprogramm zur Ermittlung von Messwerten. Praktikern wie dem Zeppelinchefkonstrukteur Ludwig Dürr war die ganze Versuchsabteilung eher ein Dorn im Auge: „Wir brauchen keine Statiker, machen Sie erst hundert Fahrten mit dem Schiff mit, bevor Sie überhaupt mitreden.“⁵⁰⁶ Hier wird ein sehr typischer Konflikt zwischen der Generation der Luft-

⁵⁰⁶ Dornier, Claude: Aus meiner Ingenieurlaufbahn. Zug 1966. Seite 15.

fahrtpioniere und der zweiten Generation der rechnenden Ingenieure deutlich, der uns auch schon in den Kommentaren Fokkers zu dieser zweiten Generation begegnet ist. Das persönliche Erfahren des Fliegens wurde von der Pioniergeneration als grundlegend für das Bauen von Fluggeräten erachtet, doch dazu später mehr.

Nachdem die Luftschiffe sich als zuverlässig erwiesen hatten, war auch das deutsche Militär interessiert. Die Auftragsbücher füllten sich und die Zeppelinwerke ließen die wirtschaftlichen Schwierigkeiten der vorangegangenen Jahre hinter sich.

Noch im Jahr 1912 befasste sich Dornier mit Propellerkonstruktionen und somit auch mit Aerodynamik. In einer Veröffentlichung zu diesem Thema⁵⁰⁷ beschrieb er sein Anliegen, endlich vom „Gefühlsmäßigen“ wegzukommen, ein klares Bekenntnis zur Verwissenschaftlichung des Flugzeugbaus und eine klare persönliche Abgrenzung zu der Generation der Flugpioniere.

Der alte Graf Zeppelin⁵⁰⁸ erkannte das Potential des jungen Ingenieurs und nahm ihn in seinen engsten Mitarbeiterkreis auf. Auf Grund seiner konstruktiven Fähigkeiten erhielt Dornier innerhalb des Luftschiffbaus Zeppelin bald eine eigene Abteilung, die Abt. Do. Hier forschte Dornier mit einer Hand voll Mitarbeitern an der Optimierung des Luftschiffgerüsts. Es sollte, ohne mehr zu wiegen, stabiler werden.⁵⁰⁹ Mit dieser Einrichtung sollte Dornier die Chance bekommen, seine ausgewiesenen Fähigkeiten als Statiker unter Beweis zu stellen.⁵¹⁰

Hier beschäftigte er sich auch ausgiebig mit den Materialien Metall und Aluminium und legte durch seine Studien zu hohlen Metallkörpern wichtige Grundlagen zum späteren Metallflugzeugbau und zur freitragenden Bauweise.

Zeppelin selbst war Konstruktionen „schwerer als Luft“ nicht abgeneigt: *„Wir dürfen nicht auf einem Bein stehen, wir müssen uns mit der Flugmaschine beschäftigen.“*⁵¹¹ Er war sogar von der potentiellen Überlegenheit der Flugzeuge gegenüber den schwerfälli-

⁵⁰⁷ Dornier, Claude: Beitrag zur Berechnung der Luftschrauben unter Zugrundelegung der Ratauschen Theorie. Berlin 1912.

⁵⁰⁸ Graf von Zeppelin, Ferdinand Adolf Heinrich August (* 8.7.1838 in Konstanz; † 8.3.1917 in Berlin).

⁵⁰⁹ Vgl. Wachtel 1989. Seite 17.

⁵¹⁰ Vgl. Budraß 1998. Seite 35.

⁵¹¹ Wagner, Wolfgang: Die deutsche Luftfahrt. Der deutsche Luftverkehr - Die Pionierjahre 1919-1925. Koblenz 1987. Seite 93.

gen Luftschiffen überzeugt: „*Gelänge es jedoch, Flugmotoren mit genügender Betriebssicherheit herzustellen, so würden diese [die Flugzeuge] vor Ballonfahrzeugen die Vorteile außerordentlicher Geschwindigkeit und der Unabhängigkeit von dem Wechsel der Wärme und der absoluten Höhe bei ihren Fahrten voraus haben.*“⁵¹²

Schon vor dem Krieg gründete Zeppelin eine Flugzeugbauabteilung, um nach der weitgehenden Vervollkommnung des Starrluftschiffs eine Ausweichmöglichkeit für das in seiner Firma gebundene Forschungspotential zu schaffen.⁵¹³

Dornier hatte sein prägendes Erlebnis mit der Fliegerei 1913 auf der fünften internationalen Luftfahrtausstellung in Paris. Dort sah er den Stand der Technik und sprach auch mit Gustave Eiffel⁵¹⁴, der sich bereits mit Aerodynamik befasste und schon einen Windkanal betrieb. Dornier verließ ihn schwer beeindruckt.⁵¹⁵ Durch den Kriegsausbruch wurde die Nachfrage nach Konstruktionen „schwerer als Luft“ dringender und Dornier beschäftigte sich nun ausschließlich mit letzterer Thematik.

Dornier war fortan beauftragt für Zeppelin ein Großflugzeug zu bauen, das erstens London und seinen Hafen erreichen und zweitens auch angreifen konnte. Alexander Baumann übernahm - unterstützt durch seinen Schüler Ernst Heinkel - die Aufgabe, möglichst kurzfristig, also unter der Umgehung der Probleme, die sich durch die Verwendung von Metall ergaben, ein Riesenflugzeug für den Landeinsatz herzustellen, während Claude Dornier das langfristig ausgerichtete Projekt bearbeitete, ein ausschließlich aus Metall aufgebautes Riesenflugzeug für den Einsatz vom Wasser aus zu konstruieren.⁵¹⁶ Dornier hatte also die Chance seine Erfahrungen im metallenen Leichtbau nun auch im Flugzeugbau anzuwenden.⁵¹⁷

Die nun entstehenden Flugboote wurden zum einen auf der Basis von Messungen der Göttinger Modellversuchsanstalt konstruiert, zum anderen verwendete Dornier für alle während des Krieges gebauten Flugzeuge mehrheitlich - zuletzt ausschließlich - Duralu-

⁵¹² Wieland, Gustav: Die Flugzeugbauer vom Bodensee – von Kobers „Fliegenden Kisten“ zum Dornier-Alpha-Jet. Nachdruck aus Schwäbische Zeitung 1975. Seite 4.

⁵¹³ Vgl. Schiller, Hans von: Zeppelin. Wegbereiter des Weltluftverkehrs. Bad Godesberg 1966. Seite 62.

⁵¹⁴ Eiffel, Alexandre Gustave (* 15.12.1832 in Dijon; † 27.12.1923 in Paris).

⁵¹⁵ Vgl. Wachtel 1989. Seite 18.

⁵¹⁶ Vgl. Dornier, Claude: Aus meiner Ingenieurlaufbahn. Zug 1966. Seite 75 ff.

⁵¹⁷ Vgl. Wachtel 1989. Seite 20.

min.⁵¹⁸ Dies geschah auch deshalb, weil Aluminium unter dem Gesichtspunkt der Rohstoffverknappung während des Krieges, als unbedenklich galt, da es ausreichend verfügbar blieb.⁵¹⁹

Was die Einführung metallener Baustoffe in den Flugbootbau erleichterte, war die Tatsache, dass Metall hier seine Vorteile schneller und deutlicher ausspielen konnte als im Landflugzeugbau: es saugt keine Feuchtigkeit auf. „*In the landplane sheer performance has forced the metal covering on the designer. In the flying-boat the need arose largely because of the liability to water soakage of wooden hulls. In a boat of average size this might amount to several hundred pounds. Consequently metal-covered hulls came into use several years before metal covered fuselages.*“⁵²⁰

Das erste Flugzeug, das Dornier konzipierte, war das Riesenflugboot Rs I mit beachtlichen 43,5 m Spannweite. Da Dornier mit solchen Dimensionen und auch dem Werkstoff Metall völliges Neuland betrat, musste er erst durch Forschungen und Versuchsanordnungen herausfinden, wie sich ein solches Projekt verwirklichen ließe. Ludwig Prandtl⁵²¹ aus Göttingen unterstützte ihn beim Untersuchen von Flügelprofilen und die Königliche Versuchsanstalt für Wasser- und Schiffbau in Berlin half ihm bei der Gestaltung des Bootskörpers.

Schon früh legte Dornier die Werkstoffe für seine Konstruktionen fest: „[...] *die Ausführung aller tragenden Teile des Flugzeuges aus Metall, vorwiegend Leichtmetall, daneben hochwertiger Stahl; für hochbeanspruchte Bauglieder die Verwendung besonders geformter, für Leichtkonstruktionen geeigneter blechbezogener Metallprofile; die Verbindung der Bauteile durch Nieten und Schrauben; das Vermeiden nahtloser, durch Schweißung verbundener Rohre.*“⁵²²

Mangels praktischer Erfahrung bereitete die Verarbeitung des Metalls anfangs Schwierigkeiten. Viele Elemente mussten in mühevoller Handarbeit hergestellt werden.

Die Rs I, die 1915 Gestalt annahm, bestand überwiegend aus Metall. Lediglich bei Bespannung und Beplankung kamen andere Werkstoffe zum Einsatz. Die Bootshaut bestand zum Teil aus Leichtmetall. Flügel und Leitwerk waren mit Stoff bespannt. Der Bootskörper bestand unten aus Metall und war oben stoffbespannt. Die Rs I hatte eine Doppelde-

⁵¹⁸ Vgl. Budraß 1998. Seite 36.

⁵¹⁹ siehe Kapitel über die Werkstoffe.

⁵²⁰ Flight vom 15.12.1938. Seite 552.

⁵²¹ Prandtl, Ludwig (* 4.2.1875 in Freising; † 15.8.1953 in Göttingen).

⁵²² Wachtel 1989. Seite 21.

ckeranordnung und wurde durch drei Motoren angetrieben. Sie war jedoch wegen Problemen am Bootskörper und einem falsch gewählten Schwerpunkt nicht flugtauglich.

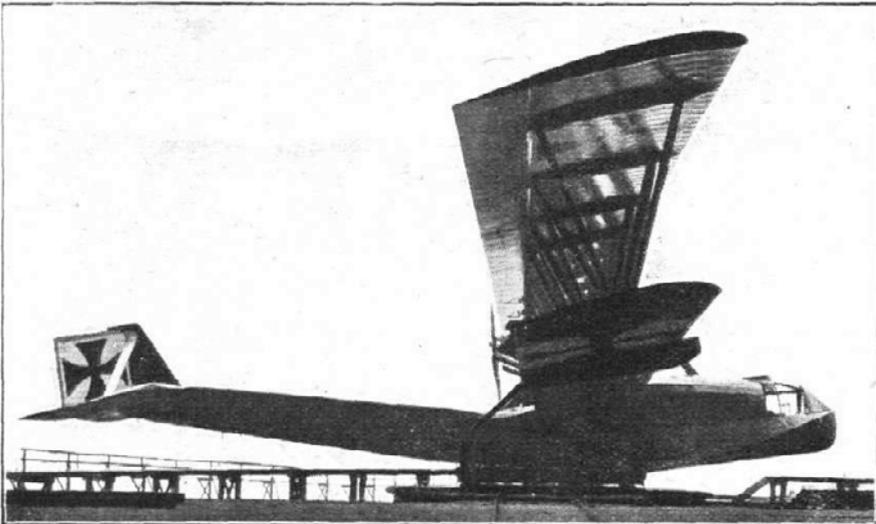


Abbildung 35: Seitenansicht der Dornier Rs I. Aus: Flight (16.12.1920). Seite 1269.

Der Rs I folgte bald die Rs II. Der Kiel des Flugboots wurde optimiert und im Sommer 1916 erfolgte der erste erfolgreiche Flug. Bei der Rs II befanden sich die Motoren im Bootsinnern und trieben über Fernwellen die Propeller an. Ein System, das extrem störanfällig war.

Bei der Rs IIb trieben die Motoren, die hintereinander angeordnet waren, die Propeller nun direkt an. Ein Motor besaß einen Druck-, der andere einen Zugpropeller. Eine Anordnung, die typisch für Dorniers Wasserflugzeuge werden sollte. Nachdem auch das Leitwerk verbessert worden war, absolvierte die Rs IIb ab November 1916 mehrere Flüge und bewies eine hohe Betriebssicherheit.

1917 wurde unter der Leitung Dorniers das Zeppelin Werk Lindau gegründet. Als eigenständige Gesellschaft innerhalb des Zeppelin-Konzerns bekam so die ehemalige Abteilung Do. eine größere Eigenständigkeit und einen höheren Stellenwert im Konzern.

Aus der Weiterentwicklung der Rs II entstand die Rs III, ein viermotoriger Hochdecker mit hoch liegendem Leitwerksträger und eigenstabilem Boot, die im November 1917 erstmals flog. Der Bootskörper bestand bereits vollständig aus Dural. Das vom Militär geforderte Flugboot mit einer Nutzlast von zwei Tonnen konnte so realisiert werden. In dem Dornier konsequent all das verbesserte, was sich nicht bewährte, gelang es ihm ein

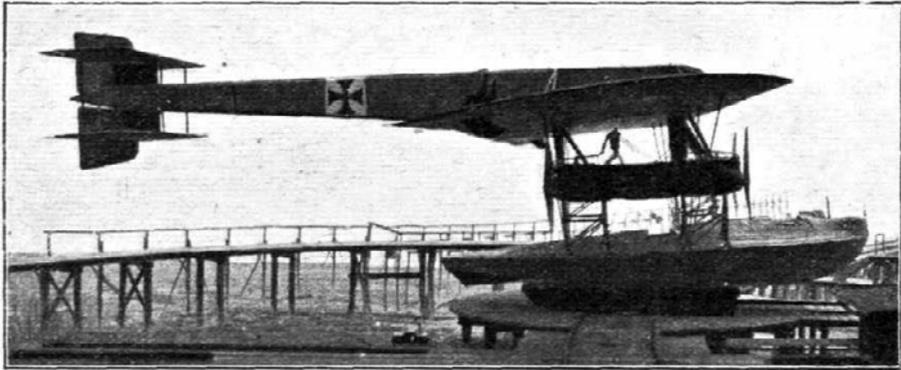


Abbildung 36: Seitenansicht der Dornier Rs III. Aus: *Flight* (16.12.1920). Seite 1271.

frontreifes Riesenflugboot aus Metall zu entwickeln. „Die Kombination hochwertigen Stahles mit Leichtmetall hatte alle in sie gesetzten Erwartungen erfüllt.“⁵²³

Pionierarbeit leistete Dornier auch auf dem Gebiet der Metallverarbeitung. Die selbstentwickelten Werkstätteinrichtungen waren richtungweisend für den gesamten Metallflugzeugbau.⁵²⁴ Die Ziehbanken zur Verarbeitung von Stahl- oder Duralbändern wurden selbst entwickelt. Außerdem erfand man Herstellungsverfahren für Rohre mit verschiedenen Profilen und auch Nietmaschinen.

Dornier patentierte Erfindungen, die richtungweisend für den Leichtbau von Flugzeugen werden sollten. So patentierte er 1916 einen einholmigen Flugzeugtragflügel und 1917 einen Hohlkörper aus Metall mit spantenartigen Versteifungen. Unter Verwendung von U-förmigen Rahmenspannen und einer glatten Blechhaut konnte so ein freier Innenraum umschlossen werden. Anders ausgedrückt: er patentierte die Schalenbauweise, die bis heute beim Flugzeugbau zur Anwendung kommt.⁵²⁵ Zusätzlich ließ er auch eine tragende Blechaußenhaut für Flugzeugrümpfe patentieren. Von der Verwendung von gewelltem Blech, wie Junkers es benutzte, hielt Dornier nicht viel. Glatte Bleche, so sagte er, könnten in viel höherem Maße zum Tragen heran gezogen werden; auch seien Beschädigungen beim glatten Blech seltener als bei Wellblech.⁵²⁶

⁵²³ Wachtel 1989. Seite 27.

⁵²⁴ Vgl. ebenda. Seite 28.

⁵²⁵ Vgl. Trunz 2006. Seite 74.

⁵²⁶ Vgl. Wachtel 1989. Seite 30.

Bereits 1916 beschäftigte Dornier sich neben seinen Flugbooten auch mit dem Bau kleinerer Landflugzeuge. Das erste erfolgversprechende Modell war der Aufklärer C 1 aus dem Jahr 1917. In Anlehnung an ein Albatros-Flugzeug wurde dieser verstreifte Doppeldecker weitgehend aus Metall hergestellt.

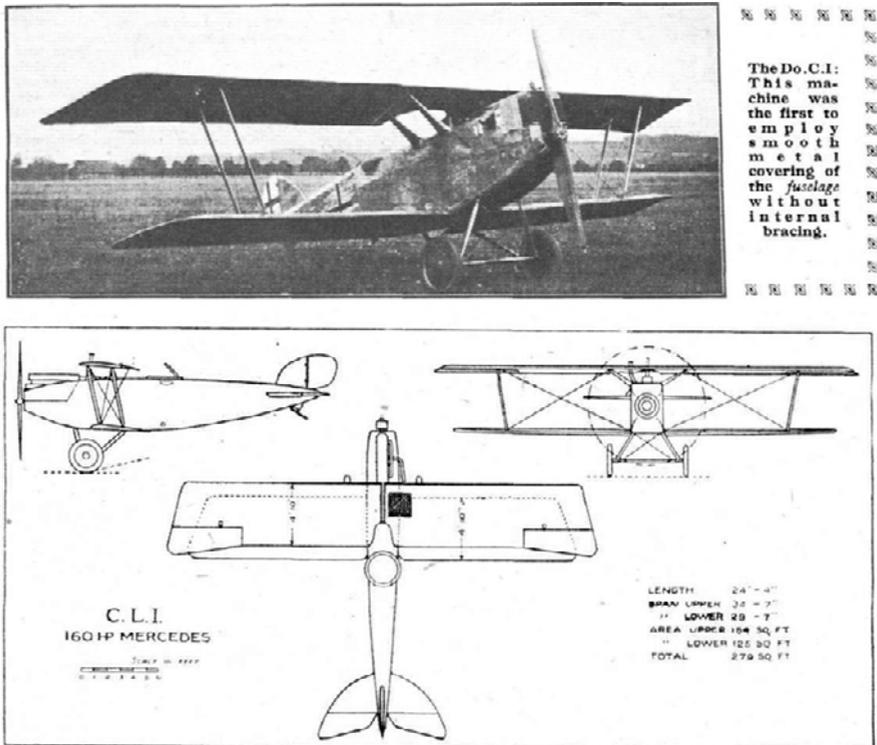


Abbildung 37: Dornier C 1. Aus: *Flight* (16.12.1920). Seite 1272.

Das Innovative an diesem Flugzeug war vor allem die Schalenbauweise, die Dornier nun auch auf seinen Landflugzeugbau übertrug. Leitwerk und Tragflächen waren zwar noch mit Stoff bespannt, die Außenhaut des Rumpfes bestand jedoch aus glatten Leichtmetallblechen. Die innere Stabilität wurde durch die bereits erwähnten Spanten im U-Profil erreicht. Der Rumpf war somit fast vollständig hohl und der Innenraum konnte vollständig genutzt werden.

Ende 1917 bestellte das Reichsmarineamt bei Dornier ein See-Jagdflugzeug mit Schwimmern. Dornier konstruierte daraufhin seinen ersten Tiefdecker. Dies geschah wohl vor allem deshalb, weil ein gutes Schussfeld nach vorn und oben gefordert war.

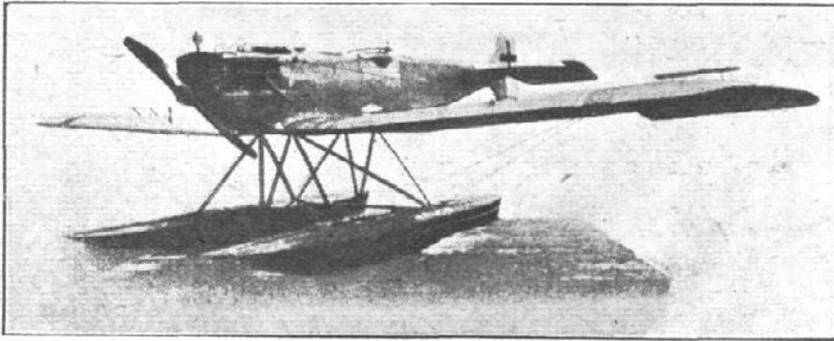


Abbildung 38: Dornier Cs I. Aus: Flight (23.12.1920). Seite 1289.

Anfang 1918 baute Dornier dann die D I. Bei ihr übertrug er nun die Schalenbauweise auch auf das Tragwerk. „So entstand der erste völlig mit glattem Blech beplankte, freitragende Flügel mit tragender Haut.“⁵²⁷

Bis auf den Propeller, der noch aus Holz war, bestand dieses Flugzeug komplett aus Dural. Das Jagdflugzeug ging auf Grund der Kriegslage jedoch nicht mehr in Serienfertigung. Die D I war aus aerodynamischer Sicht ihrer Zeit weit voraus. Die glatte Haut und das Fehlen jeglicher Verspannung ließ die D I in 33 Minuten auf 6 000 m steigen. Die Geschwindigkeit lag bei 200 km/h und die Gipfelhöhe bei 8 000 m. Auch die Testpiloten waren begeistert: „*Fliegt prima, steigt ausgezeichnet. Fast keine Vibrationen, gut ausgewuchtet, Höhen- und Seitenruder in Ordnung und tadelloser Motor.*“⁵²⁸ Auch die USA interessierten sich für dieses Modell und überführten nach dem Krieg zwei Maschinen in die Vereinigten Staaten. *Flight* zollte der D I ebenfalls Respekt: „*Although being a land machine, and thus having no direct relation to the development of Dornier flying boats, a machine produced early in 1918 is of more than ordinary interest, as being probably the first all-metal machine in the world in which the metal covering not only of the fuselage but also of the wings is designed to take part of the stresses. [...], it was of extraordinary clean appearance with its cantilever biplane wings and its metal coque fuselage.*“⁵²⁹

⁵²⁷ Wachtel 1989. Seite 32.

⁵²⁸ Ebenda. Seite 32.

⁵²⁹ *Flight* vom 23.12.1920. Seiten 1289, 1290.



Abbildung 39: Dornier D I. Aus: Flight (23.12.1920). Seite 1290.

Während seine Riesenflugboote noch die Konzeption Zeppelins und die Erprobung stark gestreckter Trägersysteme widerspiegeln, wurden mit der D I Lösungen für das statische System des Flugzeugs präsentiert, die über eine einfache Entlehnung von Konstruktionsprinzipien aus dem Luftschiffbau weit hinausgingen. Durch das Nutzen der größeren Festigkeit des Duralumins, erreichte Dornier eine extreme aerodynamische und vor allem statische Verfeinerung. In der D I wurden die Eckpatente der Flugzeugstatik zusammengeführt, die Dornier während des Krieges angemeldet hatte: der einholmige Tragflügel (1916), die tragende Blechhaut für Flugzeugrümpfe und der spantenversteifte Hohlkörper aus Metall (beide 1917).⁵³⁰

Auch bei seinen Flugbooten wurden bereits zum Kriegsende die Werkstoffe und Bauweisen standardisiert. So hatte die Rs IV von 1918 einen Schalenrumpf aus Duralblech. Durch Verbesserungen des Durals wurde die Korrosionsanfälligkeit gemindert. Stahl kam nur noch in geringem Umfang beim Flügel zum Einsatz.

Nach dem Krieg wurden vor allem die Flugboote weiter verbessert. Dies betraf aber weitgehend die Form und nicht die Werkstoffe. Werkstofftechnisch hatte Dornier bereits 1918 die Standards gesetzt, die auch seine Nachkriegsflugzeuge charakterisierten: Schalenbauweise, glatte und tragende Außenhaut aus Dural, freitragende Flügel.

Claude Dornier hatte früh Erfahrungen, durch beispielsweise seine Anstellung beim Brückenbau, in der Eisen- und Stahlverarbeitung gemacht. Als Ingenieur ging er konstruktive Probleme zunächst theoretisch an. Über den Luftschiffbau kam er erst relativ spät zu

⁵³⁰ Vgl. Budraß 1998. Seite 37; Wachtel 1989. Seite 27 ff.

Fluggeräten „schwerer als Luft“. Er transferierte aber konsequent Erfahrungen, auch aus anderen Gebieten, in aktuelle Aufgabenstellungen: so übertrug er Erfahrungen aus dem Stahlbrücken- auf den Luftschiffbau. Im Gegensatz zu Fokker und auch Junkers präferierte der Ingenieur Dornier stets die Theorie vor der Praxis und wurde so zum „Prototypen“ einer Konstruktursgeneration, die sich anschickte, die Pioniere im Flugzeugbau abzulösen.

*„Während der Luftschiffbau Zeppelin ohnehin während des Krieges zu einem Zentrum der aerodynamischen Forschung aufstieg, war das Projekt von Dornier der Ursprung der wichtigsten Konstruktionstradition des deutschen Flugzeugbaus.“*⁵³¹

Die militärische Nachfrage sorgte dafür, dass Fokker teilweise, und vor allem Junkers und Dornier metallene Flugzeuge entwickelten. Gleichzeitig hatten es metallene Kriegsflugzeuge im Ersten Weltkrieg schwerer, sich gegen die konventionell gebauten Flugzeuge durchzusetzen. Im Gegensatz zu Fokker, dessen Produkte das Bild der Heeresluftwaffe prägten, blieben Junkers und Dornier Außenseiter. Die Verwendung von Duralumin und der Einstieg in eine forschungsintensive Konstruktion wurden mit einem Flexibilitätsverlust erkauft: Der Anspruch, den Flugzeugbau mathematisch und experimentell zu fundieren, führte gleichzeitig dazu, dass die daraus entstehenden Flugzeuge nur sehr schwer den sich wandelnden militärischen Anforderungen anzupassen waren. Jede Änderung an der Flugzeugkonstruktion zog eine erneute komplexe Revision aller seiner Komponenten nach sich. Ähnlich unflexibel machte die Verwendung des Duralumins. Die Konstruktionen von Fokker waren leichter herzustellen, weil er einen einfachen statischen Aufbau mit aerodynamisch verfeinerten und dabei vereinfachten Komponenten kombinierte, die in jeder größeren Möbelfabrik produziert werden konnten. Die Flugzeuge von Junkers und Dornier sollten hingegen die Vorteile der neuen Legierung ausschöpfen und vor allem eine erhöhte Festigkeit der Flugzeugzelle sicherstellen. Eine präzise Metallverarbeitung mit Spezialmaschinen war dazu nötig. Sicherheit, Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit waren für Kriegsflugzeuge zweitrangige Eigenschaften, da sie ohnehin eine sehr begrenzte Lebenserwartung hatten. Das Eingehen auf die Möglichkeiten der neuen Legierung schuf einen Widerspruch zu den Prämissen des Kriegsflugzeugbaus. Firmen, die Flugzeuge aus Duralumin bauten, waren hinsichtlich der Fertigungsgeschwindigkeit am Ende des Ersten Weltkriegs dem konventionellen Flugzeugbau traditioneller Firmen unterlegen.

⁵³¹ Budraß 1998. Seite 37.

Die Flugzeuge von Dornier und Junkers eigneten sich durch ihre größere Dauerhaftigkeit und Leistungsfähigkeit jedoch dazu, zuverlässig Güter und Personen zu transportieren. Ohne dass es die Nachfrage nach einem solchen Güter- und Personenluftverkehr bis dahin gegeben hätte, begünstigten die neuen metallenen Flugzeuge mehr als konventionelle Konstruktionen die Entstehung eines zivilen Luftverkehrs nach dem Ersten Weltkrieg.⁵³²

⁵³² Vgl. Budraß 1998. Seite 50.

5.4 Flugzeuge mit Ecken und Kanten: Adolf Rohrbach

Ein ehemaliger Mitarbeiter Claude Dorniers, Adolf Rohrbach⁵³³, muss hier ebenfalls Erwähnung finden, da er gerade in der Zwischenkriegszeit die Entwicklung des Ganzmetallflugzeugs maßgeblich und nicht nur auf nationaler Ebene beeinflusste und mit Dornier zusammen der „Friedrichshafener Schule“ zu zuordnen ist.

Nach dem abgeschlossenen Ingenieurstudium an der TH Darmstadt und einer anschließenden Tätigkeit beim Hamburger Schiffbauer Blohm & Voss wurde Rohrbach 1914 Mitarbeiter im Team um Claude Dornier. Auch wegen persönlicher Schwierigkeiten wechselte Rohrbach während des Ersten Weltkriegs in das Zeppelinwerk nach Staaken und stieg dort 1919 zum Chefkonstrukteur auf. 1919 konzipierte er dort das erste viermotorige Ganzmetallflugzeug der Welt: die „Staaken“ E 4/20, einem formschönen Schulterdecker mit dickem Flügel. Die alliierte Kontrollkommission kam jedoch zu dem Schluss, dass es sich hierbei um einen potentiellen Bomber handele und ließ alle Arbeiten an dem als Pas-



Abbildung 40: Staaken E 4/20. Aus: Flight (17.03.1921). Seite 185.

sagierflugzeug konzipierten Flugzeug einstellen.

1921 promovierte Rohrbach an der Technischen Hochschule in Berlin-Charlottenburg mit dem Thema „Beziehungen zwischen der Betriebssicherheit der Flugzeuge und der Bauart ihrer Kraftanlagen“. Zu seinen Lehrern zählte dort Professor Wilhelm Hoff, dessen erklärtes Ziel es war, den Metallflugzeugbau erneut für die Ansprüche des Rüstungsmarktes zu

⁵³³ Rohrbach, Adolf (* 28.03.1889 in Gotha; † 06.07.1939 in Kampen, Sylt).

öffnen, da er davon überzeugt war, dass erst die Rüstungsnachfrage die technische Weiterentwicklung des Flugzeug- und Leichtbaus anrege.⁵³⁴ Durch Publikationen zum Thema Metallflugzeugbau und Großflugzeugbau erlangte Rohrbach eine gewisse Bekanntheit, die ihm Stellenangebote von Fokker und Junkers einbrachte. Diese schlug er jedoch aus und nahm stattdessen einen Auftrag der japanischen Firma Mitsubishi für zweimotorige Hochseeflugzeuge an. 1922 gründete Rohrbach dann seine eigene Firma, die „Rohrbach Metallflugzeugbau GmbH“ mit Sitz in Berlin und Tochtergesellschaft und Werkstätten in Dänemark.

Bei seinen Flugzeugen nutze Rohrbach intensiv die Forschungen der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen. Im Gegensatz zu Junkers gliederte er die Forschung aus seinem Unternehmen aus: Während bei Junkers das Hauptaugenmerk der Ingenieure auf dem Erfinden lag und die Zahl der beschäftigten Ingenieure mit der Komplexität der Flugzeuge wuchs, lag der Schwerpunkt bei Rohrbach auf der intellektuellen Verarbeitung und Umsetzung von Wissenschaft.⁵³⁵ Auch wegen dieses konzeptuellen Unterschieds warb Rohrbach vor allem junge, frisch examinierte Ingenieure, wie beispielsweise Kurt Tank⁵³⁶, für sein Unternehmen an.

Den japanischen Aufträgen folgten britische, türkische und ein Auftrag der Lufthansa für ein Flugboot - Rohrbach etablierte sich am Markt. Über das britische Flugboot (Beardmore-Rohrbach „Inverness“) schrieb *Flight* 1925: „*The „Inverness is stated to be very stable, and to be capable of being flown 'hands off' for quite long periods, even in bumpy weather, a fact which should be of very considerable importance during long-distance flights. [...] The whole machine has been designed with robustness in view, and owing to the metallic wing covering the machine should be capable of remaining in the open for weeks at a time without fear of deterioration.*“⁵³⁷

Dabei war Rohrbachs Leitidee folgende: die größtmögliche aerodynamische Perfektion mit der weitgehenden Verwendung von Duralumin zu verknüpfen. Im Gegensatz zu Junkers, der sich ausschließlich auf die im Vergleich aufwändige Rohrholm-/Wellblechbauweise konzentrierte, setzte Rohrbach die Anforderungen der Produktion

⁵³⁴ Vgl. Budraß 1998. Seite 131.

⁵³⁵ Vgl. ebenda. Seite 132.

⁵³⁶ Tank, Kurt Waldemar (* 24.02.1898 in Bromberg-Schwedenhöhe (heute Bydgoszcz), damals Provinz Posen; † 05.06.1983 in München) wurde 1933 technischer Direktor bei der Focke-Wulf Flugzeugbau A.G.

⁵³⁷ *Flight* vom 24.09.1925. Seite 617.

ganz eindeutig über die der Konstruktion. Rohrbachs Dogma bestand darin, Wartung und Produktion schon während der Konstruktion den Vorrang einzuräumen, solange dies nicht die Leistungsfähigkeit des Flugzeugs beeinträchtigte.⁵³⁸ Man kann Rohrbach als Beispiel für eine Trendwende im Berufsbild des Ingenieurs sehen: In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zielte das Ingenieurstudium vorzugsweise auf den Beruf des Konstrukteurs. Diese Orientierung wurde um die Jahrhundertwende im Kontext der Rationalisierungsbewegung modifiziert und ergänzt. Die Rationalisierungsbewegung erwuchs aus dem schärfer werdenden nationalen und internationalen Konkurrenzkampf. Ganz allgemein gesprochen ging es den Rationalisierungsbefürwortern darum, den Produktionsaufwand im Unternehmen zu verringern, um so den Ertrag zu erhöhen.⁵³⁹

Die Bauweise und die Werkstoffe wurden ebenfalls diesem Denken unterworfen. Rohrbachs Flugzeuge bestanden wegen dieses Dogmas aus relativ einfachen geometrischen Formen ohne komplizierte Abrundungen. Als Ausgangsmaterial verwendete Rohrbach ausschließlich Duralumin-Halbzeuge aus Blechen oder Bändern, die im Gegensatz zum Junkerschen Rohrholm zu offenen Profilen verarbeitet wurden. Die Flugzeuge bestanden aus kastenförmigen Großbauteilen, die durch Schrauben oder Scharniere miteinander verbunden wurden. Zur Ästhetik dieser Bauweise schrieb *Flight* 1927: „*Like most Rohrbach machines, certainly all Rohrbach flying boats, the 'Rocco' is an ugly beast, what with its slab-sided boat hull, high freeboard and narrow beam.*“⁵⁴⁰

Die Vielzahl der einzelnen Bauteile dezentralisierte die Produktion und vereinfachte die Wartung.

⁵³⁸ Vgl. Budraß 1998. Seite 133.

⁵³⁹ Vgl. König, Wolfgang: Vom Staatsdiener zum Industrieangestellten: Die Ingenieure in Frankreich und Deutschland 1750 – 1945. In: Kaiser, Walter; König, Wolfgang (Hg.): Geschichte des Ingenieurs. Ein Beruf in sechs Jahrtausenden. München, Wien 2006. Seite 221.

⁵⁴⁰ *Flight* vom 12.05.1927. Seite 287.

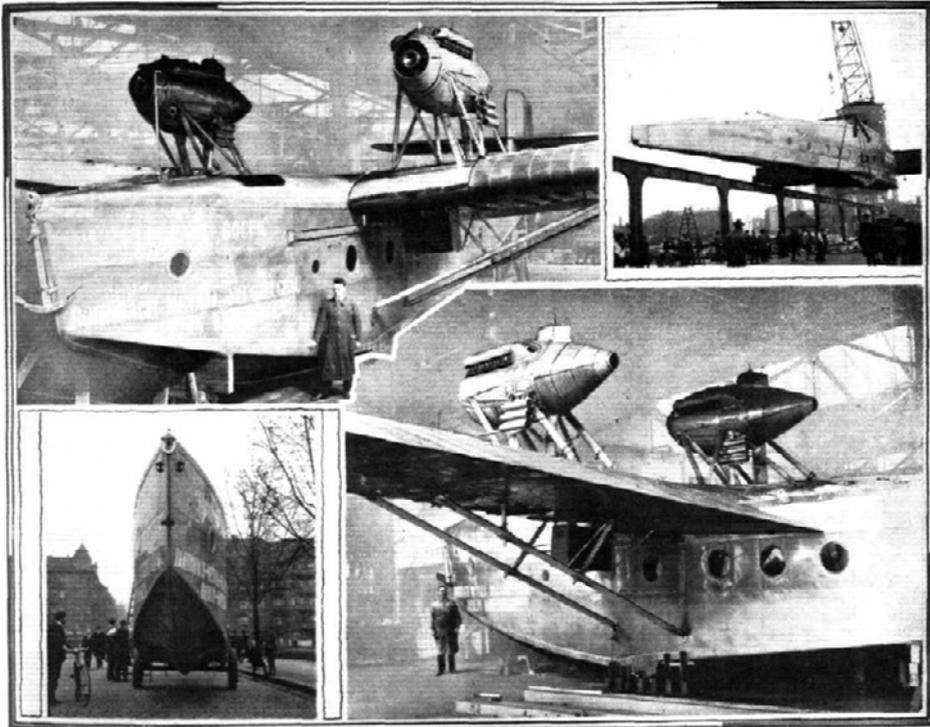


Abbildung 41: Verschiedene Ansichten eines Rohrbach "Rocco" Flugbootes. Auffällig sind die geraden Seiten des Rumpfes. Aus: Flight (12.05.1927). Seite 287.

Die Vorteile dieses Aufbaus in der Produktion waren offensichtlich. Offene gezogene Profile benötigten 20 Prozent weniger Bauzeit und Baukosten als geschlossene und waren zwischen 40 und 60 Prozent günstiger als die Junkerschen Rohrholme, die während der Herstellung, wie Rohrbach mehrfach betonte, dreißig- bis vierzigmal ausgeglüht werden mussten.⁵⁴¹ Wegen der viel besseren Haltbarkeit der Metallhaut gegenüber einer Stoffbespannung bevorzugte Rohrbach erstere. Da die Stoffbespannung regelmäßig erneuert werden musste, spielte der höhere Anschaffungspreis der Metallbeplankung keine Rolle für ihn.

Der Metallbau Rohrbachs unterschied sich grundsätzlich nicht von dem Dorniers. Rohrbach vereinfachte aber die Konstruktion weiter, sodass bei der Produktion einfach aufge-

⁵⁴¹ Vgl. Rohrbach, Adolf: Bemerkungen zum Neuzeitlichen Flugzeugbau. in: Langsdorff, Werner (Hg.): Fortschritte der Luftfahrt. Jahrbuch 1927/28. Seiten 295 - 327. Seite 311.

baute Vorrichtungen und Schablonen zum Einsatz kommen konnten. Auch war er nicht auf die Erfindung von Spezialmaschinen, wie dem Junkerschen Nietapparat, angewiesen und konnte seine Bleche mit konventionellen Blechnietmaschinen zusammenfügen.

Um den Preis seiner Flugzeuge weiter zu senken griff Rohrbach Ideen Fords und auch Taylors⁵⁴² zur modernen Industrieproduktion auf. Rohrbach wollte Lohnkosten senken, um das Missverhältnis zwischen Material- und Lohnkosten, das im Flugzeugbau herrschte, zu reduzieren. Metallflugzeuge könnten so, nach seiner Meinung, 40 Prozent billiger werden.⁵⁴³ Außerdem wollte er auch die Erkenntnisse Taylors auf den Metallflugzeugbau anwenden: *„Eine solche Verbilligung der Herstellung kann nur erreicht werden, wenn die gleichen Maßnahmen angewendet werden, die zur Verbilligung anderer technischer Erzeugnisse dienen. Diese Mittel sind: Zerlegung des ganzen Herstellungsvorgangs in voneinander unabhängige Einzeloperationen und Ausführung dieser Einzelarbeiten durch maschinelle Hilfsmittel, wo unvermeidlich, durch ungelernete Arbeiter, aber möglichst wenig Operationen, die nur geschickte Facharbeiter ausführen können.“*⁵⁴⁴ Auch für den Kriegsfall sah er die weitgehende Unabhängigkeit von Facharbeitern als dienlich an. *„Bedeutete die Verwendung von Duralumin als Baustoff, wie Junkers sie pflegte, zunächst einmal einen Rückzug vom militärischen Anforderungsprofil, so näherte die Rohrbachsche Konzeption den Metallflugzeugbau der militärischen Nachfrage an.“*⁵⁴⁵

Bereits in den frühen 1920er Jahren suchte Rohrbach folgerichtig den Kontakt zum Reichswehrministerium. Er wollte durch finanzielle Zuwendungen der öffentlichen Hand seine Unabhängigkeit als eigenständiger Flugzeugbauer bewahren und seine Ideen nationalen Interessen nutzbar machen.⁵⁴⁶

Des Weiteren zog Rohrbach Parallelen zum Schiffsbau. Er vertrat die Meinung, dass die Ganz-Duraluminkonstruktion mit tragender Außenhaut die einzige Möglichkeit sei, um

⁵⁴² Taylor, Frederick Winslow (* 20.03.1856 in Germantown, Pennsylvania, USA; † 21.03.1915 in Philadelphia) war ein US-amerikanischer Ingenieur und Arbeitswissenschaftler. Er ist Begründer der wissenschaftlichen Betriebsführung, die auf genauen Zeit- und Arbeitsstudien der Menschen beruhen.

⁵⁴³ Vgl. Rohrbach 1927/28. Seite 306.

⁵⁴⁴ Ebenda. Seiten 307, 310.

⁵⁴⁵ Budraß 1998. Seite 135.

⁵⁴⁶ Vgl. ebenda. Seiten 136, 137.

der Flugzeugstruktur die wertvollen Eigenschaften eines stählernen Schiffes zu sichern.

Ein Grund, warum Rohrbach offene Profile verwendete, war die Korrosionsgefahr. Der Alclad-Prozess⁵⁴⁷ hatte sich noch nicht durchgesetzt und das Duralumin wurde lediglich durch Anstriche vor der Korrosion bewahrt. Offene Profile konnten besser kontrolliert werden, als geschlossene. Dieser Punkt wiegt umso schwerer, wenn man bedenkt, dass Rohrbach überwiegend Wasserflugzeuge konstruierte.

Auch wenn Rohrbach während der Zwischenkriegszeit in Deutschland der wirtschaftliche Erfolg verwehrt blieb, so beeinflusste er mit Vorträgen und Aufsätzen den Flugzeugbau in anderen Ländern. *Flight* schrieb über seinen Einfluss auf die Entwicklung der amerikanischen Ganzmetallflugzeuge, die dort den Werkstoffwandel einleiteten: „*It would appear that thinking along these lines had been stimulated in the United States at about this time by, among other factors, a paper read by Rohrbach to the American Society of Automotive Engineers. This paper was published in the S.A.E. Journal of January 1927, and it seems likely that it played a part in sparking-off Boeing⁵⁴⁸ thinking in this field. Rohrbach probably also influenced John K. Northrop's⁵⁴⁹ work on metal aircraft which was in progress in the U.S. at about the same time. As will be seen, this other line of development was to bear fruit in the DC-1 and later Douglas aircraft. To Rohrbach, therefore, must undoubtedly go much of the credit for the form of construction adopted by the Americans for the „modern“ airliner. In the early 1930s, the new monoplanes had wing structures which derived directly from Rohrbach's box spar.*“⁵⁵⁰

⁵⁴⁷ Siehe Materialkapitel („Metall ist nicht gleich Metall“).

⁵⁴⁸ Boeing, William Edward, geboren als Wilhelm Eduard Böing (* 01.10.1881 in Detroit; † 28.09.1956 auf dem Puget Sound).

⁵⁴⁹ Northrop, John Knudsen (* 10.11.1895 in Newark, † 18.2.1981 in Glendale).

⁵⁵⁰ *Flight* vom 11.04.1958. Seiten 491, 492.

5.5 Focke und Co.

Dass nicht alle deutschen Flugzeugkonstrukteure in der Zwischenkriegszeit zum Metallbau übergangen und der Metallflugzeugbau somit kein gesamtdeutscher Trend war, zeigt das konstruktive Wirken Henrich Fockes⁵⁵¹. Seine frühen Konstruktionen (ab 1924) waren durchweg konventioneller Natur: Holzstruktur mit Stoffbespannung. Erst bei der Focke-Wulf „Möwe“ von 1927 ging Focke erstmals zu einer Rumpfstruktur aus Stahlrohren über: *„The wing construction is identical with that of earlier Focke-Wulf machines, with two box spars of wood and a covering of plywood. In the construction of the fuselage use is made of steel tubes, joined by welding, and the covering over the greater portion is doped fabric.“*⁵⁵²

In seiner Autobiographie bemerkt er zur Werkstofffrage: *„Bei der 'Möwe' hatte ich mich erstmals zu einem Stahlrohrumpf entschlossen, der aber Stoffbespannung hatte. Meine Mitarbeiter drängten zum Leichtmetallflugzeug; ich muß zugeben, daß ich mich nur zögernd dazu entschloß; die Fragen der Dauerfestigkeit der Aluminiumlegierungen waren damals wenig geklärt.“*⁵⁵³ Diese Einstellung ist nachvollziehbar, bedenkt man, dass sich der Alclad-Prozess zu dieser Zeit erst Bahn brechen musste. Wahrscheinlich ist aber auch, dass man einfach kein Know-How im Metallbau besaß und der Übergang zum Metallbau für die kleine Focke-Wulf Flugzeugbau AG ein enormes wirtschaftliches Risiko dargestellt hätte. So entstand auch die letzte Focke Konstruktion von 1932⁵⁵⁴, ein Flugzeug zur Wetterbeobachtung, aus eher traditionellen Werkstoffen: *„The construction of the A.47 is the usual Focke-Wulf, with a one-piece wing of all-wood construction, and a welded steel tube fuselage.“*⁵⁵⁵

⁵⁵¹ Focke, Henrich (* 08.10.1890 in Bremen; † 25.02.1979 in Bremen).

⁵⁵² Flight vom 21.08.1931. Seite 843.

⁵⁵³ Focke, Henrich: Mein Lebensweg. Die Memoiren des Bremer Luftfahrt-Pioniers. Köln 1977. Seite 37.

⁵⁵⁴ Henrich Focke wurde, ähnlich wie Hugo Junkers, 1933 von den Nationalsozialisten aus seiner Firma gedrängt.

⁵⁵⁵ Flight vom 29.12.1932. Seite 1237.

Auch die Konstrukteure Heinkel⁵⁵⁶ und Messerschmitt⁵⁵⁷ gingen erst verhältnismäßig spät zum reinen Ganzmetallbau über.

Heinkel baute ab 1910 Flugzeuge und gehörte damit zu der ersten Generation von Flugzeugkonstrukteuren. Bei seiner Konstruktion legte er besonderen Wert auf die aerodynamische Güte der Struktur und weniger auf fortschrittliche Materialien und Bauweisen. Zwar verwendete er schon früh Stahlrohrrümpfe, diese wurden aber mit Stoff oder Sperrholz beplankt. Bei der Heinkel-Blitz (He 70)⁵⁵⁸ ging man zumindest was den Rumpf betraf, zum Schalenbau aus Duralumin über. Man verwendete versenkte Nieten, welche es erlaubten die Oberfläche so glatt wie bei einem Sperrholzzumpf zu gestalten. Die Tragflächen bestanden aber noch aus Holz. Das erste Ganzmetallflugzeug der Firma Heinkel wurde die He 111 von 1935.⁵⁵⁹

Früher als Heinkel verwendete Messerschmitt Metall für seine Konstruktionen. Messerschmitt, der seine Konstruktionslaufbahn im Bereich des Segelflugs begonnen hatte, baute mit der M 18 von 1926 sein erstes Ganzmetallflugzeug. Jedoch noch nicht in Schalenbauweise: *„Eine der erstaunlichsten konstruktiven und organisatorischen Leistungen des jungen Unternehmers Messerschmitt war zu dieser Zeit (1925/1926) die totale Umstellung vom reinen Holzbau, wie er sich in den bisherigen Segelflugzeugen, Motorseglern und dem Leichtflugzeug M 17 manifestierte, zum reinen Metallbau der M 18. Daß jahrzehntelanger Umgang mit dem Baustoff Holz, meist als sperrholzbeplanktes, gelegentlich auch als stoffbespanntes Gerippe, zu extremem Leichtbau führen kann, ist für den Kenner der Materie noch sehr wohl zu verstehen. Daß aber ein junger Konstrukteur innerhalb eines Jahres sich selbst, seine Mannschaft und seinen Betrieb auf reinen Metallbau umzustellen und ein für den Personenflugverkehr taugliches Ganzmetallflugzeug zu entwickeln vermochte, war bisher ohne Beispiel.“*⁵⁶⁰

Der Ganzmetallbau blieb bei Messerschmitt aber lange auf den zivilen Flugzeugbau beschränkt. Sportmaschinen, Schulflugzeuge und auch seine militärischen Konstruktionen wurden noch in einer Gemischtbauweise ausgeführt. Das änderte sich erst ab der Bf 108

⁵⁵⁶ Heinkel, Ernst (* 24.01.1888 in Grunbach; † 30.01.1958 in Stuttgart).

⁵⁵⁷ Messerschmitt, Wilhelm Emil (* 26.06.1898 in Frankfurt a.M.; † 15.09.1978 in München).

⁵⁵⁸ Erstflug Dezember 1932.

⁵⁵⁹ Köhler 1999. Seite 116; Heinkel 1963. Seite 267.

⁵⁶⁰ Ebert, Kaiser, Peters 2008. Seite 52.

von 1934. Sie war ein Ganzmetallflugzeug in Schalenbauweise und Einziehfahrwerk und markierte bei Messerschmitt einen konstruktionsellen Wendepunkt.⁵⁶¹

Auch international blieb Holz weiterhin ein konkurrenzfähiger Werkstoff zum modernen Metall. In Großbritannien wurden bis kurz nach dem Zweiten Weltkrieg noch Flugzeuge in Gemischtbau und hohem Holzanteil gebaut und auch in Amerika, wo der Metallbau Ende der 1920er Jahre seinen Siegeszug angetreten hatte, gab es noch zumindest ein großes Holzflugzeugprojekt. Aber zunächst zu Großbritannien.

⁵⁶¹ Vgl. ebenda. Seiten 105 ff.

5.6 Tradition verpflichtet: Geoffrey de Havilland & Handley Page

Geoffrey de Havilland wurde am 27. Juli 1882 im britischen Haslemere geboren.

Schon früh begann er sich für Mechanik zu interessieren: „*I had developed from the earliest years I can remember an enthusiasm for engineering and mechanics [...]*.“⁵⁶²

Eine Fahrt in einem 3,5 PS Mercedes wird für ihn, nach eigener Aussage, zum Erweckungserlebnis: „*But after that short drive I knew that my future life lay in the world of mechanical travel. The fascination of independently powered and swift transportation from place to place that was to seize so many of the young of my generation had gained a hold which was never to relax through all my working life.*“⁵⁶³

Im Jahre 1900 wurde Geoffrey an der Crystal Palace Engineering School aufgenommen.

„*The methods employed in the machine and fitting shops were archaic even for those days. But I could at least learn the rudiments of machining and fitting. [...], but I was never interested in large structures like dams and bridges. I liked the work in the drawing office and the workshops better than attending lectures, [...]*.“⁵⁶⁴ Und weiter: „*Theoretical work was less to my taste.*“⁵⁶⁵ Ähnlich wie Fokker war er von der reinen Theorie also wenig fasziniert.⁵⁶⁶

Nach drei Jahren an der Engineering School nahm de Havilland eine Tätigkeit bei dem Dampfmaschinenhersteller Willans and Robinson in Rugby auf.

Nach einem weiteren Firmenwechsel, der ihn aber auch nicht zufrieden stellte, führte die Wrightflyervorführung durch Wilbur Wright 1908 in Le Mans, Frankreich, bei de Havilland zum Wunsch, sich auch der Fliegerei zuzuwenden: „*The year was 1908, when Wilbur Wright brought his machine to France and demonstrated it at Le Mans, marked the turning point for me, away from cars and towards the heavier-than-air craft. [...], though I might never have seen an aircraft in the air, this was the machine to which I was pre-*

⁵⁶² De Havilland 1961. Seite 28.

⁵⁶³ Ebenda. Seite 31.

⁵⁶⁴ Ebenda. Seiten 36, 37.

⁵⁶⁵ Ebenda. 1961. Seite 40.

⁵⁶⁶ Siehe Kapitel über Anthony Fokker. Vgl. hierzu: Engels 1996. Seite 245.

pared to give my life. [...], and here was something new that inspired me with excitement. I was seized with an ambition to design and build my own aeroplane and engine and nothing was going to hold me back.“ ⁵⁶⁷

Sein erstes Flugzeug baute de Havilland 1909. Um schnell erste Erfahrungen sammeln zu können, baute er das Flugzeug in einer Auslegung, die erfolgversprechend und bereits erprobt war. So erinnert das erste de Havilland Fluggerät stark an den Wrightflyer. *„Almost all the materials we used could be bought at timber yards, ironmongers, steel tube makers or engineers‘ stores. The only ‘special‘ items I can remember were turnbuckles for the bracing wires (Ordinary piano wire), and the fabric which had a coating of cellulose dope on one side.“* ⁵⁶⁸ Und *Flight* führte 1910 zu diesem ersten de Havilland Flugzeug weiter aus: *„To a large extent a form of American whitewood was chosen by Mr. de Havilland, chiefly in order to obtain a good straight grain, but the subsequent fractures indicate an internal softness which was not apparent previously, and we understand that the very much stronger machine now in hand will have silver spruce, ash and hickory in place of the whitewood.“* ⁵⁶⁹

⁵⁶⁷ De Havilland 1961. Seite 47.

⁵⁶⁸ Ebenda. Seite 53.

⁵⁶⁹ *Flight* vom 09.04.1910. Seite 266.

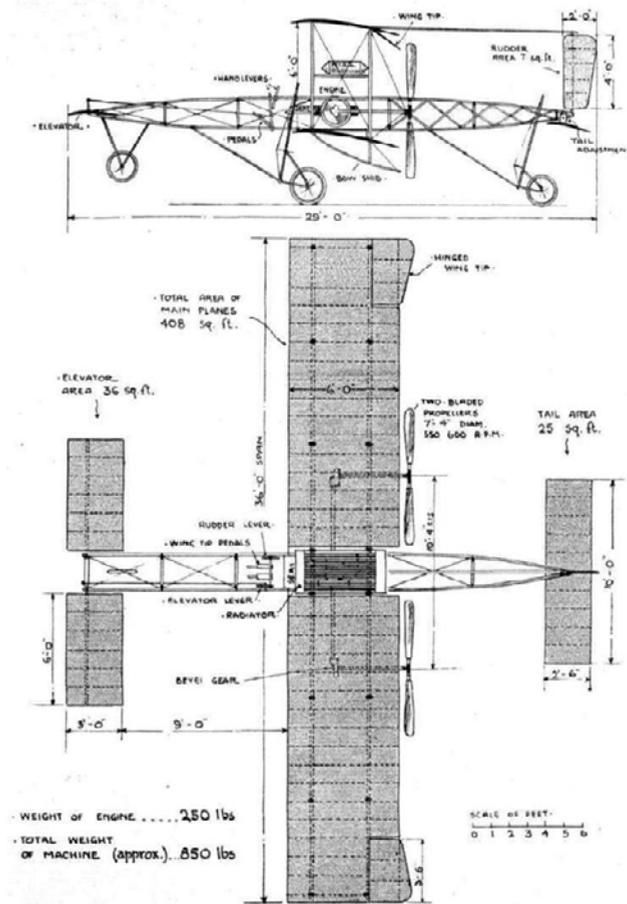


Abbildung 42: 2-Seiten-Ansicht des ersten de Havilland Flugzeugs.
 Aus: *Flight* (09.04.1910). Seite 267.

Die Bespannung wurde in mühevoller Handarbeit von Geoffrey de Havillands erster Frau, Louie, mit der Nähmaschine genäht. Das Getriebegehäuse bestand aus Aluminium und wurde später aus einer Aluminium-Bronze-Verbindung hergestellt. Und auch die Stahlrohre des Getriebes mussten durch dickere ersetzt werden.

Erste Flugversuche endeten mit dem Totalschaden der Flugmaschine. Bei der zweiten kamen wieder die gleichen Materialien zum Einsatz. Der Antrieb wurde vereinfacht und bestand jetzt nur noch aus einem Holzpropeller anstatt der beiden Aluminiumpropeller bei der ersten Maschine. Das Fahrwerk bestand nun aus zwei Fahrradreifen und auch die

Struktur wurde etwas geändert: „[...] *a lighter, simpler and more robust main structure.*“⁵⁷⁰ Sie bestand aus „[...] *straight-grained spruce and ash, [...].*“⁵⁷¹

Trotz des Erfolges dieser Konstruktion hatten de Havilland und sein Partner Frank Hearle das Problem, dass, wegen des erst entstehenden Bedarfs an Flugmaschinen, ihnen kommerzieller Erfolg verwehrt blieb. 1911 verkaufte de Havilland die D.H. No. 1 an das War Office, das sich nach anfänglicher Skepsis gegenüber dem Schwerer-als-Luft-Prinzip sogar dazu entschied de Havilland und seinen Partner in Farnborough⁵⁷² anzustellen.

In Farnborough konstruierte de Havilland im April 1911 mit der B.E.2 ein sehr erfolgreiches Modell, das auch noch im Ersten Weltkrieg geflogen wurde. Bei diesem Modell wanderte das Leitwerk nun erstmals vom Bug zum Heck der Maschine. Die Luftschraube war aber noch hinter den Tragflächen angebracht, unter anderem auch, um ein freies Schussfeld nach vorne zu ermöglichen. Zur Konstruktion bemerkte de Havilland: „*The B.E.1*⁵⁷³ *and B.E.2 were orthodox biplanes, chiefly of wood construction, with welded steel tube for tailplane, elevators and rudder.*“⁵⁷⁴

Den Vorabend des Ersten Weltkriegs erlebte de Havilland zunächst in der Position eines Flugzeuginspektors, zu dem er im Januar 1914 ernannt worden war. Bereits im Juli 1914 quittierte er diese Tätigkeit wieder, da ihm die Konstruktionstätigkeit zu sehr fehlte: „*I'm sorry, but my one ambition is to continue design work and flying. I don't care for inspection work and I'm sure I'll never be really efficient at it.*“⁵⁷⁵

Ende August 1914 war er zurück am Zeichentisch, nun aber bei der „Aircraft Manufacturing Company“, kurz Airco. Hier entwickelte d.H. die B.E.2 weiter. Es entstanden Maschinen, die schon den Kürzel D.H. trugen, hinsichtlich des Materials aber kaum Neuerungen brachten. Mit der D.H.1 und D.H.2 entstanden Jagdflugzeuge mit Druckpropeller. Des Weiteren baute Airco leichte Bomber. Hier sticht die D.H.4 von 1917 und die daraus weiterentwickelte D.H.9 („[...] *an orthodox biplane of wood construction but of high*

⁵⁷⁰ De Havilland 1961. Seite 60.

⁵⁷¹ Allward, Taylor 1996. Seite 7.

⁵⁷² In Farnborough war das „Royal Aircraft Establishment (RAE)“ ansässig, eine armeeeigene Firma zur Herstellung von Fluggeräten.

⁵⁷³ Die B.E.1 und B.E.2 waren Baugleich, unterschieden sich nur durch ihre Motoren.

⁵⁷⁴ De Havilland 1961. Seite 76.

⁵⁷⁵ Ebenda. Seite 94.

aerodynamic qualities.“⁵⁷⁶) heraus, weil de Havilland hier bereits das Konzept des Schnellbombers verwirklichte, der sich ausschließlich durch seine Geschwindigkeit verteidigen sollte.

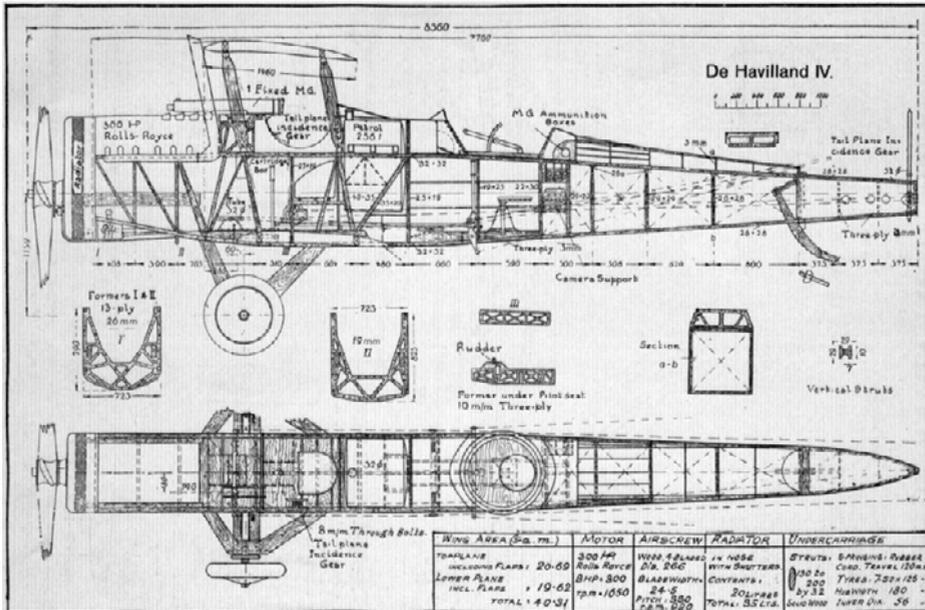


Abbildung 43: Detailansicht der D.H.4. Aus: Flight (20.06.1918). Seite 676.

Mit dem Kriegsende verlor Airco seine Aufträge zum Bau von Kriegsflugzeugen. Gleichzeitig war die Nachfrage nach zivilen Flugzeugen noch verhältnismäßig klein. Zusätzlich wurde der Bedarf dieses kleinen zivilen Marktes durch die enormen Zahlen der nun überflüssigen Kriegsflugzeuge der Kriegsparteien mehr als gedeckt. Dies bedeutete das Ende von Airco, das aufgekauft und zerschlagen wurde. Im September 1920 gründete Geoffrey de Havilland die „De Havilland Aircraft Company“. Durch großzügige Investoren überlebte die kleine Firma die schwierigen Anfangsjahre nach dem Krieg. Erste erfolgreich produzierte Modelle waren die schon bei Airco gebaute D.H.18 von 1920 und die daraus weiterentwickelte D.H.34 von 1922, hölzerne Doppeldecker mit einer Passagierkabine für acht Personen.

⁵⁷⁶ De Havilland 1961. Seite 98.

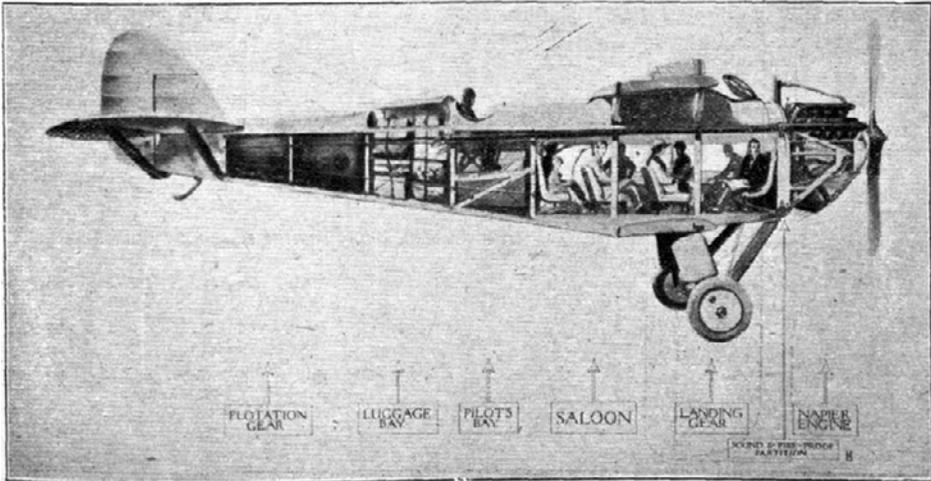


Abbildung 44: Aufteilungsskizze der D.H.18. Aus: *Flight* (24.03.1921). Seite 203.

Der Versuch dem Wunsch des Air Ministry nach einem Modell mit freitragendem Holzflügel nachzukommen, scheiterte an fortbestehenden Flügelproblemen. Auch als das Ministerium Mitte der 1920er Jahre eine militärische Version des hölzernen dreimotorigen Doppeldeckers „Hercules“⁵⁷⁷ forderte, gab es Schwierigkeiten. Es gab Probleme, Fichtenholz in ausreichender Länge und Qualität zu finden und da das Flugzeug außerdem in den Tropen eingesetzt werden sollte, musste die übliche Holzbauweise durch eine Stahlrohrstruktur ersetzt werden, einer Fertigungstechnik, mit der man bei de Havilland keine Erfahrungen hatte: „*The company had to learn to use steel tube construction, instead of its familiar wood, for the large fabric-covered fuselage, although the seven to fourteen passengers and baggage were still housed in plywood boxes suspended inside.*“⁵⁷⁸

Das Ministerium forderte anschließend sogar eine Ganzmetallausführung dieser Maschine und die Probleme wurden damit nicht kleiner: „*[...] owing to metal construction being at that time something new and about which little was known, progress was painful slow.*“⁵⁷⁹ Auch wenn de Havilland dieses Problem sehr allgemein formulierte, lag die Schwierigkeit wohl viel mehr darin, dass man bei der „De Havilland Aircraft Com-

⁵⁷⁷ D.H. 66 „Hercules“, Erstflug: 1926.

⁵⁷⁸ Allward, Taylor 1996. Seite 12. Vgl. hierzu auch Jackson, A. J.: *De Havilland Aircraft since 1909*. United Kingdom 1987. Seite 269.

⁵⁷⁹ De Havilland 1961. Seiten 117, 118.

pany“ wenig Erfahrungen mit dem Metallbau hatte und so technisch an den Holzbau gebunden war. Das Projekt wurde schließlich an die Firma Gloster abgetreten.

Durch seine Konstruktionstätigkeit in der Luftfahrt hatte d.H. zu diesem Zeitpunkt bereits ein Gespür dafür entwickelt, was eine Konstruktion erfolgreich machte: „[...] *simplicity, right size, cleanness in design, and of course, a very reliable engine. The value of simplicity is to be found in weight saving, ease of production, reliability and lower cost.*“⁵⁸⁰

Mit diesen Erkenntnissen konstruierte Geoffrey de Havilland in der zweiten Hälfte der 1920er Jahre eines seiner erfolgreichsten zivilen Modelle: die D.H.60 „Moth“. Sie wurde in verschiedenen Ausführungen bis in die 1930er Jahre gebaut und begründete durch ihre Robustheit („[...] *the wooden biplane was almost everlasting and the structure could really only be broken by flying it into the ground.*“⁵⁸¹), Einfachheit, den geringen Preis und die guten Leistungen den privaten Motorsport in Großbritannien. Die „Moth“ war ein hölzerner Doppeldecker für zwei Passagiere. Zum konstruktionellen Aufbau schrieb *Flight*: „*The fuselage, for instance, is a box composed of four longerons, straight plain vertical and horizontal struts, and the whole covered with sheet ply-wood. [...]. The sides and bottom are flat, but the top is deeply cambered. The struts in sides and bottom are not directly attached to the longerons, but are held in place by the three-ply covering.*“⁵⁸² „*The wing construction is extremely simple, with I-section spars, spindled out from the solid, and with very simple ribs. The wing bracing is in the form of streamline wires, and there is but one pair of inter-plane struts on each side.*“⁵⁸³

⁵⁸⁰ De Havilland 1961. Seite 98.

⁵⁸¹ Gordon 1975. Seite 154.

⁵⁸² *Flight* vom 05.03.1925. Seite 128.

⁵⁸³ Ebenda. Seite 129.



The advertisement is divided into several sections. At the top is a silhouette illustration of a horse pulling a carriage, with a person standing nearby. Below this is the headline "THE RELIABILITY OF YESTERDAY". A paragraph of text follows, stating that the reputation of Cirrus engines is based on actual achievements. This is followed by a list of notable flights and awards. Below the list is a graphic that says "IS STILL MAINTAINED IN THE CIRRUS ENGINE OF TO-DAY". To the right of this graphic is a detailed illustration of a Cirrus engine. At the bottom, the company name "CIRRUS AERO ENGINES, LTD." and their address "89, KINGSWAY, LONDON, W.C.2." are provided.

THE RELIABILITY OF YESTERDAY

The reputation of "CIRRUS" engines rests not upon words but upon actual air achievements, of which the following are some examples :-

ENGLAND - AUSTRALIA (in 15½ days).
ENGLAND - AUSTRALIA (with passenger).
LONDON - SOUTH AFRICA - LONDON.
LONDON - INDIA (2 machines).
LONDON - CAPETOWN (in 13 days).
CIRCUIT OF THE AFRICAN CONTINENT.
1st. KING'S CUP AIR RACE, 1926.
1st. KING'S CUP AIR RACE, 1927.
BRITANNIA TROPHY, 1927.
SIDDELEY TROPHY, 1928.
Etc., etc.

IS STILL MAINTAINED IN THE CIRRUS ENGINE OF TO-DAY

CIRRUS AERO ENGINES, LTD.
89, KINGSWAY, LONDON, W.C.2.

Abbildung 45: Werbung für den "Cirrus"-Motor. Aus: Flight (11.04.1929).

Eine Besonderheit war auch der Motor der „Moth“. Der „Cirrus“-Motor hatte 65 PS, war dabei sehr robust, einfach zu handhaben, verbrauchte wenig und wog nur 290 englische Pfund⁵⁸⁴. Die „Moth“ wurde sozusagen um diesen Motor herum konstruiert.

Und die „Motte“ wurde ständig weiterentwickelt.

Die „Hawk Moth“ von 1929 besaß eine geschlossene Kabine für vier Personen. Bei dieser Moth-Version wich de Havilland vom reinen Holzbau ab: „Structurally, the „Hawk Moth“ is a composite, with a metal fuselage and wooden wings, [...]. In the construction of the fuselage use is made of steel tubing of square and circular section. [...]. The tail surface are of steel tube construction, welding being used to a considerable extent for jointing, [...]. [...]. The wings, as already indicated, are of wood construction, with box spars and orthodox wooden ribs, fabric covered.“⁵⁸⁵

⁵⁸⁴ Dies entspricht etwa 130 kg.

⁵⁸⁵ Flight vom 07.02.1929. Seiten 97, 98.

Bei einer späteren Version der „Moth“, der „Leopard Moth“ von 1933, kehrten die Konstrukteure zur reinen Holzbauweise zurück. Sie war ein Dreisitzer mit einer geschlossenen Kabine und war als Eindecker ausgelegt: *„The fuselage of the „Leopard Moth“ has a light skeleton of spruce, with a covering of plywood. [...] The outer covering of the bottom is fabric, and here and there in the fuselage bottom are inspection holes. [...] In the wing construction also spruce and plywood are the chief structural materials.“*⁵⁸⁶ Warum man zum Holzbau zurückkehrte versuchte *Flight* ebenfalls zu erläutern: *„After some years‘ experience of metal construction, the de Havilland Aircraft Co., Ltd., came to the conclusion that there was, after all, much to be said for the old wood construction. Generally speaking, it was found that whenever a machine was produced in metal, it proved heavier than the corresponding wooden machine, and also in most cases a good deal dearer.“*⁵⁸⁷

Neben einem Hochgeschwindigkeitseindecker, der D.H.88 „Comet“, entwickelte de Havilland Anfang der 1930er Jahre ein zweimotoriges Doppeldecker-Reiseflugzeug, die D.H.84 „Dragon“. Auffällig ist, dass d.H. nun den Rumpf zunehmend stromlinienförmiger konstruierte.

⁵⁸⁶ *Flight* vom 30.11.1933. Seite 1192.

⁵⁸⁷ Ebenda. Seite 1191.

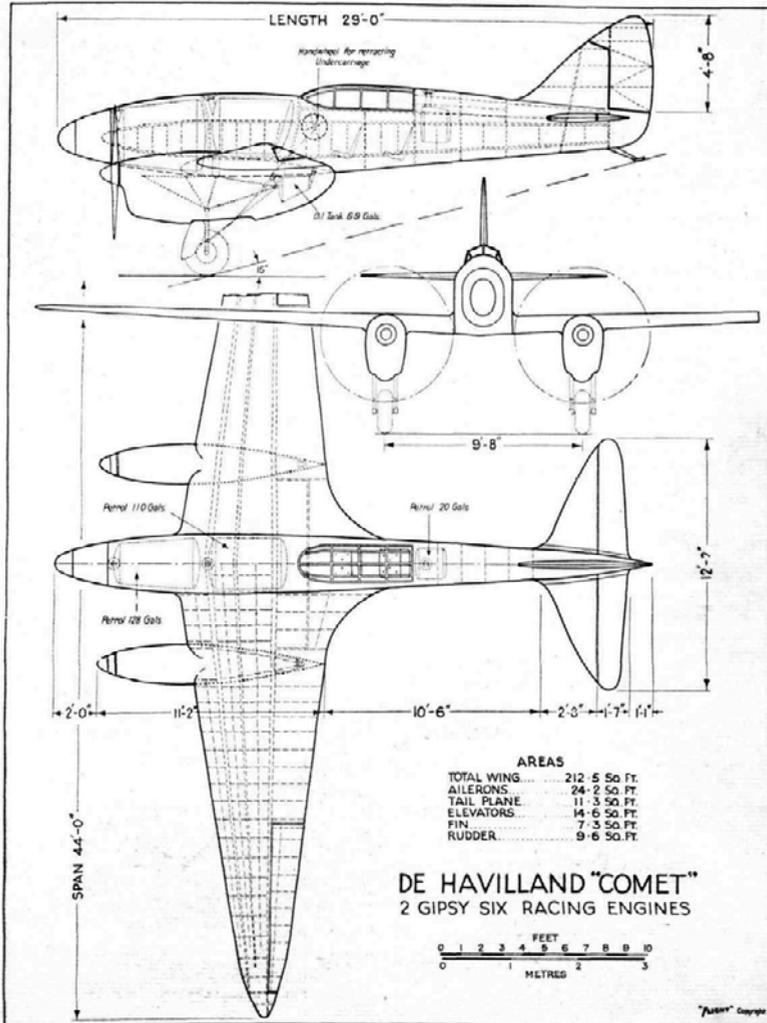


Abbildung 46: D.H. 88 "Comet". Aus: Flight (20.09.1934), Seite 969.

Besonders bei der „Comet“ war die Struktur nun selbsttragend ausgelegt. Man übernahm Know-How aus dem Bootbau und konstruierte Flügel und Rumpf selbsttragend: „*Bending and torsional loads are taken by the skin, which is in the form of a spruce planking laid on after the manner of 'double diagonal' planking of many lifeboats. That is to say, there is an inner and an outer layer, each composed of spruce strips some two inches wide, the strips of inner and outer layers crossing each other at approximately right an-*

gles.“⁵⁸⁸ Eine Bauweise die stark an Deperdussin erinnert. Die Innenansicht des Rumpfes erinnert an die deutschen Albatros-Einsitzer des Ersten Weltkriegs. *Flight* fühlte sich offenbar bemüßigt, den Holzbau auch hier zu rechtfertigen: „*The stressed-skin covering may, of course, be of any material capable of resisting compressive loads, such as wood or metal. When metal is used, it is of necessity applied in very thin panels in order to reduce weight. This means that unless stiffened by some internal framework of stringers or the like, the metal skin will crinkle. When wood is used for the skin, less stiffening is usually necessary because the wood, being much lighter than metal, can be and is used in much greater thickness.*“⁵⁸⁹ Leider wird hier nichts Genaueres zum verwendeten Metall erläutert. Ob die von *Flight* vorgebrachten Argumente auch in Bezug auf die Verwendung von Dural und modernen freitragenden Metallbauweisen noch Bestand gehabt hätten, bleibt zweifelhaft. Es ist einmal mehr anzunehmen, dass es kaum Erfahrungen mit der selbsttragenden Metallbauweise gab und man sich daher dem Holzbau verpflichtet fühlte und auf ihn auch angewiesen war.

Die „Dragon“ erscheint heute wie gefangen zwischen zwei Epochen der Luftfahrt. Ihr Sperrholz-Rumpf wirkt mit seinem schon sehr stromlinienförmigen Rumpfbug fortschrittlich für die frühen 1930er Jahre. Gleichzeitig ist das Reiseflugzeug noch als Doppeldecker ausgelegt. Trotzdem attestierte ihr *Flight* 1932: „*Thus both in structural and in aerodynamic efficiency the 'Dragon' can be said to be well above the average.*“⁵⁹⁰

⁵⁸⁸ *Flight* vom 20.09.1934. Seite 971.

⁵⁸⁹ Ebenda. Seite 968.

⁵⁹⁰ *Flight* vom 22.12.1932. Seite 1214.

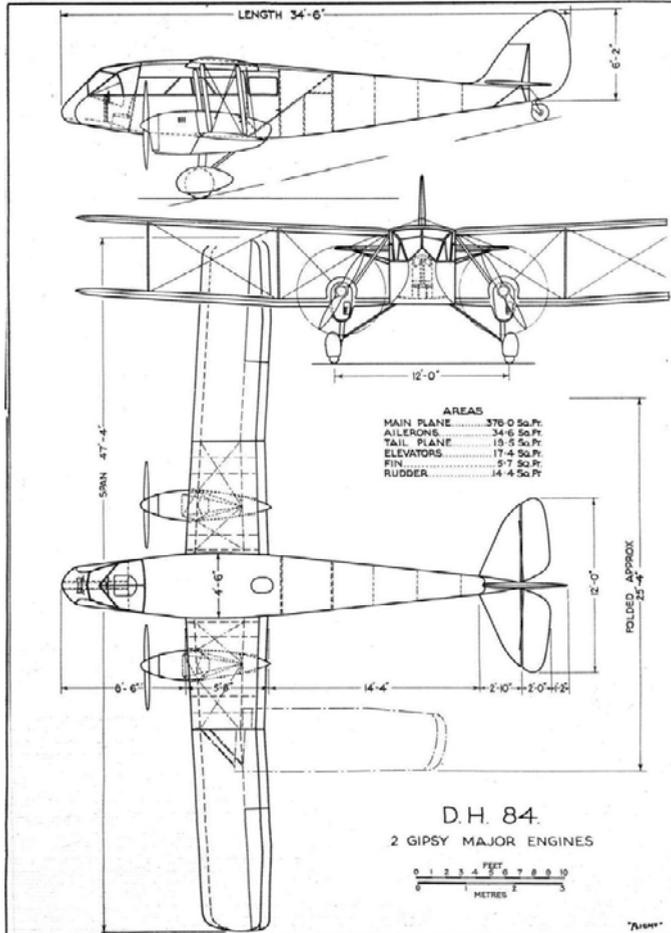


Abbildung 47: 3-Seiten-Ansicht der D.H.84 "Dragon". Aus: *Flight* (22.12.1932). Seite 1213.

Gegen Ende der 1930er Jahre entstanden bei De Havilland noch zwei Passagiermaschinen, die jede für sich eine Besonderheit darstellten: die D.H.91 „Albatross“ und die D.H.95 „Flamingo“.

Die „Albatross“ war ein sehr eleganter, stromlinienförmiger, viermotoriger Eindecker für 22 Passagiere „considered by many people to be the most beautiful airplanes of all the aeroplanes of the 1930s.“⁵⁹¹ Dabei bestand sie noch ganz aus Holz. Geoffrey de Havilland konstruierte sie als Antwort auf die amerikanische Douglas DC-2.

⁵⁹¹ Allward, Taylor 1996. Seite 90.

Reisegeschwindigkeit von etwa 330 Kilometern pro Stunde und Raum für 12 bis 20 Passagiere.

Auch bei der „Flemingo“ erklärte *Flight* die Materialwahl: „*The reason for the fact that the 95 is of all-metal construction [...] might simply, but not too accurately, be explained as the result of demand. Operators expect all-metal construction [...]. [...] There are no very intrinsic advantages in all-metal construction as such. In fact, for many purposes, the older methods have distinct advantages. Only when quantity orders may be expected is the all-metal machine an economically reasonable proposition, while in such circumstances it is, for production reasons, the only possible means of construction.*“⁵⁹² Schon die De Havilland „Mosquito“ würde diese Argumentation wenige Jahre später mit ihrer Massenfertigung zumindest zum Teil widerlegen. Für einen zivilen Flugzeugmarkt, der sich erst in den Kinderschuhen befand, mag diese Argumentation aber wiederum einleuchtend sein, wobei man hier auch von einer längeren Betriebsdauer ausgehen musste als im militärischen Bereich.

Bei der Rumpfkonstruktion wurden die Erfahrungen, die man im Holzbau gemacht hatte, einfach auf den Metallbau übertragen. So erscheint die Rumpfstruktur wie die eines Holzflugzeugs, nur eben aus Metall (siehe Bild). Der Rumpf selbst bestand aus drei Teilen: „*The first section extends from the nose to the bulkhead behind the pilot's cabin, and is built of channel-section Alclad formers covered with Alclad sheet. [...] The second section of the fuselage, which contains the passenger cabin, toilet room, and luggage hold, extends aft from the pilot's bulkhead to the rear end of the fuselage, and is constructed of Alclad formers of channel section, extruded stringers of light aluminium alloy, and Alclad sheeting. [...] The stressed skin tailplane is fully cantilever with three stressed-skin fins, all-metal fabric covered elevators, and two all-metal fabric covered rudders.*“⁵⁹³

Auch der Flügel wurde beschrieben: „*The centre section has one main spar (a lattice girder of extruded aluminium alloy) and the two auxiliary spars, which are Wagner beams with alloy extruded flanges. [...] The covering is of Alclad sheet, and the extruded sec-*

⁵⁹² *Flight* vom 16.02.1939. Seite 151.

⁵⁹³ Ebenda. Seite 156.

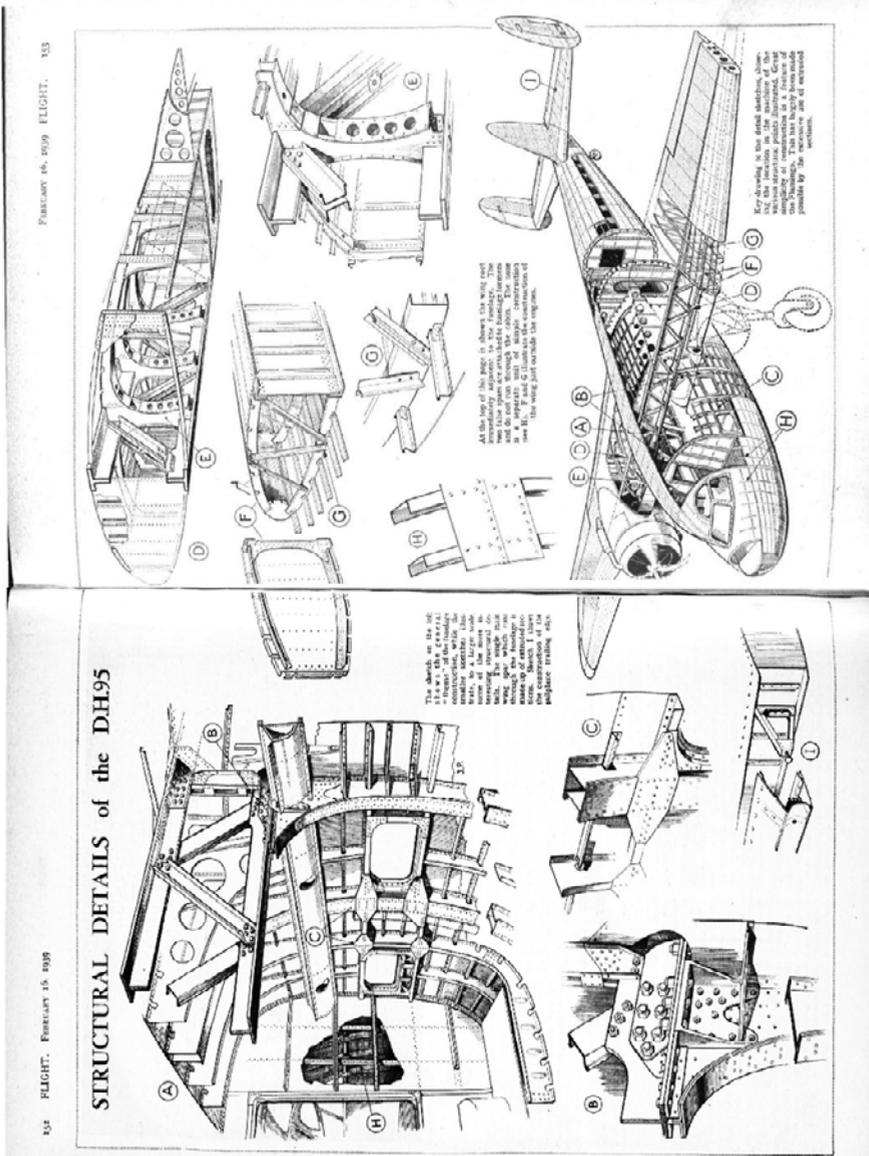


Abbildung 49: Details der D.H. 95 "Flamingo". Aus: Flight (16.02.1939). Seiten 152, 153.

tions are of light aluminium alloy. The ribs and formers are riveted to the spar stiffeners, [...] Aft of the spar the wing is fabric covered, though there are all-metal wing tips. “⁵⁹⁴

Im Zweiten Weltkrieg besann man sich bei der Firma De Havilland zurück auf die Erfahrungen aus dem Ersten Weltkrieg: „Our minds naturally went back to the D.H.4 of

⁵⁹⁴ Ebenda. Seiten 155, 156.

the 1914 War, the high-speed bomber that could outfly most enemy fighters.“⁵⁹⁵ Man war davon überzeugt, dass diese Idee des Schnellbombers auch im Zweiten Weltkrieg von Bedeutung sein würde. „*Our scheme was to discard every item of equipment that was not essential, design for a two-man crew and no rear armament, relying on high speed for defence.*“⁵⁹⁶

Das Ergebnis dieser Anstrengungen sollte eines der bekanntesten Flugzeuge des Zweiten Weltkriegs und eines der berühmtesten Flugzeuge der Firma De Havilland werden: das schnelle Allzweck-Flugzeug⁵⁹⁷ D.H.98 „Mosquito“: „*In a long life the De Havilland Aircraft Co., Ltd., has produced many fine types of aircraft, but the Mosquito can truly be said to be the firm’s masterpiece.*“⁵⁹⁸

Weil man bei De Havilland hauptsächlich Erfahrungen mit der Holzbauweise hatte, die Konstruktion möglichst einfach sein sollte, man einen schnellen Erstflug brauchte, die Versorgungslage im Krieg Alternativen zum Metallbau forderte und die Fertigung auch in den britischen Kolonien möglich sein sollte („*The De Havilland Co. years ago started subsidiary companies throughout the empire, in Canada, in Australia, in South Africa and in India.*“⁵⁹⁹), wurde die „Mosquito“ letztendlich fast vollständig aus Holz gefertigt.⁶⁰⁰ „*The choice of wood construction also meant that a great number of firms and a great deal of labour would become available which had not previously been used to any great extent in the war effort. [...]. From the operational point of view it was thought that wood construction would have certain advantages such as buoyancy (Mosquitoes have floated for many hours) and ease of repair in case of damage.*“⁶⁰¹

Die „Mosquito“ war ein zweimotoriger Mitteldecker in Schalenbauweise und von hoher aerodynamischer Güte. Die Kombination von leistungsstarken Motoren, guten aerodynamischen Eigenschaften und ihrem Leichtbau machten die Mosquito zu einem der schnellsten Flugzeuge des Zweiten Weltkriegs.

⁵⁹⁵ De Havilland 1961. Seite 156.

⁵⁹⁶ Ebenda. Seite 156.

⁵⁹⁷ Die D.H.98 „Mosquito“ wurde als Bomber, schwerer Jäger, Jagdbomber, Aufklärer, Zielmarkierer und leichter Transporter eingesetzt.

⁵⁹⁸ Flight vom 06.05.1943. Seite 472.

⁵⁹⁹ Ebenda. Seite 468.

⁶⁰⁰ Vgl. Ebenda. Seiten 467, 468. De Havilland 1961. Seite 158.

⁶⁰¹ Ebenda. Seite 468.

Die Außenhaut des Rumpfes bestand aus einem Sandwich, der aus einem Sperrholzmantel und einer Balsaholz-Füllung zusammengesetzt war. Diese Bauweise der Haut hatte man bereits bei der „Comet“ erprobt.

Den Flügelaufbau mit Holzstruktur und Sperrholzbeplankung beschrieb *Flight* wie folgt: „*The wing is a one-piece wooden cantilever with built-up spars having laminated spruce flanges and plywood birch webs. The ribs between the spars have spruce booms and plywood webs. In the wing covering the Mosquito differs somewhat from the Comet and Albatross. The lower covering is plain birch plywood, except for the doors over the tank bay. The top skin, however, is different in that there are two skins, spaced some distance apart, and instead of the balsa wood packing between them, as used in the fuselage, they have stringers running spanwise.*“⁶⁰²

Hauptmerkmal der Fertigung war, dass Rumpf und Flügel modular, d.h. aus einzelnen Modulen, zusammengesetzt wurden. So konnte die Produktion dezentralisiert werden: „*It is of interest to recall the fact that, in addition to the 400 or so sub-contractors making components at home, the machine is now being built in quantities in Canada.*“⁶⁰³ Eine weitere Besonderheit bestand darin, dass der Rumpf aus zwei Halbschalen zusammengesetzt wurde, was vor allem den Einbau der inneren Ausstattung vereinfachte. Monocoque Rumpfe machten den Einbau von Ausrüstung normalerweise schwierig: „*The disadvantage of the monocoque fuselage, more particularly in aircraft of small and medium size, is the impossibility of reaching in from outside while installing equipment. Thus a smaller number of men can work on the installation of equipment in a small monocoque fuselage than in one of the girder type.*“⁶⁰⁴ Diese Nachteile wirkten sich in einer kriegsbedingten Massenfertigung erschwerend aus. Durch die Halbschalenbauweise umging man bei der Fertigung der Mosquito diese Nachteile der Monocoquebauweise.

Insgesamt wurden über 7.500 Mosquitos gebaut.⁶⁰⁵ Ein beeindruckender Beweis dafür, dass auch mit einem Holzflugzeug eine Massenfertigung möglich ist und dass sich ein Holzflugzeug auch 1945 noch gegen eines aus Metall auch unter dem Aspekt der Leistung durchsetzen konnte.

⁶⁰² Flight vom 06.05.1943. Seite 470.

⁶⁰³ Ebenda. Seite 468.

⁶⁰⁴ Flight vom 25.11.1937. Seite 502.

⁶⁰⁵ Jackson 1987. Seite 421.

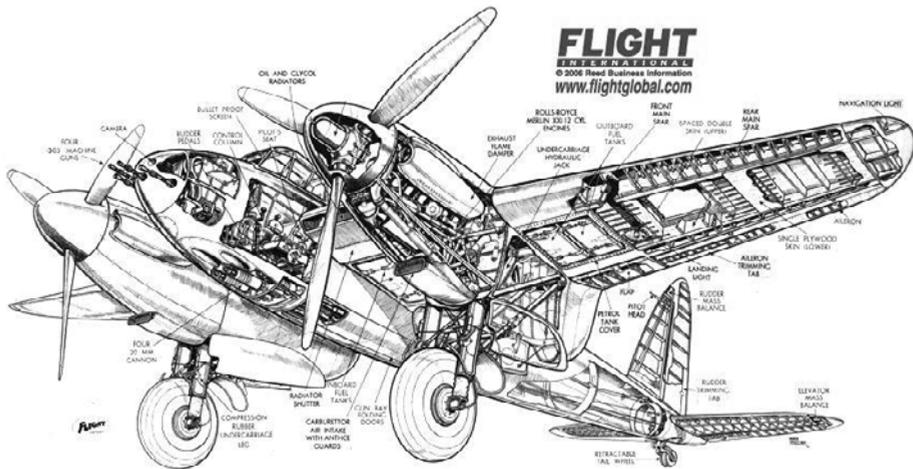


Abbildung 50: Risszeichnung der D.H. 98 "Mosquito". Aus: <http://www.flightglobal.com/airspace/media/militaryaviation1903-1945cutaways/de-havilland-dh-mosquito-cutaway-10573.aspx> (Stand: 10.11.2011).

In einem Artikel über zu entwickelnde mittelgroße Transportmaschinen kam man wegen den Erfahrungen mit der Mosquito bei *Flight* 1944 zu dem Schluss, dass auch diese aus Holz bestehen müssten: „*In all probability, the first series of the suggested medium-sizers will be in wood rather than in metal, so that development and initial production can be faster. The Mosquito should have cured everyone, including the general public, of any idea a wooden aircraft in the modern style is out-moded or incapable of standing up to hard out-of-doors' treatment.*“⁶⁰⁶

Gegen Ende des Zweiten Weltkriegs wurde von De Havilland ein Langstreckenjäger und -aufklärer auf Basis der Mosquito entwickelt. Die D.H.103 „Hornet“⁶⁰⁷ ist deshalb hier zu erwähnen, weil man bei De Havilland einen interessanten Gemischtbau aus Holz und Metall verwendete und man zudem erkannt hatte, dass der ausschließliche Holzbau an seine Leistungsgrenze gestoßen war:

„*The one piece, two spar, cantilever laminar flow mainplane was designed to high strength factors and consisted of a composite wood and metal internal structure with a stressed birch ply double upper skin and an undersurface of reinforced Alclad. The Hornet was the first type of aircraft in which wood was cemented to metal, a unique method*

⁶⁰⁶ Flight vom 20.07.1944. Seite 65.

⁶⁰⁷ Erstflug: 1944.

of construction only possible by using the revolutionary new Redux adhesive.“⁶⁰⁸ Und weiter: *„In a wing of reasonable depth, it was not possible to obtain the requisite strength and rigidity from all-wood construction, and it is in the ingenious combination of wood and metal in the design of the Hornet wing that the main structural interest lies. [...] Light-alloy extrusions are embodied in spars of mixed construction; ribs are either of wood, alloy or a mixture of the two, and the skin is a wood sandwich on top and metal below. In the main, wood is used in compression and shear, and metal in tension. [...] The centre fuselage pair are composed of compressed plywood sandwiched between alloy sheet. [...] The tailplane is of conventional two-spar all-metal construction, [...].“*⁶⁰⁹

Man war bei der Firma De Havilland an die Leistungsgrenzen des Holzbaus gestoßen. Eine Erfahrung, die mit dem Verlust des zweiten Experimentalflugzeugs D.H.108 bezahlt wurde. Sie war wegen struktureller Probleme in der Luft auseinander gebrochen. *„The stresses imposed by supersonic flight cannot be sustained by wooden structures, as demonstrated by the demise of the second DH Swallow.“*⁶¹⁰

Beim ersten Jäger mit Strahltriebwerk der Firma De Havilland, der D.H.100 „Vampire“, der ebenfalls kurz vor Kriegsende entstand und den *Flight* als *„conventionally unconventional“*⁶¹¹ beschrieb, wurde der Holzbau weiter reduziert. Bis auf Teile des vorderen Rumpfes handelte es sich bei ihr um ein Ganzmetallflugzeug: *„The nacelle itself is constructed, on familiar Mosquito lines, of balsa wood sandwiched between plywood sheet, [...].“*⁶¹² Dagegen hatte der Flügel *„Alclad ribs and a stringer-stiffened Alclad skin covering“*⁶¹³.

Ganz verschwand das Holz aus den De Havilland-Konstruktionen dann ab der D.H.104 „Dove“, die 1945 erstmals flog. Auch die D.H.106 „Comet“ von 1949, einem der ersten Passagierflugzeuge mit Strahltriebwerken, war kein Holz mehr verbaut.

Der Name Geoffrey de Havilland ist untrennbar mit dem Holz-Flugzeugbau verbunden, auch wenn das Unternehmen spät bewies, dass es auch in Metall bauen konnte. Die „De Havilland Aircraft Company“, ging 1959 in der Hawker-Siddeley Gruppe auf.

⁶⁰⁸ Jackson 1987. Seite 433.

⁶⁰⁹ Flight vom 24.01.1946. Seiten 86, 87.

⁶¹⁰ Robins 1975. Seite 41.

⁶¹¹ Flight vom 20.12.1945. Seite 655.

⁶¹² Ebenda. Seite 656.

⁶¹³ Ebenda. Seite 657. Vgl. auch Green, Swanborough 1996. Seite 166.

Wie Anthony Fokker fühlte sich de Havilland neben dem Entwurf vor allem der Praxis und dem persönlichen Fliegen der eigenen Flugzeuge verpflichtet: *„I decided to learn the hard way because, being dedicated to aeroplane design as well as to actual flying, it seemed essential to gain experience in everything, including learning to fly an aeroplane that had never flown, and might in fact be incapable of doing so.“*⁶¹⁴ Und an anderer Stelle unterstrich er nochmals die Bedeutung des eigenen Fliegens seiner Konstruktionen: *„Through all the years between the wars, and in spite of my growing responsibilities and the time my desk demanded of me, I continued to fly all our planes whenever opportunity occurred, and put in many hundreds of flying hours.“*⁶¹⁵ Der zunehmenden Verwissenschaftlichung des Flugzeugbaus stand auch er kritisch gegenüber und unterstrich, dass die Praxis gegenüber der Theorie immer Vorrang habe: *„But mathematicians, computers and wind tunnels, although very necessary, cannot design a successful aeroplane; [...]. [...], a designer must have much of the creative artist in him, backed up by a lot of practical engineering experience. A successful designer is born rather than made, and is a rare product. Neither a deep knowledge of mathematics nor great theoretical knowledge is necessary. [...]. A deep insight into mechanical engineering is one of the chief essentials, and that is why practical experience, and lots of it, is so essential. [...]. These features have little to do with the theoretical aspect, they are more matters of experience and common sense.“*⁶¹⁶ Diese Praxisorientierung de Havillands ist auch damit zu erklären, dass er seine Karriere in einer Zeit begann, als noch wenige Erfahrungen mit dem Automobil- und Flugzeugbau bestanden. Es war eine Zeit in der sich technischer Fortschritt zu einem großen Teil aus „Trial and Error“ entwickelte.

Geoffrey de Havilland verweigerte sich lange dem Metallflugzeugbau, auch weil er im Metallbau in jener Phase der Luftfahrtentwicklung keine klaren Vorteile sah. Nüchternheit bestimmte seine Materialwahl: Im Holzbau hatte man Erfahrung, im Metallbau nicht. Hinzu kam, dass der Holzbau gerade in Kriegs- und Krisenzeiten, in denen de Havilland viele seiner Flugzeuge konstruierte, seine Vorteile, wie wir noch sehen werden, voll ausspielen konnte. Außerdem waren die Flugleistungen noch nicht so hoch, sodass der Holzbau in dieser Hinsicht konkurrenzfähig zum Metallbau blieb.

⁶¹⁴ De Havilland 1961. Seite 53.

⁶¹⁵ Ebenda. Seite 129.

⁶¹⁶ Ebenda. Seiten 145, 146.

Ähnlich ist das Wirken von Sir Frederick Handley Page⁶¹⁷ einzuordnen. Als gelernter Elektroingenieur gründete er am 17.06.1909 die Flugzeugbaufirma „Handley Page, Ltd.“ Vor allem die Flugerfolge der Gebrüder Wright und die ersten europäischen Flugpioniere hatten bei ihm das Interesse geweckt, selbst Flugzeuge zu bauen. Erste Konstruktionen waren Flugmodelle, die eine hohe Eigenstabilität aufwiesen und mit damals gängigen Materialien hergestellt waren: *„Ash is the principal timber used in the construction, and the backbone of the machine, which is built of it, consists of a rectangular lattice girder that is entirely enclosed by fabric.“*⁶¹⁸

Im Ersten Weltkrieg wurde Handley Page vor allem durch den Bau zweimotoriger Bomber berühmt. Die H.P. O/100 und O/400 hatten eine Spannweite von 100 ft. und waren konventionell aufgebaut: *„The basic structure of the machine, which remained virtually unchanged after development into the O/400, was fairly typical of its period [...].“*⁶¹⁹ Die Struktur bestand aus Holz und die Beplankung aus Stoff.

Auch die H.P. „Hamlet“ aus dem Jahr 1926, ein Eindecker mit einer Kabine für vier Passagiere, war weiterhin konventionell gefertigt: *„Generally speaking the „Hamlet“ follows normal Handley Page practice as regards construction. The fuselage is of the girder type throughout, including the cabin portion, and is fabric covered.“*⁶²⁰

Das erste Ganzmetallflugzeug der Firma Handley Page war die H.P. 42 von 1930, einem viermotorigen Doppeldecker für bis zu 38 Passagieren. Obwohl als Flugzeug in Ganzmetallbauweise beworben, waren weiterhin Teile des Rumpfes stoffbespannt waren. Außerdem waren der hintere Rumpf und die Flügel nicht selbsttragend aufgebaut.⁶²¹ Man benutzte eine innere Rohrstruktur und beblankte diese mit Duralumin-Blechen. Und auch die Handley Page „Heyford“ von 1933 griff noch auf Stoffbespannungen zurück.

Bei Handley Page zeigt sich somit, dass auch er dem neuen Werkstoff Metall und den neuen Fertigungsmethoden in Form der selbsttragenden Bauweise offensichtlich skeptisch gegenüber stand. So lange er mit seinen Konstruktionen erfolgreich war, fühlte er keine Veranlassung mit neuen Werkstoffen oder Bauformen zu experimentieren.

⁶¹⁷ Handley Page, Frederick (* 15.11.1885 in Cheltenham, England; † 21.04.1962 in London).

⁶¹⁸ Beschreibung der Materialien des Handley Page Monoplane No.1, in: Flight vom 26.10.1912. Seite 966.

⁶¹⁹ Flight vom 27.02.1953. Seite 255.

⁶²⁰ Flight vom 14.10.1926. Seite 674.

⁶²¹ Vgl. Flight vom 28.11.1930. Seiten 1383, 1384. Und Flight vom 22.06.1939. Seiten 632, 633.

Wie bereits beschrieben, wurde außerdem von britischer offizieller Seite die traditionelle Bauweise unterstützt. Holzflugzeuge waren leicht herzustellen, preiswert und ohne großen Aufwand gewandelten militärischen Einsatzbedürfnissen anzupassen. Zusätzlich verfügten die britischen Konstrukteure nicht über die finanziellen Mittel, um den forschungsintensiven deutschen Weg der Verwissenschaftlichung des Flugzeugbaus mit zu gehen. Das ungebrochene Beharrungsvermögen und der technische Konservatismus der Generation von Pionierunternehmern wie Handley-Page oder de Havilland taten ein Übriges, um die Aufnahme des freitragenden Systems im britischen Flugzeugbau bis in die 1930er Jahre hinein zu verzögern.⁶²²

⁶²² Barnett, Corelli: *The Audir of War. The illusion & Reality of Britain as a Great Nation*. London 1986. Seite 129 f.

5.7 Gitterrumpf und rollende Bomben: Barnes Wallis

An dieser Stelle soll jedoch nicht der Eindruck entstehen, dass es auf den britischen Inseln keine Befürworter des Metallbaus gegeben hätte.

Barnes Wallis⁶²³, ein britischer Ingenieur, der während des Ersten Weltkriegs maßgeblich an der Entwicklung britischer Luftschiffkonstruktionen beteiligt war, in der Zwischenkriegszeit in den Flugzeugbau wechselte und während des Zweiten Weltkriegs einige Bekanntheit durch seine Waffenkonstruktionen erlangte, gehörte schon relativ früh zu den Befürwortern der Verwendung von Leichtmetalllegierungen im Flugzeugbau. Im August 1931 schrieb er an einen Kollegen: „*I have so long felt like a Prophet crying in the wilderness, that it is encouraging to see someone else actually coming to the same conclusions [...]. And I am quite convinced that the most important work which we can undertake is not the development of stainless steel, but the investigation of reliable means of rendering light alloys free from corrosion.*“⁶²⁴

Zur Anwendung kam Leichtmetall jedoch nicht in Form von selbsttragenden Rumpfstrukturen aus Leichtmetallblech. Wallis, ganz Kind des Luftschiffbaus, wählte für die Rumpfstruktur eine engmaschige (geodätische) Netzstruktur⁶²⁵ aus Duralrohren, die er mit Stoff bespannte. Vorteile dieser Bauweise waren das geringe Strukturgewicht bei hoher Stabilität und die damit einhergehende hohe Nutzlast und Reichweite. Nachteile waren der hohe Fertigungsaufwand des Gitterrumpfes und die Schadensanfälligkeit der Stoffbespannung. Da das erste Flugzeug in dieser Bauweise ein Bomber (Vickers „Wellington“) war, wirkte sich vor allem diese Anfälligkeit der Stoffhülle bei Kampfhandlungen extrem negativ aus: „*[...] in war conditions of usage and exposure wear and tear were much more severe than in peacetime.*“⁶²⁶ Die Bespannung zeigte sich feueranfällig, auch wenn die Struktur auch

⁶²³ Wallis, Barnes Neville (* 26.09.1887 in Ripley (Derbyshire); † 30.10.1979 in Leatherhead, Surrey).

⁶²⁴ Morpurgo 1972. Seite 193.

⁶²⁵ Zum Thema geodätische Konstruktion siehe auch den Flight-Artikel „Geodetic Construction“. In: Flight vom 16.01.1936. Seiten 64 – 68.

⁶²⁶ Morpurgo 1972. Seite 270.

unter Beschuss sehr stabil blieb: „*Wellingtons have returned from raids so damaged that they would appear to be about to collapse at any moment. Yet the geodetic structure spreads the loads so well that even though large portions might be shot away the machines have been able to return to their bases [...]. The distribution of loads and the high degree of redundancy in the structure makes the geodetic system of great military value in keeping losses to a minimum.*“⁶²⁷

Gleichzeitig war die Reparaturfreundlichkeit bei Struktur wie bei Bespannung sehr hoch.

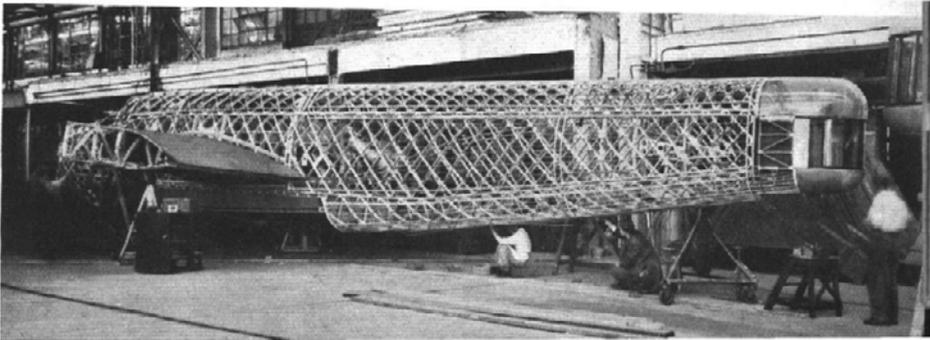


Abbildung 51: Geodätische Struktur der "Wellington". Aus: *Flight* (06.07.1939). Seite 17.

Materialtechnisch ist die geodätische Konstruktionsweise interessant, weil sie einen Alternativweg zu der selbsttragenden Bauweise mit Metallblech darstellt. Auch hier stand der Innenraum von Rumpf und Flügeln vollständig für Fahrwerk, Ausrüstung und Tanks zur Verfügung. Unter dem Gesichtspunkt des Leichtbaus war sie dem Metallblechbau zumindest ebenbürtig, wenn nicht sogar überlegen. In der Flugpraxis sah es jedoch ganz anders aus. Gerade die Anfälligkeit der Stoffbespannung stellte bei Kampfhandlungen ein großes Problem dar.

In den USA, wo der Metallbau im Gegensatz zu Deutschland zuerst im zivilen und erst später im militärischen Flugzeugbau eingeführt wurde, entstand während des Zweiten Weltkriegs ein Flugzeug, das die Konkurrenzfähigkeit des Holzbaus und auch die Limitierung seiner Verwendbarkeit eindrücklich unter Beweis stellte. Gleichzeitig widerlegte dieses Projekt die These Junkers, dass bei großen Flugzeugen Holz als Baumaterial un-

⁶²⁷ Morpurgo 1972. Seite 270.

brauchbar ist, weil Holz nicht die Anforderungen an Stabilität, Steifigkeit und Dimensionierung erfüllen könne.⁶²⁸

⁶²⁸ Trunz 2006. Seite 18.

5.8 The Aviator: Howard Hughes

Howard Robard Hughes Jr. wurde am 24. Dezember 1905 in Houston, Texas als Sohn des Ölindustriellen Howard Hughes Sr. und dessen Frau Allene geboren. 1921 verstarb Howards Mutter und zwei Jahre darauf auch überraschend sein Vater. 19-jährig und damit noch nicht volljährig wurde Howard Hughes Jr. Chef des Konzerns seines Vaters, der Toolco.⁶²⁹

Neben seiner geschäftlichen Tätigkeit im geerbten Konzern verfolgte Hughes auch technische Interessen: so ließ er in den späten 1920er Jahren von einem Ingenieurteam ein Automobil mit Dampftrieb bauen. Das Projekt wurde ein Fehlschlag, weil das Gasauto zum einen nicht mit den Leistungen der Autos mit Verbrennungsantrieb konkurrieren konnte und zum anderen weil es auch soziale Vorbehalte zu überwinden galt: „*Besides, in the eyes of the motoring public, steam was a dead issue and could not be revived.*“⁶³⁰ Hughes erfuhr also schon früh, dass gesellschaftliche Präferenzen technische Entwicklung beeinflussen.

Die Weltwirtschaftskrise verschonte den Hughes-Konzern weitgehend und er wuchs in den 1930er Jahren stetig weiter. 1934 wurde die Hughes Aircraft Company gegründet. 1940 kaufte Hughes 80 Prozent der TWA⁶³¹ Aktien und wurde damit faktisch zum Besitzer einer der größten amerikanischen Fluggesellschaften. Zahlreiche weitere Firmen wurden gekauft oder gegründet. Hughes betätigte sich auch als Filmproduzent. Einer seiner erfolgreichsten Filme war „Hell’s Angels“ aus dem Jahre 1930: „*Scenes such as the Zeppelin bombing raids on London and midair collisions of planes during dogfight sequences were new highs in movie technology. Hughes hired the best stunt pilots in the world to fly the largest fleet of World War I planes ever used in a single motion picture.*“⁶³² Flight beschwerte sich zwar über die mangelnde Detailgenauigkeit des Films, wobei der Eindruck entsteht, dass man lediglich die britischen Leistungen unterrepräsentiert fand und man sich dadurch in der britischen Ehre gekränkt fühlte, lieferte aber auch interessante

⁶²⁹ Vgl. McDonald 1981. Seite 15.

⁶³⁰ McDonald 1981. Seite 16.

⁶³¹ TWA = Trans Western Airlines.

⁶³² McDonald 1981. Seite 29.

Informationen zum Film: *„The finest of the scenes are naturally centred round the Zeppelin - a real one, which we are told was built at a cost of \$500,000 by the Goodyear Zeppelin Corp. [...]. The staff of pilots was some 137 and the two chief actors had to learn to fly for the purpose of the film. [...]. A complete aerodrome was maintained in California as the main base, and a second representing the one from which Baron von Richthofen operated during the war. One of the Fokker D.VII's used is reputed to be one of the actual machines used in Richthofen's „Circus,“ and during the production of 'Hell's Angels' it flew over 400 hours.“*⁶³³

Persönliches Interesse am Fliegen entwickelte Howard Hughes Ende der 1920er Jahre. 1927 machte er seinen Pilotenschein und 1932 flog er sogar für einige Monate für „American Airways“. Sein Interesse für die Fliegerei wuchs weiter. 1934 überarbeitete er eine Boeing P-12 und gewann mit ihr auch ein Luftrennen in Miami. Die Leistungen der P-12 genügten jedoch bald nicht mehr Hughes' Ansprüchen. Daraufhin gründete er die Hughes Aircraft Company und baute dort die Hughes H-1. *„Noteworthy features were the close-fitting, bell shaped engine cowling, the gently curved wing fillets that molded the wings to the fuselage, the retractable landing gear, the extremely smooth surfaces with counter-sunk rivets and flush joints, [...], and the smoothly faired and totally enclosed cockpit [...].“*⁶³⁴

Sein nächstes Flugrennen bestritt Hughes wegen erneuter Arbeiten an der H-1 mit einer umgebauten Northrop „Gamma“. *„The latest example of a conversion from a standard commercial model is the Nothrop Gamma used by Howard Hughes to break the American transcontinental record a few weeks ago. [...]. Hughes' average speed for the trip was 263,5 m.p.h.“*⁶³⁵ Weitere Rennen, Rekordflüge und Streckenflüge folgten.

Das Flugzeugprojekt, welchem Hughes die größte Aufmerksamkeit über den längsten Zeitraum widmete und dem hier besondere Beachtung geschenkt werden soll, war die H-4 „Hercules“ oder auch „Spruce Goose“ genannt.

Die Geschichte der „Fichten-Gans“ beginnt jedoch zunächst mit einer anderen Person. Im Jahre 1942 operierten die deutschen U-Boote sehr erfolgreich im Nordatlantik gegen alli-

⁶³³ Flight vom 31.10.1930. Seite 1199.

⁶³⁴ Barton, Charles: Howard Hughes and his Flying Boat. USA 1982. Seite 37.

⁶³⁵ Flight vom 09.04.1936. Seite 372.

ierte Schiffskonvois. Der Schiffsraum drohte angesichts der Verluste knapp zu werden. Die Lösung war eine Steigerung des Schiffbaus, wie ihn der Amerikaner Henry Kaiser⁶³⁶ durch Rationalisierung und Standardisierung erreichte: „*Kaiser had virtually reinvented ship building and placed it on a mass production basis.*“⁶³⁷ Die Bauzeit für ein solch standardisiertes Handelsschiff, auch „Liberty Ship“ genannt, betrug maximal 30 Tage. Um Schiffsverluste zu verringern hatte Kaiser die Idee den alliierten Konvois kleine Begleit-Flugzeugträger zur Seite zu stellen, was später auch verwirklicht wurde. Zusätzlich strebte er eine Massenfertigung von Großflugbooten an, gegen welche die deutschen U-Boote machtlos wären: „*He has proposed the building of 5,000 „flying cargo boats“ in established shipyards, and his plan, which he presented to the Maritime Commission in a speech at the launching of one of his ships in Portland, Ore., called for the conversion of nine shipyards from the building of surface vessels to the construction of flying boats such as the Martin Mars*“⁶³⁸. *According to Kaiser, says an Article in American Aviation, an annual production rate of 5,000 flying boats of the Mars type could be reached by the shipyards in ten months. Production lines could be in operation within less than six months with each of the nine shipyards turning out ten aircraft a month for the first three months and a maximum of 40 a month per yard within a year.*“⁶³⁹ Es sollte ein enormer Ausstoß von Großflugbooten erreicht werden. Allerdings muss man bei dieser sehr ehrgeizigen Planung bedenken, dass Kaiser keinerlei Erfahrung im Flugzeugbau besaß. Das sah die amerikanische Regierung ähnlich. Ganz lehnte sie die Flugbootvision Kaisers jedoch nicht ab, forderte aber, es dürfe kein Personal von kriegswichtigeren Projekten abgezogen und keine strategisch wichtigen Rohstoffe, wie beispielsweise Aluminium, für das Riesenflugboot verwendet werden.⁶⁴⁰ Kaiser musste sich einen Mitstreiter in der amerikanischen Luftfahrtindustrie suchen, der seinen Plan unterstützte. Martin, Douglas und auch Northrop lehnten alle dankend ab, da sie das Projekt für unrealistisch hielten. Kaiser wurde schließlich in Howard Hughes fündig, der sich von diesem Flugboot-Projekt faszinieren ließ: „*If three of Hughes' competitors in the aircraft business thought it was impossible, he was interested. [...]. Only the seemingly impossible nature of the*

⁶³⁶ Kaiser, Henry John (* 09.05.1882 in New York; † 24.08.1967 in Honolulu, Hawaii).

⁶³⁷ McDonald 1981. Seite 34.

⁶³⁸ Erstflug: 1942; Spannweite: 61 m, Nutzlast: 15 t.

⁶³⁹ Flight vom 10.09.1942. Seite 288.

⁶⁴⁰ Vgl. McDonald 1981. Seite 38; Vgl. auch Barton 1982. Seite 58.

project and the fact that his competitors and the military felt it couldn't be done had made any real impression.“⁶⁴¹

Hughes konzipierte ein noch größeres Flugzeug, als jenes, das Kaiser skizziert hatte: „[...] *an aircraft designed to carry 120,000 pounds of cargo, 750 combat-equipped troops or a 60-ton Sherman tank. [...]. Hughes' design was pushing nearly 200 tons instead of the 70-plus tons of Kaiser's plan.*“⁶⁴² Das endgültige Flugzeug sollte später ein Gesamtgewicht von 400.000 englischen Pfund haben.⁶⁴³

Die enorme konstruktive Herausforderung des Flugboots und der Perfektionismus Hughes' zögerten das Projekt immer wieder hinaus: „*Month after month passed, designs remained incomplete, wind tunnel test models weren't finished and engineering changed constantly. This situation was the result of Howard Hughes' obsessive demands for perfection.*“⁶⁴⁴ Auf offizieller Seite wurde man zunehmend ungeduldig, auch weil die U-Boot-Bedrohung im Atlantik ab der zweiten Hälfte des Jahres 1943 keine ernst zu nehmende Gefahr mehr darstellte.

Hughes begründete die Verzögerungen zum Teil mit der vorgeschriebenen Wahl des Werkstoffes. Entgegen dieser Behauptung, hatte man ihn in Wahrheit schon früh vor die Materialwahl Holz oder Metall gestellt, nachdem sich die Aluminium-Versorgungslage entspannt hatte. Der große Sperrholzbedarf Großbritanniens⁶⁴⁵ machte Sperrholz nun sogar zu einem strategisch kritischen Rohstoff. Hughes war aber von seinem Duramold⁶⁴⁶ so eingenommen, dass er jedes andere Konstruktionsmaterial ablehnte, weil er von der Überlegenheit des Duramolds, was Gewicht und Oberflächenbeschaffenheit anging, überzeugt war.⁶⁴⁷

Hughes erkannte, dass es sozial konstruierte Vorurteile, sowie starke wirtschaftliche pro-metallische Interessen im Flugzeugbau gegen den Werkstoff Holz gab: „*Other factors played a part in the switch from wood to metal. One, the public was easily led to believe*

⁶⁴¹ McDonald 1981. Seiten 39, 40.

⁶⁴² Ebenda. Seite 41.

⁶⁴³ Vgl. Barton 1982. Seite 64

⁶⁴⁴ McDonald 1981. Seite 49.

⁶⁴⁵ Unter anderem für den Bau der D.H. „Mosquito“.

⁶⁴⁶ Siehe Werkstoff-Kapitel.

⁶⁴⁷ Vgl. Barton 1982. Seite 87. Dass selbst Hughes nicht uneingeschränkt von seinem Duramold überzeugt war, zeigt ein Flugzeugprojekt, welches er neben der Hercules betrieb. Die Hughes XF-11 war als zweimotoriger Langstreckenaufklärer konzipiert. Angesichts des Kriegsendes ging sie nicht mehr in Serienproduktion. Die XF-11 entstand in reiner Ganzmetallbauweise.

that metal is safer than wood. Two, the suppliers of light metal are more aggressive, and perhaps more willing to cooperate with the plane manufacturers, than are the suppliers of wood. And three, it is likely that financial tie-ups between the producers of planes and light metals have had something to do with the switch.“⁶⁴⁸ Eine zu diesem Zeitpunkt ungewöhnliche, aber aus heutiger Sicht auch naheliegende Analyse.

Selbst das Gebäude, das Hughes in Culver City bauen ließ und in dem die riesigen Flugzeugsektionen gebaut wurden, bestand aus Holz.

Währenddessen rückte das Flugbootprojekt in den Fokus eines Komitees des amerikanischen Senats, das die laxen Auftragsvergabe bei Rüstungsaufträgen der Regierung im Zweiten Weltkrieg untersuchen sollte: *„There were at that time over \$6 billion of undelivered war goods that the government had ordered and paid for.“*⁶⁴⁹

Hughes bezog bei den Anhörungen Stellung zu den wiederholten Verzögerungen des Projektes und übte dabei Selbstkritik hinsichtlich seines Perfektionismus und seiner Schwierigkeit, Aufgaben zu delegieren: *„If I made a mistake on the airplane, it was not through neglect. It was through supervising each portion of it in too much detail; in other words, as I look back on it, if i could do that job over I would have delegated more of the work to other people which might possibly have resulted in a faster job. I seem to have trouble allowing anything to go through in a half-perfect condition. So if I made any mistake, it was in working too hard and in doing too much with my own hands. I carried out the design more than any single man has with any modern airplane. I don't know how anybody could have worked harder than I did.“*⁶⁵⁰

Am Ende sollte Hughes von jeder Schuld frei gesprochen werden. Währenddessen wurde der Erstflug der Hercules vorbereitet: *„By 1947 the world's largest airplane neared completion.“*⁶⁵¹ Der erste und einzige Testflug der „Spruce Goose“ erfolgte dann am 2. November 1947 und dauerte gerade einmal 60 Sekunden, da eigentlich an diesem Tag kein Flug, sondern nur Beschleunigungstests geplant waren.

1948 baute Hughes ein extra klimatisiertes Gebäude und ließ das Flugboot dort lagern. 1953 wurde das Flugzeug bei einer Sturmflut stark beschädigt. Hughes ließ es reparieren und auch aufwändig anheben, um es zukünftig zu schützen. Geflogen wurde das Flugzeug aber nicht mehr, nur aufwändig in Stand gehalten: *„Through the years, Hughes maintai-*

⁶⁴⁸ Ebenda. Seite 91.

⁶⁴⁹ McDonald 1981. Seite 70.

⁶⁵⁰ Ebenda. Seite 74.

⁶⁵¹ Barton 1982. Seite 150.

ned the aircraft in mint condition. Operational maintenance was performed continuously. Engines were run weekly until devices to rotate the engines and circulate hot pickle oil were designed and installed. The flight controls were exercised once a week. In fact, all systems were operated in accordance with an established schedule. Many modifications were designed and installed. For years the crew fully expected that it would fly again.“⁶⁵²

Bis zu Hughes‘ Tod 1976 wurde die Hercules weiter in flugfähigem Zustand gehalten, aber nicht mehr geflogen. Wieso kein Flug mehr erfolgte bleibt Spekulation. Materialprobleme dürften eine Rolle gespielt haben: „*There was a lot of little damage. [...] That’s when they went out into the wing and put little metal stiffeners in there to hold the glue joints together. A lot of angles snapped loose.*“⁶⁵³ Auch dachte man über die Verwendung von Wellblech zur Stärkung der Flügel nach.⁶⁵⁴

Nach Hughes‘ Tod übernahm der Aero Club of Southern California die H-4. 1992 zog sie in das „Evergreen Aviation Educational Center“ in McMinnville, Oregon, wo sie bis heute zu besichtigen ist.

⁶⁵² Barton 1982. Seite 222.

⁶⁵³ Ebenda. Seite 223.

⁶⁵⁴ Vgl. ebenda 1982. Seite 223.

5.9 Generation Metall?

Die zum Teil sehr unterschiedlichen, Biographien der Flugzeugkonstrukteure und die Geschichte ihrer Konstruktionen lassen erkennen, dass es während der 1920er und 1930er Jahre drei Generationen von Flugzeugkonstrukteuren gab.

Die erste Generation hatte die ersten Flüge der Wright-Maschinen zum Teil persönlich miterlebt und sammelte ihre ersten Konstruktionserfahrungen durch den Nachbau der frühen Flugmaschinen. Nicht selten waren die frühen Konstrukteure gleichzeitig Piloten (oder im Fall von Fokker sogar Fluglehrer), zum einen, weil der Flugzeugbau und vor allem die Steuerung noch nicht standardisiert waren und so nur der Konstrukteur seine Maschine zu steuern wusste, zum anderen, weil die Pioniere, aus Mangel an theoretischen Kenntnissen, es als überaus wichtig empfanden selbst zu fliegen - das Fühlen des Aeroplans in der Luft war die einzige Methode die Flugtauglichkeit des Fluggerätes zu überprüfen und zu verbessern. Selbst Lilienthal hielt dieses Vorgehen für fundamental.⁶⁵⁵

*„Im Prinzip änderte sich das Aussehen der Flugzeugkomponenten nicht, lediglich ihr Zusammenspiel unterlag Korrekturen, die aus Beobachtungen im Flug gewonnen werden konnten. Diese immanente Entwicklungsstrategie setzte sogar voraus, dass der Konstrukteur auch Testpilot war und geriet an ihre Grenzen, wenn technische Innovationen zu erproben waren, die nicht unmittelbar aus bestehenden Konstruktionsprinzipien abzuleiten waren.“*⁶⁵⁶

Dieser Pioniergeneration fiel es schwer, sich auf neue Werkstoffe im Flugzeugbau, wie Metall oder Aluminium, einzulassen. Die Frage des Baumaterials stellte sich ihr nicht drängend, da sie ein anderes Problembewusstsein hatte. Ihr ging es vordergründig um die Konstruktion eines flugfähigen Geräts und weniger um Werkstoffökonomie und Produktionstechnik. Auch als letztere mit der Industrialisierung des Flugzeugbaus immer wichtiger wurde und eine Verwissenschaftlichung des Flugzeugbaus einsetzte, konnte sich die Pioniergeneration kaum mit dieser Entwicklung anfreunden. Man verließ sich auf die

⁶⁵⁵ Vgl. dazu auch Radkau 2008. Seite 184.

⁶⁵⁶ Budraß 1998. Seite 23.

bewährten Werkstoffe. Als das aus einer leichten, mit Draht verspannten Flugzeugzelle und einer „ziehenden“ Luftschraube bestehende System um 1910 durch Flugversuche optimiert war, konzentrierten sich die Versuche zur Erhöhung der Flugleistung allein auf die Verbesserung des Flugmotors und, nachrangig des Flugzeugrumpfes.⁶⁵⁷

Auch mit der schieren Geschwindigkeit, mit der sich die Flugzeugevolution vollzog, dürften einige Protagonisten der Anfangsjahre des Flugzeugbaus überfordert gewesen sein. Die Entwicklung war zu rasant, um damit Schritt halten zu können: *„The aeroplane was developed from an impossible object into a serious military weapon in something like ten years. This was achieved almost without benefit of science. The aircraft pioneers were often gifted amateurs and great sportsmen, but very few of them had much theoretical knowledge. Like modern car enthusiasts, they were generally more interested in their noisy and unreliable engines than they were in the supporting structure, about which they knew little and often cared less.“*⁶⁵⁸

Die zweite Generation kam meist über Umwege, wie dem Motoren- oder Automobilbau, zum Flugzeugbau und flog oft nicht mehr selbst: *„Many engineers who are today engaged on the vital work of aircraft production have been drafted into the industry from other branches of engineering.“*⁶⁵⁹

Ihre Erfahrungen auf anderen Gebieten der Konstruktion sorgten dafür, dass neue Konstruktionsprinzipien und Werkstoffe in den Flugzeugbau eingeführt wurden. Die Konstruktionsmethode des „Trial and Error“ der ersten Konstrukteursgeneration ersetzten sie durch planmäßige Forschung, Versuche und Berechnung. Dies geschah nicht nur auf Grund persönlicher Vorlieben, sondern vor allem, weil sich auch der Bedarf in diese Richtung entwickelte und sich der Flugzeugbau im Ganzen industrialisierte. *„Science and technology become intermixed. Modern technology involves scientists who 'do' technology and technologists who function as scientists [...]. The old view that basic sciences generate all the knowledge which technologists then apply will simply not help in understanding contemporary technology.“*⁶⁶⁰ Die zunehmende Zahl und steigende zivile wie militärische Bedeutung von Flugzeugen, vor allem im und nach dem Ersten Weltkrieg, verlangten nach immer leistungsfähigeren Flugzeugen: *„aircraft were built and flown in*

⁶⁵⁷ Vgl. ebenda. Seite 23.

⁶⁵⁸ Gordon 2003. Seite 259.

⁶⁵⁹ Molloy 1941. Seite 3.

⁶⁶⁰ Layton 1977. Seite 210.

order to earn profits for industrial concerns and to meet the requirements of government defence authorities. Industrialization and militarization set up their usual partnership.“⁶⁶¹ Auch änderten sich die Flugzeuge selbst: sie wurden größer, die Rümpfe schlossen sich und die Flugleistungen stiegen. All das förderte eine Verwissenschaftlichung, Professionalisierung und Institutionalisierung des Flugzeugbaus, dem die steigende Macht des Ingenieurs und der schwindende Einfluss des „Old School“-Tüftlers in der Flugzeugentwicklung entsprach: *„the design, construction and flying of aircraft left the hands of individual pioneers and came into the hands of companies.*“⁶⁶²

„Aus dem Blickwinkel der großindustriellen Entwicklung wurde der als Dilettant und auf eigene Faust operierende Erfinder alten Stils zur halb-lächerlichen Figur. Die Art und Weise, wie sich bestimmte Richtungen der industriellen Technik auch durch entsprechende Infrastrukturen verfestigten, entmutigte den nicht professionellen, nach unkonventionellen Lösungen suchenden Erfindergeist. Damit ging eine Quelle des dilettantischen Vergnügens und der Eigeninitiative gegenüber der Technik verloren.“⁶⁶³ Das soll jedoch nicht bedeuten, dass Entwicklungsprozesse nicht mehr durch Individuen angestoßen wurden, was bei der Einführung neuer Werkstoffe in den Flugzeugbau sichtbar ist: *„Inspired outsiders still played a crucial role in the invention process, and their openness of mind was often essential in the initial breakthrough. In the „development“ stage of the process, however, scientific training and systematic work proved increasingly necessary.*“⁶⁶⁴ Diese These Mokyr passt genau zum Wirken Junkers‘ und Dorniers.

Insgesamt wandelte sich, parallel zur Akademisierung der Ingenieure und der wachsenden Mitwirkung der Industrie bei Erfindungen, das Entwicklungskonzept der Technik: Die Innovation wurde als planmäßiger und methodischer, bis zur Industriereife betriebener Prozess begriffen, bei dem der Einfluss des Zufalls minimiert wurde. In der Innovationskette sollte eine Entwicklung organisch aus der vorherigen resultieren und folgerichtig den Weg zu neuen Entdeckungen weisen. Während das intuitive, individuelle und vielseitige Erfinden im 19. Jahrhundert eher als natürliche Begabung der Engländer und Amerikaner galt, wurde das systematische, in großem Stil organisierte Erfinden bis in die 1920er und 1930er Jahre des 20. Jahrhunderts zur Spezialität der Deutschen.⁶⁶⁵ Somit

⁶⁶¹ Howard; Gunston 1972. Seite 89.

⁶⁶² Ebenda. Seite 89.

⁶⁶³ Radkau 2008. Seite 188.

⁶⁶⁴ Mokyr 1990. Seite 170.

⁶⁶⁵ Vgl. Radkau 2008. Seiten 184 - 186.

bietet der deutsche „Sonderweg“ im Bereich der technischen Entwicklung und die Systematisierung der Erfindungen eine weitere Erklärung für die deutsche Pionierleistung auf dem Gebiet des Metallflugzeugbaus.

Aufgrund des hohen militärischen Einflusses auf die Flugzeugentwicklungen der Zwischenkriegszeit, ist es wichtig die Haltung der Flugzeugbauer der zweiten Generation dem Militär und seinen Anforderungen gegenüber zu beschreiben. Während ein Teil der deutschen Flugzeugindustriellen, darunter Junkers, Klemm⁶⁶⁶ oder Focke, die Chancen einer vorwiegend zivilen Nutzung schätzten, gab es eine zweite Gruppe, zu der Heinkel, Rohrbach oder Dornier gehörten, die eine militärische Nutzung ihrer Produkte mit anschob.⁶⁶⁷

Mit der Zunahme der flugphysischen Erkenntnisse und immer schneller werdender Flugzeuge, professionalisierte sich der Flugzeugbau weiter. Gleichzeitig wurden die zu lösenden Aufgaben so groß und komplex, dass aus dem Flugzeugbau eine institutionalisierte Wissenschaft innerhalb von Großkonzernen wurde, in der der einzelne Ingenieur die gesamte Konstruktion nicht mehr überblicken konnte und er sich auf einzelne Komponenten des Flugzeugs spezialisieren musste.

Mit der Frage, wie technischer Fortschritt erzielt werden kann, beschäftigte sich 1967 auch W. H. Ward. Er schreibt in seinem, schon zu Beginn dieser Arbeit erwähnten Aufsatz über den „Sailing Ship Effect“: *„There are clearly two processes in the development of science; the production of completely new concepts and devices, and the improvement of existing ones. The first comes from a few highly original brains, and has a very wide effect. The second uses very large resources, and rarely gives more than a marginal improvement. The original does not arrive fully developed, so both processes are essential. But to apply science on a massive scale to an industry that is being supplanted by the original work of a few people is wasteful, even though it is likely to be encouraged by vested interests.“*⁶⁶⁸

Wie passen diese Thesen zu den Flugzeugbauern und den verwendeten Werkstoffen? Wie

⁶⁶⁶ Klemm, Hanns (* 04.04.1885 in Stuttgart; † 30.04.1961 in Fischbachau) war Flugzeugkonstrukteur und ist zur „Friedrichshafener Schule“ zu zählen.

⁶⁶⁷ Vgl. Möser, Kurt: *Fahren und Fliegen in Frieden und Krieg. Kulturen individueller Mobilitätsmaschinen 1880 – 1930.* Heidelberg 2009. Seite 145.

⁶⁶⁸ Ward 1967. Seite 169.

erläutert wurde, gibt es diese zwei Prozesse auch im Flugzeugbau. Einige wenige Flugzeugbauer experimentierten früh mit neuen Werkstoffen, andere beschränkten sich auf die Verbesserung traditioneller Werkstoffe. Beispielhaft für die erste Gruppe sind einige deutsche Flugzeugbauer am Ende des Ersten Weltkriegs wie beispielsweise Junkers und Dornier. Als beispielhaft für die zweite Gruppe wären hier einige britische Flugzeugbauer wie beispielsweise de Havilland oder Handley Page zu nennen.

Kritisch zu beleuchten ist die Frage, in wie fern der Werkstoff Holz mit einer überkommenen und ressourcenverschlingenden Technologie gleich zu setzen ist. Doch dazu mehr im folgenden Kapitel.

6. Metall versus Holz

In den vorigen Kapiteln wurden die Anfänge des Metallflugzeugbaus, gerade in Deutschland, sowie die Persönlichkeiten, die hinter der Entwicklung der internationalen Luftfahrt bis zum Zweiten Weltkrieg standen, exemplarisch beschrieben.

Dieses Kapitel behandelt nun die Gründe für den Triumph des Metallbaus über den Holzbau bei der Werkstoffwahl im Flugzeugbau.

Fand dieser Übergang auf Grund der materiellen Überlegenheit des Metalls statt oder war er sozial konstruiert, wie verschiedene Publikationen nahe legen?

6.1 The clash of materials

„To those who believe that all aircraft should be built of metal, whatever their size and type, the 'Dragon' will seem a retrograde step.“ ⁶⁶⁹

Eric Schatzberg veröffentlichte 1999 mit „Wings of Wood, Wings of Metal“ ein Werk⁶⁷⁰, das sich ausführlich mit dem Übergang von der Holz- zur Metallbauweise im Flugzeugbau beschäftigt.

Er spricht dem Werkstoff Metall jegliche materielle Überlegenheit gegenüber dem Werkstoff Holz bis auf wenige Ausnahmen ab: *„Metal airplanes, [...], did not prove as cheap, durable, and fireproof as proponents originally claimed.“* ⁶⁷¹

Er führt den Werkstoffwandel auf die „progress ideology of metal“⁶⁷² zurück. Diese besagt, dass Holz damals als konservativ bewertet und mit Tradition in Verbindung gebracht wurde, während Metall als progressiv galt und man es mit Modernität assoziierte. *„The specific linking of metal with modernity and wood with tradition was the product of nineteenth-century industrialisation. [...] By the late nineteenth century, industrial civilisation had become increasingly characterized by a shift from the organic to the inorganic.“* ⁶⁷³ Und auch Stoff als Spannungsmaterial wurde mit vorindustriellen und damit „altmodischen“ Materialien in Verbindung gebracht.⁶⁷⁴ Hinzu kam, dass das Flugzeug eine moderne Hochtechnologie darstellte und die Verwendung des traditionellen Baustoffs Holz zu Irritationen führte. Selbst die Bauweisen, beplankter Gitterrumpf oder selbsttragende Struktur, wiesen ein soziales Akzeptanzgefälle auf. Selbsttragende Metallstrukturen waren Ende der 1920er, Anfang der 1930er Jahre der Inbegriff von Modernität im Flugzeugbau.

⁶⁶⁹ Aus einem Artikel über die D.H.84 „Dragon“. In: Flight vom 22.12.1932. Seite 1216.

⁶⁷⁰ Schatzberg, Eric: Wings of Wood, Wings of Metal. Culture and Technical Choice in American Airplane Materials, 1914 – 1945. Princeton 1999

⁶⁷¹ Ebenda. Seite 5.

⁶⁷² Ebenda. Seite 4.

⁶⁷³ Ebenda. Seite 12.

⁶⁷⁴ Vgl. ebenda. Seite 159.

Nachdem Metall sich im 19. Jahrhundert bereits im Brücken-, Schiffs- und auch im Gebäudebau durchgesetzt hatte, schien es für die Fürsprecher des Metallbaus nur logisch, dass nun auch das Flugzeug diesem Trend folgen musste; hierzu ein Zitat Hugo Junkers: *„Ich glaube, dass sich in dieser Beziehung eine ähnliche Entwicklung wie im Brückenbau und im Schiffsbau vollziehen wird, wo in beiden Fällen im Anfangszustand, solange es sich um Einzelherstellungen, primitive und kleine Erzeugnisse handelte, das Holz allein zur Anwendung kam. Mit dem Wachsen der Abmessungen ging man dann in beiden Fällen zum Metallbau über [...].“*⁶⁷⁵

Das Paradebeispiel für Schatzbergs Ansicht von der materiellen Gleichwertigkeit von Holz und Metall ist die britische de Havilland „Mosquito“⁶⁷⁶, ein überaus schnelles, leichtes, feuerunanfalliges und leicht zu wartendes britisches Kampfflugzeug aus dem Zweiten Weltkrieg. Einer Zeit, zu welcher der Metallbau bei Flugzeugen bereits nahezu vollständig den Holzbau verdrängt hatte.

Schatzberg konzentriert sich bei seinen Forschungen auf die amerikanische Entwicklung, obwohl auch er sieht, dass die Anfänge des Metallbaus in Deutschland lagen.⁶⁷⁷

Schatzbergs *„progress ideology of metal“* kann nur bedingt auf die deutschen Verhältnisse übertragen werden, sie hat Schwierigkeiten die Anfänge des Metallbaus und Deutschlands Hinwendung zum Werkstoff Metall im Flugzeugbau zu erklären. Sie lässt zum Beispiel die enorme staatliche Einflussnahme und Förderung der Luftfahrttechnik in Deutschland außer Acht.

Der Holz- und der Metallbau entwickelten sich unterschiedlich und erst der Holzbau der 1930er Jahre konnte es materiell mit dem Leichtmetallbau, wie er sich zögerlich ab dem Ersten Weltkrieg und dann vermehrt ab Mitte der 1920er Jahre durchsetzte, aufnehmen. Dagegen mussten auch im Metallbau Werkstoffprobleme gelöst werden.

Die Haltbarkeitsprobleme wurden bei beiden Werkstoffen zu unterschiedlichen Zeitpunk-

⁶⁷⁵ Junkers, Hugo: Eigene Arbeiten auf dem Gebiete des Metall-Flugzeugbaues. Vortrag auf der Jahresversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt am 10.12.1919. in: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1922. München/ Berlin 1923. Seite 76. (im Folgenden wird dieser Titel mit „Junkers 1919“ abgekürzt).

⁶⁷⁶ Die Mosquito ist auch auf dem Einband von Schatzbergs Buch „Wings of Wood, Wings of Metal“ abgebildet.

⁶⁷⁷ Vgl. hierzu Schatzberg 1999. Seite 7.

ten erkannt und auch unterschiedlich schnell erforscht und gelöst. Der soziale Einfluss auf die Materialwahl beeinflusste dabei auch die Intensität der Forschung am jeweiligen Werkstoff.

Hugo Junkers, einer der wichtigsten Protagonisten des frühen Metallbaus, argumentierte klar für die Verwendung von Metallen im Flugzeugbau. In einer Rede von 1919⁶⁷⁸ und einem Artikel von 1923⁶⁷⁹ legte er die Vorteile des Werkstoffs Metall dar. Und auch Werner von Langsdorff⁶⁸⁰ propagierte 1923 in einem Artikel⁶⁸¹ den Metallflugzeugbau.

Beide argumentierten entschieden für die bessere Haltbarkeit des Metalls. Holz brenne leichter⁶⁸² und verfaule schneller. Das Klima wirke sich ebenfalls stärker auf Holz als auf Metall aus. Holz verforme sich und Holzflugzeuge müssten daher öfter nachjustiert und neu verspannt werden. Beim Werkstoff Metall gebe es kein Verziehen, kein Verspannen, keinen Brand⁶⁸³, kein Splintern des Materials bei Bruch.⁶⁸⁴ Sogar Insektenbefall sei bei Holzflugzeugen und deren Verleimungen feststellbar. „*Metal is free from all such drawbacks.*“⁶⁸⁵

⁶⁷⁸ Junkers, Hugo: Eigene Arbeiten auf dem Gebiete des Metall-Flugzeugbaues. Vortrag auf der Jahresversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt am 10.12.1919. in: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1922. München/ Berlin 1923.

⁶⁷⁹ Junkers, Hugo: Metal Aeroplane Construction. In: Journal of the Royal Aeronautical Society 28 (1923).

⁶⁸⁰ Langsdorff, Werner von (Künstlernaame Thor Goote) (* 27.05.1899 in Forbach; † 03.07.1940 über der Nordsee) war ein deutscher Schriftsteller und Luftfahrtingenieur. Von 1936 bis 1939 war er ordentlicher Professor für Flugtechnik an der Universität Karlsruhe.

⁶⁸¹ Langsdorff, Werner von: Die Entwicklung des Motorflugzeugs. in: Die Umschau 27 (1923). Seiten 823 - 829.

⁶⁸² Die amerikanische Zeitschrift „Popular Science“ schrieb in einem Artikel über den Metallbau von Junkers 1920: „A flash of fire, a cloud of smoke, and down comes the wood-and-cloth airplane, a burning mass. Nothing of the kind can happen to the new all-metal monoplane, the latest innovation in aircraft. As solid as a battleship, [...]“ Aus: Dienstbach, C.; Wilson, L. J.: The Wonderful New All-Metal Monoplane. As revolutionary as the first iron ship. Popular Science Monthly. Oktober 1920. Volume 97, Nr. 4. Seite 62.

⁶⁸³ Vgl. hierzu auch: Handbuch zur Junkers J 4, abgedruckt in Flight vom 18.03.1920. Dort heißt es unter der Überschrift „Safety against Fire: These machines, including rudders and fins, being almost entirely constructed of non-inflammable material, are impervious to incendiary bullets or fires started in the carburettor.“

⁶⁸⁴ Junkers 1919. Seite 77.

⁶⁸⁵ Junkers 1923. Seite 417. Vgl. hierzu auch: Langsdorff 1923. Seite 828.

Junkers unterstrich zusätzlich die bessere Wirtschaftlichkeit des Metallflugzeugs, da es länger hielt und weniger Instandhaltungskosten entstanden.

Langsdorff analysierte 1923 die Wirtschaftlichkeit des Holz- bzw. des Metallflugzeugs. Jedoch leider nicht zeitgleich. Genauer zur Bauweise der verglichenen Flugzeuge blieb er ebenfalls schuldig, was seiner Analyse eine Ungenauigkeit verleiht.

Er kam zu dem Schluss, dass ein Metallflugzeug des Jahres 1921 bei gleicher Zuladung Waren mit geringerem Verbrauch schneller transportieren konnte. Vergleichsobjekt war jedoch ein Holzflugzeug des Jahres 1918, von dem man annehmen kann, dass dessen Struktur aus einem bespannten Massivholzgerüst bestand und noch stark verspannte Tragflächen besaß. Im Umkehrschluss ist es möglich, dass das verglichene Metallflugzeug bereits Schalenbauelemente besaß und ohne äußere Verspannungen auskam. Auch wenn die Vorteile potentiell aus einer fortschrittlicheren Bauweise und weniger aus neuen Werkstoffen resultieren, bleiben seine Untersuchungen interessant. Er kam zu dem Ergebnis, dass der Brennstoffverbrauch beim Holzflugzeug 1/3 der Betriebskosten ausmachte und dass dieser Wert beim Metallflugzeug auf 8 % sank.⁶⁸⁶

Er verwies wie Junkers auf die natürliche Limitierung des Werkstoffs Holz, da es in der Natur nur in festgelegten Maßen vorkäme. Metall dagegen könne in fast jeder Form und Größe hergestellt werden. Weiter wirke sich die Heterogenität von Holz negativ auf dessen Stärke aus: „*Da auch die peinlichsten Kontrollmeßregeln die vom Konstrukteur angenommene Festigkeit nicht überall gewährleisten, kann Holz nicht als idealer Baustoff angesehen werden.*“⁶⁸⁷ Metall hingegen sei sehr homogen und habe daher eine konstante, und vor allem messbare Stärke. Die Wissenschaftliche Gesellschaft für Luftfahrt stimmte 1931 Junkers bezüglich der natürlichen Limitierung zu: „*Sehr hinderlich für die Verwendung von Holz im Flugzeugbau ist seine Ungleichmäßigkeit, bedingt durch Strukturunterschiede infolge der schwankenden Wachstumsbedingungen.*“⁶⁸⁸

Auch auf die Holzverbindungen, sei es Leimung oder eine sonstige Verbindungsmethode, gingen Junkers und Langsdorff ein und verwiesen auf die begrenzte Sicherheit solcher Verbindungen. Auf Metallverbindungen könne man sich viel besser verlassen.

All diese Argumente führten dazu, dass nach Junkers eine moderne Massenproduktion nur mit dem Werkstoff Metall möglich sei.

⁶⁸⁶ Vgl. Langsdorff 1923. Seite 828.

⁶⁸⁷ Ebenda. Seite 828.

⁶⁸⁸ Brenner 1931. Seite 638.

Junkers gestand aber auch, dass der Holzbau zwei Vorteile habe. Erstens sei die Holzproduktion billiger, da Werkzeuge und Maschinen preiswerter seien, was eine Massenproduktion von Metallflugzeugen aber ausgleichen könne. Zweitens habe Holz eine geringere Dichte als Metall, was sich gerade bei der axialen Kompression negativ auswirke. Junkers war jedoch davon überzeugt, dass die Forschung dieses Problem schon bald löse.

Der Flugzeugbaustoff Sperrholz widerlegte bereits die meisten der hier vorgebrachten Argumente. So war die Formgebung von Flugzeugteilen bei Sperrholz, wie beim Metall, weitgehend frei möglich und das Problem der unterschiedlichen Festigkeit des inhomogenen Holzes minimierte sich ebenfalls. Kunstharze machten die Verleimungen feuchtigkeitsfester als die vorher verwendeten organischen Leime. Außerdem ist die Feueranfälligkeit von Aluminium nur unbedeutend geringer als die des Kompositmaterials, denn die Feuergefahr ging damals, zumindest in der zivilen Luftfahrt, mehr vom mitgeführten Treibstoff, als vom Konstruktionsmaterial aus.⁶⁸⁹ Focke bemerkte dazu, dass bezüglich des Brandschutzes im Flugzeug nicht einmal Leichtmetalle als Schutzwände gegen Feuergefahr verwendbar seien, da die neueste Forderung der DVL⁶⁹⁰ zeige, dass Brandspannen nur noch aus Stahlblech ausgeführt werden dürften.⁶⁹¹

Trotzdem sind viele Bedenken gegenüber dem Holzbau nicht einfach von der Hand zu weisen.

Um die vorgebrachten Argumente zu prüfen und die damals üblichen und verfügbaren Werkstoffe zu vergleichen, muss parallel zur Materialverwendung die zur jeweiligen Zeit übliche und gängige konventionelle Flugzeugbauweise analysiert werden: „*To illuminate this selection part of the developmental processes, let us consider the problems and solutions presented by each artefact at particular moments.*“⁶⁹²

Auch wenn auf deutscher Seite nach 1917 zunehmend freitragende Modelle gebaut wurden, gab es gerade auf alliierter Seite weiterhin zumindest zum Teil mit Stoff bespannte Holzflugzeuge, die an Flügeln und Rumpf noch stark verspannt waren. (Siehe hierzu die Materialeigenschaften der Sopwith „Camel“ im Ersten Kapitel).

⁶⁸⁹ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 45; Richthofen 1929. Seite 23.

⁶⁹⁰ Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt.

⁶⁹¹ Vgl. Entgegnung Henrich Fockes auf den Vortrag Adolf Rohrbachs. in: Jahrbuch der WGL 1926. München/Berlin 1927. Seite 78.

⁶⁹² Pinch; Bijker 1984. Seite 411.

Bei einem stoffbespannten Flugzeug musste aus Gründen der Flugsicherheit die Bespannung regelmäßig komplett erneuert werden. Wissmann spricht von einem Zyklus von zwei bis drei Jahren,⁶⁹³ eine kostspielige Angelegenheit, wie auch Rohrbach 1927 bemerkte, der sogar von einem noch kürzeren Zyklus ausgeht: *„Bei Beantwortung der Frage 'Metallhaut oder Stoffbespannung?' ist zu berücksichtigen, daß Stoffbespannung von Flügeln nach sechs Monaten bis zwei Jahren, je nach Klima, erneuerungsbedürftig ist. [...] Nach Angabe der 'Lufthansa' kostet die Neubespannung eines Flügels 20 bis 25 Mark pro Quadratmeter Flügelfläche. Für unsere Landverkehrsmaschine Ro VIII mit etwa 88 qm Flügelfläche würde sie also nahezu 2000 Mark kosten. Nimmt man eine Lebensdauer des Flugzeuges von sechs Jahren und eine etwa achtmalige Erneuerung der Bespannung während dieser Zeit an, so würden die Kosten für den Bespannungsersatz ca. 16 000 Mark oder ungefähr 10 % des Flugzeugpreises betragen. Demgegenüber ist die Metallhaut unbeschränkt dauerhaft, allerdings schwerer (2 bis 4 % vom Flugzeuggewicht) und in der Herstellung teurer (4 bis 6 % des Zellenpreises).“*⁶⁹⁴ Außerdem mussten drahtverspannte und verstrebt Flugzeuge in Holz- oder Gemischtbauweise regelmäßig nachgespannt werden.⁶⁹⁵

Auch die Tatsache, dass konventionelle Flugzeuge auf Grund ihrer Stoffbespannung und der nicht wetterfesten Verleimungen auf Unterstände angewiesen waren⁶⁹⁶, erhöhten die wirtschaftlichen Nachteile der konventionellen Bauweise. Neben der Materialschwächung und -schädigung führte eindringende Feuchtigkeit auch zu einer Gewichtszunahme und damit zu einer Leistungsreduktion des betroffenen Flugzeugs.⁶⁹⁷

Zeitgenössische Flugzeugbauer und -betreiber bewerteten die vordergründigen Nachteile der Stoffbespannung aber durchaus auch positiv. In den 1920er Jahren gab es sogar ein Misstrauen gegenüber permanenten Beplankungen, seien sie aus Holz oder Metall. Gerade die aus wirtschaftlichen Gründen eigentlich unsinnige Stoffbespannung wurde bevorzugt. Denn sie ermöglichte es die innere Struktur eines Flugzeugs in Augenschein zu nehmen, wenn die Bespannung zyklisch gewechselt werden musste.⁶⁹⁸ Dies unterstreicht auch Rohrbach: *„Die Innenkonstruktion kann bei Gelegenheit einer solchen Bespan-*

⁶⁹³ Vgl. Wissmann 1975. Seite 377.

⁶⁹⁴ Rohrbach 1927/28. Seiten 312, 313.

⁶⁹⁵ Wissmann 1975. Seite 378.

⁶⁹⁶ Vgl. Blunck 1951. Seite 120./ Wissmann 1975. Seite 377.

⁶⁹⁷ Vgl. Richthofen 1929. Seite 22.

⁶⁹⁸ Vgl. Schatzberg 1999. Seiten 122, 159.

nungserneuerung nachgesehen und, falls nötig, wieder in Ordnung gebracht werden. [...]. Meist hat die Metallhaut den Nachteil, daß sie die Innenkonstruktion ebenso unzugänglich macht wie eine Stoffbekleidung.“⁶⁹⁹

Hier ist auch die de Havilland Leopard Moth der frühen 1930er Jahre ein gutes Beispiel. Ihre Beplankung wies mit Stoff bespannte Wartungsklappen auf: „*The outer covering of the bottom is fabric, and here and there in the fuselage-bottom are large inspection holes. The fabric is laced on in the vicinity of these holes, so that a portion of it can be turned back and the fuselage structure inspected through the holes in the plywood bottom.*“⁷⁰⁰

Gerade auch Sperr- und Furnierholz verursachte bei hölzernen Flugzeugen in selbsttragender Bauweise große Probleme wegen der mangelnden Belüftung der inneren Flugzeugstruktur. Gordon liefert dazu einen sehr detaillierten Einblick in die Probleme⁷⁰¹, die in Großbritannien während des Zweiten Weltkriegs mit hölzernen Flugzeugen und Gleitern entstanden. Er erläutert, dass bei Flugzeugen, die dem britischen oder auch dem tropischen Klima ungeschützt ausgesetzt wurden, sich Feuchtigkeit in den Rümpfen niederschlug, oft sogar mit Pfützenbildung. Geringe Abhilfe brachte das Offenlassen von Wartungsklappen oder das Bohren von Löchern, damit die Struktur belüftet wurde und das sich sammelnde Wasser abfließen konnte. Leider konnte durch diese Löcher auch Wasser und Schlamm, besonders bei Start und Landung, eindringen. Die darin enthaltenen Samen führten nach Gordon zu regelrechten Gärten in den betroffenen Flugzeugrümpfen. Diese Probleme betrafen eher die Gleiter als die öfter geflogenen Motorflugzeuge, denn der regelmäßige Luftzug des Fluges wirkte sich positiv auch auf die innere Struktur und negativ auf die Pilzbildung aus. Da es die Zahl der vorhandenen Gleiter nicht erlaubte, jeden einzeln genau auf Verrotterung (oder Nagetierbefall) zu untersuchen, ging man nach Gordon einfach dazu über an den Flugzeugen zu riechen, um faulende Flugzeuge auszumachen. Auch unter dem unterschiedlichen Ausdehnungsverhalten von miteinander verbundenem Fichten- und Sperrholz in feuchter oder trockener Umgebung litten die Holzstrukturen, besonders nahe der Leimverbindungen. Dies betraf besonders Flugzeuge, die unter tropischen Bedingungen operieren mussten: „*There was really no cure for this except to bring the aircraft home.*“⁷⁰²

⁶⁹⁹ Rohrbach 1927/28. Seiten 312, 313.

⁷⁰⁰ Flight vom 30.11.1933. Seite 1192.

⁷⁰¹ Vgl. hierzu Gordon 1975. Seiten 152 – 161.

⁷⁰² Gordon 175. Seite 159.

Stoffbespannte Flugzeugteile waren gerade unter dem Aspekt der Feuchtigkeitsanfälligkeit günstig zu beurteilen, „da die Bespannung einerseits ziemlich wasserdicht ausgebildet werden kann, andererseits durch ihre Luftdurchlässigkeit eine gute Belüftung und Austrocknung des Flügelinnern gegeben ist. Die praktische Erfahrung zeigt auch, dass die Innenkonstruktion bei stoffbespannten Flügeln selbst unter scharfen Korrosionsbedingungen verhältnismäßig gut erhalten bleibt.“⁷⁰³

Zum Verhängnis, mit wirklicher materieller Unterlegenheit, wurden dem Stoff erst die steigenden Flugleistungen, welche ihn schnell an den Rand seiner Belastbarkeit bzw. Festigkeitsgrenze brachten. So waren die Ruderflächen der Me 262, dem weltweit ersten in Serie gebauten Strahlflugzeugs, anfangs mit Stoff bespannt. Ab etwa 750 km/h begann der Stoff jedoch zu flattern und erzeugte Luftwirbel, die bis zu unkontrollierbaren Tummelbewegungen des Flugzeugs führten.⁷⁰⁴

Einen weiteren wirtschaftlichen Vorteil des Metallbaus erwähnt Blunck in seinem Buch⁷⁰⁵ über Junkers: „Interessant, wenn auch nicht von ausschlaggebender Bedeutung, ist auch, dass das Metallflugzeug stets einen höheren Altmaterialwert behält als das hölzerne Flugzeug. Das Altmittel lässt sich wieder für andere Zwecke beziehungsweise für neue Flugzeuge verwenden.“⁷⁰⁶

Und auch während des Zweiten Weltkriegs spielte das Recycling von Aluminium aus Flugzeugwracks eine wichtige Rolle für die deutsche Flugzeugproduktion.⁷⁰⁷ 1940 wurden Versuche abgeschlossen, welche auf die Gewinnung von verhältnismäßig reinem Aluminium aus Flugzeugschrott ausgerichtet waren.⁷⁰⁸ Durch Rationalisierung des Aluminiumverbrauchs und Schrottaufbereitung übertraf bereits 1943 das Aluminiumaufkommen den Verbrauch um 4.000 t.⁷⁰⁹ 1944 konnte die Schrottaufbereitung etwa die Hälfte der gesamten deutschen Aluminiumversorgung stellen. Etwas mehr als die Hälfte wurde dabei aus Flugzeugschrott gewonnen.⁷¹⁰ „Stockungen bei der Materialversorgung,

⁷⁰³ Brenner 1931. Seite 644.

⁷⁰⁴ Vgl. Ebert, Kaiser, Peters 2008. Seite 261.

⁷⁰⁵ Blunck, Richard: Hugo Junkers. Ein Leben für Technik und Luftfahrt. Düsseldorf 1951.

⁷⁰⁶ Ebenda. Seite 121.

⁷⁰⁷ Vgl. hierzu Budraß 1998. Seite 826ff.

⁷⁰⁸ Vgl: Light Metal Production and Development for Aircraft of I.G. Farbenindustrie. Bitterfeld, Germany, CIOS FR XXVI-60. Seiten 63-84, UB Bochum.

⁷⁰⁹ Vgl. Wagenführ, Rolf: Die deutsche Industrie im Kriege 1939-1945. Berlin, 1955. Seite 169.

⁷¹⁰ Vgl. Recovery of Aluminium Alloys from Aircraft Scrap, BIOS FR 376, Seite 64, UB Bochum.

berichteten die Angestellten der Flugzeugfirmen nach Kriegsende übereinstimmend, hätte es erst durch die Zerstörung des Transportnetzes im Frühjahr 1945 gegeben.“⁷¹¹

Durch die Erfolge bei der Schrottaufbereitung konnte zusätzlich die wachsende Menge der völlig zerstörten Flugzeuge verwertet werden. Da in der zweiten Jahreshälfte 1943 allein 5.838 Verteidigungsflugzeuge produziert wurden und der Bestand dennoch bis Anfang 1944 von 8.298 auf 5.947 sank, hieß dies, dass ohne Berücksichtigung der noch reparierbaren Flugzeuge, der Aluminiumbedarf für die Herstellung neuer Flugzeuge allein aus Schrott gedeckt werden konnte.⁷¹² Als die Alliierten nach Kriegsende die Leichtmetallwerke erkundeten, fanden sie dann auch entsprechend große Deponien.⁷¹³

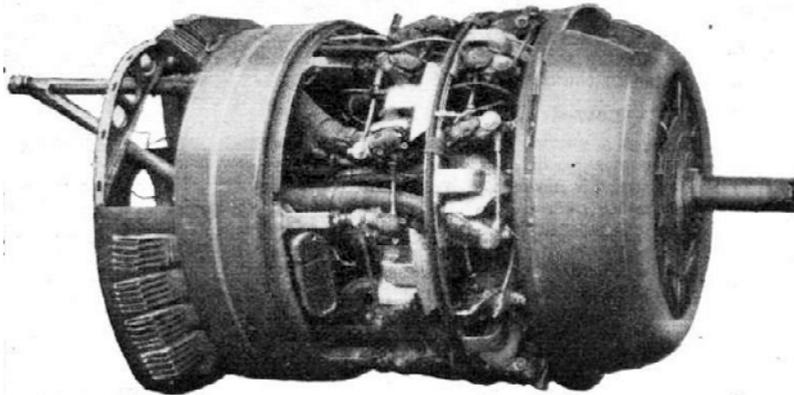
Bei anderen Metallen herrschte in Deutschland jedoch Mangel. Dies wird deutlich, wenn man die deutsche Flugmotorenentwicklung während des Zweiten Weltkriegs betrachtet. Beim ersten deutschen Doppelsternmotor, dem BMW 801⁷¹⁴ wurde versucht größere Mengen der Bauteile auf einheimisch verfügbare Werkstoffe umzustellen.

⁷¹¹ Report on Administration, Plastics, Production Tooling, Spare Parts and Servicing in the German Aircraft industry. CIOS FR XXX-94, UB Bochum.

⁷¹² Vgl. Wagenführ 1955. Seite 78.

⁷¹³ Vgl. Budraß 1998. Seite 828.

⁷¹⁴ Der BMW 801 wurde ab 1938 entwickelt und ab 1940 in Serie gebaut. Er hatte eine Startleistung von 1 600 PS. Die Leistung des Motors wurde während des Krieges auf über 2.000 PS gesteigert. Der Motor wurde in 22 Varianten ca. 21.000 mal hergestellt.



Side view of a complete unit taken from a Dornier 217 bomber. One of the blower intakes is on the lower left. The internal air scoop is attached to the cowling. A panel removed from the nose gives access to the magneto.

B.M.W. 801A	
Type	14-cylinder, twin row, radial.
Bore and Stroke	6.15in. × 6.15in.
Su:pt capacity	42 litres.
Overall dimensions	52in. dia. × 58in. long.
Rated Output	1,460 b.h.p. at 16,300ft.
Take-off power	1,580 b.h.p. for 3 min.

Abbildung 52: Seitenansicht und Leistungsdaten des BMW 801A.
 Aus: *Flight* (13.08.1942). Seite 169.

Genannt wurde diese Version des Motors BMW 801-“Heimatstoffmotor“. Im Januar 1941 lag folgendes Ergebnis vor: Insgesamt konnten 687 Bauteile auf einheimische Werkstoffe umgestellt und davon 280 ohne Erprobung in die Fertigung übernommen werden. Molybdän⁷¹⁵haltiger Stahl konnte bei 460 Teilen durch molybdänfreien Stahl ersetzt werden. An 227 Teilen gelang es 80 kg Kupfer, 20 kg Nickel, 3 kg Zinn und 0,5 kg Cadmium einzusparen.⁷¹⁶ Auch bei den ersten Düsentriebwerken wurden Versuche unternommen auf Sparstoffe zu verzichten. Die Baureihen A-2 und E-2 des BMW 003 Triebwerks waren unter anderem zum weiteren Einsparen von schwach legierten Werkstoffen entstanden. So war unter anderem der Verdichterleitapparat und die Mäntel der Brennkammern komplett aus normalem einfachem Stahlblech hergestellt. Der Anteil an Nickel und Chrom für ein BMW 003 A-2-Triebwerk betrug 2,5 kg Nickel und 9 kg Chrom.⁷¹⁷ Die Sparstoffe wirk-

⁷¹⁵ Molybdän ist ein hochfestes, zähes und hartes Metall. Es wird in großen Mengen zur Herstellung von säurebeständigen Edelstählen und Nickelwerkstoffen eingesetzt. Das einzige westeuropäische Bergwerk wurde bis 1973 in Knaben, Norwegen betrieben.

⁷¹⁶ Vgl. Gersdorff, Grasmann, Schubert 1995. Seite 65.

⁷¹⁷ Ebenda. Seite 253.

ten sich aber, zumindest bei den frühen Strahltriebwerken, negativ auf die Lebensdauer aus. Englische Welland-Triebwerke absolvierten vor Beginn der Serienproduktion mehrfach 100-Stunden-Läufe. Die zulässige Betriebszeit zwischen den Überholungen lag in der Folge bei ebendiesen 100 Stunden. Beim deutschen Jumo-Triebwerk betrug die zulässige, jedoch vielfach nicht erreichte, Betriebszeit lediglich 25 Stunden. Die unterschiedliche Lebensdauer war eine direkte Folge der verwendeten Werkstoffe. Während die deutschen Triebwerke häufig Tiefziehblech und nur schwach legierte Sparstoffe benutzten, konnten die englischen Hersteller Nimonic 75 (20% Chrom, 75% Nickel) für die Brennkammern und Nimonic 80 für die Turbinenschaufeln verwenden.⁷¹⁸

Die militärischen Vor- und Nachteile metallener Flugzeuge müssen sehr ambivalent bewertet werden. Metall war sicherlich, gerade gegenüber stoffbespannten Flugzeugen, beschusssicherer.⁷¹⁹ Besonders die selbsttragende Strukturen, ob nun aus Sperrholz oder Metall, boten eine verbesserte strukturelle Beschusssicherheit. Die selbsttragende Haut konnte durchlöchert werden, ohne gleich ihre Festigkeit und Stabilität insgesamt zu verlieren: „*The wing construction does not include any member which, if damaged, might endanger the safety of the whole.*“⁷²⁰ Die Fokker D VII hatte selbsttragende, also nicht verspannte Flügel mit einem inneren hölzernen Kastenholm. Fokker weist daraufhin, dass sich im Feuergefecht gerade die Flügel als robust erwiesen: „*Die Flügel waren selbst im schlimmsten Feuer praktisch unverwundbar. Wenn Streben und Spanndrähte weggeschossen waren, so klappten andere Flügel einfach zusammen, Kastenrippenflügel aber wurden kaum beschädigt.*“⁷²¹

Ob nun Holz oder Metall einen besseren Schutz für den Piloten boten, hängt wohl von der Dicke des verwendeten Materials und nicht vom Material selbst ab. Man kann aber davon ausgehen, dass ohne eine zusätzliche Panzerung beide Werkstoffe den Piloten nur ungenügend vor feindlichem Feuer schützten. Und selbst Panzerungen boten der Besatzung keinen verlässlichen Schutz. Die Briten unterzogen das deutsche Infanterieflugzeug AEG J.1 im Jahre 1918 Beschusstests. Es stellte sich heraus, dass die 5,1 mm dicke Panzerung, die in Form von Platten und nicht in Form einer Wanne wohl eher nachträglich ange-

⁷¹⁸ Vgl. ebenda. Seite 279.

⁷¹⁹ Vgl. Blunck 1951. Seite 120; Junkers 1923. Seite 437; Wagner 1976. Seite 40; Crouch 2003. Seite 171.

⁷²⁰ Flight vom 18.03.1920. Seite 315.

⁷²¹ Fokker 1933. Seite 228.

bracht war, ihren Zweck nicht oder nur ungenügend erfüllte: „*The armour is undoubtedly too light to afford protection against British armour-piercing bullets fired from the ground at a lower height than 500 ft., while a machine armoured with it would have to fly at, at least, 1,000 ft. to be safe from all but a very low percentage of hits.*“⁷²² Für ein Bodenangriffsflugzeug war die hier empfohlene Flughöhe keine realistische Option.

Wahrscheinlich ist, dass eine Metallzelle Beschuss besser stand hielt als eine Holzzelle. Dies unterstreicht auch Wagner: „*Selbst die Zerstörung wesentlicher (Dural-) Bauteile zum Beispiel durch Schüsse beeinträchtigt kaum die Festigkeit [...].*“⁷²³

Es kann auch davon ausgegangen werden, dass Metall im Kampfeinsatz besser abschnitt als der konventionelle Holzbau, was die Feueranfälligkeit verursacht durch Leuchtspur- oder Brandmunition angeht.

Ein Vorteil der Holzbauweise war wiederum, dass Beschussschäden einfacher repariert werden konnten: „*Light damage to the airplane was easily repaired with simple woodworking tools. In Malta, the local coffin maker helped keep Mosquitos flying when spare parts and materials failed to arrive.*“⁷²⁴ Nicht ohne Ironie half also ausgerechnet der ortsansässige Sargbauer, die „Mosquitos“ am Leben zu halten.

Zur Reparaturfreundlichkeit von Holzstrukturen ergänzt *Flight*: „*And apart from the lightness and cheapness of wooden construction, there are many advantages, such as greater ease of repair in out-of-the-way places.*“⁷²⁵ Und an anderer Stelle: „*Almost any carpenter of average skill should be able to effect a satisfactory repair to many parts of the aircraft.*“⁷²⁶ Das alles gilt hauptsächlich für Schäden an der Beplankung. Strukturelle Schäden, also Brüche oder Schäden an Massivholzteilen, wie Spanten, waren beim Holzbau allerdings schwer zu beheben.

Dagegen war die Reparatur metallener Flugzeugstrukturen frontnah kaum möglich: „*Repairs to wings and tail of this machine require totally different materials from those required for ordinary machines. Extensive repairs are hardly possible at the front or at aviation parks. The most rapid method of repairing damages is by obtaining the required spare parts.*“⁷²⁷

⁷²² *Flight* vom 29.08.1918. Seite 971.

⁷²³ Wagner 1976. Seite 91.

⁷²⁴ Sharp, C. Martin; Bowyer, J. F.: *Mosquito*. London 1972. Seite 222.

⁷²⁵ *Flight* vom 22.12.1932. Seite 1216. Vgl. hierzu auch *Flight* vom 01.07.1944. Seite 592.

⁷²⁶ *Flight* vom 06.05.1943. Seite 468. Vgl. hierzu auch *Flight* vom 01.07.1944. Seite 592.

⁷²⁷ *Flight* vom 18.03.1920. Seite 317.

Ein weiteres großes Plus des Metallbaus war, dass man auch beim Militär auf teure Infrastruktur in Form von Unterbringungsmöglichkeiten für die nicht wetterfesten Flugzeuge verzichten konnte. Auf die rüstungswirtschaftlichen Vor- und Nachteile des jeweiligen Baustoffs wird noch an anderer Stelle eingegangen werden.

Die Haltbarkeit und Wetterbeständigkeit von Duralumin war allerdings anfangs ebenfalls stark eingeschränkt. 1925 wurde entdeckt, dass auch Dural von Feuchtigkeit stark angegriffen wird und in der Folge korrodiert. *„Diese so genannte interkristalline Korrosion wirkt sich auf die Festigkeitseigenschaften meist in katastrophaler Weise aus.“*⁷²⁸ Und Schatzberg zieht daraus den Schluss: *„Salt water and tropical conditions proved as hard on duralumin as on wood.“*⁷²⁹ Ebenso schrieb die Zeitschrift „Fortschritte der Luftfahrt“ von 1927 über die Probleme des Durals mit dem tropischen Klima: *„So wollen z.B. hinsichtlich seiner Seewasserbeständigkeit die Erfahrungen der SCADTA⁷³⁰ in Kolumbien bzw. in Zentralamerika mit Wasserflugzeugen ergeben haben, daß Duralteile, die sonst irgendwo anders vielleicht gute Lebensdauer hätten, dort in wenigen Wochen durch neue ersetzt werden mußten.“*⁷³¹

Bereits 1927, also nur zwei Jahre nach Entdeckung des Korrosionsproblems und nur neun Jahre nach der ersten Verwendung des Metalls beim Bau von Flugzeugen, wurde es durch das Alclad-Verfahren beseitigt.

Dagegen wurde Sperrholz 1912 in den Flugzeugbau eingeführt und erst 1926, also 14 Jahre später, wurde das Haltbarkeitsproblem der Verleimungen durch die Verwendung von Kunstharz gelöst. Bis 1926 waren hinsichtlich der Haltbarkeit Dural und Sperrholz theoretisch gleichwertig. Weil die Duralkorrosion jedoch später erkannt wurde (erst etwa 1925⁷³²), musste zuvor das Dural haltbarer erscheinen als das Holz. Dies zeigt auch *Flight* in einem Artikel über die Junkers D 1 vom April 1920. Dort heißt es: *„It may be mentioned, in passing, that the machine had been dumped in the open, and had shared the*

⁷²⁸ Brenner, Paul: Ergebnisse von Korrosions- und Oberflächenschutzversuchen mit Aluminium-Walzlegierungen. In: 198. DVL-Bericht. DVL-Jahrbuch 1931. Seite 505 bis 520.

⁷²⁹ Schatzberg 1999. Seite 55.

⁷³⁰ Die Deutsch-Kolumbianische Luftverkehrsgesellschaft (Sociedad Colombo Alemana de Transporte Aéreo) war die erste Luftverkehrsgesellschaft in Südamerika, die ab 1919 mit Junkers-Flugzeugen operierte.

⁷³¹ Berg 1927. Seite 490.

⁷³² Schatzberg 1999. Seite 54.

varied weather of several months with other machines constructed of wood and fabric materials. The Junker had hardly suffered, while the orthodox type of machine had seriously deteriorated. In some places, however, the duralumin sheet was covered with a thin coating of white crystals, and appeared to have become brittle.“⁷³³ Das Zitat belegt, dass der frühe Metallbau dem konventionellen Holzbau (mit organischen Leimen) durchaus überlegen war. Ohne sich dessen bewusst zu sein, war man bei *Flight* außerdem Augenzeuge der interkristallinen Dural-Korrosion geworden.

Von 1926 bis 1927 hatte Sperrholz theoretisch sogar einen technischen Vorsprung, was die Haltbarkeit betraf, da das Kunstharz vor dem Alcladprozess entwickelt wurde. Eine Erklärung für diese potentielle Überlegenheit des Holzes könnte hier der „Pluto-Effekt“ sein, wie er in der Einleitung beschrieben wurde; zur Erinnerung: eine Technologie, die bedroht ist, übernimmt von der alternativen, bedrohenden Technologie die Eigenschaften, die sie selber nicht besitzt, aber die sie nutzen kann, um die Vorteile des Rivalen zu verringern und so den Übergang zu der neuen, vermeintlich „besseren“ Technologie weniger verlockend erscheinen zu lassen.⁷³⁴ In unserem Fall wäre die bedrohte Technik der Holzbau, der, durch die Haltbarkeitsverbesserung dank des Kunstharzes, die Vorteile des Rivalen Dural verringern konnte.

Dennoch wurden ab Ende der 1920er, Anfang der 1930er Jahre Hochleistungsflugzeuge ausschließlich in Leichtmetall gebaut. Trotz des Pluto-Effekts, konnte die materielle Verbesserung des Sperrholzes den Übergang zum Duralbau, international betrachtet, nicht verzögern. Am Beispiel Großbritanniens wird sichtbar, dass das verbesserte Holz auf nationaler Ebene den Übergang zum Metall weniger verlockend erscheinen lassen konnte. Der in der Zwischenkriegszeit international herrschende militärische Einfluss auf die Materialwahl im Flugzeugbau, und damit die unterschiedliche strategische Bewertung bestimmter Werkstoffe, verleiht der Annahme eines Pluto-Effekts jedoch einige Unschärfe. Er ist beim Materialwandel im Flugzeugbau der Zwischenkriegszeit kaum feststellbar, da der Materialwandel hier sehr radikal erfolgte. Abgesehen vom Zweiten Weltkrieg, konnte sich der Holzbau nur in Nischen des Flugzeugbaus halten.

Die unterschiedlichen Zeitspannen bis zur wissenschaftlichen Lösung des Haltbarkeitsproblems legen zudem nahe, dass auch die Forschungsintensität unterschiedlich intensiv

⁷³³ *Flight* vom 01.04.1920. Seite 376.

⁷³⁴ Mom, Gijis: Das „Scheitern“ des frühen Elektromobils (1895 – 1925). Versuch einer Neubewertung. In: *Technikgeschichte* 64 (1997), Seite 269 – 285. Hier Seite 280.

war. Dies ist Schatzberg folgend ein Indiz dafür, dass Metall unabhängig von seinen Materialeigenschaften viel stärker als Flugzeugbaustoff gefördert wurde. „[...], *the government's (USA) support for this research (Alclad) bore almost no relation to the contemporary importance of duralumin in aviation; this support was based almost entirely on faith in the future role of metal.*“⁷³⁵ Auch die WGL⁷³⁶ stimmte dem zu: „*Die Holzforschung ist jedoch gegenüber der Metall- und Eisenforschung in den letzten Jahrzehnten stark zurückgeblieben. Wäre auf dem Gebiet des Holzes eine ebenso rege Forschungstätigkeit entfaltet worden wie auf dem Metallgebiet, so hätten wir im Holz vielleicht heute schon einen weitaus leistungsfähigeren Baustoff.*“⁷³⁷

Auch die Stahlindustrie tat ihr Übriges, die Verwendung von Stahl zu bewerben und zu propagieren. So wurde beispielsweise in Deutschland 1928 eine Propagandaabteilung des Stahlwerk-Verbands in Düsseldorf, Beratungsstelle für Stahlverwendung genannt, gegründet, die sogar eine monatliche Werbeschrift mit dem Titel „Stahl überall“ herausgab. Besonders eine sich institutionalisierende Forschung förderte eine „Shifting Baseline“ bei der Materialwahl, indem sie sich auf den vermeintlich fortschrittlicheren Werkstoff konzentrierte. Daraus lässt sich ableiten, dass spätestens nachdem sich die Forschung in der Breite auf einen Werkstoff konzentriert und festlegt, mögliche Pluto-Effekte damit erlöschen.

Neben sozio-kulturellen Einflüssen auf die Materialwahl, gab es auch handfeste technische Argumente. Gerade in den Tropen, mit ihrem Wechsel aus sehr trockenem oder sehr feuchtem Klima, zeigten sich die negativen Einflüsse, welche die Witterung gerade auf Holzstrukturen hatte: „*Aircraft may therefore be subjected to both conditions alternately - probably the worst conditions for wooden aircraft. Shrinkage and warping of spars, ribs and longerons, with the attendant slacking off of fittings, is a serious item of maintenance in a dry climate. If to this is a periodical subjection to moist conditions, a further detriment to the use of wooden aircraft is introduced, particularly where glued surfaces are concerned. The more serious of the two factors, however, appears to be the dry condition, owing to the change in strength factors of the timber on loss of water content.*“⁷³⁸

Obwohl von modernen Leimen und Klebverfahren im Holzbau viel hinsichtlich einer

⁷³⁵ Schatzberg 1999. Seite 95.

⁷³⁶ Wissenschaftliche Gesellschaft für Luftfahrt.

⁷³⁷ Brenner 1931. Seite 639, 640.

⁷³⁸ Flight vom 23.05.1929. Seite 431.

größeren Klimaunabhängigkeit erwartet wurde („Probably, as was suggested to me both in Egypt and West Africa, aircraft built of the modern improved and impregnated woods and plastic bonding materials will prove much more resistant to extremes of heat and humidity than the ordinary wooden aircraft, and much of the objection to the use of wood in the tropics may disappear“⁷³⁹), sollten die Erfahrungen, die in der Praxis gemacht wurden, in dieser Hinsicht enttäuschen. Auch wenn das Leimen viele Nachteile der Massivholzbauweise aufhob („Die Art der Verbindung der einzelnen Holzteile durch Leimen ist, vom Standpunkt der Festigkeit und des Gewichtes aus betrachtet, als geradezu ideal anzusprechen.“⁷⁴⁰), konnte das Problem der Feuchtigkeitsabsorption des verleimten Holzes beim Sperrholzbau nie völlig gelöst werden.

Ob die Eigenschaften der ersten Kunstharze befriedigend waren, darf ebenfalls angezweifelt werden. 1943 wurde das „Advisory Panel on the Application of Wood in Aircraft Construction“ vom britischen „Ministry of Aircraft Production“ beauftragt die Qualität hölzerner Flugzeuge zu verbessern. Dazu gehörte: „making the most effective use of the available timber“ und „improving the quality of glues.“⁷⁴¹

Auch wenn die Kunstleime nun weitgehend feuchtigkeitsunempfindlich waren, galt dies, wie das Beispiel „Mosquito“ zeigt, nicht ganz für das Holz selbst: „The waterproof covering did a pretty good job of keeping moisture out, but in service some aircraft developed problems with water soakage, especially in the tropics. [...] More serious problems occurred in India, where the long dry season caused major changes in the moisture content of the wooden structure. These changes produced large internal stresses in glued joints due to the differential shrinkage of solid wood and plywood.“⁷⁴² Änderungen des Feuchtigkeitsgehaltes des Holzes können also zu einer Volumenänderung des Baustoffs führen, was wiederum unerwünschte Verformungen der Holzbauteile eines Flugzeugs nach sich ziehen kann.⁷⁴³ Auch wenn sich *Flight* bemühte, diese Nachteile zu verharmlosen („The de Havilland Company has had wooden 'Gipsy Moths' Flying in almost every corner of the world, and such troubles as have been encountered have been relatively small. Shrinkage of wood, absorption of moisture, warping, and so forth, have been far less than many would suppose, and recent work on the subject has indicated that these minor

⁷³⁹ Flight vom 01.07.1944. Seite 592.

⁷⁴⁰ Brenner 1931. Seite 639.

⁷⁴¹ Flight vom 21.10.1943. Seite 448.

⁷⁴² Schatzberg 1999. Seite 216.

⁷⁴³ Vgl. Brenner 1931. Seite 639.

troubles may be overcome. The use of dished washers for maintaining friction or 'grip' when wood shrinks, the protection of corners where moisture may accumulate with doped fabric or bitumastic paint, and so forth, have been found effective antidotes“⁷⁴⁴), klang das eher wie das Eingeständnis gewisser materieller Probleme.

Bei extremen klimatischen Bedingungen zeigte sich also, dass selbst moderne Holzflugzeuge Probleme mit der Haltbarkeit und Lebensdauer hatten, da Holz dazu neigt sich dem Feuchtigkeitszustand seiner Umgebung anzupassen.

Holz ist als kapillarporöser Körper hygroskopisch. Es hat dadurch die Eigenschaft, solange aus der jeweiligen Umgebung, in der Regel aus der Luft, Feuchtigkeit aufzunehmen oder an diese abzugeben, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Dieses Gleichgewicht ist von der Temperatur, vom Luftdruck und von der relativen Luftfeuchte abhängig.⁷⁴⁵

Dazu passt ein Erfahrungsbericht, der 1944 in *Flight* über das Verhalten von Holzflugzeugen in unterschiedlichen klimatischen Regionen erschien: *„I heard in Accra what happened to an excellent and well-tried monoplane of normal wood construction which, after some months of flying in the excessively humid coastal belt, was sent up to Kano, some 500 miles inland. The average difference in humidity between Lagos and Kano is no less than 65; and in the drier air the plywood seams, which had had a thorough soaking on the coast, opened as much as three-quarters of an inch, [...]. The glue had virtually disintegrated in the coastal humidity, and subsequent contraction in the drier air had had the inevitable result.“⁷⁴⁶ Der direkte Zusammenhang von Umgebungsfeuchte und Feuchtigkeitsgehalt des Holzes kann bei Verwendung eines Holzflugzeuges in unterschiedlichen Klimaten zu ernsthaften Schwierigkeiten führen.*

Auch spezielle Anstriche und Lacke können dieses Problem nicht vollständig beheben.⁷⁴⁷

Richthofen schrieb, unabhängig vom verwendeten Material, 1929 dazu: *„Auch die beste Imprägnierung kann es nicht verhindern, dass sich bei Temperaturschwankungen Feuchtigkeit innerhalb von Rumpf und Flügel niederschlägt.“⁷⁴⁸*

Wahr ist aber auch, dass moderne Leime und Klebeverfahren die Witterungsanfälligkeit der, durch sie hergestellten Verbindungen stark reduzierten. Außerdem verändert sich das

⁷⁴⁴ Flight vom 22.12.1932. Seite 1216.

⁷⁴⁵ Vgl. Merkel, Thomas 2008. Seite 550.

⁷⁴⁶ Flight vom 08.06.1944. Seite 606.

⁷⁴⁷ Vgl. Brenner 1931. Seite 639.

⁷⁴⁸ Richthofen 1929. Seite 21.

Volumen anderer Werkstoffe ebenfalls unter Witterungseinfluss: „*Among technological materials, wood and rope and concrete all creep very considerably and the effect has to be allowed for. [...], steel creeps significantly at high stresses and when heated. [...]. Although the amount of creep which is likely to occur varies greatly between different solids, the general pattern of behaviour is very much the same for nearly all materials.*“⁷⁴⁹ Metall verändert also unter Wärmeeinwirkung ebenfalls sein Volumen.

Ein weiterer Beleg für die Anfälligkeit von Metall für Klimaeinflüsse ist ein 1944 in *Flight* erschienener Erfahrungsbericht. Der Autor, Edward C. Bowyer, Informationschef der „Society of British Aerospace Companies“⁷⁵⁰, fasst seine Erfahrungen wie folgt zusammen:

„*Consideration of climatic effects starts logically with structural materials. Metal is least impervious to climatic changes, though it must be watched where salt air and salt water are found, and may behave peculiarly in extreme cold. Ordinary wood rots badly and is destroyed by such widespread pests as white ants. Reinforced and the modern „improved“ woods, bonded with plastic resins, generally stand up well to heat and humidity.*“⁷⁵¹

Die Argumentation Junkers, die materielle Überlegenheit metallener Werkstoffe betreffend, erwies sich also gerade auch, was die Lebensdauer der beiden Werkstoffgruppen anging, angesichts des Wissenstands zum Zeitpunkt seiner Äußerungen zumindest als nahe liegend.

Wichtig ist festzustellen, dass wenn selbst mit Duralumin auf Grund der Reibungshitze Probleme bei hohen Fluggeschwindigkeiten auftreten, wie sie moderne Flugzeuge haben, Holz im modernen Hochgeschwindigkeitsflug keine Chancen mehr als Strukturwerkstoff hatte.

⁷⁴⁹ Gordon 2003. Seiten 147, 148.

⁷⁵⁰ Die Society of British Aerospace Companies (kurz SBAC) war die britische Handelsorganisation, die alle Firmen repräsentierte, die in den Bereichen ziviler Lufttransport, Luftverteidigung, Heimatschutz und Raumfahrt tätig waren.

⁷⁵¹ Flight vom 08.06.1944. Seite 607.

6.2 Das Verschwinden und Wiedererscheinen des Holzes

Wieso verschwand der Flugzeugwerkstoff Holz in der Zwischenkriegszeit? Eine Begründung für die Konzentration auf den Metallbau liegt sicherlich in der bereits erwähnten „progress ideology of metal“ Schatzbergs. Das sieht *Flight* bereits 1932 ähnlich: „*The all-metal idea has by now so penetrated the general conception of aircraft construction that it is no exaggeration to say that a wooden aircraft is looked upon with a good deal of pity and contempt. Yet if one asks one of the worshippers of the all-metal fetish why he is such a staunch believer in metal, more often than not he cannot give any very convincing reply. The fact of the matter is that all-metal construction has become a 'fashion', just as the cantilever monoplane is becoming a fashion. The original reason has been forgotten, but the idea persists.*“⁷⁵² Metall wurde also nicht nur zur Mode, der Trend zur Verwendung wurde zum unreflektierten Fetisch im Flugzeugbau.

Auch 1939 kommt *Flight* in einem Artikel über die D.H.95 „Flamingo“ auf das Thema zurück: „*The reason for the fact that the 95 is of all-metal construction [...] might simply, but not too accurately, be explained as the result of demand. Operators expect all-metal construction and, therefore, it must be offered to them.*“⁷⁵³ Flugzeugbetreiber forderten also nur das, was ihre Kunden wiederum nachfragten. Und 1937 ergänzte *Flight*, dass durchaus die Befürchtung bestünde, dass die Materialentwicklung durch reine modische Oberflächlichkeiten von praktischen Erwägungen bei der Materialwahl ablenkten: „*There is a school of thought which holds that we have been blinded by the superficial attractiveness of the metalclad fuselage, which is pleasing to the eye and looks well, and that from a practical point of view the old-fashioned fabric-covered girder has much to recommend it.*“⁷⁵⁴

Wie zuvor beschrieben, war auch Howard Hughes zu der Überzeugung gelangt, dass nicht nur technische Gründe über die Materialwahl entscheiden. Für Henrich Fokke spiel-

⁷⁵² *Flight* vom 20.05.1932. Seite 434.

⁷⁵³ *Flight* vom 16.02.1939. Seite 151.

⁷⁵⁴ *Flight* vom 25.11.1937. Seite 502.

ten positive und negative Vorurteile eine wichtige Rolle: *„Es ist ferner nicht zu bestreiten, daß die Bevorzugung des Metallbaues auch auf mancherlei nicht rein sachlichen Gründen beruht. Für den Ingenieur gehört hierher eine gewisse unbestimmte Scheu, mit dem ihm ungewohnten Holzmaterial konstruktiv zu arbeiten. Beim Laien, das heißt also in diesem Falle beim fliegenden Publikum, kommen auch ganz allgemeine Vorstellungen derart hinzu, 'daß Metall nicht kaputt geht' o. Dgl.“*⁷⁵⁵

Ein weiteres Beispiel für Image-Probleme des Holzbaus ist der Materialwandel im englischen Segelflugzeugbau.⁷⁵⁶ Auch hier nahmen soziale Bedürfnisse massiven Einfluss auf die Werkstoffwahl. Aber dazu später mehr.

Eine technische Begründung für die Konzentration auf den Werkstoff Metall waren die anhaltenden Probleme des Sperrholzbaus mit seiner „Wetterfähigkeit“, was mindestens zum Teil an der divergierenden Intensität der Materialforschung lag.

Ein weiterer Grund für den Siegeszug des Durals lag darin, dass die aerodynamischen Vorteile des stromlinienförmigen selbsttragenden Sperrholzrumpfes (Monocoque) bei den ersten Metallflugzeugen hinter den Nachteilen, wie der Verspannungen der Tragflächen und des starren Fahrwerks in den Hintergrund traten: *„Fast jedes Flugzeug enthielt bis etwa 1936 einen Kompromiss zwischen Statik und Aerodynamik. Beide Faktoren beeinflussten sich negativ.“*⁷⁵⁷ Die hohe Anpassungsfähigkeit der Holzbauweise an die durch den jeweiligen Entwicklungsstand gegebenen Bauformen, vielleicht ihr wichtigster Vorteil, hatte also auf Grund der wenig entwickelten Aerodynamik der Flugzeugkonstruktionen bis etwa 1920 wenig Bedeutung. Obwohl sich die bessere Haltbarkeit der Metallflugzeuge in den frühen Jahren der Fliegerei kaum positiv auf die Betriebsdauer auswirkte (die Lebensdauer eines Flugzeugs war ohnehin relativ kurz, vor allem im Krieg), die Metallflugzeuge obendrein noch teurer in der Anschaffung waren (*„Lower maintenance costs favored metal only if the savings offset the increased cost of metal construction.“*⁷⁵⁸), und der Holzbau im Zweiten Weltkrieg sich immer noch als konkurrenzfähig erwies, konzentrierte man sich früh auf den Metallbau und empfand die Rückkehr zum

⁷⁵⁵ Entgegnung Henrich Fockes auf den Vortrag Adolf Rohrbachs. in: Jahrbuch der WGL 1926. München/Berlin 1927. Seite 78.

⁷⁵⁶ Vgl. Flight vom 18.05.1967. Seite 785; Flight vom 06.06.1968. Seite 863.

⁷⁵⁷ Wissmann 1979. Seite 343.

⁷⁵⁸ Schatzberg 1999. Seite 167.

konservativen (Holz-)Flugzeugbau als technischen Rückschritt in eine vorindustrielle Zeit. Ein weiterer Hinweis auf die Überlagerung von technischen Argumenten bei der Werkstoffwahl durch sozio-kulturelle.

Gegen den Holzbau sprach weiterhin, dass Belastungsberechnungen für Vollholz und das Kompositmaterial Sperrholz nur schwer möglich waren.⁷⁵⁹ Die Uniformität des Metalls erleichterte Berechnungen und Vorraussagen bezüglich des Materialverhaltens, auch weil es sich nur um einen einzelnen und homogenen Werkstoff handelte.⁷⁶⁰ „*Such materials, which include the metals, brick, concrete, glass and most kinds of stone, are called 'isotropic', which is Greek for 'the same in all directions'. The fact that metals are isotropic (or nearly so) and have the same properties in all directions makes life somewhat easier for engineers and is one of the reasons why they like metal.*“⁷⁶¹

Und Brenner ergänzt dazu: „*Für die Verwendung metallischer Baustoffe im Flugzeugbau spricht vor allem ihre bessere Gleichmäßigkeit und Formbeständigkeit, wodurch zuverlässigere Unterlagen für die Festigkeitsrechnung geschaffen werden und die Genauigkeit der Herstellung erhöht wird, was insbesondere mit Rücksicht auf die Auswechselbarkeit einzelner Teile wichtig ist.*“⁷⁶²

Dagegen war Henrich Focke davon überzeugt, dass das Holz im Vergleich zum Metall das homogenere Material war: „*Alle Metalle weisen eine kristallinische Struktur auf, d.h. ihre Festigkeitseigenschaften können von Teilchen zu Teilchen unmöglich gleichmäßig sein, der Stoff ist eben nicht homogen. Demgegenüber ist die Zellulose, der Grundbestandteil des Holzes, ein amorpher Körper.*“⁷⁶³ Er räumte aber auch ein: „*Ein Mangel des Holzes bleibt natürlich immer bestehen, das ist die Ungleichmäßigkeit seiner Festigkeitseigenschaften. Diese drückt sich aus in höherem Gewichts Aufwand, als bei gleicher Festigkeit des Materials notwendig wäre.*“⁷⁶⁴

⁷⁵⁹ Vgl. ebenda. Seite 158

⁷⁶⁰ Vgl. Martin, Glenn L.: The Development of Aircraft Manufacture. In: Royal Aeronautical Society. London 1931. Seite 12, 13.

⁷⁶¹ Gordon 2003. Seiten 249, 250.

⁷⁶² Brenner 1931. Seite 640. Vgl. hier auch: Junkers 1919. Seite 76.

⁷⁶³ Entgegnung Henrich Fockes auf den Vortrag Adolf Rohrbachs. in: Jahrbuch der WGL 1926. München/Berlin 1927. Seite 77. Vgl. dazu auch Gordon 1989. Seite 47.

⁷⁶⁴ Entgegnung Henrich Fockes auf den Vortrag Adolf Rohrbachs. in: Jahrbuch der WGL 1926. München/Berlin 1927. Seite 77.

Auch Tom D. Crouch thematisiert in seinem Buch⁷⁶⁵ interessanter Weise den Ansatz Schatzbergs, sagt aber, dass ein „*cultural prejudice*“ nur ungenügend die Konzentration auf den Metallbau erklärt. Er führt Glenn Martin ins Feld, der die Vor- und Nachteile von Holz und Metall 1931 anhand einer Fülle von Einzelkriterien systematisch zu untersuchen und zu vergleichen schien:

„[...] *Glenn Martin carefully analyzed wood and metal construction using a variety of criteria: strength-weight characteristics, suitability for machining and forming, adaptability for fastening and connecting, reaction to moisture and temperature, uniformity and the presence or absence of defects, cost, and ease of inspection. It will be seen, Martin concluded, that wood fails to adequately satisfy several of the above conditions. As Martin and other manufacturers considered the matter, they saw metal as a uniform material, ideal for the sort of standardized, large-scale production that they hoped to achieve.*“⁷⁶⁶

Beachtet man den damaligen Stand der Luftfahrttechnik in den USA und den Stand der Materialforschung, so ist die Argumentation zumindest für die USA durchaus schlüssig, kann aber nicht global als Ursache für den Werkstoffwandel heran gezogen werden, da beispielsweise der britische Flugzeugbau im Zweiten Weltkrieg die Konkurrenzfähigkeit des Werkstoffs Holz unter Beweis stellte.

Oft wird die bessere Eignung des Werkstoffs Metall für die Massenfertigung als Grund für das Verschwinden des Holzbaus verantwortlich gemacht. Zum einen sei Metall durch seine Uniformität besser für die standardisierte Massenproduktion geeignet und zum anderen sei es einfacher zu verarbeiten und ungelernete Arbeiter könnten besser mit Metall umgehen, da die Holzverarbeitung einer gewissen Erfahrung bedürfe. Auch das sonst eher holzfreundliche *Flight* gestand dem Metall 1939 ökonomische Vorteile in der Massenproduktion zu: „*Only when quantity orders may be expected is the all-metal machine an economically reasonable proposition, while in such circumstances it is, for production reasons, the only possible means of construction.*“⁷⁶⁷

Untersuchen wir zunächst den Begriff der Massenproduktion, so ist festzustellen, dass es im Flugzeugbau zu keinem Zeitpunkt eine solche gab, wie wir sie zum Beispiel aus dem

⁷⁶⁵ Vgl. Crouch 2003.

⁷⁶⁶ Ebenda Seite 321.

⁷⁶⁷ Flight vom 16.02.1939. Seite 151.

Automobilbau kennen. Im Ersten Weltkrieg kam trotz der werkstattmäßigen Produktionsweise in den meist noch kleinen Firmen nur eine Art Großserienfertigung zustande.⁷⁶⁸ Selbst im Zweiten Weltkrieg, als Flugzeuge in noch viel höherer Zahl hergestellt wurden und auch schon industriell „vom Band liefen“, wurden nur von wenigen militärisch genutzten Modellen mehr als 10.000 Stück hergestellt.⁷⁶⁹ Bei Zivilmodellen waren die Zahlen noch weitaus geringer. Im Vergleich zum Automobilbau oder dem Wagonbau entspricht das höchstens einer Groß- nicht einer Massenproduktion.⁷⁷⁰ Des Weiteren wurden Flugzeuge erst ab etwa 1912 überhaupt serienmäßig hergestellt. Zuvor wurden Flugzeuge noch als Einzelstücke gefertigt, wodurch kleinere Unterschiede im Endprodukt unvermeidbar waren. Edmund Rumpler gilt in Deutschland als Pionier der neuen „fabrikmäßigen“⁷⁷¹ Produktion: *„Die neue Fertigungsweise senkt die Produktionskosten, da weniger qualifizierte Arbeitskräfte eingesetzt werden müssen, und sie garantiert eine gleichbleibende Qualität. Indem zum Beispiel die Tragflächen in Schablonen erstellt werden, wird eine exakte Gleichheit erreicht, die sich bei der Ersatzfertigung und beim Wiedereinsetzen vorteilhaft auswirkt.“*⁷⁷²

War der Werkstoff Holz nun ungeeignet für die industrielle Massenproduktion? Holz wird im Allgemeinen mit handwerklicher Fertigung, Metall mit industrieller Produktion in Verbindung gebracht. Spricht man von Industrialisierung wird häufig zwischen hölzernem und eisernem Zeitalter unterschieden. Verschiedene Beispiele zeigen jedoch, dass Massenfertigung und der organische Werkstoff Holz durchaus zueinander passten.

Radkau weist darauf hin, dass Holz die Handarbeit zwar begünstigte, jedoch nicht unbedingt die Strukturen des alten Handwerks. Ihm folgend gab es gerade bei Holzgegenständen Frühformen der Massenproduktion was der Uhrenbau 18. Jahrhundert unter Beweis stellte. Im Gegensatz zur künstlerischen Uhrmacherei, wie man sie in Nürnberg oder Augsburg fand, begann zu Beginn des 18. Jahrhunderts im Schwarzwald der Aufstieg der dörflichen Uhrmacherei. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden nach Radkau mehr als 15 Millionen Schwarzwalduhren in Handarbeit hergestellt.⁷⁷³

⁷⁶⁸ Vgl. Radkau 2008. Seite 262.

⁷⁶⁹ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 53.

⁷⁷⁰ Das Ford Modell T wurde allein 1925 1,8 Millionen Mal produziert. Aus: Schatzberg 1999. Seite 53.

⁷⁷¹ Kranzhoff 2004. Seite 125.

⁷⁷² Ebenda. Seite 126.

February 7, 1929

A MOTH EVERY 5 HOURS!

NEW GIPSY MOTHS LEAVE THE FACTORY AT THE RATE OF ONE EVERY FIVE HOURS

The Gipsy Moth is manufactured at the de Havilland factory with meticulous care in an ultra-modern plant equipped with repetition machinery of the latest design. Every operation and process is submitted to a searching examination by a highly organised inspection staff. Such rate of production shows beyond doubt the World-wide demand for "THE UNQUITIOUS MOTH"

Gipsy
MOTH
"IN WORLD-WIDE USE"

THE DE HAVILLAND AIRCRAFT CO., LTD.
50g Lane, Aerodrome, Edgware, Middlesex.
Fingertons, Reading, Berkshire, England.
Fingertons, London, E.C.4, England.

See time by using the Air Mail

February 21, 1929

RECORD POST-WAR OUTPUT

60 MOTHS IN JANUARY

The demand which calls for production on such a scale in the case of the Moth's sound design and excellent performance, added to its record of unflinching regularity maintained during the past four years. These sixty Moths have been dispatched to Dominion and Foreign Powers for training purposes, to Flying Clubs and Schools for tuition and club flying, and to private owners, in various parts of the world, including Australia, Canada, India, China, Chile, Singapore, Finland, Mexico, New Zealand, etc.

IN WORLD-WIDE USE WITH WORLD-WIDE SERVICE

THE DE HAVILLAND AIRCRAFT COMPANY LIMITED

50g Lane, Aerodrome, Edgware, Middlesex, England.
Fingertons, Reading, Berkshire, England.
Fingertons, London, E.C.4, England.

See time by using the Air Mail

Abbildung 53: De Havilland-Werbung mit den hohen Produktionszahlen der "Moth".
Aus: Flight (07. und 21.02.1929).

Und Weiß ergänzt, dass die Firma Thonet seit Mitte des 19. Jahrhunderts Bugholzstühle in Serie fertigte, die geradezu als Inbegriff der in Masse produzierten Möbel galten. Maschinengefertigte, aus standardisierten Elementen zusammengesetzte Massivholzmöbel nach Entwürfen namhafter Architekten – sogenannte „Maschinenmöbel“ – boten seit 1906 die Dresdener Werkstätten für Handwerkskunst an.⁷⁷⁴

Die hohen Produktionszahlen des Ford T widerlegen eine produktionstechnische Unterlegenheit des Holzes, selbst bei modernen Mobilitätsmaschinen wie dem Auto, deutlich. Beim Automobilbau war Holz als Werkstoff bis in die 1930er Jahre unverzichtbar, worauf noch einzugehen sein wird. Auch Beispiele aus dem Wagonbau beweisen die Tauglichkeit der Holzwerkstoffe für die Massenproduktion.⁷⁷⁵ Und sogar die WGL sah 1931 die Vor-

⁷⁷³ Vgl. Radkau 2008. Seiten 85, 86.

⁷⁷⁴ Vgl. Weiß 2010. Seite 39.

⁷⁷⁵ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 53.

teile der Holzbauweise hauptsächlich auf wirtschaftlichem Gebiet: „*Holz ist ein billiger Baustoff, der sich mit einfachen Mitteln und geringen Kosten verarbeiten lässt.*“⁷⁷⁶

Die De Havilland „Moth“ zeigte dann, dass auch eine Großproduktion von Holzflugzeugen möglich war: „*By 1929, Stag Lane [de Havilland] was building sixteen a week; [...].*“⁷⁷⁷ Und das in Friedenszeiten!

Holz konnte später auf Grund der neuen Sperrhölzer sogar zeigen, dass die Massenfertigung eines Holzflugzeugs einfacher sein konnte, als die eines Metallflugzeugs. *Flight* unterstrich 1940, dass ein Metallflugzeug mehr Arbeitsstunden benötige, als ein Holzflugzeug: „*The House of commons was naturally pleased, yet every now and again comparisons are made between present output and the output of the last year. Honourable members do not always bear in mind the difference between producing wooden aircraft and metal ones. They need constant reminders on that point. A Wellington takes up many more man-hours than were required for a Handley-Page O/400.*“⁷⁷⁸

Natürlich zeigte auch die „Mosquito“ mit über 7.000 gebauten Exemplaren, dass die Großfertigung eines Holzprodukts sehr wohl möglich war.

Zu betonen ist hier auch, das Metall nicht von vorne herein mit der Massenproduktion kompatibel war. Der Metallflugzeugbau war anfangs sehr viel arbeitsintensiver als die herrschenden Bauweisen. Schatzberg bemerkt dazu, dass die Junkers J4 viermal so viel Arbeitskraft band als ein vergleichbares Flugzeug in konservativer Bauweise.⁷⁷⁹

Die Frage der Massenkompabilität der hölzernen Werkstoffe muss also wieder zeitlich differenziert betrachtet werden.

War Metall durch die leichtere Verarbeitung nichtsdestotrotz besser für die Massenproduktion geeignet?

Anthony Fokker legte das bei der Argumentation für sein Stahlrohrgerüst nahe: „*Obendrein konnten die Schweißarbeiten mit Leichtigkeit von Frauen durchgeführt werden und die Anlernzeit für neue Arbeiter war extrem kurz.*“⁷⁸⁰ Crouch argumentiert ebenfalls in diese Richtung: „*[...] the ease with which unskilled workers could be taught to weld, fa-*

⁷⁷⁶ Brenner 1931. Seite 640.

⁷⁷⁷ Allward, Taylor 1996. Seite 14.

⁷⁷⁸ *Flight* vom 14.03.1940. Seite 283.

⁷⁷⁹ Schatzberg 1999. Seite 29.

⁷⁸⁰ Engels 1996. Seite 261.

vored steel-tube construction.“⁷⁸¹ Und auch *Flight* schrieb 1930 in einem Artikel über die Ford 4-AT: „Six bolts secure one wing end, and the assembly and dismantling of a wing-end is an amazingly quick process, as well as one calling for no skill. In fact, the tool most frequently used is a 'Brummagem screwdriver'.“⁷⁸²

Einfache, standardisierte Fertigungsprozesse, ausgeführt von nur kurz angelehrten Arbei-



Abbildung 54: Industrielle Produktion von Holz-Werkstoffen. Aus: *Flight* 24.01.1946.

⁷⁸¹ Crouch 2003. Seite 173.

⁷⁸² *Flight* vom 14.11.1930. Seite 1236.

tern (oder gar der Einsatz von Frauen als Arbeitskräfte) sprechen, gerade im Vergleich zum arbeitsaufwändigen Massivholzbau, für die bessere Massenkompatibilität des Werkstoffes Metall.

Als die beplankten Rahmen den selbsttragenden Rümpfen und Flügeln wichen, änderte sich das. Sperrholz wurde als Kompositmaterial durch Pressmaschinen ebenfalls industriell hergestellt (siehe abgebildete Werbung aus *Flight*). Die Maschinerisierung des Holzbaus förderte, analog zum Metallbau, den zunehmenden Einsatz ungelernter Arbeiter, auch wenn der Holzbau in höherem Maße als der Metallbau von gelernten Arbeitern abhängig blieb.

Im Vergleich zwischen Metall- und Massivholzbau siegt also Metall, was die einfachere Verarbeitung angeht. Sperrholz und Metall waren aber nahezu gleichwertig, was die Verarbeitung dieser Werkstoffe bei selbsttragenden Konstruktionen betraf.

Die Flugzeuge des Holz- bzw. Gemischtbaus (geschweißtes Stahlrohrgerüst und Holzbeplankung) machten zudem ein grundsätzlich anderes Qualifikations- und Ausrüstungsprofil notwendig. Während Klempner, Schlosser und Spengler den Hauptanteil der Arbeiterschaft im Metallflugzeugbau ausmachten, gab es im Holz- und Gemischtbau einen Beruf, um den sich die gesamte Produktion grupperte, den Tischler. Im reinen Holzflugzeugbau war die Hälfte der Arbeiter Tischler, im Gemischtbau lag ihr Anteil immerhin noch bei knapp einem Viertel.

*„Weder bei Teileherstellung noch bei Montage der Flugzeuge waren im Holzflugzeugbau Spezialmaschinen nötig, die über das in Möbelfabriken übliche Maß hinausgingen, andererseits blieben die Anforderungen an die handwerklichen Fertigkeiten (vor allem bei Leimarbeiten) bei der Verarbeitung von Holz so hoch, dass kaum an- oder ungelernete Arbeitskräfte eingesetzt werden konnten. Bei der Verwendung von Stahlrohren als Konstruktionsmaterial konnten zwar angelernte Schweißer einen Teil der Arbeiten übernehmen. Gleichwohl trug der Gemischtbau höhere Lohnkosten als der Metallbau. Die Materialkosten wogen diesen Vorteil allerdings mehr als auf.“*⁷⁸³

Die relative Gleichwertigkeit der Werkstoffe zeigt sich auch in der Wiederkehr des Holzflugzeugbaus während des Zweiten Weltkriegs. Hätte Metall so enorme Vorteile gegenüber Holz als Flugzeugwerkstoff gehabt und wäre Holz so viel schwerer zu verarbeiten gewesen als das Leichtmetall, hätte es sich wohl nicht jede kriegsbeteiligte Nation aufgebürdet, Flugzeugmodelle aus Holz (Sperrholz) herzustellen.

⁷⁸³ Budraß 1998. Seite 138.

Was waren nun aber die Gründe für die Wiederkehr des Holzflugzeugs während des Zweiten Weltkriegs?

*„Während des Zweiten Weltkriegs wurde aus Zeit- und Kostengründen, sowie aus der eingeschränkten Verfügbarkeit von Aluminiumlegierungen, wieder verstärkt auf den Werkstoff Holz zurückgegriffen.“*⁷⁸⁴

Diese Wiederkehr hing weniger mit der materiellen Gleichwertigkeit der beiden Flugzeugwerkstoffe Metall und Holz zusammen als vielmehr mit der Verfügbarkeit und der Verarbeitbarkeit des jeweiligen (strategisch wichtigen) Materials.

Deutschland, die USA und Kanada hatten bei Kriegsausbruch bereits eine respektable Aluminiumproduktion aufgebaut.

Großbritanniens Aluminiumindustrie betrug dagegen nur 15 Prozent der Aluminiumproduktion Deutschlands.⁷⁸⁵ Daher waren die Briten hochgradig abhängig von Aluminiumimporten. Die Entwicklung beispielsweise der hölzernen „Mosquito“ war also auch darauf zurückzuführen, dass Großbritannien durch den Werkstoff Holz etwas unabhängiger von den Aluminiumimporten wurde. Auch für die berühmte Supermarine „Spitfire“ wurden beispielsweise Ersatzstoff-Varianten entwickelt: *„During the 1940s, De Bruyne developed the first reinforced composite material, Aerolite, a flax-reinforced phenol-formaldehyde resin initially used by the military in the construction of the tail planes of Miles Magister trainers and wing spars of Bristol Blenheim bombers. A lightweight Spitfire made of composites would have solved the problem of the dire aluminium shortage predicted for 1944.“*⁷⁸⁶ Dieser Eindruck wurde sicherlich durch den deutschen Seekrieg gegen das Königreich noch verstärkt.

Winston Churchill⁷⁸⁷ schrieb über Bedrohung der heimischen Rüstungsindustrie durch den See- und Luftkrieg gegen sein Land und die damit verbundenen Versorgungsschwierigkeiten: *„Jeden Tag liefen in den britischen Häfen Hunderte von Schiffen ein und aus, un-*

⁷⁸⁴ Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 102.

⁷⁸⁵ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 218.

⁷⁸⁶ Glancey, Jonathan: Spitfire. The Biography. London 2006. Seite 137.

⁷⁸⁷ Churchill, Winston Leonard Spencer (*30.11.1874 in Woodstock, England; † 24.01.1965 in London).

ser ganzes Dasein hing von diesem Verkehr ab.“⁷⁸⁸ „Mersey und Clyde waren die Lungen, mit denen wir atmeten. [...] Das einzige, was mich während des Krieges wirklich beängstigte, war die Bedrohung durch die U-Boote.“⁷⁸⁹

Auch *Flight* unterstrich die Bedeutung des strategisch weniger wichtigen Holzes und der Holzverarbeitenden Industrie: *„The choice of wood construction also meant that a great deal of labour would become available which had not previously been used to many great extent in the war effort.“⁷⁹⁰*

Hatte man in den 1920er Jahren in Großbritannien aus strategischen Gründen noch auf den Metallbau bestanden (*„Under a report of 1921 it was officially decreed that in the production for military orders metal would be used instead of wood. The decision was a strategic one, since timber for spars and other oars was not grown in Britain and was difficult to store in quantity, and its delivery had, during World War I, been made difficult by U-boat blockades, which interrupted supplies from North America. The raw material for metal construction on the other hand was available locally and also presented fewer problems of storage.“⁷⁹¹*) und den Holzflugzeugbau 1932 bereits als überkommen und veraltet abgetan: *“Indeed, as a result of the steady progress in rearmament of recent years, it may be said that the era of wooden aircraft has, in so far as the Royal Air Force is concerned, passed into history, and in 1932 its first-line units will be wholly equipped with machines either of all-metal structure or composite of metal and wood. Wood is, indeed, now employed only for the wings and tail units of a very small number of the older types and for certain small components.“⁷⁹²*, wurde die Materialwahl im Zweiten Weltkrieg durch die modernen Sperr- und Pressholzverfahren gerade auch bei der D.H. „Mosquito“ widerlegt und wieder umgedreht.

Es wird deutlich, wie sehr Großbritannien von Importen jeglicher Art abhängig war und wie attraktiv es sicherlich erschien, durch ein Holzflugzeug ein Stück rüstungstechnische Unabhängigkeit zu gewinnen. Außerdem konnten so ungenutzte Industriekapazitäten für die Flugzeugproduktion aktiviert werden, ein wichtiges Argument, das auf nahezu alle anderen Kriegsteilnehmer zutrifft:

⁷⁸⁸ Churchill, Winston S.: Der Zweite Weltkrieg. 3. Auflage. Frankfurt a.M. 2004. Seite 207.

⁷⁸⁹ Ebenda. Seiten 458, 459.

⁷⁹⁰ *Flight* vom 06.05.1943. Seite 468.

⁷⁹¹ Robins 1975. Seite 26; Vgl. hierzu auch Morpurgo 1972. Seite 106.

⁷⁹² *Flight* vom 11.03.1932. Seite 216.

„By 1939 it was widely believed that no more wooden aeroplanes would be built and this might have come true if the War had not created shortages of aluminium and of the machinery and skilled men for handling it. Furthermore there were furniture firms short of work and again the development time for a wooden aeroplane has always been much shorter than that for a metal one.“⁷⁹³

Ein ständig wachsender Bedarf nach immer mehr Kriegsflugzeugen gegen Ende des Krieges bewogen auch Deutschland sich Holzentwürfen zuzuwenden.

Das Alter der deutschen Flugzeugmuster und die alten Qualitätsanforderungen an deren Produktion von vor dem Krieg verursachten Schwierigkeiten, die Luftrüstung auf Kriegsflugzeuge umzustellen. So galten immer noch jene Maßstäbe für Haltbarkeit, die denen des Verkehrsflugzeugbaus vor 1939 entsprachen. Mit Fortdauern des Krieges und der immer kürzer werdenden Lebensdauer von Frontflugzeugen spielte das Argument der Haltbarkeit aber eine immer unwichtiger werdende Rolle. So wurde neben Holz-Kriegsflugzeug-Projekten auch eine „Entfeinerung“ der bestehenden Typen versucht. Die Me 109 erhielt ab 1944 ein hölzernes Leitwerk und schon seit 1943 waren die Möbelhersteller mit der Herstellung von Flugzeugteilen ausgelastet. Auch deutsche Segelflugzeughersteller wurden in die Produktion von hölzernen Leitwerken für die Me 109 miteinbezogen.⁷⁹⁴ Ab Spätsommer 1944 wurde davon gesprochen, dass die Me 109 in Gemischtbau entstehe. In Wirklichkeit erlaubten die Kapazitäten dies nicht. Der Aluminiumbedarf für die Produktion einer Me 109 sank zwischen 1942 und Ende 1944 lediglich von 1012 kg auf 865 kg. Auch die ausreichende Verfügbarkeit von Aluminium durch den anfallenden Schrott verhinderte eine zunehmende „Entfeinerung“ bestehender Flugzeugtypen.⁷⁹⁵ Der Versuch die Me 109 K mit einem hölzernen Flügel auszurüsten scheiterte an der Komplexität dieser Aufgabe: „Die komplizierte Form mit der Fahrwerksausparung war nicht geeignet für den Holzbau.“⁷⁹⁶ Selbst das Leitwerk der Me 262, dem ersten serienmäßig gebauten Jäger mit Turbinenantrieb, sollte teilweise aus Holz bestehen.⁷⁹⁷

Die zunehmende Verwendung von Holzteilen im Flugzeugbau seit 1942 verdeckte, dass es bis dahin im Sinne der Fortschrittsideologie („es war seit 1919 der vornehmste Aus-

⁷⁹³ Gordon 1975. Seite 155.

⁷⁹⁴ Vgl. Selinger, Peter F.: Segelflugzeuge. Vom Wolf zum Mini-Nimbus. Stuttgart 1978. Seite 92 ff.

⁷⁹⁵ Vgl. Budraß 1998. Seiten 822 ff.

⁷⁹⁶ Selinger 1978. Seite 96.

⁷⁹⁷ Vgl. ebenda. Seite 101.

weis eines deutschen Flugzeugunternehmens, in Metall zu bauen.“⁷⁹⁸) war, das kleinste Stück Holz und das letzte Stahlrohr aus den Flugzeugen zu verbannen. Ein Ersatz von Leichtmetall war aus dieser Sicht nur dann gestattet, wenn als „modern“ angesehene Werkstoffe oder Fertigungsverfahren an seine Stelle traten.⁷⁹⁹

Ein anderer Weg war die Produktion von Flugzeugen, die fast ausschließlich aus Holz bestanden. Die Focke-Wulf 154 entstand als Antwort auf die britische „Mosquito“. Obgleich der Prototyp gute Leistungen zeigte, beendeten alliierte Bombenangriffe die weitere Entwicklung des Projekts. Auch die meisten späten Abfangjägerprojekte Deutschlands basierten auf dem Baustoff Holz. *„The Germans did succeed in developing some advanced airplanes that relied heavily on wood structures, such as the Me 163 rocket fighter and the Heinkel He 162 and Henschel 132 turbojets, all of which had wood wings.*“⁸⁰⁰ Jägernotprogramm-Projekte wie die He 162 mit Turbinenantrieb oder der Raketen-Interzeptor Ba 349 „Natter“ waren auf hohen Verschleiß an Flugzeugzellen konstruiert. Auch das führte dazu, dass man verstärkt auf Holz als Werkstoff zurückgriff: *„Die Einfachheit und Leichtigkeit der Bauweise schienen am besten durch die Verwendung von Holz für Flächen und Leitwerke garantiert.*“⁸⁰¹ Eine hohe Lebensdauer war bei der Konstruktion gerade nicht berücksichtigt worden: Der Treibstoff wurde direkt in die hohlen, speziell hierfür imprägnierten Holzflächen gegossen.⁸⁰²

All diese Projekte kamen aber zu spät, um noch in großer Stückzahl produziert zu werden. Ein weiteres interessantes Beispiel für die Rückkehr zu, zuvor als veraltet bewerteten Bauweisen ist die Junkers 352. Wie die Typennummer verrät, handelte es sich dabei um einen Nachfolger der berühmten Ju 52. Vereinfacht ausgedrückt, sollte die Ju 352 schneller und mehr transportieren können, als ihre, bei Kriegsausbruch hinsichtlich ihrer Leistung bereits veraltete, Vorgängerin. Bemerkenswert ist bei der Ju 352, dass das RLM eine Holz-Stoff-Stahlrohr-Konstruktion forderte, da der Strombedarf der Dural-Produktion für den geplanten monatlichen Bau von 300 Flugzeugen, nicht gedeckt werden konnte.⁸⁰³ So musste das Modell auf eine weniger energieintensive Bauart umgestellt werden: *„Der Führerraum, das Rumpffende und die Transporterklappe bestehen aus einer Duralblech-*

⁷⁹⁸ Budraß 1998. Seite 824.

⁷⁹⁹ Vgl. ebenda 1998. Seite 824.

⁸⁰⁰ Schatzberg 1999. Seite 219.

⁸⁰¹ Heinkel 1963. Seite 447.

⁸⁰² Vgl. Heinkel 1963. Seite 447.

⁸⁰³ Vgl. Wagner 1996. Seite 515.

konstruktion. Das Rumpfmittelstück ist eine Stahlrohrkonstruktion mit Stoffbespannung. Die durchgehende Tragfläche mit 34 m Spannweite besteht aus Holz, die Tragflächennase wird aus Duralblech hergestellt und hat eine Enteisungsanlage. [...]. Das Leitwerk besteht teils aus Holz, die Ruder sind dagegen mit Stoff bespannt, teils aber auch ganz aus Dural.“⁸⁰⁴ Der Versuch Dural durch Stahl zu ersetzen scheiterte daran, dass die Stahlindustrie nicht genügend große Mengen an hochwertigen Stählen (mindestens 110 kg/mm² Festigkeit) zur Verfügung stellen konnte.

Das Beispiel der JU 352 zeigt einen neuen Aspekt, der bei der Materialwahl eine Rolle spielen kann: die Berücksichtigung des Energiebedarfs bei der Erzeugung des Werkstoffs. Doch dazu später mehr.

Russland verfügte, ähnlich wie Großbritannien, bei Kriegsausbruch über eine kaum vorhandene Aluminiumindustrie. *„When the Germans attacked in June 1941, the most advanced Soviet fighters had wooden winged or all-wood structures, specifically the LAGG-3, the Mig-3, and the Yak-1.*“⁸⁰⁵ Flight präzisierte die vorwiegend hölzernen Bauweisen der erwähnten Jagdflugzeuge weiter: *„While the Yak-1 and the MIG-3 are of mixed construction, the LAGG-3 is built entirely of wood. Birch is used for the plywood for the wing surfaces of the MIG and LAGG, and pine for ribs and stringers. The spar flanges on the YAK-1 are glued together from numerous pine laminations. The fuselage is developed as a monocoque, divided along the vertical section in two half shells.*“⁸⁰⁶

Auch hier war also die Rohstofflage der Grund für den Holzbau. *„Russia like Finland, possessed vast timber resources, but had to import most of her light metal requirements.*“⁸⁰⁷ Hinzu kam, dass der deutsche Angriff auf die Sowjetunion und die schnellen Gebietsgewinne der Deutschen Truppen die Rohstoffversorgung der russischen Rüstungsindustrie sehr verschlechterte. Zwischen Juli und Dezember 1941 verlor die Sowjetunion *„half of its wheat production, more than half of its meat production, and a third of the Soviet rail network. Lost, too, was 40 percent of the electrical-generation capacity; two-thirds of the supply of such vital raw materials as aluminum, manganese, and copper; and at least three-quarters of iron ore, steel, and coal production.*“⁸⁰⁸

⁸⁰⁴ Wagner 1996. Seite 516.

⁸⁰⁵ Schatzberg 1999. Seite 218.

⁸⁰⁶ Flight vom 02.12.1943. Seiten 622, 623.

⁸⁰⁷ Robins 1975. Seite 34.

⁸⁰⁸ Nove, Alec: An Economic History of the USSR. Harmondsworth, Middlesex 1972. Seite 262.

Der russische Konstrukteur Alexander Jakowlew⁸⁰⁹ lässt in seiner Autobiographie vermuten, dass eine Aluminiumindustrie erst aufgebaut werden musste. Zwar hätte man schon 1924 das erste Ganzmetallflugzeug in Russland gebaut und wäre Mitte der 1920er Jahre zur Ganzmetallbauweise übergegangen, im Zweiten Weltkrieg wurden aber Flugzeuge noch aus Holz, Stahl und Stoff gefertigt.⁸¹⁰

Flight widmete den sowjetischen Flugzeugwerkstoffen im Jahre 1943 einen eigenen Artikel. Darin versucht die Luftfahrtzeitschrift das russische Festhalten am Holzbau aus der Tradition und der (kriegsbedingten) Abwesenheit anderer Fertigungsmethoden zu erklären: „*This predilection for the employment of wood as an aircraft material, more pronounced in Russia than in other countries, is, of course, natural if one remembers the extensive and readily available timber resources of that country. Traditional skill and a high standard of craftsmanship is yet another incentive, and the wood-processing and plywood manufacturing industry has for many years been a feature of Russia's economy. In fact, this development goes as far back as the Napoleonic wars⁸¹¹, when a project was belatedly submitted to the Russian Government to construct military balloons out of thin wooden veneers - the beginning of the plywood industry. There is no doubt that the attention paid by the Soviet Government to the application of wood to aircraft production, and to the development of this technique, has proved of particular value to the Soviet Air Force in the present war. A source of material was available which went a long way towards keeping up the production of aircraft at its present high level of output despite the losses sustained by the German occupation of industrial zones of the country.*“⁸¹²

Die USA mussten einerseits ihre Aluminiumindustrie in der Zwischenkriegszeit aufbauen und hatten andererseits keinerlei Mangel an Holz: „*wooden wings were the norm for U.S. military aircraft until the Grumman 'Barrels'⁸¹³ from 1931. Fuselages were successively of fabric-covered welded steel tube, built-up aluminium and eventually of full duralumin monocoque.*“⁸¹⁴

⁸⁰⁹ Jakowlew, Alexander Sergejewitsch (* 01.04.1906 in Moskau; † 22.08.1989 in Moskau).

⁸¹⁰ Vgl. Jakowlew, Alexander: Ziel des Lebens. Aufzeichnungen eines Konstrukteurs. Moskau 1976. Seiten 49, 149.

⁸¹¹ Napoleons Einmarsch in Russland erfolgte im Jahre 1812.

⁸¹² *Flight* vom 02.12.1943. Seite 622.

⁸¹³ Aufgrund der Rumpfform wurden die Grumman F2F - und die ähnliche F3F - als „Grumman Flying Barrels“ bezeichnet.

⁸¹⁴ Robins 1975. Seite 26.

Erschwerend für die USA kam hinzu, dass sich reines Aluminium kaum für den Flugzeugbau eignet und Deutschland die Formel für das Duralumin lange geheim hielt. Im Krieg waren Aluminium und Stahl ausreichend verfügbar. So gab es 1944 in den USA bereits ein Transportflugzeugprojekt, das als Werkstoff ausschließlich auf rostfreien Stahl zurückgriff.⁸¹⁵ Und obwohl man Anfangs eine Ressourcenverknappung zumindest befürchtete, sollte diese nicht eintreten, was das Hughes-Flugboot belegt. Zunächst war keine Verwendung von strategischen Rohstoffen gefordert, später jedoch hätte Hughes sein Flugboot sehr wohl auch in Aluminium bauen dürfen.

Kanada stellt einen Sonderfall dar. „*In contrast to Germany and the United States, Canada made effective use of wood in its wartime aircraft program.*“⁸¹⁶ Dies ist vor allem deshalb interessant, weil die Rohstoffversorgung in Kanada und den USA vergleichbar war. Obwohl Kanada eine große Aluminiumindustrie besaß, beschränkte es sich während des Zweiten Weltkriegs ausschließlich auf die Konstruktion und Produktion von Holzflugzeugen. Dies lag zum einen an den enormen Holzreserven Kanadas. Zum anderen entstand in Kanada während des Kriegs ein starker Wunsch nach Autonomie und Autarkie. Man wollte Alliiertes sein und nicht nur Kolonie.⁸¹⁷ Schatzberg argumentiert, dass der Holzbau aus einem Konflikt zwischen unterschiedlichen Ideologien erfolgte. Die „*progress ideology of metal*“ wurde durch einen starken kanadischen Nationalismus überlagert, der Kanada als eine „*forest nation*“⁸¹⁸ sah.⁸¹⁹ Das Holzflugzeug wurde so zum Symbol für nationale Autonomie.⁸²⁰

Interessanterweise entschlossen sich sowohl Deutschland als auch Großbritannien erst zum Holzbau, als man militärisch schon mit dem Rücken zur Wand stand, obwohl man eigentlich hätte wissen müssen, welches militärische Potential im Holzflugzeug

⁸¹⁵ Vgl. Flight vom 20.07.1944. Seite 74.

⁸¹⁶ Schatzberg 1999. Seite 219.

⁸¹⁷ Vgl. ebenda. Seite 219.

⁸¹⁸ Ebenda. Seite 221.

⁸¹⁹ Vgl. Lower, Arthur: *The Forest: Heart of a Nation*. In: *History and Myth: Arthur Lower and the Making of Canadian Nationalism*. Vancouver, University of British Columbia 1975. Seiten 193–199.

⁸²⁰ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 221.

„schlummert“. Die „Mosquito“ entstand, als die Briten durch Luftkrieg und Seeblockade am Rande der Niederlage standen, und die Deutschen forschten an Holzflugzeugen, als es schon zu spät für die Serienreife der Projekte war. Das Modernität verkörpernde Metallflugzeug verhinderte jeden Gedanken an die, als rückständig angesehene Holzbauweise, bis die Kriegslage die Existenz der eigenen Nation bedrohte - ein Beweis für die geringe soziale Akzeptanz des Holzbaus und ein Beleg für das Vorhandensein einer „Shifting Baseline“, wie sie bereits in der Einleitung beschrieben wurde. Rational betrachtet, hätte jede kriegsbeteiligte Nation, spätestens mit der sich abzeichnenden langen Kriegsdauer, Holzflugzeuge bauen müssen, denn alle militärischen Argumente sprachen für den Holzbau⁸²¹. Trotzdem verbauten nur jene kriegsteilnehmenden Nationen (mit Ausnahme von Kanada) Holz, die nicht über eine ausreichende Aluminiumindustrie verfügten. Erst spät begann man in Großbritannien (und noch später in Deutschland) Holzflugzeuge zu bauen und interessanterweise tat man das nicht auf Grund der besseren militärischen Eignung des Werkstoffs Holz, sondern weil man in der Holzverarbeitenden Industrie schlummern- de Fertigungspotentiale erkannte. Die Entwicklung im Flugzeug war so atemberaubend schnell, dass man sich zu Beginn des Zweiten Weltkriegs nicht mehr erinnern konnte oder wollte, dass es überhaupt eine materialtechnische Alternative zum Duralbau gab.

Im Wettbewerb der Werkstoffe Holz gegen Metall siegte auf lange Sicht das Metall, wobei auch Holz, trotz Vorurteilen bei Flugzeugbauern und -nutzern, immer wieder seine Vorteile (leicht herzustellen, preiswert und ohne großen Aufwand gewandelten militärischen Einsatzbedürfnissen anzupassen) ausspielen konnte. Vor allem die Krisensituation eines Krieges ließ die Konstrukteure die Materialvorteile des Werkstoffes Holz neu entdecken. Zwangsläufig mussten Kosten und Nutzen eines Werkstoffs neu bewertet werden, wollte man nicht rüstungstechnisch ins Hintertreffen geraten. Der größte Vorteil des Metallbaus, die längere Lebensdauer der Zelle, trat angesichts der kurzen Lebensdauer der Frontflugzeuge in den Hintergrund. Das alles führte zu einer kurzen Wiederkehr der Holzbauweise vor allem während der Zeit des Zweiten Weltkriegs. Der Krieg löste die existierende „Shifting Baseline“ auf und ermöglichte so eine Neubewertung der Werkstoffe. Man kann in diesem Zusammenhang von einer „Setback Baseline“ sprechen. Eine „Shifting Baseline“ ist sehr stabil, wenn sie sich erst etabliert hat. Erst eine Extremsituation wie die eines Weltkrieges schafft es, wie hier im Falle der Flugzeugwerkstoffe, eine

⁸²¹ Vgl. hierzu Richthofen 1929.

solche Baseline aufzuweichen und das auch nur langsam.

In Nischen, wie dem Segelflugzeug- und dem Sportflugzeugbau, konnte sich der Holzbau auch nach dem Zweiten Weltkrieg behaupten.⁸²² Moderne Hochleistungsflugzeuge - ob militärisch oder zivil - bestanden aber schon bald nach dem Krieg nicht mehr aus Holz.

⁸²² Vgl. Robins 1975. Seite 30; Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 102.

6.3 Unterschiedliche Anforderungen = unterschiedliche Werkstoffe

Verschiedene Nutzergruppen haben meist unterschiedliche Anforderungen an ein technisches Artefakt. Dies gilt in besonderem Maße für den Flugzeugbau der beschriebenen Epoche des Werkstoffwandels von Holz zu Metall zwischen etwa 1915 und 1930. Bezüglich des Artefakts Flugzeug stellten die relevanten sozialen Gruppen entsprechend verschiedene Anforderungen, was sich auch an der Materialwahl ablesen lässt. Sinnvoll scheint die Nutzergruppen zunächst in militärische und zivile einzuteilen.

Zum grundsätzlichen Unterschied zwischen Kriegs- und Verkehrsflugzeug hinsichtlich des größeren Zeitdrucks in Kriegszeiten und seiner Auswirkung auf die Produktion von Flugzeugen und anderen Kriegsgütern schrieb de Havilland in seiner Autobiographie: *„The builders of any warplane, or, in fact of any war equipment, would like to have much more time for design and also for testing, but time is a vital factor in war. When the first few Mosquitoes had been given the normal tests it was urgently wanted for operation by the Royal Air Force. This same urgency applies to all warplanes and many defects show up due to the necessity of sending machines out before they can be really ready. If delayed until they were nearly perfect they would never be sent at all.“*⁸²³

Schon 1914 wurde in einem Bericht über die fünfte internationale Luftfahrtausstellung in Paris, der in der Zeitschrift des VDI erschien, auf die unterschiedlichen Anforderungen an militärische oder zivile Flugzeuge (und den verwendeten Materialien) hingewiesen: *„Ein Urteil über die ausgestellten Flugzeuge lässt sich dahin zusammenfassen: Fast alle Flugzeuge waren auf die besonderen Bedürfnisse der Armee oder Marine zugeschnitten. Schnelligkeit und leichte Auseinandernehmbarkeit der Flugzeuge waren Hauptgesichtspunkte, während Sicherheit, Dauerhaftigkeit und große Tragfähigkeit erst in zweiter Linie in Betracht kamen.“*⁸²⁴

Der Autor erkannte zwar die unterschiedlichen Anforderungen an zivile oder militärische

⁸²³ De Havilland 1961. Seite 166.

⁸²⁴ Kaemmerer 1914. Seite 126.

Flugzeuge, wunderte sich aber, wieso immer noch so viel Holz verwendet wurde, obwohl die Wahl des Werkstoffs direkt mit den unterschiedlichen Anforderungen und dem neuerlichen Schwerpunkt auf dem militärischen Flugzeugbau, zusammenhing: *„Hinsichtlich der Baustoffe ist es eigentlich verwunderlich, dass noch verhältnismäßig viel Holz verwendet wird, nachdem die Ausstellungen der letzten Zeit doch unter dem Zeichen der fortschreitenden Verwendung von Eisen und Stahl, insbesondere von gezogenen Stahlröhren gestanden hatten und daraufhin sogar besondere Fabriken für die Herstellung von Einzelteilen der Flugzeuge aus Stahlröhren, wie der Streben, Holme, ja sogar der Rippen der Tragflächen, gegründet waren, die auch dieses Mal wieder in hübsch angeordneten Sonderausstellungen vertreten waren.“*⁸²⁵

Auch *Flight* berichtete von dieser Luftfahrtausstellung. Der Berichterstatter erkannte zwar ebenfalls den Schwerpunkt auf dem militärischen Flugzeugbau, identifizierte diesen aber gerade in der zunehmenden Verwendung von Stahl: *„Another influence which is being brought to bear by the requirements for military work is noticeable in the direction of the use of steel instead of wood in construction. The number of machines on which steel is employed for the chassis is far greater than those in which wood is used, while in several machines steel is utilised for the fuselage, wing-spars, elevator frame and rudder.“*⁸²⁶

Beide Autoren stellten einen Zusammenhang zwischen verwendetem Material und militärischen Anforderungen her. Über die Frage der Materialwahl im militärischen Flugzeugbau bestand aber Uneinigkeit, nicht zuletzt weil die Berichterstatter aus verschiedenen Nationen mit unterschiedlicher Rohstoffbasis kamen.

In den 1920er Jahren beschäftigte sich Wolfram von Richthofen⁸²⁷ mit den unterschiedlichen Materialanforderungen an den zivilen und vor allem an den militärischen Bereich des Flugzeugbaus sehr ausführlich. 1929 veröffentlichte er seine Dissertation mit dem Thema *„Einfluß der Flugzeugbauarten auf die Beschaffung unter besonderer Berücksichtigung militärischer Gesichtspunkte“*⁸²⁸.

Er kam zu dem Ergebnis, dass die Forderungen, die an ein Militärflugzeug gestellt wer-

⁸²⁵ Kaemmerer 1914. Seiten 122, 123.

⁸²⁶ *Flight* vom 13.12.1913. Seite 1347.

⁸²⁷ Richthofen, Wolfram Freiherr von (* 10.10.1895 in Barzdorf, Schlesien; † 12.07.1945 in Bad Ischl).

⁸²⁸ Richthofen, Wolfram von: *Der Einfluss der Flugzeugbauarten auf die Beschaffung unter besonderer Berücksichtigung militärischer Gesichtspunkte*. Berlin 1929.

den, sich in Kriegs- bzw. Friedenszeiten grundsätzlich unterscheiden. Die Anforderungen an ein Militärflugzeug in Friedenszeiten sind denen eines zivilen Flugzeugs sehr ähnlich. So war für ein Friedensmilitärflugzeug, ähnlich einem Zivilflugzeug, wichtig, dass der Bezugspreis des Flugzeugs möglichst gering und seine Lebensdauer möglichst lang war. Im Kriegsfall jedoch spielten diese beiden Eigenschaften eine eher untergeordnete Rolle. Frontflugzeuge hatten ohnehin eine sehr kurze Lebensdauer.⁸²⁹ Im Kriegsfall war es jedoch wichtig, Zugriff auf die erforderlichen Rohstoffe zu haben und diese auch Lagern zu können, ein Argument, das im Frieden kaum von Bedeutung war. Gesichtspunkte wie etwa eine Werkstatteinrichtung ohne aufwendigen Spezialmaschinen oder eine Werkraumgliederung, die eine dezentralisierte Gruppenfabrikation zuließ, spielten bei der Produktion zu Friedenszeiten kaum eine Rolle.⁸³⁰

Diese Anforderungen erklären, dass der reine Holzbau in Friedenszeiten kaum konkurrenzfähig war, im Kriegsfall jedoch die optimalste Wahl blieb.

Die wesentlich längere Lebensdauer der Metallflugzeuge wurde durch höhere Material- und Produktionskosten erkaufte. Dies war bei einer langen Betriebsdauer des Flugzeugs wirtschaftlich durchaus sinnvoll, da sich die Wartungskosten zu den Baukosten umgekehrt proportional verhielten: „*Experience is showing that aircraft of metal construction undoubtedly have a longer life than those of wood, and, in consequence, considerable economies in maintenance costs are being effected.*“⁸³¹ Der Kriegsfall machte den Metallbau auf Grund der, durch Feindeinwirkung, kurzen Betriebsdauer der eingesetzten Flugzeuge wirtschaftlich unrentabel. Dies ist ein Grund, warum man auch im Zweiten Weltkrieg wieder zum Holzbau zurückkehrte. Wie zuvor beschrieben, spielt die Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe, auf nationaler Ebene, eine wichtige Rolle bei der strategischen Bewertung eines Rohstoffs.

Die Verfügbarkeit strategischer Werkstoffe bestimmte im Vorfeld des Zweiten Weltkriegs die Diskussion um den besten bzw. geeignetsten Flugzeugwerkstoff.

Flight beklagte sich, wie bereits erwähnt, über das Fehlen technischer Objektivität in der Werkstofffrage: „*The fact that the change-over was dictated by reasons of supply rather*

⁸²⁹ Richthofen kommt in seiner Dissertation bei den Flugzeugen der deutschen Luftstreitkräfte auf eine durchschnittliche Lebensdauer von lediglich drei Betriebsstunden. (Richthofen 1929. Seite 85.)

⁸³⁰ Vgl. Richthofen 1929. Seiten 50 - 88; Budraß 1998. Seiten 219 - 222.

⁸³¹ *Flight* vom 11.03.1932. Seite 216.

*than by technical (or structural) considerations has been lost sight of.“*⁸³²

Das Zitat bezog sich auf die Entscheidung der britischen Verantwortlichen Mitte der 1920er Jahre im militärischen Bereich den Ganzmetallbau zu favorisieren. Auch Henrich Fokke sah diesen englischen Weg eher als eine Lösung der Beschaffungsschwierigkeiten von Holz im Kriegsfall. Dabei erkannte auch er gerade im Kriegsfall entscheidende objektive Vorteile des Holzbaus: *„Gerade im Kriegsfall wird die schnellere und billigere Beschaffung von Holzflugzeugen gegenüber der Verwendung von Metall bei der von vorneherein gegebenen geringen Lebensdauer von Frontflugzeugen eine ausschlaggebende Rolle spielen, da die ev. größere Lebensdauer eines Metallflugzeugs durch den raschen Verbrauch und das Unmodernwerden der Typen nicht in Erscheinung tritt.“*⁸³³

Flight erklärte entgegen der offiziellen britischen Sichtweise, dass Ganzmetallflugzeuge im militärischen Bereich, bei größeren Flugzeugen im Routendienst oder bei Flugbetrieb in klimatischen Extremen durchaus Vorteile gegenüber der *„stick and string type of construction“* hätten. Dagegen solle jedoch nicht vergessen werden, dass der Metallbau keine Vorteile beim Bau von kleinen oder mittleren Flugzeugen berge, so Flight: *„For aircraft up to some 3,000 lb. gross weight or possibly more, the mixed construction is likely to score in the matter of low weight, mainly because metal has to be of heavier gauge than that required by structural considerations if absurdly thin sections are to be avoided.“*⁸³⁴

Dementsprechend fiel dann auch der abschließende Appell von Flight aus: *„When the time comes to turn out light aeroplanes at the rate of thousands a week, and it becomes possible to use heavy hydraulic presses for real mass production, metal construction will come into its own. But until then, do not let us get into the habit of accepting unquestioningly the doctrine that if all-metal construction is good for Service aircraft it is good for all aircraft. And, above all, do not let us sneer at the wooden or mixed light aeroplane as something inferior, something cheap and nasty. It is not, and those who think it is are merely displaying their own lack of appreciation of the true facts.“*⁸³⁵

Nun ein Beispiel für die unterschiedlichen Anforderungen an Zivil- bz. Militärflugzeuge:

⁸³² Flight vom 20.05.1932. Seite 434.

⁸³³ Entgegnung Henrich Fockes auf den Vortrag Adolf Rohrbachs. in: Jahrbuch der WGL 1926. München/Berlin 1927. Seite 77.

⁸³⁴ Flight vom 20.05.1932. Seite 434.

⁸³⁵ Ebenda. Seite 434.

In der Zwischenkriegszeit wurde, besonders in den Ländern der ehemaligen Entente versucht, militärische Flugzeuge den Anforderungen des Zivilmarktes anzupassen. Hierzu begnügte man sich zunächst mit dem Ausbau des Kriegsgerätes und dem Einbau geschlossener Gasträume. Die auf diese Weise entstandenen Verkehrsflugzeuge blieben aber Stückwerk, da sie eben unter Zugrundelegung ganz anderer Anforderungen entworfen worden waren. Beim Verkehrsflugzeug tritt z.B. Wendigkeit und Steigfähigkeit hinter der Forderung nach hoher Sicherheit zurück. Die Maschine muss stabil sein und leicht gelandet werden können.⁸³⁶

Es gibt aber nicht nur unterschiedliche Anforderungen der Nutzer an Kriegs- oder Zivilflugzeuge. Auch die Anforderungen von Nutzer und Hersteller unterscheiden sich.

Als Beleg für die Anforderungen der sehr wichtigen relevanten sozialen Gruppe der Flugzeugbauer an die Flugzeugwerkstoffe wird hier Adolf Rohrbach angeführt, der bereits 1926 erkannte, dass sich die Anforderungen eines Nutzers grundsätzlich von denen eines Herstellers unterscheiden.

Er äußerte sich in einem Vortrag vor der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt wie folgt: „Die vielfachen Bedingungen, denen bei der Konstruktion eines Flugzeuges genügt werden muss, zerfallen in zwei Hauptgruppen, nämlich in Herstellungsbedingungen und in solche des Verwendungszweckes.“⁸³⁷

Er beklagte die überwiegende Konzentration der Flugzeugbauer auf den Verwendungszweck: „Die Erkenntnis in Bezug auf die Zweckbedingungen und die diesen entsprechende beste Lösung ist stets weiter fortgeschritten, als für die Herstellungsfragen.“⁸³⁸ Rohrbach selbst ordnete der Herstellung wieder einen höheren Stellenwert zu und war davon überzeugt, dass ein moderner Flugzeugbau nur mit einfach zu bauenden, einfach zu wartenden Flugzeugen möglich sei. Diese Priorisierung der Herstellung war bei Rohrbachs Flugzeugen sichtbar. Sie hatten keine auf hohe aerodynamische Qualität ausgelegte, sondern sehr eckige Rümpfe. Der rechte Winkel wurde konsequent der geschwungenen Linie vorgezogen, schlicht weil er einfacher herzustellen war.

Eine Diskussion, die sich 1952 in *Flight* über das Konzept für ein zukünftiges Ultraleichtflugzeug entwickelte, ist ein interessantes Beispiel dafür, wie die unterschiedlichen An-

⁸³⁶ Vgl. Langsdorff 1923. Seite 829.

⁸³⁷ Rohrbach 1926. Seite 64.

⁸³⁸ Ebenda.

forderungen und Bedürfnisse der relevanten sozialen Gruppen an ein Flugzeug dessen Konstruktionsmaterial bestimmen. Das Anliegen der Autoren war, es dem Hobbypiloten zu ermöglichen ohne großen finanziellen Aufwand Flugzeugbesitzer zu werden. Der niedrige Herstellungspreis und wie man ihn erreichen könne war Hauptpunkt der Diskussion. Wichtig waren aber auch Fragen der Fertigungsfreundlichkeit und -einfachheit, die Nutzerfreundlichkeit und Fragen der Wartung und Instandhaltung. Uns soll hier besonders die diskutierte Materialwahl interessieren.

Den Anfang der Diskussion machte der Autor „W. T. G.“, der den niedrigen Preis vor allem durch eine Massenproduktion seines konzipierten Flugzeugs erreichen wollte. *„The overriding factors governing the study have been that (a) The structure has been kept all-metal; (b) the stressed-skin monocoque principle has been carried to extreme; and (c) the number of parts has been cut to an absolute minimum.“*⁸³⁹ Wegen der besseren Eignung des Werkstoffs Metall auch für extremere Klimata und seiner als Monoque-Struktur konzipierten Zelle, propagierte W. T. G. massiv den Metallbau. Er musste aber eingestehen, dass auftretende Schäden bei der Metallstruktur schwerer zu beheben wären. Als Problem sah er das aber nicht, da Schäden seltener aufträten: *„The greatest drawback to this sort of structure is that any damage is likely to be difficult to repair. However, this is partly counteracted by the fact that such a structure is not easily damaged.“*⁸⁴⁰

Die Autoren „F. W. V.“ und „E. B. C.“ glaubten dagegen nicht, dass hohe Produktionszahlen den Metallbau gegenüber dem Holzbau wirklich verbilligen könnten, zumal man für den Metallbau eine teurere Produktionstechnik benötige. Auch seien die Rohstoffe für den Metallbau einfach teurer als für den Holzbau: *„On a metal aircraft, the raw materials (duralumin and steel) are, due to the present shortage, both difficult to obtain and also costly.“*⁸⁴¹ Die Vorteile des Holzbaus fassten sie wie folgt zusammen: *„This type of construction is easy to produce with the minimum of jigging, materials are readily available and any damage is very easily repaired without having recourse to riveting or metal working tools - a useful point to private owners and flying clubs.“*⁸⁴² Der Reparaturaufwand sei nicht zu unterschätzen: *„Machines in this class will receive the usual amount of rough handling, and they will be damaged however sturdily they may be*

⁸³⁹ Flight vom 25.01.1952. Seite 95.

⁸⁴⁰ Ebenda.

⁸⁴¹ Flight vom 28.03.1952. Seite 357.

⁸⁴² Flight vom 08.02.1952. Seite 159.

built. “⁸⁴³ Auch glaubten diese Autoren nicht an die Existenz eines großen Exportmarktes für ein solches Flugzeug. Tropische Klimata würden also bei der Materialwahl kaum eine Rolle spielen.

Es wurde anhand der Beispiele gezeigt, wie die Anforderungen an ein Flugzeug die Werkstoffwahl sehr unterschiedlich beeinflussen können. Deutlich wird, dass der Nutzer den größeren Einfluss auf die Werkstoffwahl hat, unabhängig davon, ob er Anzug oder Uniform trägt. Ein erfolgreicher Flugzeugbauer wird die Vorteile seiner Bauweise, und seien sie noch so rational und stichhaltig, einem Nutzer nicht verkaufen können, der hier andere Vorstellungen hat.

Sind diese Thesen zur Dominanz des sozialen Einflusses bei der Werkstoffwahl nur auf den Flugzeugbau anzuwenden, oder auch auf andere Gebiete? Das folgende Kapitel soll hierzu Antworten liefern.

⁸⁴³ Flight vom 28.03.1952. Seite 357.

7. Der Werkstoffwandel im Vergleich

Mit der industriellen Revolution und des, durch die industrielle Produktion und der Verwendung neuer Energieträger, in der Herstellung billiger gewordenen Eisens und später Stahls, setzte eine allmähliche Verdrängung des Werkstoffs Holz auf verschiedenen Gebieten der Technik ein.

Ausgehend vom Schiffbau, der am dringlichsten Ersatz für die, durch den hohen Bedarf, rar gewordenen langen oder gebogenen Holzbalken der Schiffsstruktur suchte, erfolgte ab der Mitte des 19. Jahrhunderts eine zunehmende Verwendung des Werkstoffs Metall im Schiffsbau. Durch das Metall wurde zusätzlich die Limitierung der Schiffsgröße durch das Maß der Bäume aufgehoben.⁸⁴⁴ Auch hier erfolgte der Werkstoffwandel zunächst über eine Periode der gleichzeitigen Verwendung der Werkstoffe Holz und Metall. Schritt für Schritt wurden einzelne Holzbestandteile der Schiffe durch Eisen ersetzt, bis schließlich der ganze Schiffskörper aus Eisen und später Stahl hergestellt wurde.⁸⁴⁵

Als die Schiffe auf ihren langen Reisen noch nicht überall Docks vorfanden, war das Faulen der hölzernen Schiffskörper, gerade in tropischen Gewässern, ein ernstes Problem, das erst um 1770 durch die Kupferverkleidung der Rumpfe gelöst wurde.

Die Verwendung des rostfreien Kupfers verzögerte zunächst den Ganzmetallschiffsrumpf, da man das Kupfer, auf Grund elektro-chemischer Reaktionen zwischen Eisen und Kupfer in Salzwasser, nicht als Rostschutz für Metallrumpfe verwenden konnte. Bei Kriegsschiffen wurde zum Teil eine Holzschicht zwischen Eisen und Kupfer eingefügt, doch das machte die Rumpfe auch sehr schwer.⁸⁴⁶

Segel- und auch die damals neuen Dampfschiffe wurden bis ins späte 19. Jahrhundert oft in Gemischtbauweise hergestellt. Dabei wurde Eisen häufig für das Rumpferüst verwendet, das man dann mit Holz beplankte, welches wiederum mit Kupfer geschützt wurde. Erst der Preisverfall des Eisens im späten 19. Jahrhundert machte den Gemischtbau un-

⁸⁴⁴ Vgl. Radkau, Joachim: Holz. Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt. München 2007. Seite 75. Mokyr präzisiert den Vorteil des Metallschiffbaus bezogen auf die Schiffsgröße: „Iron ships could be made in any size, and while most costs (and the ship's water resistance) increased with the square of the dimensions, carrying capacity increased with the cube.“ (Mokyr 1990. Seite 128).

⁸⁴⁵ Vgl.: Scholl, Lars U. (Hg.): Technikgeschichte des industriellen Schiffbaus in Deutschland. Hamburg 1994. Seite 15.

⁸⁴⁶ Vgl. Gordon 1975. Seite 142.

wirtschaftlich und förderte den Ganzmetallbau. Den Nachteil des Geschwindigkeitsverlustes der Eisenschiffe auf Grund des höheren Gewichts im Vergleich zu den Gemischtbaus Schiffen wurde durch die Tatsache kompensiert, dass Eisenschiffe härter am Wind gesegelt werden konnten.

Dampfschiffe wurden tendenziell schon früh ganz aus Metall hergestellt, wohl auch, weil der genietete Metallrumpf die Vibration der Motoren schadloser aufnehmen konnte.⁸⁴⁷

In Deutschland ging man im Schiffbau vom Werkstoff Holz nur zögernd ab; anders als in England und Frankreich hielt man noch in den 1860er Jahren auf den Werften an dem Vorurteil fest, dass Eisen als Baumaterial gegen die natürliche Ordnung verstoße. Beim Übergang zum Eisenbau kam in der Folgezeit der entscheidende Anstoß, wie auch später beim Flugzeug, vom Militär. Aber noch 1880 versicherte der Präsident des Deutschen Schiffszimmerer-Vereins, „*die Zeit der Erbauung eiserner Tröge*“ sei „*bald vorüber*“: „*wir werden in Zukunft wieder hölzerne Segelschiffe (sic!) zu bauen bekommen.*“⁸⁴⁸

Ganz anders war die Lage in Großbritannien: 1868 übertraf hier zum ersten Mal die Gesamttonnage neu gebauter Eisenschiffe diejenige der im gleichen Jahr vom Stapel laufenden Holzschiffe.⁸⁴⁹ 1891 waren dann über 80 Prozent der gebauten Schiffe aus Stahl.⁸⁵⁰

Bei den Arbeitskräften und ihrer Verwendung waren im Schiffsbau ähnliche Prozesse zu beobachten, wie später im Flugzeugbau. Mit der steigenden Maschinisierung, beispielsweise durch Nietmaschinen, ging eine Deprofessionalisierung der Arbeitskraft einher. Die teuren Nieter konnten so durch Nietmaschinen ersetzt werden, die zwar in der Anschaffung kostenintensiv waren, in der Folge aber Geld einsparten, da sie von weniger gut ausgebildeten Arbeitern bedient werden konnten.⁸⁵¹

⁸⁴⁷ Vgl. ebenda. Seite 143

⁸⁴⁸ Radkau 2008. Seite 209.

⁸⁴⁹ Vgl. Friel, Ian: *Maritime History of Britain and Ireland*. London 2003. Seite 228.

⁸⁵⁰ Vgl. Mokyř 1990. Seiten 128, 129.

⁸⁵¹ Vgl. Hooper Mc Carty, Foecke 2009. Seite 43 f.

7.1 Luftschiffbau

Der Bau von starren Luftschiffen⁸⁵² ist in Deutschland vor allem mit zwei Namen verbunden: Zeppelin und Schütte-Lanz. Die Luftschiffe der beiden Hersteller unterschieden sich jedoch stark in der Art der verwendeten Materialien.

Graf Zeppelin⁸⁵³ begann sich 1874 mit dem Luftschiffbau zu beschäftigen. Dabei profitierte er von zwei, für den starren Luftschiffbau entscheidenden, Entwicklungen, dem Sinken der Aluminiumpreise und dem sich ständig verringernden Masse-Leistungs-Verhältnis der Benzinmotoren.

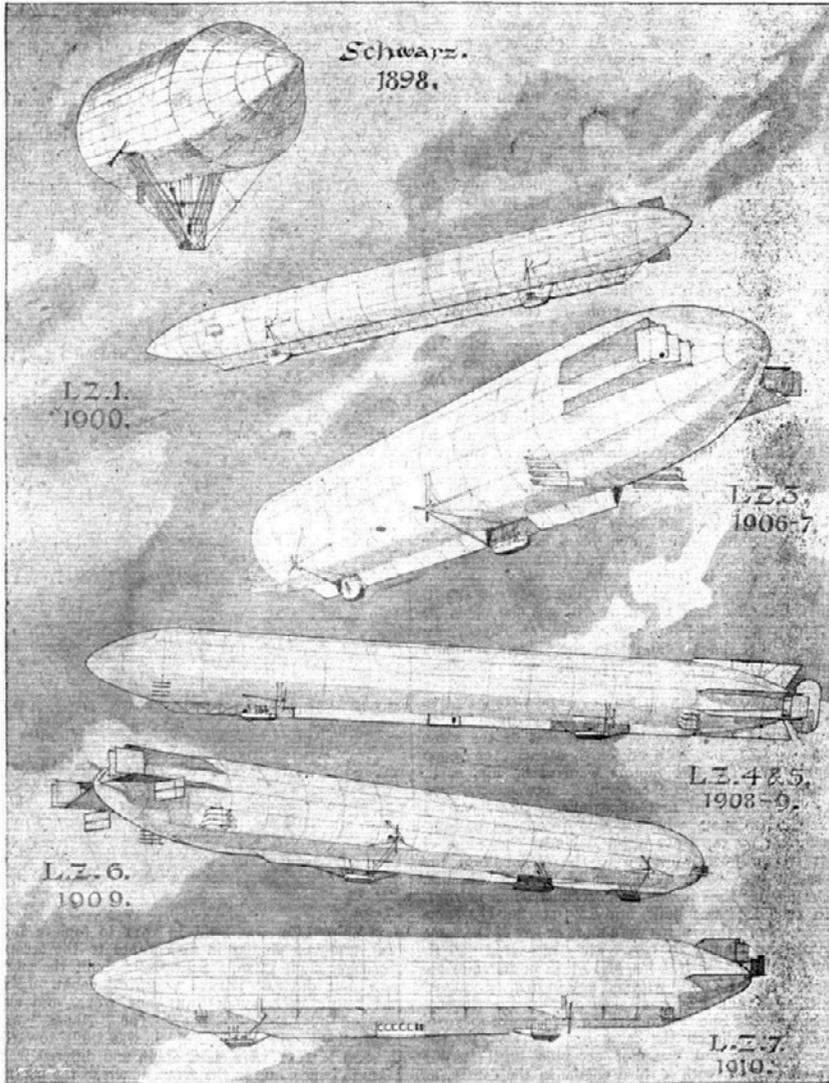
1895 ließ er sein Konzept eines starren Luftschiffs patentieren. Zwischen 1898 und 1899 wurde dann mit der LZ 1 das erste Luftschiff nach den Vorstellungen Zeppelins gebaut. Bereits bei diesem ersten Luftschiff wurden materialtechnisch die Grundlagen für alle folgenden Zeppelin-Luftschiffe gelegt.

Das Luftschiffgerüst, mit Baumwollstoff bezogen und aus Längsträgern und 16 Spanten wurde bei LZ 1 bereits überwiegend aus Aluminiumteilen hergestellt und so erscheint folgende Aussage durchaus berechtigt: „*Die Geschichte des Starrluftschiffgerippes ist also mit der Geschichte der Aluminiumlegierungen eng verknüpft.*“⁸⁵⁴ Den Auftrieb lieferten, wie später auch, wasserstoffgasgefüllte Ballons.

⁸⁵² Im Vergleich zu Prallluftschiffen, bei denen das Traggas sich direkt in der Luftschiffhülle befindet, hat das starre Luftschiff ein festes Gerüst, bei dem sich die einzelnen Traggaszellen innerhalb des Luftschiffgerüsts befinden. Eine Außenhülle schützt die Traggaszellen vor einer zu starken Erwärmung durch die Sonne.

⁸⁵³ Graf von Zeppelin, Ferdinand Adolf Heinrich August (* 08.07.1838 in Konstanz; † 08.03.1917 in Berlin).

⁸⁵⁴ Dürr, Ludwig: Fünfundzwanzig Jahre Zeppelin Luftschiffbau. Berlin 1925. Seite 60. Vgl. auch Budraß 1998. Seite 30.



THE EVOLUTION OF THE ZEPPELIN AIRSHIP IN PICTURES.—Part I, from 1900 to 1910. The Schwarz Airship at the top has been included as the source of inspiration to Count Zeppelin.

Abbildung 55: Die Evolution der Zeppeline. Teil 1. Aus: *Flight* (26.10.1916). Seite 926.

Dabei war Zeppelin nicht der erste, der Aluminium im Luftschiffbau einsetzte. Der Holzhändler David Schwarz⁸⁵⁵ hatte bereits vor Zeppelin ein eigenes starres Luftschiff entwickelt und dabei überwiegend Aluminium verwendet, wobei bei Schwarz die Luftschiffhülle aus Aluminium bestanden hatte. Das Schiff besaß ein Gerippe aus Aluminiumringen

⁸⁵⁵ Schwarz, David (* 20.12.1850 in Zalaegerszeg; † 13.01.1897 in Wien).

im Abstand von jeweils zwei Metern und die Außenabdeckung bestand aus aufgenieteten, zwei Millimeter dicken Aluminiumblechen. Battistsäcke⁸⁵⁶ dienten als Traggaszellen, die Zellen waren mit Wasserstoffgas gefüllt. Der frühe Tod Schwarz', Probleme mit dem Traggas und der frühe Totalverlust durch Absturz des Prototyps verhinderten einen Erfolg der Schwarzschen Konstruktion.⁸⁵⁷

Vor Schwarz hatte bereits der russische Konstrukteur Ziolkowski ein Ganzmetallluftschiff mit tragender Metallhaut konzipiert, für das er jedoch keine finanzielle Unterstützung fand.

Wichtig für die Zeppelin-Luftschiffe ist auch das Wirken Carl Bergs⁸⁵⁸. Der Lüdenscheider Fabrikant machte erfolgreiche Versuche mit Aluminium und Aluminiumlegierungen zur industriellen Herstellung des extrem leichten Metalls, eine wichtige technische Voraussetzung für den zeppelinschen Luftschiffbau. Er belieferte zuerst ausschließlich Schwarz mit dem neuen Konstruktionsmaterial. Der Vertrag konnte nur durch die Bezahlung einer großen Summe abgelöst werden, wonach die Firma Berg an Graf Zeppelin Material liefern durfte.⁸⁵⁹ Nachdem 1909 Duralumin exklusiv von den Dürener Metallwerken angeboten wurde, versuchte Zeppelin trotzdem Berg die Treue zu halten. Erst die Weisung des Reichmarineamtes 1914 zukünftig nur noch Duralumin für Luftschiffe zu verwenden beendete die Zusammenarbeit von Zeppelin und Berg.

Fehlende Erfahrung bei der Montage des Gerippes, aber auch Mängel an der Konstruktion sowie mangelnde Erfahrung mit dem Baumaterial Aluminium machten Zeppelin anfangs Probleme und führten zu erheblichen Verformungen des Luftschiffgerüsts. Eine andere Ursache hierfür war die noch geringe Festigkeit des Aluminiums. Verwendete man bei LZ 1 noch reines Aluminium für die Gitterstruktur, so ging man ab LZ 2 dazu über,

⁸⁵⁶ Baumwollartiges, glänzendes, leichtes, feines, glattes Gewebe in Leinwandbindung aus einem mäßig gedrehten Garn.

⁸⁵⁷ Vgl. Haaland, Dorothea; Knäusel, Hans G.; Schmitt, Günter; Seifert, Jürgen: Die deutsche Luftfahrt. Leichter als Luft - Ballone und Luftschiffe. Bonn 1997. Seiten 106 - 111; Vgl. hierzu auch Marschall 2008. Seiten 103, 104.

⁸⁵⁸ Berg, Carl (* 04.02.1851 in Lüdenscheid; † 26.05.1906 in Bonn).

⁸⁵⁹ Vgl. Dürr, Ludwig: Vom Bau des ersten Zeppelin Luftschiffes. In: Werkzeitschrift der Zeppelin-Betriebe. Nr. 3, 01.11.1936. Seite 5. Zum Thema Aluminium siehe auch das Werkstoffkapitel.

festere und stabilere Aluminiumlegierungen zu verwenden.⁸⁶⁰ Ab 1915 und LZ 26 hatte man die Dural-Verarbeitung so weit im Griff, dass von nun an die Gitterstruktur aus diesem Material hergestellt werden konnte.

Für die Verarbeitung dieses neuen Materials und der Ermittlung seiner Festigkeitswerte, musste bei Zeppelin Grundlagenforschung betrieben werden, für die unter anderem Claude Dornier angestellt wurde: *„Die Materialprüfung, die sich ursprünglich auf die Bestimmung der Zugfestigkeit und Dehnung beschränkte, wurde mit der wachsenden Erkenntnis der Bedeutung der Elastizitätseigenschaften auf die Ermittlung der Elastizitätsgrenze und der Streckgrenze durch Feinmessung erweitert. Der Einfluß der Wärmebehandlung, der Glühdauer und der Kaltverdichtung wurde durch systematische Versuche ergründet. Der Alterungsprozeß wurde verfolgt, Korrosionsversuche unter den verschiedensten Bedingungen durchgeführt und Versuche mit Schutzüberzügen angestellt.“*⁸⁶¹

Der materielle Aufbau des 13 Tonnen schweren LZ 1 wurde wie folgt beschrieben:

„Die Form des Körpers war ein 24-Eck, gebildet durch Ringe, an deren Ecken die Längsträger in I-Form mit Winkeln ausgekreuzt über die ganze Länge bis zur Bug- und Heckspitze durchliefen. Dieselben wurden mit den Ringecken stumpf gestoßen und durch Winkellaschen und Nieten verbunden. Die Verspannung der Ringe war durch Radialseile sowie durch drei Ecken überspringende Sehnenseile, erstere in Stahl-, letztere in Aluminium-Drahtseil gebildet. Die Längsträgerfelder waren zur Längsversteifung mit schräglauflenden Drähten verspannt. [...] Längs des zylindrischen Schiffsteils war am untersten Feld eine Laufplanke aus Aluminiumprofilen und gelochtem Blech mit Drähten aufgehängt. [...] Für die Aufnahme des Triebwerks dienten zwei aus Aluminiumblech auf Spannten gebaute Gondeln, die mit Aluminiumrohren und Drahtseilen an das Gerippe aufgehängt wurden. [...] Für die Aufnahme des Traggases hatte jedes der 17 Abteile eine Zelle aus gummiertem Baumwollstoff, der mit 60 g Gummiauflage 150 g/m² wog. [...] Die Überdruckventile bestanden aus einer Gummimembrane. [...] Die äußere Verkleidung des Tragkörpers bestand im oberen Teil aus wasserdicht imprägniertem Baumwollstoff, Pegamoid⁸⁶² genannt, welcher zusammengenäht und durch Ösen und Schnüre an den

⁸⁶⁰ Vgl. Dürr 1925. Seite 32; Wissmann 1975. Seite 151.

⁸⁶¹ Dürr 1925. Seite 34.

⁸⁶² Ein nach besonderem Verfahren imprägnierter Stoff, welcher abwaschbar ist und auch als Wandbekleidung der Kammerschotte im Schiffbau Verwendung fand. Auch als Kunstleder bezeichnet.

*Längsträgern, durch Ösen und Knöpfe an den Ringen befestigt war. [...] Die untere Hälfte war mit imprägniertem Seidenstoff von 48 g/m² verkleidet.“*⁸⁶³

Als Schiffskörperhülle verwendete man danach nur noch Baumwollstoff, der durch das Millerain-Verfahren wasserundurchlässig imprägniert war. Später wurde dann Cellon als Imprägnierungsmittel verwendet. Es macht den Stoff nicht nur wasserundurchlässig, sondern verleiht ihm auch eine glatte Oberfläche und eine höhere Festigkeit. Die Imprägnierung wurde durch mehrmaliges Streichen und Abschleifen aufgebracht. Die Beimischung von Aluminiumpulver zur Imprägnierung erhöhte die Wärmeisolierung des Schiffskörpers und damit die der Traggaszellen, indem es die auftreffenden Sonnenstrahlen reflektierte.⁸⁶⁴ Außerdem schützte das Aluminium den Hüllstoff selbst, da es ihn vor der zerstörenden Wirkung der ultravioletten Strahlung schützte.⁸⁶⁵

Auch wenn sich die Abmessungen der Zeppelin-Luftschiffe über die Jahre vergrößerten, sich die Aerodynamik und die Steuerung verbesserte und leichtere und stärkere Motoren Verwendung fanden, so blieb die Grundstruktur und die verwendeten Materialien weitestgehend gleich. Es gab nur geringe Änderungen.

Zum einen verlangte die Fragilität des ersten Luftschiffgerüsts nach Verbesserungen der Tragkörperstruktur. Außerdem sollte das Gerüst leichter und stabiler werden. Man ging dazu über Längs- und Ringträger mit dreieckigem Querschnitt zu verwenden. Auch verbesserte Metalllegierungen hielten Einzug in die Konstruktionen: *„Nicht ohne Einfluß auf die Verbesserung der Luftschiffkonstruktion war das Erscheinen hochwertiger Stahlsorten in handelsüblichen Formen auf dem technischen Markte. In wichtigen Einzelteilen maschinenbaulicher und schiffsbaulicher Natur sind diese angewendet worden; am meisten als hochwertige Stahldrähte für die so wesentlichen Verspannungen des Gerippes.“*⁸⁶⁶

Auch das neue Duralumin hielt nach seiner Entwicklung 1909 Einzug in den Luftschiffbau.

Zum anderen erwiesen sich die Traggaszellen aus dem Baumwoll-Gummi-Gemisch als zu

⁸⁶³ Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seiten 282, 283.

⁸⁶⁴ Zum Problem des „super-heating“, der Aufheizung des Luftschiffs im Sonnenlicht, vgl. Morpurgo 1972. Seite 114.

⁸⁶⁵ Vgl. Dürr 1925. Seite 80.

⁸⁶⁶ Ebenda. Seite 33.

luftdurchlässig.⁸⁶⁷ Zusätzlich bereiteten die anfangs verwendeten gummierten Stoffzellen wegen ihres großen Gewichts erhebliches Kopfzerbrechen. Des Weiteren neigten sie zu elektrischer Aufladung, was eine ständige Gefahr durch Funkenflug bedeutete. Solchen Materialproblemen durch die Einführung neuer anorganischer Materialien zu begegnen, schaffte man hier, aus Mangel an einer anorganischen Werkstoffalternative, nicht. Mit der Goldschlägerhaut⁸⁶⁸, welche aus der äußeren Haut von Rinderblinddärmen gewonnen wurde, fand man 1908 die Lösung in einem konservativen, zutiefst organischen Material. Erstmals kam die Goldschlägerhaut bei LZ 7⁸⁶⁹ zum Einsatz.

War es anfangs noch möglich ausreichende Mengen der Haut zu beschaffen, so wurde dies mit der Zunahme der Luftschiffgröße immer schwieriger. *„Die ausreichende Beschaffung von Rinderblinddärmen wurde zum Hauptproblem, denn für ein einziges Luftschiff mit 38.000 Kubikmeter Volumen, der Größe der Luftschiffe im Ersten Weltkrieg, wurden mindestens 500.000 Stück benötigt, weil die Häutchen siebenfach übereinander geklebt werden mussten. Für spätere und größere Schiffe konnte der Bedarf auf über 700.000 Rinderblinddärme ansteigen. Selbst in den Tiefen Russlands und Amerikas ließ man die Rinderblinddärme für den Luftschiffbau sammeln.“*⁸⁷⁰ Wegen des hohen Preises dieses Materials ging man dazu über, Goldschlägerhaut oder andere tierische Häute mit leichtem Baumwollstoff zu verkleben. Aus Mangel an Baumwolle wurde im Krieg auch Seide verwendet. Um die Wasserbeständigkeit dieses Mischmaterials zu erhöhen wurde die fertige Haut mit Firnis imprägniert. Zur Herstellung des Mischgewebes aus Goldschlägerhaut und Baumwollstoff schrieb die Zeitschrift der Zeppelin-Betriebe: *„Bei der Ballonabteilung in Berlin-Tempelhof werden die gesalzenen Häutchen in Wasser eingeweicht, dann gewaschen und untersucht und schließlich in ein Glycerinbad gebracht. Häutchen mit starken Fettadern und solche, die nicht mehr frisch genug sind, werden ausgeschaltet. Die noch nassen Häutchen kommen jetzt in die Kleberei, wo sie auf großen Klebetischen oder Trommeln schieferdachförmig an- und übereinander geklebt werden. Die zweischichtige, trockene Haut wird dann in der Dubliererei auf Tischen ausgespannt und mit einem hochwertigen Baumwollgewebe überklebt. Es folgt dann noch das Firnis-*

⁸⁶⁷ Vgl. ebenda. Seite 8.

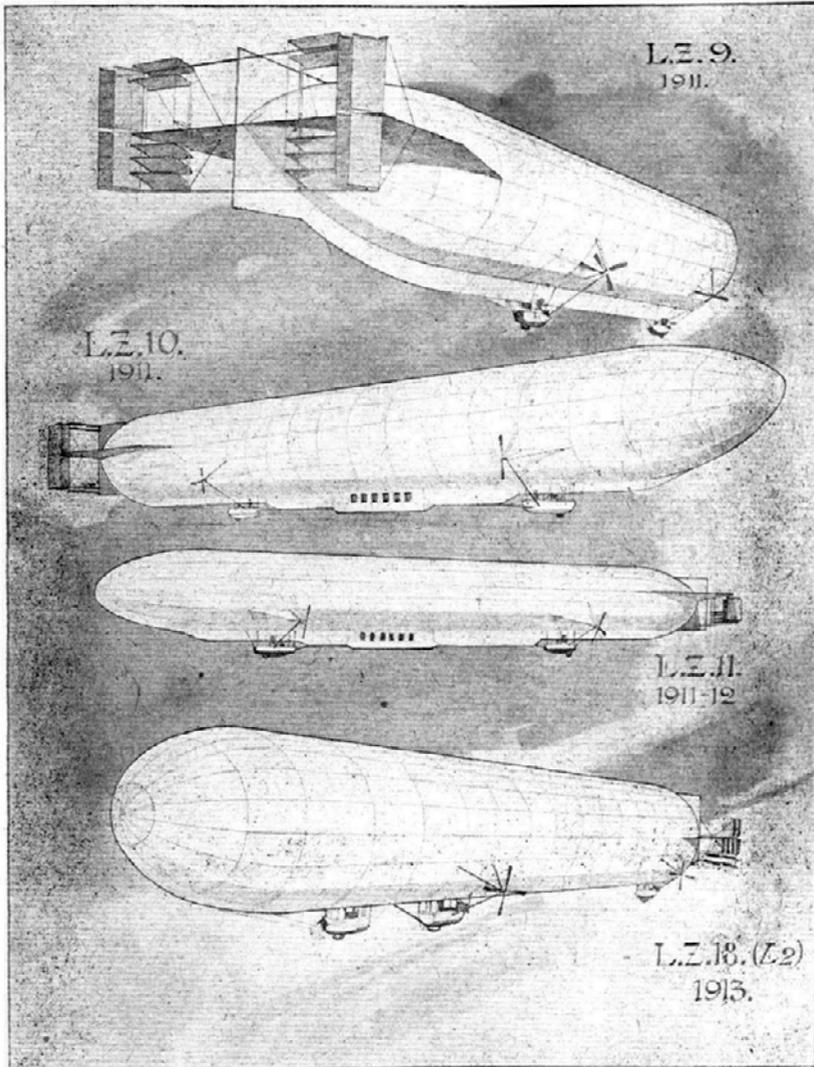
⁸⁶⁸ Die Bezeichnung wird zurückgeführt auf die Arbeit des Goldschlägers, der das Edelmetall zu hauchdünnem Blattgold austreibt und es dazu in eine feine Haut einlegen muss.

⁸⁶⁹ Erstflug: 19.06.1910.

⁸⁷⁰ Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 268. Vgl. auch Dürr 1925. Seite 49; Marschall 2008. Seite 106.

sen der einzelnen Stoffbauteile und das Zuschneiden und Zusammenkleben derselben zur fertigen Zelle.“⁸⁷¹

Gegen Ende der 1920er Jahre ermöglichten dann neue Imprägnierverfahren bei Stoffen den vollständigen Verzicht auf tierische Ballonmaterialien.



THE EVOLUTION OF THE ZEPPELIN AIRSHIP IN PICTURES.—Part II, from 1910 to the outbreak of war.

Abbildung 56: Die Evolution der Zeppeline. Teil 2. Aus: *Flight* (26.10.1916). Seite 927.

⁸⁷¹ Werkzeitschrift der Zeppelin-Betriebe. Nr.1. 01.01.1937. Seite 19.

Selbst im Ersten Weltkrieg änderte sich an den verwendeten Materialien wenig. Um große Reichweiten zu erzielen und möglichst viel Bombenlast zu transportieren, mussten die Schiffe vor allem größer werden. Zwischen 1913 und 1917 nahm die Länge von 158 m (LZ 18) auf 226,5 m (LZ 104) zu.⁸⁷² Auf dem Höhepunkt der deutschen Starrluftschiffproduktion wurde alle 10 Wochen ein neuer Zeppelin in Dienst gestellt.⁸⁷³ Die hohe Verwundbarkeit der großen und langsamen Luftschiffe durch die gegnerische Flugabwehr führte bereits vor Kriegsende zur Einstellung der strategischen Luftschiffoperationen.⁸⁷⁴ Nach Ende des Ersten Weltkriegs und nachdem die Bestimmungen des Versailler Vertrags gelockert worden waren, erlebte das Luftschiff vor allem in Deutschland eine Renaissance als ziviles Transportmittel. Den Schluss- und zugleich Höhepunkt dieser Entwicklung setzten die beiden Schwesterluftschiffe LZ 129 „Hindenburg“ und LZ 130 „Graf Zeppelin“ II⁸⁷⁵.

Bei der Struktur des 245 m langen Luftschiffs LZ 129 vertraute man auf das bewährte Prinzip: *„Die Bauart der Träger hat sich im Laufe der Jahre nur insofern geändert, als den höheren Beanspruchungen mit größer werdenden Schiffen entsprechend größere Trägerbauhöhen und Materialstärken gewählt werden mussten. An dem Dreiecksträger an sich ist festgehalten worden, [...]“*⁸⁷⁶

⁸⁷² Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 302.

⁸⁷³ Morpurgo 1972. Seite 99.

⁸⁷⁴ Zum Luftschiffkrieg im Ersten Weltkrieg vg. Wissmann 1975. Seiten 158 – 162.

⁸⁷⁵ Erstflug LZ 129: 04.03.1936; Erstflug LZ 130: 14.09.1938.

⁸⁷⁶ Dörr, Wilhelm Ernst: Das Zeppelin-Luftschiff „LZ 129“. In: Zeitschrift des VDI. Band 80, Nr. 13. 1938. Seite 380.

Neu war der Einbau der Fahrgasträume. Diese waren nicht mehr in externen Gondeln untergebracht, sondern in den Rumpf integriert, was die Aerodynamik des Luftschiffs verbesserte. Neu war ebenfalls das Material der Traggaszellen. Zwischen zwei Stofflagen befand sich ein neuartiger Filmstoff, der nicht mehr aus tierischen Häuten bestand. Diese neuen Traggaszellen, waren den früheren qualitativ ebenbürtig, dabei aber halb so teuer und schneller herzustellen. Zur Herstellung dieses Filmstoffs schrieb die Werkzeitschrift der Zeppelin-Betriebe: *„Die Herstellung des Filmstoffes erfolgt auf einer Spezialstreichmaschine. Mittels derer auf einen engmaschigen Baumwollstoff fünfzehn Aufstriche mit vier verschiedenen Imprägnierungsmassen gegeben und die Imprägnierungsschicht (Film) mit einer dünnen Baumwollgaze überzogen wird.“*⁸⁷⁷

Der vollständige Übergang von organischen zu anorganischen Materialien erfolgte bei den Zeppelin-Luftschiffen damit erst in den 1930er Jahren.

Johann Schütte⁸⁷⁸ baute ab 1908 ebenfalls starre Luftschiffe. War der strukturelle Aufbau bei Schütte und Zeppelin ähnlich, so unterschieden sie sich jedoch hinsichtlich der Materialwahl, signifikant voneinander.

Beeinflusst von den Problemen und Unfällen der damaligen Zeppeline (LZ 4) stellte Schütte, der ab 1904 den Lehrstuhl für Theorie des Schiffes und Entwerfen von Schiffen an der Technischen Hochschule in Danzig übernahm, eigene Untersuchungen und Überlegungen zur Verbesserung der Luftschiffstruktur an. Betrat Zeppelin auf dem Gebiet der Konstruktion größtenteils persönliches Neuland, so griff Schütte konsequent auf seine Vorkenntnisse aus dem Schiffbau zurück. Jedoch unterschätzte er anfänglich die eigenen Gesetzmäßigkeiten des Mediums Luft. So schlug er beispielsweise horizontale und vertikale Stabilisatoren am Heck vor. Solche Stabilisatoren hatten sich bei Schiffsrudern seit langem bewährt, zeigten bei Luftschiffen aber nicht dieselbe Wirkung.⁸⁷⁹

Schütte verfügte als Hochschulprofessor nicht über die nötigen Mittel ein eigenes Luftschiff zu bauen. Er war auf einen Geldgeber angewiesen, den er 1908 in dem gleichaltrigen Landmaschinenindustriellen Karl Lanz⁸⁸⁰ fand. Lanz war an technischen Entwicklungen auf den verschiedensten Gebieten interessiert. Er verfolgte sie umso mehr, als sich abzeichnete, dass durch das Populärer-werden von Elektro- und Dieselmotoren, der Lo-

⁸⁷⁷ Werkzeitschrift der Zeppelin-Betriebe. Nr.1. 01.01.1937. Seiten 19, 20.

⁸⁷⁸ Schütte, Johann Heinrich Karl (* 26.02.1873 in Osterburg bei Oldenburg; † 29.03.1940 in Dresden).

⁸⁷⁹ Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 197.

⁸⁸⁰ Lanz, Karl (* 18.05.1873 in Mannheim; † 18.08.1921 ebenda).

komobilienbau, der bis zur Jahrhundertwende zum wichtigsten Teil des Unternehmens geworden war, an Bedeutung verlieren würde. Nachdem Graf von Zeppelin das lanzsche Angebot den Luftschiffbau Zeppelin nach Mannheim zu verlagern abgelehnt hatte, der Absturz von LZ 4 gezeigt hatte, dass die Entwicklung eines sicheren Luftschiffs keinesfalls als abgeschlossen betrachtet werden konnte und Schütte an Lanz mit der Bitte um finanzielle Unterstützung herangetreten war, willigte Lanz 1909 in das Joint-Venture Luftschiffbau Schütte-Lanz ein.

Im Gegensatz zu Zeppelin verzichtete Schütte auf die Verwendung von Leichtmetallen für sein Rumpferüst. Er konstruierte das Gerippe vollständig aus Voll- und Sperrholz, genauer gesagt, er zog als Baumaterial für die Profile der Träger das Sperrholz dem Aluminium vor: *“Ich entschied mich für Holz, und zwar das der Espe, Aspe oder Zitterpappel, weil es sehr langfaserig, leicht, zäh und gut zu bearbeiten war. Die aus diesem Holz gewonnen Furniere eigneten sich besonders gut für die Herstellung aller möglichen Profile unter Anwendung des Kaltleimverfahrens (Kasein).”*⁸⁸¹ Die Träger selbst bestanden aus drei 1 mm dicken, zusammengeleimten Holzfurnieren, deren Fasern teils längs, teils quer verliefen.⁸⁸²

Es kamen jedoch auch Metalle bei der Konstruktion zum Einsatz. Drahtverspannung und hölzerne Konstruktionsteile wurden durch Duraluminbleche verbunden, die mittels Messing- und Stahlhohnieten wiederum mit dem Holz verbunden wurden.⁸⁸³ *“Die Nebenteile werden aus Stahl, Dural, Messing, Kupfer, Aluminium und Elektron hergestellt, und zwar Nieten je nach dem entsprechenden Hauptbaustoff aus Stahl und Dural, bei Sperrholz in Form von Hohnieten aus Messing (auch Alum., Dural); Hohniete in Dural und Stahlblechen als Augverstärkung aus Stahl; Knotenpunktsteile aus Dural und Stahlblech, einzelne Formstücke z.B. an Knotenpunkten aus Stahl, Dural und Aluminium, untergeordnete Teile, die für die Tragkonstruktion nicht lebenswichtig sind, auch aus Elektron.”*⁸⁸⁴ Die Gondeln für Motoren und Fahrgäste bestanden aus einem einfachen Stahlrohrgerüst mit Stoffumspannung. Die Materialien für Gaszellen und Schiffshülle unterschieden sich nicht grundsätzlich von denen Zeppelins.

⁸⁸¹ Schütte, Johann: Der Luftschiffbau Schütte-Lanz 1909 – 1925. München, Berlin 1926. Seite 4.

⁸⁸² Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 208.

⁸⁸³ Ebenda. Seite 225.

⁸⁸⁴ Schütte 1926. Seite 75.

Zur Frage, warum er Holz als Hauptwerkstoff verwendete, schrieb Lanz 1926:

*“Die Wahl des Baumaterials für das Gerüst ist zweifellos von erheblicher Bedeutung in Bezug auf Gewicht und Festigkeit. Das Material selbst kann aber niemals als ein ausschlaggebender Faktor des Systems, oder seiner Konstruktion angesehen werden. Man wird stets bemüht bleiben müssen, das zurzeit zweckmäßigste Material zu finden [sic!]. Im Übrigen schließe ich mich der Ansicht des Generaldirektors der Zeppelinwerke an, daß man schon ein Überlaie in Luftschiffdingen sein müsse, wenn man die Verwendung des Aluminiums als etwas Wesentliches in der Erfindung des starren Luftschiffes betrachtet. Und was vom Aluminium gilt, gilt von jedem anderen in Frage kommenden Baumaterial, so auch vom Holz, das als Gerüstmaterial bis zu einer gewissen Schiffsgröße jeden Vergleich mit anderen Materialien aushält. Hinzu kam noch, daß 1909 und in der Folgezeit die Profile des Duralumins bezüglich ihrer Festigkeit zunächst noch so wenig vertrauens-erweckend waren, daß die Verwendung dieses Materials ausschied, denn keine Konstruktion ist stärker als ihr schwächster Teil.”*⁸⁸⁵

Zur Motivation Schüttes Holz als Hauptkonstruktionsmaterial zu wählen gehört auch, dass er schon früh das Militär als zukünftigen Kunden ausmachte und dass er befürchtete, eine Metallkonstruktion könnte die funktelegraphische Nachrichtenübermittlung ohne Explosionsgefahr nicht gewährleisten.⁸⁸⁶

Das obige Zitat von Lanz bedarf jedoch der eingehenden Betrachtung. Schütte machte die Verwendung von Holz gerade nicht zu dem Hauptunterscheidungsmerkmal zwischen seinen und Zeppelins Luftschiffen. Er begründete seine Materialwahl mit reiner Zweckmäßigkeit. Die Verwendung von Aluminium machte anfangs Schwierigkeiten. Man musste erst die richtigen Legierungen und Verbindungsmethoden entwickeln. Gegen Schüttes Holzkonstruktion spricht, dass auch sie anfangs enorme Schwierigkeiten bereitete. Bei dem Bau des ersten Schütte-Lanz-Luftschiffs SL 1 stellte sich heraus, dass der frost- und wasserfeste Leim nicht hielt. Das gesamte Gerippe musste nach der Fertigstellung mit Leinöl und Lack gestrichen werden, was sowohl Mehrkosten als auch ein höheres Gewicht bedeutete. Beim Einbau und Füllen der Gaszellen kam es zu Deformationen und Brüchen. Das SL 3 litt unter der Feuchtigkeit an der Nordseeküste, da das Holzgerippe zuviel Nässe aufsaugte und dadurch schwerer wurde. Auch die Leimung und die Festigkeit litten und auch bei den Kriegsluftschiffen der Firma Schütte-Lanz machte die Holz-

⁸⁸⁵ Ebenda. Seiten 4, 5.

⁸⁸⁶ Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 207.

konstruktion ständig Probleme⁸⁸⁷ und so erscheint Wissmanns Urteil über die Schütte-Lanz-Luftschiffe nicht unberechtigt: *“Die nach der geodätischen Bauweise hergestellten Holzgerüste waren jedoch nicht so leicht und fest wie die Leichtmetallgerüste Zeppelins.”*⁸⁸⁸

Erst am Ende des Ersten Weltkrieges wurden bei Schütte-Lanz lange Versuchsreihen mit Aluminiumträgern durchgeführt. Sie führten zu der Erkenntnis, dass diesem Material die Zukunft gehöre.⁸⁸⁹

Die Zweckmäßigkeit des Holzbaus als Leitmotiv bei der Materialwahl Schüttes, muss auf Grund der Werkstoffprobleme, die den Schütte-Lanz-Luftschiffbau begleiteten und der positiven Ergebnisse, die man bei den Aluminium-Versuchen erzielte, klar verneint werden. Argumente der Materialverfügbarkeit, des militärischen Bedarfs und letztendlich des Preises haben mit hoher Wahrscheinlichkeit eine große Rolle gespielt. Zu den militärischen Vorteilen der Holzbauweise wurde auch gezählt, dass die höhere Elastizität des Luftschiffs ein raueres Umgehen mit ihm erlaubte.⁸⁹⁰ Ein weiterer großer Vorteil des Holzgerippes, der vor allem die Militärs beeindruckt haben dürfte war die Reparaturfreundlichkeit dieser Bauweise. Bei Trägerbrüchen lässt sich das schadhafte Stück leicht ausschneiden und ein Ersatzstück durch Anschiften⁸⁹¹ ohne Festigkeitsverlust einleimen. Außerdem beschränkt sich beim Holz wegen seiner hohen Elastizität die Überbeanspruchung und Zerstörung meist auf eine einzige schwache Stelle.⁸⁹²

Im Gegensatz zu Zeppelin, schaffte es Schütte nach dem Ersten Weltkrieg nicht seine Schiffe im Ausland, speziell in den USA, zu vermarkten. Nachdem die Entschädigungszahlungen, die von der deutschen Regierung für das verhängte Bauverbot und die Demontage der Luftschiffhallen, aufgebraucht waren, musste der Schütte-Lanz-Luftschiffbau eingestellt werden.

⁸⁸⁷ Vgl. ebenda. Seiten 208f., 231, 234.

⁸⁸⁸ Wissmann 1975. Seite 155.

⁸⁸⁹ Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 247.

⁸⁹⁰ Diese Feststellung wurde gemacht, nachdem SL 1 unkontrolliert nieder gegangen war und nur mit leichten Schäden wieder zurück nach Rheinau gebracht werden konnte. Vg. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 216.

⁸⁹¹ Einen Balken durch Annageln seitlich schräg an einen anderen anfügen.

⁸⁹² Vgl. Schütte 1926. Seite 90.

Die europäischen Nachbarn und auch die USA zeigten sich beim Bau starrer Luftschiffe im Gegensatz zum deutschen Reich zurückhaltender.

*“British statesmen did their best to avoid accepting hard facts, and both political parties in company with most diplomatic commentators persisted in ignoring the threat represented by Count von Zeppelin.”*⁸⁹³

Das Nichtexistieren eines eigenen Luftschiffbaus und im Angesicht der deutschen Erfolge auf diesem Gebiet, entstand in Großbritannien schon vor dem Ersten Weltkrieg ein bedrohliches Gefühl der technischen Rückständigkeit, von der man sich auch bedroht fühlte. *Flight* beklagte 1909 das Nichtvorhandensein britischer Luftschiffe im Angesicht der deutschen Erfolge: *“And hence the question is but a natural one: How long is Great Britain going to be content without her Zeppelins? What this old soldier has done for his country could easily be done by hundreds of younger men on this side of the German Ocean. Nor is it either the skill or the desire that is lacking amongst our own people. And surely it can hardly be the mere cost in pounds, shillings and pence that permits other nations to take the lead in new developments with so much ease! The money itself is as nothing to thousands of patriotic Britons. But it is the sad lack of interest in science for science sake, or in progress for the sake of industry in the abstract, that causes the United Kingdom to be still waiting for her Zeppelins.”*⁸⁹⁴

Zwischen 1911 und 1921 entstanden in Großbritannien 15 Starrluftschiffe, die fast ausschließlich, bis ins Detail den Zeppelin- und Schütte-Lanz-Schiffen nachgebaut waren.⁸⁹⁵

Das HMA No.1, genannt “Mayfly” (zu deutsch “Eintagsfliege”), von 1911 besaß bereits ein Rumpfergüst aus Duralumin, welches der Erbauer Vickers bei den Dürener Metallwerken in Deutschland gekauft hatte. Die Ähnlichkeit zu den Zeppelin-Luftschiffen war auch damals schon offensichtlich. So schrieb *Flight* 1911: *“During two years this airship has been in the course of design and construction, and the lines on which it is built are broadly similar to those of the famous Zeppelin airships that have created so many sensations in Germany.”*⁸⁹⁶

Die Mayfly sollte jedoch nie fliegen: *“At last all was said to be ready, and the leviathan*

⁸⁹³ Morpurgo 1972. Seite 73. Zur politischen und militärischen Einstellung zum starren Luftschiff vgl. Morpurgo 1972. Seiten 80, 81.

⁸⁹⁴ *Flight* vom 05.06.1909. Seite 324.

⁸⁹⁵ Kleinheins, Peter (Hrsg.): Die großen Zeppeline. Die Geschichte des Luftschiffbaus. Düsseldorf 1996. Seite 116.

⁸⁹⁶ *Flight* vom 27.05.1911. Seite 461.

was towed out of her shed one morning⁸⁹⁷ for the purpose of making a trial flight. This, however, never materialised, for the unfortunate vessel, apparently without the least excuse, elected to break in half as she floated on the water. With considerable difficulty the wreck was salvaged and towed back to the shed, where it probably now lies as a monument of wasted effort and money.”⁸⁹⁸

Die Mayfly erwies sich als um mindestens 5 t zu schwer, um fliegen zu können. *“The President of the Court of Inquiry, Rear-Admiral Sturdee (...) called 'Mayfly' 'the work of an idiot'.”⁸⁹⁹*

In der Folge vertraute man in Großbritannien auf den Nachbau deutscher Luftschiffe, die während des Krieges erbeutet wurden. Einzige britische Innovation blieb die Verwendung von schwenkbaren Propellern, die so auch vertikalen Schub erzeugen konnten. Auch hier blieb man weit hinter den deutschen Leistungen zurück. R 27 und R 29 vom Sommer 1918 besaßen eine Nutzlast von gerade einmal 8,6 Tonnen. Der Zeppelin-L 48-Typ hatte schon im Mai 1917 eine Nutzlast von 39 Tonnen.⁹⁰⁰

Im Juli 1918 und September 1919 stellte Short Brothers die Luftschiffe R 31 und R 32 fertig. Diese Schiffe hatten eine Sperrholzstruktur und glichen auch sonst stark dem deutschen SL-e-Typ. Verantwortlich dafür war unter anderem ein ehemaliger Schütte-Lanz-Mitarbeiter, der 1916 mit Konstruktionsunterlagen bei der englischen Admiralität erschienen war.

R 33 und R 34, ebenfalls von 1919, kamen ebenfalls nicht an die Leistungen der Zeppelin-Schiffe heran. Die Nutzlastreserve dieser Schiffe war so gering, dass die Besatzung bei der ersten Atlantiküberquerung von R 34 mit einer leichten Spezialkleidung ausgerüstet werden und kurz vor dem Start um eine Person reduziert werden musste.⁹⁰¹

⁸⁹⁷ Dieser Aufstiegsversuch fand am 22.05.1911 statt.

⁸⁹⁸ Flight vom 30.12.1911. Seite 1126.

⁸⁹⁹ Morpurgo 1972. Seite 75.

⁹⁰⁰ Vgl. Kleinheins 1996. Seite 118. Vgl. auch Morpurgo 1972. Seite 98.

⁹⁰¹ Vgl. Wissmann 1975. Seite 163.

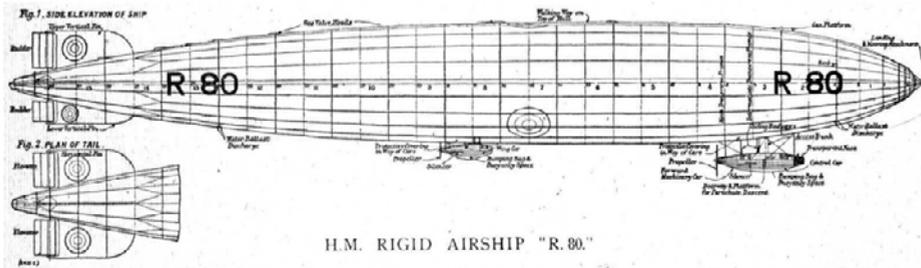


Abbildung 58: Das britische Luftschiff R 80. Aus: *Flight* (26.08.1920). Seite 926.

Mit dem R 80 entwickelte Vickers 1920 erstmals eine eigene Konstruktion, die von der vorher vorherrschenden zylindrischen Form der englischen Luftschiffe abwich. Ebenso wie die beiden Experimentalluftschiffe R 100 und R 101, die Ende der 1920er Jahre entstanden, hatte es wieder eine Duralstruktur. Die Traggaszellen konnten auf Grund ihrer Dimensionen und fehlender Produktionskapazitäten nicht in Großbritannien hergestellt werden: *“Early in the programme (...) it was discovered that in Britain there were no adequate facilities for making gas-bags on the scale required and the contract had to be farmed out to a German firm, B.G. Textilwerke G.M.B.H. of Berlin.”*⁹⁰²

Die USA begannen 1921 ihr erstes eigenes starres Luftschiff zu bauen. Auch die amerikanischen Konstrukteure folgten mit ihrer Struktur den bewährten Zeppelin-Luftschiffen. ZR 1 hatte ähnliche Dimensionen wie das Zeppelin-Luftschiff L 49. Die Verwendung von Helium als Traggas und die massivere Ausführung der Struktur führten zu einer geringeren Nutzlast und Höchstgeschwindigkeit im Vergleich zum Zeppelin.

Flight schrieb 1923 über die Materialprobleme beim Bau von ZR 1: *“The construction, from start to finish, of a rigid airship in America entailed many difficult problems calling for numerous calculations and much research work, whilst the disasters to Z.R.2 (R.38) and the 'Roma' led to a thorough investigation being made into the designs of Z.R.1 including a series of experiments and tests on models and full-size girders, etc. In the production of the aluminium alloy alone was presented a serious problem. As far back as 1916 Comdr. Hunsacker had called to his assistance the Aluminium Co. of America in this connection, and after considerable experiment the metal was finally produced in quantity and of highly satisfactory quality. The problem of fabric was turned over to the*

⁹⁰² Morpurgo 1972. Seite 189.

Darüberhinaus war diese Bauweise leichter als die konventionelle Bauweise mit Stoff und Metallstruktur. Es mussten spezielle Nietmaschinen entwickelt werden, um die Hülle stabil und vor allem luftundurchlässig zu gestalten. Die Übergangsstellen mussten zusätzlich mit einer Bitumenmasse abgedichtet werden. Des Weiteren forschte man nach Möglichkeiten um die Dural-Korrosion in den Griff zu bekommen. Hier profitierte man, wie im Flugzeugbau, von der Erfindung des Alclad-Prozesses.⁹⁰⁵ Ein Mantel aus reinem Aluminium schützte den Duralkern. All diese aufwendigen (Material-) Forschungen verzögerten den Erstflug des ZMC-2 bis ins Jahr 1929. Die Alclad-Außenhaut des Luftschiffs wurde nach zwei Betriebsjahren (also 1931) noch einmal eingehend auf Korrosion untersucht: *“The results of these tests justify confidence in the metal. In every respect its properties still exceed design specifications by a very comfortable margin. There is evidently no loss in ultimate tensile strength, and very little loss indicated in elongation. [...] With the experience available to date, the sponsors of the metalclad feel no hesitancy in predicting a life for a commercial ship of at least eight to ten years, in so far as corrosion of the hull is concerned.”*⁹⁰⁶

Das Ergebnis der Untersuchung bewies die hohe Haltbarkeit der Aluminiumaußenhaut. Die letzte Fahrt der ZMC-2 fand anlässlich ihres zehnten Geburtstags am 19. August 1939 statt. Trotz dieser langen Lebensdauer, gab es keine metallenen Nachfolger. ZMC-2 und das Luftschiff von David Schwarz blieben die einzigen Vertreter des ganzmetallinen Luftschiffs.

Frankreich hatte 1911, aus Sicht der Materialwahl ein sehr interessantes Luftschiffprojekt. In Anlehnung an LZ 16 konstruierte der Elsässer Joseph Spieß ein Luftschiff unter Verwendung ungewöhnlicher Materialien. Die Bauart dieses ersten und einzigen französischen Luftschiffs starrer Bauart wurde 1914 wie folgt beschrieben: *“Das Traggerüst des Spieß-Luftschiffes ist aus Holzträgern gebildet, und zwar bestehen diese aus viereckigen Streben, die aus fichtenen Brettern zusammengesetzt und einzeln mit doppelten Leinwandstreifen umwickelt sind. [...] Durch diese Bauart will man ein möglichst geringes Gewicht erzielen; [...]. Die aus den Holzträgern gebildeten Vielecke werden durch Stahlröhren zusammengehalten. [...] Jedes Ballonet besteht aus Gummistoff von 220 g/qm Ge-*

⁹⁰⁵ Vgl. ebenda. Seite 464.

⁹⁰⁶ Flight vom 29.05.1931. Seite 483.

wicht.“⁹⁰⁷ Dieses Luftschiff besaß eine zu geringe Traglast und konnte die Erwartungen der französischen Militärs nicht befriedigen. Es wurde später demontiert.

Auch die einfache Kopie eines in Frankreich 1913 notgelandeten Zeppelins scheiterte an den unbefriedigenden Flugleistungen.

Auffallend ist der enorme Vorsprung, den die deutschen Luftschiffbauer im Vergleich zu ihren britischen und amerikanischen Kollegen hatten: *“In so many airship developments Britain had groped forward by imitating the Germans (and the Americans by imitating the British).”*⁹⁰⁸

Aluminium und Stahl wurden schon bei den ersten erfolgreichen starren Luftschiffen verwendet. Hölzerne Konkurrenten erschienen erst später und bereits nachdem sich die Aluminiumluftschiffe etabliert hatten. Holz folgte auf Metall und konnte sich nur dank des Ersten Weltkriegs als Werkstoff im Luftschiffbau etablieren. Die Werkstoffentwicklung im Luftschiff- und Flugzeugbau war, mindestens zum Teil, diametral.

Ähnlich wie der Flugzeugbau, konnte der Holzluftschiffbau gerade zu Kriegszeiten seine Vorteile des billigeren Materials und der besseren Verfügbarkeit voll ausspielen, weil die Lebenserwartung der Flugapparate, waren sie nun leichter oder schwerer als Luft, ohnehin nur gering war.

⁹⁰⁷ Kaemmerer 1914. Seite 127.

⁹⁰⁸ Morpurgo 1972. Seite 101.

7.1.1 Der Schienenzeppelin

Einen interessanten Technologietransfer von Luftschiffbautechniken auf den Eisenbahnbau stellt der Schienenzeppelin des Konstrukteurs Franz Kruckenberg⁹⁰⁹ von 1929 dar.

Kruckenberg kam über das Studium des Schiffbaus in Kontakt mit dem Luftschiffbau und mit Johann Schütte, dessen Assistent er wurde. Schiffbau und Luftschiffbau gehörten in der Zeit nach 1900 noch eng zusammen.⁹¹⁰ Im August 1909 wurde Kruckenberg nach seinem Examen Entwicklungsingenieur beim Schütte-Lanz Luftschiffbau. Im Ersten Weltkrieg stieg er dort zum Chefkonstrukteur und Direktor auf. Der Versailler Vertrag und der Tod Lanz' beendeten den Luftschiffbau in Mannheim und auch die Landmaschinenproduktion ging mehr und mehr zurück. Kruckenberg suchte nach neuen konstruktionalen Herausforderungen und begann sich für den Schienenschnellverkehr zu interessieren. Seine Idee des sicheren, weil "geführten" Fluges fand zunächst Ausdruck in einer Art propellergetriebener Schwebbahn, für die er jedoch keine Investoren fand. Sein nächstes Projekt sollte der Schienenzeppelin sein.

Der konzipierte Propellertriebwagen sollte durch seine hohe aerodynamische Güte und Dank eines Flugzeugmotors bis dahin ungekannte Geschwindigkeiten im Schienenverkehr ermöglichen. Kruckenberg griff dabei auf seine umfangreichen Erfahrungen aus dem Luftschiff-Kabinenbau zurück. Der Schienenzeppelin glich jedoch nicht nur optisch seinem fliegenden Namensvetter. Auch die Bauweise wurde mehr oder weniger direkt aus dem Luftschiff-Kabinenbau übernommen.

Die Struktur des Schnellzuges bestand aus einem biege- und drehfesten Gerippe, das ein statisch geschlossenes Fachwerk bildete. Neben Aluminium, roh und vergütet, wurde dafür in erheblichem Umfang Stahlrohr verwendet. Außen wurde das Fahrzeug – hinter seiner Metallspitze – mit feuerfest imprägniertem Segelleinen bespannt. Innen wurde das Metallgerüst mit Isolierstoffen ausgefüllt und mit Holz verkleidet.⁹¹¹

Die Weiterentwicklung des Schienenzeppelins, der Kruckenberg-Schnelltriebwagen 137 155 a/b/c oder auch "Fliegender Silberling" genannt, der ab 1931 konzipiert wurde, war ein dreiteiliger, konventionell angetriebener, Schnelltriebwagen. Er war nicht mehr mit

⁹⁰⁹ Kruckenberg, Franz Friedrich (* 21.08.1882 in Uetersen; † 19.06.1965 in Heidelberg).

⁹¹⁰ Vgl. Gottwaldt, Alfred: Der Schienenzeppelin. Franz Kruckenberg und die Reichsbahn-Schnelltriebwagen der Vorkriegszeit 1929-1939. Freiburg 2006. Seite 12.

⁹¹¹ Vgl. ebenda 2006. Seite 21.

Stoff bespannt und besaß anstelle des Flugmotors mit Propeller einen Dieselmotor. Bei der Struktur war man zu einer verstreuten Stahlblechschale übergegangen:

*“Die tragende Struktur der drei Wagenkästen besteht aus einer Rohrschale aus 1,25 mm bzw. 1,75 mm dicken Stahlblechen, die durch Punktschweißung kassettenartig durch 17 Längsstäbe aus überwiegend kaltgewalzten Profilen und senkrecht dazu durch Spanten (unterhalb der Fenster) bzw. Spiegel (oberhalb der Fenster) ausgesteift sind. Unterhalb des Fußbodens sind doppelwandige Fachwerkqueraussteifungen zusätzlich eingezogen, ebenso oberhalb des Fußbodens stählerne Fachwerksteifen in den Sitzrückwänden.”*⁹¹²

War der Schienenzeppelin optisch wie strukturell ein Kind des Luftschiffbaus, so war sein Nachfolger eine konventionell-praktisch ausgerichtete Konstruktion. Der Schienenzeppelin war der erfolgreiche Versuch, den Leichtbau der Luftschiffe auf die Schiene zu übertragen. Für einen praktischen Betrieb war jedoch die Zahl der Sitzplätze zu gering. Der Silberling orientierte sich eher an den praktischen Anforderungen des Schienenverkehrs. Den Leichtbau, der erstmals im Schienenzeppelin verwendet wurde, findet man jedoch auch abgewandelt im Silberling wieder. Es wird deutlich, dass der Luftschiffbau einen nicht unerheblichen Einfluss auf den Schnelltriebwagenbau der Zwischenkriegszeit ausübte.

Doch der Schienenverkehr war nicht der einzige Bereich, auf den Luftschiffbau-Knowhow übertragen wurde. Wie bereits im biographischen Teil beschrieben, verwendete der Brite Barnes Wallis die, im Luftschiff erprobten, geodätischen Strukturen später auch in Flugzeugen, die schwerer als Luft waren und bei denen sich die engmaschige Gitterstruktur ebenfalls sehr bewährte, erinnert sei hier beispielsweise an den Wellington-Bomber.

⁹¹² Kurz 1986. Seite 174.

7.2 Segelflugzeugbau

Die Anfänge der Gleit- und Segelfliegerei wurden bereits im Kapitel zur Werkstoffgeschichte der frühen Luftfahrt beschrieben. Schon Lilienthal konstruierte die ersten erfolgreichen Gleitmaschinen aus Stoff und Holz.

Seine größten Entwicklungssprünge machte der Segelflugzeugbau jedoch nach dem Ersten Weltkrieg. Der Übergang von der Verwendung von organischen hin zu anorganischen Materialien vollzog sich im Segelflugzeugbau jedoch viel später als im Motorflugzeugbau. Versuchten einige Konstrukteure sich auch im Segelflugzeugbau in der Ganzmetallbauweise, revolutionierte vor allem das Aufkommen faserverstärkter Kunststoffe den Bau von Segelflugzeugen in den Nachkriegsjahren und bis heute.

Auch im Segelflugzeugbau lohnt es sich, den Blick auf Deutschland zu richten, denn gerade hier wurde konstanter und umfangreicher als in anderen Ländern an neuen Materialien und Bauweisen geforscht.

*„The Treaty rigidly restricted air developments in Germany and led to the organisation of a popular gliding movement with which to satisfy the enthusiasm for the air of that country's youth.“*⁹¹³

Im Gegensatz zu diesen Darstellungen und zu den Mythen, die sich um Gleit- und Segelfliegen angesiedelt haben und angesiedelt wurden, fing der motorlose Flug nicht auf der Wasserkuppe an, und auch nicht erst, als Reaktion auf das Motorflugverbot des Versailler Vertrages, nach dem Ende des Ersten Weltkrieges. Gleitflieger waren auch keine unzulänglichen Motormaschinen. Die Segelfliegerei entwickelte sich getrennt vom Motorflug, aus den jugenddominierten regionalen Modellbauvereinen.⁹¹⁴ Ein Argument, dass den Vergleich zwischen der Werkstoffgeschichte des motorisierten und unmotorisierten Fliegens erschwert: Die Segelfliegerei entstand aus einer Kultur des Modellbaus und des Bastelns, was vor allem die verwendeten Materialien der frühen Gleit- und Segelapparate verraten. Die Zeitschrift „Flugsport“, wichtigste Kommunikationsplattform der deutschen Segelfliegerei, empfahl bereits 1909 in ihrer ersten Ausgabe Konstruktionen aus „*Bambus*,

⁹¹³ Flight vom 19.07.1957. Seite 72.

⁹¹⁴ Vgl. Möser 2009. Seite 275.

bespannt mit billigem Shirting.“⁹¹⁵ Auch Papier und Pappe kamen bei den frühen Konstruktionen regelmäßig zum Einsatz.

Die Vorreiterstellung, die der deutsche Segelflugbau bis heute innehat, verdankt er aber auch der technisch-wissenschaftlichen Unterstützung der akademischen Fliegergruppen, „Akafliegs“ genannt, in Deutschland. Die anhaltende Popularität des Segelflugs und des Segelflugzeugbaus in Deutschland spiegelt sich unter anderem in der Zahl der zugelassenen Flugzeuge wieder. 1975 waren in Westdeutschland 4.670 Segelflugzeuge zugelassen. Im Vergleich dazu hatten die USA lediglich 2.699, Frankreich 1.275, Österreich 631 und die Schweiz 549 zugelassene Segelflieger.⁹¹⁶ Und auch später noch ist die Popularität des Segelflugs in Deutschland enorm: Mit rund 80 Prozent deckten deutsche Firmen 1999 den Löwenanteil an der Weltproduktion von Segelfliegern. Bei internationalen Wettbewerben stammten meist mehr als 90 Prozent der eingesetzten Flugzeuge von deutschen Herstellern.⁹¹⁷

Zum Zentrum des deutschen Segelflugs wurde in den Jahren nach dem Ersten Weltkrieg die Wasserkuppe auf der Rhön: *„Die Wasserkuppe war das wichtigste 'Kommunikationszentrum', der Turnierplatz im Blickfeld der Öffentlichkeit, die Entwicklungs- und Erprobungsstelle, von der entscheidende Impulse ausgingen.“*⁹¹⁸

Waren die Hauptträger des frühen deutschen Gleit- und Segelflugbaus noch vermehrt Jugendliche, wurden nach dem Ersten Weltkrieg in Deutschland die akademischen Fliegergruppen („Akafliegs“), die an den technischen Universitäten Deutschlands beheimatet waren und auch noch sind, wichtig für die Segelflugzeugentwicklung.⁹¹⁹ Zwar nicht ausschließlich, aber immer wieder und oft waren sie es, die neue Ideen entwickelten, verwirklichten und erprobten, die in Theorie und Praxis entscheidende Impulse gaben. Für die technisch-wissenschaftliche Entwicklung nützlich waren auch die Fehlkonstruktionen und misslungenen Detailarbeiten der „Akafliegs“, denn sie machten Irrwege rechtzeitig deutlich und verhinderten aufwendigere Fehlentwicklungen bei den Herstellern.⁹²⁰

⁹¹⁵ Schülerflugclubs. In: Flugsport 1 (1909). Seite 29. Zur Einordnung der Zeitschrift Flugsport siehe auch Brinkmann/Zacher 1999. Seite 20.

⁹¹⁶ Vgl. Geistmann, Dieter: Die Entwicklung der Kunststoff-Segelflugzeuge. Stuttgart 1976. Seite 12.

⁹¹⁷ Vgl. Brinkmann/Zacher 1999. Seite 159.

⁹¹⁸ Vgl. ebenda. Seite 23.

⁹¹⁹ Die erste akademische Fliegergruppe war die Akaflieg Darmstadt, die 1920 gegründet wurde.

⁹²⁰ Zur Bedeutung der Akafliegs siehe Brinkmann/Zacher 1999. Seite 160.

„Nach dem Ersten Weltkrieg überwand man den einfachen Gleitflug und baute erste Segelflugzeuge, die im Unterschied zu den Gleitfliegern in der Lage waren mit dem Flugzeug im aufsteigenden Luftstrom die Starthöhe zu übersteigen und sich längere Zeit in der Luft zu halten.“⁹²¹

Wichtiger noch als im Motorflugzeugbau ist im Segelflugzeugbau das möglichst geringe Gewicht, da kein Motor sondern nur aufsteigende Luftmassen (Thermik) für den nötigen Auftrieb sorgen. Die Materialwahl hat hier also einen noch höheren Stellenwert als im Motorflug. Anders ausgedrückt spiegeln schon die Materialien, die für die frühen Segelflugzeuge verwendet wurden die Grundanforderung an Flugzeugwerkstoffe und besonders für Segelflugwerkstoffe wider: hohe Festigkeit bei geringem Gewicht.

Frühe Konstruktionen wie der „Schwarze Teufel“ des Konstrukteurs Wolfgang Klemperer⁹²² von 1920 wurden noch unter Verwendung von Pappe und Bambus hergestellt. Die Holzkonstruktion wurde mit Stoff bespannt. Steuerelemente wurden aus Gewichtsgründen bereits aus Aluminium gefertigt. Auch die „Blaue Maus“ von 1921 wurde noch teilweise mit Pappe beplankt.

Friedrich Harth und Willy Messerschmitt gaben ihrer S 11 1922 bereits einen geschlossenen Sperrholzrumpf. Und auch der berühmte „Vampyr“ des Konstrukteurs Hans Jakobs besaß 1921 eine sperrholzbeplankte Flügelnase und einen stoff- und lederbespannten Rumpf. Die Stoffbespannung wurde üblicherweise mit Spannack vollzogen.

Ab Mitte der 1920er Jahre bestanden die Segelflugzeugrümpfe zunehmend aus Holzgurten und -spanten und waren komplett mit Sperrholz beplankt, wobei die Flügel zumeist eine Sperrholznase besaßen, sonst aber mit Stoff bespannt wurden. Sperrholz bot zum einen eine sehr glatte Oberfläche und zum anderen einen guten Schutz des Piloten bei härteren Landungen. Als Beispiel soll hier die D 12 „Roemryke Berge“ der Akaflieg Darmstadt von 1924 beschrieben werden: *„Die Holzbauweise mit Stoffbespannung entsprach dem Bewährten: Das dreiteilige, einholmige Tragwerk mit Torsionsnase war freitragend, der spindelförmige Rumpf von elliptischem Querschnitt mit Gurten und Spanten sperrholzbeplankt.“*⁹²³

⁹²¹ Vgl. Schwipps 1968. Seite 90.

⁹²² Klemperer, Wolfgang Benjamin (* 18.01.1893 in Dresden; † 25.03.1965 in Kalifornien, USA).

⁹²³ Brinkmann/Zacher 1999. Seiten 52, 53.

Änderte sich das Erscheinungsbild der Segelflugzeuge im Laufe der 1920er Jahre durchaus rasant, so gab es auf dem Gebiet der Werkstoffe nur wenig neues. Holz und Stoff dominierten weiterhin die Konstruktionen.

Auf der Suche nach einer Vereinfachung der Segelflugzeugkonstruktion führte Egon Scheibe und die akademische Fliegergruppe München Anfang der 1930er Jahre den Stahlrohrbau in den Segelflugbau ein. Konstruktionen, wie die Mü-10 „Milan“, besaßen einen stoffbespannten Stahlrohrumpf und Tragflächen in bewährter Holzbauweise. Diese Stahlrohr-Holz-Bauweise, die als „Münchener Schule“ bekannt wurde, hat Scheibe nicht nur in den 1930er Jahren, sondern mit seinem in der Nachkriegszeit gegründeten Flugzeugbau Scheibe in Dachau bis in die Gegenwart hinein beibehalten. *„In der Evolution der Segelflugzeuge gibt es wohl kaum ein Konstruktionsprinzip, das sich über einen so langen Zeitraum gehalten hat wie die Gemischtbauweise nach der 'Münchener Schule' - und es bewährt sich bis heute noch.“*⁹²⁴

Auch die Brüder Horten⁹²⁵ bauten ihre berühmten Nurflügel⁹²⁶-Segelflugzeuge in Gemischtbauweise: Der Rumpf, oder in diesem Fall der Mittelflügel, bestand aus einer Stahlrohrkonstruktion, an die die konventionell aus Holz gebauten Außenflügel angeschlossen wurden. Die Flügelaußenenden waren bereits aus Dural und die Liegewanne für den Piloten aus Elektronblech.

Um die Gleitzahlen und damit die potentiell zurücklegbare Strecke der Segelflugzeuge zu verbessern, wurde es nötig die Flügelstreckung immer weiter zu erhöhen. Da die konventionelle Holzkonstruktion der Tragflächen hier zunehmend an ihre Festigkeitsgrenzen stieß, mussten neue Materialien verwendet werden.

Die Tragfläche der D 30 „Cirrus“ der Akaflieg Darmstadt des Jahres 1938 besaß bei-

⁹²⁴ Brinkmann/Zacher 1999. Seite 80.

⁹²⁵ Horten, Reimar (* 02.03.1915; † 14.03.1994) und Horten, Walter (* 13.11.1913; † 09.12.1998 in Baden-Baden).

⁹²⁶ Ein Nurflügelflugzeug ist ein Flugzeug ohne separates Höhenruder, bei dem es keine Differenzierung zwischen Tragflächen und Rumpf gibt. Die für den Flug notwendige Stabilität um die Längs- und Querachse wird hier durch den Flügel selbst erzeugt. Bei aktuellen Modellen wird zudem auf ein Seitenruder verzichtet.

spielsweise einen Duralkastenholm, dessen Gurte zugleich einen Teil der Flügelhaut bildeten. Der Rumpf der D 30 bestand aus einem Sperrholzboot mit geringem Querschnitt und einer dünnen, innen quer und längs versteiften Röhre aus Elektron als Leitwerksträger.

1938 erkor das Internationale Olympische Komitee für die Olympischen Spiele 1940 den Segelflug zur olympischen Disziplin. Die Nationen sollten in einem Einheitssegelflugzeug gegeneinander antreten, für dessen Auswahl 1939 ein internationales Vergleichsfliegen bei Rom stattfand. Interessant sind vor allem die Vorgaben, die das Komitee im Bezug auf die geforderten Baumaterialien machte. Erlaubt waren demnach nur Konstruktionen aus Stahl, Sperrholz und Kiefer. Sieger wurde die DFS-Meise, die bis auf die Beschläge und Steuerungsteile komplett in Holz ausgeführt war.⁹²⁷

Höhepunkt der Holzbauweise im Segelflugzeugbau wurde die Ka 6 des Konstrukteurs Rudolf Kaiser, die 1955 erstmals flog. *„Besonders elegant wirkte der Holzschalenrumpf, aus dem die Plexiglashaube den strömungsgünstigen Übergang zur Flügelwurzel bewirkte.“*⁹²⁸

Ab Mitte der 1950er Jahre hielten glasfaserverstärkte Kunststoffe Einzug in den Segelflugzeugbau und bescherten ihm die größte Werkstoffzäsur seiner Geschichte, wobei zu Anfang der 1960er Jahre nur wenige Hersteller auf die Kunststoffbauweise setzten.⁹²⁹

Jahr	Anzahl der zugelassenen Segelflugzeuge in Deutschland	Davon Segelflugzeuge in Kunststoffbauweise
1960	2.220	0,10%
1970	3.542	8,10%
1975	4.670	38,70%

*Tabelle 4: Kunststoffsegelflugzeuge in Deutschland.*⁹³⁰

⁹²⁷ Vgl. Brütting, Georg: Die berühmtesten Segelflugzeuge. Stuttgart 1986. Seite 73.

⁹²⁸ Brinkmann/Zacher 1999. Seite 102.

⁹²⁹ Vgl. Brinkmann/Zacher 1999. Seite 120.

⁹³⁰ Daten aus Geistmann 1976. Seite 12f.

Dabei wurde anfänglich lediglich die Rumpfspitze aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) hergestellt. Die „Akaflieg“ Stuttgart forschte ab 1951 an neuen Materialien für den Segelflugzeugbau. Da Kunststoffe mit Glasfaserverstärkung eine extrem glatte Oberfläche versprachen, entschied man sich diese neue Bauweise für die Struktur der fs-24 „Phönix“ anzuwenden. Dabei bestätigte sich die Erwartung, dass die neue Bauweise nicht nur eine optimale Oberflächengüte, sondern auch eine Reihe weiterer Vorteile mit sich brachte: Der flüssige Kunststoff, der erst durch Zusatz eines Härters fest, unlöslich und unschmelzbar wird, ließ sich in jede gewünschte Form bringen. Eine höhere aerodynamische Güte wurde dadurch möglich.⁹³¹ Dabei können die einzelnen Schichten so stark aufgetragen und die Glasfaserstränge (Rovings) bzw. -gewebe so eingelegt werden, wie es den jeweiligen Festigkeitsanforderungen entspricht. Bei der fs-24 wurde durch diese Bauweise eine wesentliche Gewichtsersparnis gegenüber einem vergleichbaren Holzbau erreicht. Auch die Wartung vereinfachte sich bei den Flugzeugen aus Faserverbundwerkstoffen: Die spiegelglatte Oberfläche bedarf keiner Lackierung oder besonderen Pflege, wie überhaupt das ganze Flugzeug - vom gelegentlichen Abschmieren einiger Steuerorgane abgesehen - praktisch wartungsfrei ist.⁹³² Darüber hinaus sind Fiberglasrümpfe beispielsweise viel weniger stoßempfindlich als Rümpfe mit Stahlrahmen.⁹³³ Zur Reparaturfreundlichkeit des Fiberglases bemerkt Hänle in ihrer Flickbibel, dass diese vergleichbar mit der von Sperrholz ist: *„Allein die Tatsache, daß es zunächst zwar in jedem Dorf einen Schreiner, aber noch lange keinen Fiberglas-Fachmann gibt, macht sie im Augenblick noch etwas delikat. Je weiter sich jedoch das Kunststoff-Flugzeug ausbreitet, um so eher wird es in den Fluggruppen und Werkstätten Spezialisten für GFK geben - geben müssen!“*⁹³⁴ Kleine Schäden seien ebenso schnell zu reparieren, wie bei Holzflugzeugen und bei größeren Schäden würde man sich auch beim Holzflugzeug ohnehin an den Fachmann wenden.

Im Vergleich zur konventionellen Holzbauweise, bei der die Struktur von Rumpf und Flügeln „von innen nach außen“ aufgebaut wird, wird bei der Faserkunststoffbauweise umgekehrt verfahren. Hier beginnt man mit der Lackierung: in die vorbereitete Formmulde (meist ebenfalls aus Kunststoff) wird nach einem Trennmittel zunächst der Lack des

⁹³¹ Vgl. Hänle, Urula: Kleine Fiberglas Flugzeug Flickbibel. 1997. Einsehbar unter <http://www.dg-flugzeugbau.de/fileadmin/flickfibel-d.pdf>. Einführung.

⁹³² Vgl. Brütting 1986. Seite 99.

⁹³³ Vgl. Hänle 1997. Einführung.

⁹³⁴ Hänle 1997. Einleitung.

zukünftigen Segelflugzeugs aufgespritzt. Es folgen entsprechend den Festigkeitsanforderungen meist diagonal aufgelegte Fasermatten (Glas-, Kevlar-, Aramid- oder Carbonfasern), die mit Kunstharz durchtränkt werden und die Außenhaut bilden. Nach einem Stützstoff (anfangs Balsaholz, heute Schaumstoffe) folgt die innere faserverstärkte Kunststoffschicht. So entsteht das „Sandwich“, das nur wenige zusätzliche Aussteifungen benötigt. Nach dem Innenausbau mit Holmen für den Flügel, Gestänge für den Antrieb der Ruder und Klappen werden die Flügelhälften bzw. die Rumpfschalen miteinander verklebt. Die Außenhaut wird schließlich sorgfältig geschliffen und spiegelglatt poliert.⁹³⁵

Die Bauweise, die beim „Phönix“ erstmals angewendet wurde, hat sich bis heute nicht grundlegend geändert.

Das erste Flugzeug, das als Stützstoff im Flügel nicht mehr Balsaholz sondern Hartschaum besaß, war die ASW 19 der Firma Schleicher aus dem Jahr 1975.

Bis Ende der 1970er Jahre war der Übergang von der Holz- zur Kunststoffbauweise im Segelflugzeugbau weitgehend abgeschlossen: *„Auf die Dauer aber war die aufwendige Holzbauweise wirtschaftlich nicht mehr vertretbar, weil etwa doppelt so viele Arbeitsstunden aufgewendet werden mußten wie für ein vergleichbares GFK-Muster.“*⁹³⁶

Um die Flugleistungen weiter zu steigern, musste die Flügelstreckung (Spannweite) weiter erhöht werden. Dabei stieß man erneut an die Festigkeitsgrenzen des Werkstoffs, diesmal des glasfaserverstärkten Kunststoffs (GFK). Festere Fasern und Gewebe lassen sich aus Kohlenstoff (Carbon) herstellen. Sie werden durch Verkohlung anderer Kunststoff-Fasern bei hohen Temperaturen (um 2000° C) gewonnen und sind daher sehr teuer.

Erstmals wurde CFK bei der SB 10 der Akaflieg Braunschweig verwendet, wobei das Projekt finanziell durch das Bundesministerium für Forschung und Technologie unterstützt wurde. Das Segelflugzeug mit 29 m Spannweite flog erstmals 1972. CFK wurde vor allem im Flügelmittelstück verwendet. *„Der 10 m lange Rumpf besteht aus einem Stahlrohrgerüst, das mit einer GFK-Balsa-Schale verkleidet ist. Es mündet in eine konische Leichtmetallröhre, die den Leichtmetallholm des 2,21 m hohen Seitenleitwerks trägt.“*⁹³⁷

⁹³⁵ Vgl. Brinkmann/Zacher 1999. Seite 110.

⁹³⁶ Ebenda. Seite 126.

⁹³⁷ Brinkmann/Zacher 1999. Seite 150.

Zu den Vorteilen der CFK-Bauweise beim Nimbus 2 C der Firma Schempp-Hirth schreibt Selinger, dass es beim Flügel eine Gewichtsersparnis von 40 kg gegeben hätte. Mit einem Leergewicht von unter 320 kg könne der CFK-Nimbus 2 C mehr als das doppelte seines Eigengewichtes tragen. Darüber hinaus hätte der Flügel eine höhere Biegesteifigkeit und eine geringere Flügelverdrehung im Schnellflug.⁹³⁸

Zusammengefasst ist über die CFK-Struktur zu sagen, dass sie bei geringerem Gewicht eine höhere Festigkeit als die GFK-Struktur aufweist. Jedoch sind die Materialkosten auch viel höher.⁹³⁹

Neben dem Trend Flugzeuge zunehmend aus Faserverbundwerkstoffen herzustellen, der vor allem von Deutschland ausging, gab es zumindest kurzzeitig auch eine, vor allem amerikanische Tendenz, Segelflugzeuge ganz aus Metall herzustellen.

Wie die meisten Konstrukteure der USA war Richard Schreder⁹⁴⁰ Anhänger der Metallbauweise. Er war überzeugt, dass Leichtmetall leichter zu verarbeiten sei als Holz, es sei witterungsbeständiger und es sei - im Gegensatz zu Plastik - in der Festigkeit unabhängig von der Temperatur⁹⁴¹, ein für Amerika, vor allem für die Hitze in und über Texas, wo Schreder seine Flugzeuge baute, wichtiger Gesichtspunkt. Selbst Reparaturen waren nach Schreders Meinung an Metall leichter und schneller auszuführen als an Holz. Und nicht zuletzt habe Aluminium bei etwaigen Unfällen eine höhere Energieaufnahme und könne so den Piloten besser schützen. Bei den meisten seiner Konstruktionen verwendete Schreder die Aluminiumlegierung AlCuMg plattiert; die Blechdicken betragen im Rumpfvorderteil 1 mm, im hinteren Teil 0.813 mm, auf dem Flügel 0,635 mm.⁹⁴² Die HP-10 von 1961 besaß eine interessante Flügelbauweise: Ganzmetall-Sandwich mit Aluwa-benkern. Selbst die HP-15 von 1969 entstand noch in Ganzmetallbauweise.

Auch Convair-Ingenieur Leonard A. Niemi benutzte für seine Konstruktionen überwiegend Metall. Seine berühmte „SISU“ hatte aber auch eine Flügelnase, die aus GFK mit Schaumstofffüllung bestand.

⁹³⁸ Vgl. ebenda. Seite 151.

⁹³⁹ Nach Brinkmann und Zacher kostete das Kilogramm CFK Anfang der 1970er Jahre je nach Typ bis zu DM 1800,- (Brinkmann/Zacher 1999. Seite 148).

⁹⁴⁰ Schreder, Richard E. (* 25.09.1915 in Tecumseh, Michigan; † 02.08.2002 in Bryan, Ohio).

⁹⁴¹ Nach Hänle zeigten Untersuchungen jedoch, dass die Festigkeit von Fiberglas nicht ab-, sondern zunimmt, wenn man es eine Weile erhöhter Temperatur aussetzt und nach Abkühlung prüft. (Hänle 1997. Kapitel Allgemeines.)

⁹⁴² Vgl. Brütting 1986. Seite 179.

Die Schweizer Aircraft Corporation, der größte amerikanische Hersteller für Segelflugzeuge, baute ihre Segelflugzeuge ab 1948 ebenfalls komplett aus Metall, wobei bei frühen Konstruktionen noch Stoff als Spannungsmaterial zum Einsatz kam.

Die Sowjetunion stellte nach dem Zweiten Weltkrieg ebenfalls Ganzmetallsegelflieger her. Mit der A-11 baute Oleg Antonov⁹⁴³ 1950 ein Segelflugzeug in Ganzmetallbauweise mit V-Leitwerk. Auch die A-15 von 1960 war ganz aus Metall. Die Oberfläche von Flügel, Rumpf und Leitwerk war mit einer leichten Legierung bedeckt. Der Rumpf war aus Ganzmetall, in Schalenbauweise hergestellt.⁹⁴⁴

Bemerkenswert ist auch die Segelflugzeugentwicklung in Großbritannien. Dort ist der Segelflugbau vor allem mit dem Namen „Slingsby“ verknüpft. Frederick N. Slingsby⁹⁴⁵ fing 1930 an, in seiner Fabrik neben Möbeln Segelflugzeuge herzustellen. Die erste, über die Landesgrenzen hinaus erfolgreiche Konstruktion, wurde der Slingsby „Sky“ von 1949/50. „Sky“ war eine herkömmliche Holzkonstruktion, hauptsächlich aus Sitka-Rottannen- und Birkenperrholz.⁹⁴⁶

Auch bei Slingsby gelangte man in den 1960er Jahren zur Überzeugung, dass Holz als Flugzeugbaustoff ausgedient habe, was nicht zuletzt auf Imageprobleme des Werkstoffes Holz zurückgeführt wurde. Einmal mehr galt der Werkstoff Holz als konservativ und altmodisch. Man zog jedoch andere Schlüsse, als beispielsweise in Deutschland. Slingsby entschied sich dazu, den Metallsegelflugzeugbau der Amerikaner zu übernehmen. Zu den Vorteilen zählte *Flight* im Jahre 1968, dass metallene Konstruktionen leichter sowie einfacher und schneller herzustellen seien, was die Kosten senke. Außerdem sei die Wartung einfacher als bei der herkömmlichen Holzbauweise.⁹⁴⁷ Besonders interessant ist jedoch das bereits erwähnte Imageproblem des Holzbaus: „*Another reason for the change to*

⁹⁴³ Antonov, Oleg Konstantinowitsch (* 07.02.1906 in Troizi bei Moskau; † 04.04.1984 in Kiew). Nachdem er anfänglich Segelflugzeuge konstruiert hatte, baute er später Transportflugzeuge.

⁹⁴⁴ Vgl. Brütting 1986. Seite 176.

⁹⁴⁵ Slingsby, Frederick Nicholas (* 06.11.1894; † 1973) war Gründer der „Slingsby Sailplanes Ltd.“ (später in „Slingsby Aviation“ umbenannt). Slingsby Aviation ging 1969 in der Vickers Gruppe auf.

⁹⁴⁶ Vgl. Brütting 1986. Seite 152.

⁹⁴⁷ Vgl. *Flight* vom 06.06.1968. Seite 863.

*metal, more fundamental perhaps [...], was the desire of Slingsby Sailplanes' present managing director, Mr. W. N. Slater, to create a new image for the firm and to present it as a thoroughly modern aircraft manufacturer.“*⁹⁴⁸

Auch hier finden sich also wieder Hinweise eines starken sozialen Einflusses auf den Werkstoffwandel. Wieso man sich bei Slingsby für das Metall und gegen Faserverbundwerkstoffe entschied, ist nicht mehr nachvollziehbar. Der Verweis auf Imageprobleme des Holzbaus in zwei Ausgaben von *Flight*⁹⁴⁹, lässt vermuten, dass der Metallbau in England als moderner eingeschätzt wurde, als der Kunststoffbau. Vielleicht hatte man mit letzterem auch einfach keine Konstruktionserfahrung. Man glaubte, dass der Segelflugzeugbau eine ähnliche Evolution durchlaufe wie der Motorflugzeugbau und setzte daher auf die dort vorherrschende und bewährte Bauweise: auf Holz musste Metall folgen. Wie im Motorflugzeugbau zeigte sich also auch im Segelflugzeugbau eine werkstofftechnische Zurückhaltung auf Seiten britischer Konstrukteure bei der Verwendung und Einführung neuer Werkstoffe.

Am Ende konnten die Ganzmetallsegler nicht mit den Leistungen der Segler aus Faserverbundmaterialien mithalten. Als Schulungsmaschinen eigneten sich die metallenen Segelflugzeuge aber durchaus, da ihr robuster Rumpf härteren Ladungen gut standhält.

Auf die militärische Entwicklung von Segelflugzeugen in Form von Transportgleitern wird hier nicht gesondert eingegangen, da sich die verwendeten Materialien nur marginal von den verwendeten Materialien im zivilen Segelflugzeugbau unterschieden.

⁹⁴⁸ *Flight* vom 18.05.1967. Seite 785.

⁹⁴⁹ *Flight* vom 18.05.1967, *Flight* vom 06.06.1968.

7.3 Architektur

In der Architektur spielte im Gegensatz zum Schiffbau die Bauholzverknappung keine entscheidende Rolle, da man durch den Steinbau auf eine traditionsreiche Alternative zurückgreifen konnte.⁹⁵⁰ Die Fachwerkbauweise war beispielsweise von Anfang an eine Holzspar-Bauweise.⁹⁵¹ „*Although it is cheaper and much less trouble to cut down a tree than to build a masonry arch or vault, the supply of suitable large trees is not unlimited and a time arrives when long pieces of timber become scarce.*“⁹⁵²

Im 19. Jahrhundert wurde der Holzbau⁹⁵³ von den meisten deutschen Ingenieuren wenig geschätzt. Erst im frühen 20. Jahrhundert entwickelte sich ein „Ingenieurholzbau“. Der Holzbau kam hier der Vorfertigung von Bauelementen entgegen. Nach 1918 entsprach die Holzbauweise in Deutschland der Parole, billig und vor allem mit einheimischen Rohstoffen zu bauen. Wie im Flugzeugbau war auch hier ein entscheidender technischer Sprung die Holzverleimung, welche durch die neuen Kunstharze ermöglicht wurde. War der Leim bis dahin dem Tischler vorbehalten, so griff nun auch der Zimmermann zu dieser Verbindungsmethode. Das Leimholz gestattete es, große Spannweiten freitragend zu überbrücken und zugleich leicht und elegant zu bauen.

Machte die neue Leimtechnik den Holzflugzeugbau konkurrenzfähiger zum Metallflugzeugbau, so konnte der Holzgebäudebau dank ihr mit der Formfreiheit des Betons zu konkurrieren. Wie im Flugzeugbau förderte die Leimtechnik eine Professionalisierung und Verwissenschaftlichung des Holzbaus, beim Leimeinsatz wurde nicht mehr nach Gefühl verfahren. Die Verleimung wurde Spezialistenarbeit und unterlag behördlicher Aufsicht und auch die Anordnung und Dimensionierung der Verbindungsmittel beim Ingenieurholzbau wurden nur noch in Ausnahmefällen dem Ausführenden überlassen.

Mit der Spanplatte stand erstmals ein künstlicher Holzwerkstoff zur Verfügung, der später vor allem in der Möbelindustrie Anwendung finden sollte. Das Sperrholz, das in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts aus der Furniertechnik hervorging, stieß im deutschen

⁹⁵⁰ Vgl. Radkau, Joachim: Holz. Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt. München 2007. Seite 69.

⁹⁵¹ Vgl. ebenda. Seite 75.

⁹⁵² Gordon 2003. Seite 215.

⁹⁵³ Zum Thema Holzbau und Spanplatte siehe Radkau 2007. Seiten 247 ff.; Radkau 2008. Seiten 247, 248.

Holzgewerbe länger als in England und den USA auf Vorbehalte. Die Spanplatte dagegen, welche es ermöglichte bisherige Holzabfälle zu nutzen, entstand als deutsche Entwicklung in der Zeit der nationalsozialistischen Autarkiepolitik, setzte sich allerdings erst in den 1950er Jahren stärker durch, als bei ihrer Fabrikation die Möglichkeit hoch mechanisierter Massenfertigung genutzt wurde.

Anders im Brückenbau: Strukturell sind Brücken- und Flugzeugbau eng verwandt, auch wenn die Kräfte, die auf eine Brücke wirken, weniger komplex und mannigfaltig sind: „[...] *the wings of an aircraft are subject to bending forces, very much like a bridge.*“⁹⁵⁴ Außerdem wurde hier, ähnlich dem Flugzeugbau, der Holzbau schnell und nahezu vollständig durch den vermeintlich moderneren Metallbau verdrängt (zumindest bei großen Verkehrsbrücken), obwohl eine materielle Unterlegenheit des Holzes als Baustoff hier ebenfalls schwer nachweisbar ist. Wie im Flugzeugbau müssen soziale Anforderungen bei diesem Materialwandel eine große Rolle gespielt haben. Die Verwandtschaft von Brücken- und Flugzeugbau legt nahe, auch den Brückenbau materialgeschichtlich zu beleuchten.

Um Brücken aus Metall herstellen zu können, mussten zwei Voraussetzungen erfüllt sein. Zum einen mussten die technologischen Voraussetzungen geschaffen werden, um Eisen und Stahl in der erforderlichen Menge, Güte und zu einem akzeptablen Preis herstellen zu können.⁹⁵⁵ Zum anderen brauchte man für den Bau dieser neuen Brücken Ingenieure. Die Ausbildungsmöglichkeiten wurden jedoch für diesen neuen Berufsstand erst im 19. Jahrhundert durch das Entstehen technischer Universitäten und Hochschulen geschaffen.⁹⁵⁶ Hier entstand eine sich wechselseitig verstärkende Abhängigkeit zwischen Werkstoff und Wissenschaft, denn erst mit der Durchsetzung des Eisens als Werkstoff vollzog sich der Aufstieg des Maschinenbauers und des Ingenieurs.⁹⁵⁷ Zum einen benötigte man zum Schaffen komplexer statischer Gebilde und zur Verwendung neuer Werkstoffe den Ingenieur und zum anderen führten erst diese neuen Werkstoffe, wie Eisen und Stahl, zum Bedarf an Ingenieuren.

⁹⁵⁴ Gordon 2003. Seite 260.

⁹⁵⁵ Vgl. Mehlhorn, Gerhard; Hoshino, Masaaki: Brückenbau auf dem Weg vom Altertum zum modernen Brückenbau. In: Mehlhorn, Gerhard (Hrsg.): Handbuch Brücken. Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten. Heidelberg 2007. Seite 41.

⁹⁵⁶ Vgl. ebenda. Seiten 42-44.

⁹⁵⁷ Vgl. Radkau 2007. Seite 221.

Der Aufstieg des Metallbrückenbaus ist eng verbunden mit der technischen Entwicklung, die sich in der Metallherstellung vollzog. Erste noch gusseiserne Brücken entstanden in der Mitte des 18. Jahrhunderts in England. Zu den Vorteilen der gusseisernen Brücken im Vergleich zu gemauerten Brücken schreibt Gordon: *„The benefit of cast iron to bridge-building was two fold. In the first place, there was a saving in labour and transport costs; but more significantly the reduction in the weight of arches diminished the magnitude of the thrust upon the abutments and thus enabled engineers to build flatter arches with cheaper foundations.“*⁹⁵⁸ Gusseiserne Brücken bedeuteten also eine Verringerung der Arbeits-, Transport- und Materialkosten.

Ab Mitte des 19. Jahrhunderts führten zwei Entwicklungen zur Verbreitung des Metallbrückenbaus. Zum einen konnte Flussstahl in großen Mengen und damit billig hergestellt werden. Zum anderen sorgte die zunehmende Verbreitung der Eisenbahn für einen großen Bedarf an Brücken, da die Eisenbahnterrassen nur geringe Steigungen aufweisen durften und sie so auf Brücken angewiesen waren.⁹⁵⁹ Radkau legt nahe, dass diese Brücken aus Furcht vor dem Funkenflug der Lokomotiven, also aus Brandschutzgründen, bevorzugt in Metall ausgeführt wurden. Mehr als alle anderen Neuerungen trug der Eisenbahnbau dazu bei, dass das Eisen zum Massenprodukt und das Eisengewerbe zur Großindustrie wurde: *„Waren anfangs nur Dampfkessel, Räder und Gestänge der Lokomotiven aus Eisen, so war es bald die gesamte Lokomotive und waren es schließlich auch die - anfangs noch kutschenartig gebauten - Waggonen. Die hölzernen Schienen, die es schon seit Jahrhunderten gegeben hatte, mussten durch eiserne ersetzt werden: Das bedeutete den Sieg der Walzwerke über die Schmiede.“*⁹⁶⁰

Die zunehmende Verdrängung der reinen Stahlbrücken durch (Stahl-) Betonbrücken, die bereits im 19. Jahrhundert einsetzte erfolgte nach Gordon auch weil gerade die Stahlbrücken unter anderem wegen des Rosts sehr aufwändig in der Unterhaltung waren: *„Because the cost of labour is high, the cost of the painting and maintenance of steelwork is high. This is one good reason for using reinforced concrete, since steel embedded in concrete does not rust.“*⁹⁶¹

⁹⁵⁸ Gordon 2003. Seite 202.

⁹⁵⁹ Vgl. Mehlhorn; Hoshino 2007. Seite 38.

⁹⁶⁰ Radkau 2007. Seite 222.

⁹⁶¹ Gordon 2003. Seite 332.

Der Vollständigkeit halber ist zu erwähnen, dass sich auch der Holzbau in manchen Regionen der Welt auf Grund der regionalen Materialversorgungslage durchaus lange halten konnte. In den USA beispielsweise führte das Angebot billigen Holzes dazu, dass hier Eisenbahnbrücken überwiegend aus Holz hergestellt wurden. Auch andere Faktoren wie Kosten, Mangel an qualifizierten Arbeitskräften und geographische Besonderheiten begünstigten hier den hölzernen Brückenbau: *„Wide and rolling rivers could not be crossed by the trestle viaducts and so there was a need for large, long-span bridges. Permanent bridges of the European type were often impracticable for lack of money and skilled labour, and so there was a very active requirement for long – and cheap – wooden trusses, which could be made by ordinary joiners.“*⁹⁶²

Ähnlich dem Flugzeugbau wurde und wird den Holzbrücken entgegen gehalten, dass sie sorgfältiger und kostenträchtiger Unterhaltung bedürften, was die Nachhaltigkeit dieser Bauweise in Frage stellte.⁹⁶³ Dagegen erkennt Dietrich in Anlehnung an Gordon in der Verdrängung des Brückenbaumaterials Holz durch metallene Werkstoffe eine Form sozialer Einflussnahme: *„Holz ist also ein Konstruktionsmaterial der Superlative, dennoch hat es im Brückenbau nach einer großen Vergangenheit heute praktisch keine Bedeutung mehr. Zwar werden noch immer einige Brücken aus Holz gebaut, aber doch kaum wegen der überragenden Materialeigenschaften, sondern eher aus gefühlsmäßigen [sic!] Gründen. Holz steht für Tradition und angenehme Optik. Mit Rücksicht auf eine schöne Naturlandschaft oder auch auf ein denkmalgeschütztes Altstadtensemble greift man im Brückenbau zu Holz, nicht aber, weil man ein besonders effizientes, wirtschaftliches Tragwerk bauen will.“*⁹⁶⁴

Im Bezug auf Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit ist, wie im Flugzeugbau, zu bemerken, dass auch metallene Brücken eines Korrosionsschutzes bedürfen. Moderne Stähle sind dabei noch anfälliger als beispielsweise Gusseisen *„and so rust is, to some extent, a modern problem.“*⁹⁶⁵ Der Grundschutz besteht meistens aus einer Verzinkung des Stahls. Darauf kommt in der Regel ein dreifacher Farbanstrich.⁹⁶⁶

⁹⁶² Ebenda. Seite 233.

⁹⁶³ Vgl. Mehlhorn; Hoshino 2007. Seite 38.

⁹⁶⁴ Dietrich, Richard J.: Faszination Brücken. Baukunst-Technik-Geschichte. München 2001. Seite 44.

⁹⁶⁵ Gordon 2003. Seite 332.

⁹⁶⁶ Vgl. Dietrich 2001. Seite 52.

Hier ist der Vergleich zu gemauerten Brücken zu ziehen. Sie bedürfen nur weniger Instandhaltungsmaßnahmen, sind aber im Bau sehr teuer. Durch den steigenden Bedarf an Brücken im Zuge der Ausbreitung der Eisenbahn lieferte der metallene Brückenbau eine in der Herstellung günstigere Alternative, wobei man höhere Instandhaltungskosten in Kauf nahm.⁹⁶⁷

Abschließend ist über Steinbrücken noch zu sagen, dass sie *„einen wesentlichen, über 2.000 Jahre nachgewiesenen Vorteil haben, der durchaus auch ein wirtschaftlicher Faktor sein kann. Sie sind 50- bis 100mal dauerhafter als Stahlbetonbrücken und schöner allemal, weil sich Stein nicht formal vergewaltigen lässt, klare Strukturen und Oberflächentexturen bildet und auch mit Anstand altert, anstatt wie Beton einfach zu vergammeln.“*⁹⁶⁸

⁹⁶⁷ Vgl. Gordon 2003. Seite 204.

⁹⁶⁸ Dietrich 2001. Seite 42.

7.3.1 Junkersche Metallbauten

An dieser Stelle soll noch eine Form der Architektur erwähnt werden, die sich bis heute nicht wirklich durchsetzen konnte: das Ganzmetallgebäude. Die Idee, Gebäude aus Metall zu errichten wurde unter anderem von Hugo Junkers energisch vorangetrieben.

Durch den Versailler Vertrag und der damit einhergehenden Einschränkung des deutschen Flugzeugbaus, sah sich die Firma Junkers gezwungen Aluminium, mit dessen Verarbeitung man mittlerweile viel Erfahrung gesammelt hatte, auch für den Bau anderer Militär- und Konsumgüter heran zu ziehen. So wurden beispielsweise Koffer, Schränke und andere Behälter, Bestecke, Windräder, Schlittschuhe, Fahrradteile und geschweißte Heizkörper aus Duralumin hergestellt.⁹⁶⁹ Auch in den Metallmöbelbau stieg man ein. In Zusammenarbeit mit dem Bauhaus und Marcel Breuer⁹⁷⁰ entstanden so später beispielsweise die berühmt gewordenen Metallrohrsessel, auch „Freischwinger“ genannt.

Junkers transferierte sein Know-how der Metallverarbeitung auf Flugzeughangars, Hallen und auch Einfamilienhäuser.

Die Bauweise, die Junkers für seine Hallenkonstruktionen heran zog und werkstofftechnisch umkonstruierte, war die Lamellendachhalle. Diese Bauweise war bereits 1548 vom französischen Architekten de l'Orme⁹⁷¹ entwickelt worden und verbreitete sich in den folgenden Jahrhunderten Dank ihrer hohen Traglast, Festigkeit und Langlebigkeit in ganz Europa und wurde weiter optimiert. Außerdem war diese Hallen-Bauweise sehr wirtschaftlich, da man für ihre Konstruktion nur etwa ein Viertel der üblichen Holzmenge als Material und ein Drittel der Bauzeit konventioneller Hallenbauweisen benötigte. Zusätzlich konnte der Zusammenbau der genormten Elemente der Halle auch durch Nichtfachleute erfolgen.⁹⁷²

⁹⁶⁹ Vgl. Blunck 1951. Seite 131.

⁹⁷⁰ Breuer, Marcel Lajos (* 21.05.1902 in Pécs, Ungarn; † 01.07.1981 in New York City).

⁹⁷¹ De l'Orme, Philibert (* 1514 in Lyon; † 08.01.1570 in Paris).

⁹⁷² Vgl. Lauff, Sebastian: Der Traum vom Bauen. Hugo Junkers und die Architektur. Berlin 2001. Seite 42, 44.

Problematisch war bei dieser Bauweise, dass das zumeist verwendete Holz zur dauerhaften Aufnahme länger einwirkender Torsionskräfte⁹⁷³ nicht fähig war, da es sich der Belastung durch fortlaufende Verformung entzog. Außerdem führte die Tauwasserbildung zum Verrosten der Schalungsnägel.⁹⁷⁴

Junkers übertrug konsequent Bauweisen und Materialien vom Flugzeugbau auf den Hallenbau. Alle tragenden Elemente bestanden aus Metall und er griff bei der Konstruktion auf Elemente des Flugzeugbaus zurück. So war die Dachlamelle der Hallen beispielsweise eine Kopie der Strebe eines Flugzeugtragdecks, auch Z-Strebe genannt. Junkers strebte bei seinen Hallen nach hoher Haltbarkeit, weitestgehender Vorfertigung und leichtem Transport und Montage. Damit traf er den Nerv der Zeit und exportierte die Junkersschen Lamellenhallen mit Lieferzeiten von lediglich vier bis sechs Wochen in die ganze Welt.⁹⁷⁵ *Flight* urteilte 1930 über die Hallen, dass sie „ridiculously simple“⁹⁷⁶ seien.

„Die Junkersschen Lamellenhallen bestanden aus räumlichen Netzstrukturen. Das zweidimensionale Stabtragwerk wurde in der dritten Dimension gekrümmt, um einen Bogen herzustellen. Die Dachkonstruktion wirkte zusammen mit der Eindeckung statisch als Schale und wurde über einem Leegerüst errichtet.“⁹⁷⁷ Duralumin kam bei den Hallen nicht zum Einsatz, da es für diesen Einsatz einfach zu teuer war. Alle Teile wurden aus Stahlblech hergestellt.

Die Dacheindeckung bestand meistens aus Wellblechen, die direkt mit der Netzstruktur der Halle verschraubt wurden (siehe Abbildung). Durch die Oberpfetten, welche die Lamellen und die Dachhaut trennte, wirkte man der Schwitzwasserbildung entgegen. Bei einem Temperaturunterschied von mehr als 8° Celsius bildet sich an der warmen Seite des Bauelements Kondenswasser, das zur Korrosion der betroffenen Elemente führt. Durch die Belüftung der Lamellen aus dem Innenraum konnte dies verhindert oder zumindest vermindert werden.⁹⁷⁸

Flight bemerkte zu den Vorteilen dieser Hallenbauweise: „[...] it not only provides a

⁹⁷³ Auswirkungen einer parallel zur Grundfläche und tangential zur Seitenfläche eines Körpers wirkenden Kraft.

⁹⁷⁴ Vgl. Lauff 2001. Seite 45.

⁹⁷⁵ Vgl. ebenda. Seiten 48, 57.

⁹⁷⁶ *Flight* vom 18.07.1930. Seite 804.

⁹⁷⁷ Lauff 2001. Seite 59.

⁹⁷⁸ Vgl. Paulssen, O.: Eisenkonstruktionen. Das Junkers-Lamellendach. In: Zeitschrift des VDI, Band 70, Nr. 41/1926. Seite 1365.

hangar, or roofing, having a comparatively low cost, but this can be erected in a remarkably short space of time with a large percentage of the labour unskilled in this particular class of work.“⁹⁷⁹

Die Überlegenheit der Junkersschen Stahlbauweise lag im Gegensatz zu anderen bestehenden Systemen aus Holz oder Beton darüber hinaus darin, dass die einzelnen Elemente der Hallen exakt vorgefertigt und von einer Person bewegt werden konnten.

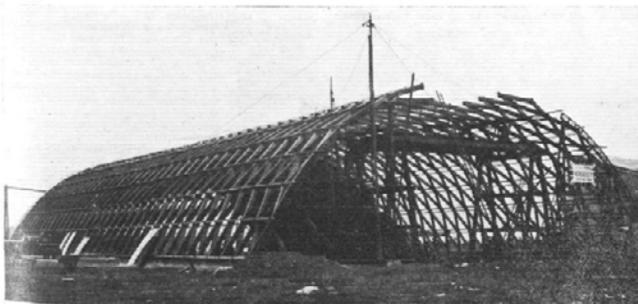
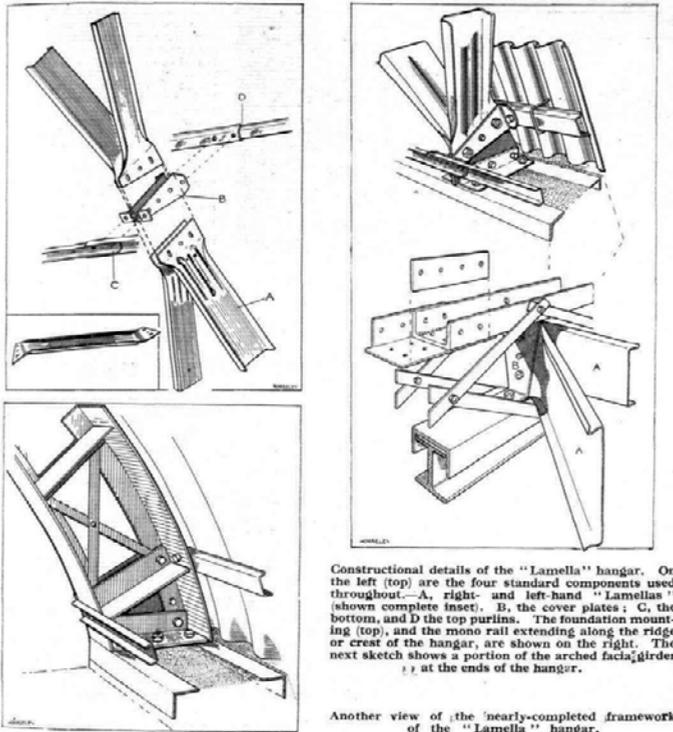


Abbildung 60: Details und Bauansicht einer Lamellenhalle nach Junkersscher Bauart. Aus: Flight (18.07.1930) Seite 805.

⁹⁷⁹ Flight vom 18.07.1930. Seite 804.

In Oberschleißheim kann heute noch eine solche Junkerssche Metallhalle besichtigt werden. Abgesehen von Kriegsschäden, welche die statische Stabilität der Halle bedrohen, ist nur verhältnismäßig wenig Rost vorhanden. Die Idee Junkers, die kritischen Kontaktstellen möglichst gut zu belüften, funktionierte also.

Der VDI fasste 1926 in seinem Artikel zu dem Lamellendach von Junkers die Vorteile dieser Bauweise wie folgt zusammen: *„geringes Konstruktionsgewicht infolge guter Ausnutzung des Baustoffes durch Verwendung hoher, dünner Lamellenquerschnitte, vereinfachte Fertigung durch weitgehende Normung der Bauteile, Vereinfachung des Aufbaus, Verbilligung der Eindeckung bei massiver Ausführung infolge geringen Pfettenabstandes, erhebliche Ersparnis bei der Beförderung, vor allem bei Überseebauten und dadurch erleichterte Ausfuhr.“*⁹⁸⁰

Auch auf dem Gebiet der Architektur kam Junkers in Kontakt mit dem Bauhaus in Dessau. Mit demselben originären Denken, mit dem ein Ingenieur bei Junkers ein Metallhaus, eine Halle oder ein Flugzeug gestaltete, entwarfen und fertigten Bauhäusler ihre Industriemodelle und Wohnungen. Wie bei Junkers ging es dem Bauhaus um die Synthese von Inhalt und Form, Ästhetik und Funktionalität.⁹⁸¹ Uneinigkeit bestand jedoch auf dem Gebiet der Materialwahl. 1926 schrieb Junkers dazu: *„Gropius⁹⁸² geht von reinem Betonbau aus, der mit unseren Bestrebungen, Metallhäuser [...] zu bauen nicht in Einklang zu bringen ist. Unsere Erfahrungen liegen auf dem Gebiete des Blechbaus, nicht des reinen Betonbaus.“*⁹⁸³

Auf den Gebieten des Metallmöbelbaus, der Warmwasserinstallationen in Bauhaus-Häusern und der Werbung wurde dennoch zusammen gearbeitet.

Inspiziert von den Metallhausentwürfen des amerikanischen Architekten Richard Fuller⁹⁸⁴, stellte Junkers Ende der 1920er Jahre eigene Überlegungen zu Metall-Wohnhäusern an. Fuller hatte beispielsweise 1927 ein Haus entworfen, das an einem Stahlmast quasi aufgehängt wurde. Das „Dymaxion House“ sollte als Beplankung des eingegrenzten Raumes

⁹⁸⁰ Paulssen 1926. Seite 1365.

⁹⁸¹ Vgl. Lauff 2001. Seite 87.

⁹⁸² Gropius, Walter Adolf Georg (* 18.05.1883 in Berlin; † 05.07.1969 in Boston, Massachusetts).

⁹⁸³ Briefwechsel zwischen Junkers und Gropius, April/Mai 1926, Sammlung Erfurth, Dessau.

⁹⁸⁴ Fuller, Richard Buckminster (* 12.07.1895 in Milton, Massachusetts; † 01.07.1983 in Los Angeles).

Stahlblech erhalten, was verschiedene Probleme mit sich brachte. Dazu überlegte Fuller: *„Als Traggerüst für ein konventionelles Haus konnten zwei vertikale Stahlrossen 20 Holzpfosten ersetzen, doch bei der Beplankung des eingegrenzten Raumes war das flache Stahlblech extrem instabil, und man musste es mit Falzen aussteifen, die wiederum schwer wasser- und luftdicht zu kriegen waren – oder es musste mit allen möglichen Druck- und Rahmenelementen ausgesteift werden, was einen wieder mit unnötigem Gewicht bestrafte. Wellblech, das die Folge aus dem Problem war, sah unattraktiv aus; es knitterte. Auch rostete der Stahl früher, und selbst in einer galvanisierten Ausführung rostete er an den Schnittkanten, war weich, verbog sich und bildete Flecken aus. Er war weit davon entfernt, als Teil einer Behausung wünschbar zu sein.“*⁹⁸⁵ Fuller entwickelte in den frühen 1930er Jahren auch ein stromlinienförmiges und dreirädriges „Dymaxion Car“, das ein aluminiumbeplanktes Holzgerippe mit Stoffverdeck besaß.⁹⁸⁶ Auch mit geodätischen Architekturen beschäftigte er sich.

Erstes Ergebnis der Forschungen Junkers auf diesem Gebiet, war jedoch kein Haus sondern Metalltüren für das Innere von Häusern, die beispielsweise im Shell-Haus in Berlin eingebaut wurden.⁹⁸⁷

Danach ging er dazu über Kleinstarchitektur in Metall zu realisieren: es entstanden Telefonzellen, Autogaragen, Waggon- und Schiffsaufbauten sowie Gartenhäuser. Auch gab es Pläne für Straßenbahnpavillons mit Verkaufskiosken, Flugplatzgebäude, Ein- und Mehrfamilienhäuser, Verwaltungs- und Warenhäuser sowie für Ganzmetallkirchen.⁹⁸⁸

Stauff beschreibt den Aufbau eines einfachen Ganzmetall-Hauses nach Junkers:

„Das statische System dieser Beispiele beruhte auf einer Rahmenkonstruktion. Auf einem Fundament wurden Pfosten aufgestellt, an denen sowohl die Tragbalken der Decken als auch die Fachwerkkonstruktion des Daches direkt angebracht wurden. [...] Im Patent Nr. 642346 wurde eine konventionelle Doppelwand mit zwischenstehenden Stützen beschrieben, die sich nur durch die ausschließliche Verwendung von Metall und einer neuartigen Wärmedämmung von den üblichen Schichtbauweisen unterschied. [...] Auf diesem Fundament lag ein Metall-C-Profil, welches mit den Stützen den Rahmen bildete. Auf der In-

⁹⁸⁵ Krausse, Joachim; Lichtenstein, Claude (Hrsg.): Your Private Sky. R. Buckminster Fuller. Design als Kunst einer Wissenschaft. Zürich 1999. Seite 238.

⁹⁸⁶ Vgl. Krausse; Lichtenstein 1999. Seite 191.

⁹⁸⁷ Vgl. Blunck 1951. Seite 294.

⁹⁸⁸ Vgl. Lauff 2001. Seite 105.

nenseite der Konstruktion sind Bleche montiert worden. Auch für die Außenseite wurden ebenfalls dünne Bleche verwendet, die mit einer zusätzlichen Wärmedämmschicht versehen waren. [...]. Die Innenwand war über dünne Zwischenlagen an den Stützpfeilern befestigt. [...]. Die Konstruktion wurde so gewählt, um dem Schwitzwasser und einer kalten Innenwand vorzubeugen. Indem man die Außenwand über Flacheisen und Stützen in einiger Entfernung angebracht hatte und zwischen Flacheisen und Stützen eine Dämmschicht aufgebracht worden war, konnte der Bildung einer Kältebrücke entgegengewirkt werden. [...]. Die Überlegungen Junkers gingen hingegen so weit, dass auch über die Verwendung von Rohren als Stützen nachgedacht wurde. Diese sollten dann in regelmäßigen Abständen von der Innenseite angebohrt werden, sodass eine Zirkulation der Luft zwischen dem Hohlraum der Wandkonstruktion, dem Innenraum des Rohres und dem des Hauses erreicht werden konnte. [...]. Ähnlich wie die Außenwand waren auch die Decken aufgebaut. [...]. An die Stützen wurden Tragbalken, die in diesem Falle ebenfalls aus Doppel-T-Trägern bestanden, angebracht. [...]. Das Dach war ebenfalls an die Stützpfeiler montiert. Die Dachkonstruktion bestand aus einem Obergurt und einem Untergurt, die mit den Zwischenstäben zu einem Fachwerkträger verbunden wurden. [...]. Zur Außenseite gab es eine Eindeckung aus Metall mit innenliegender Wärmedämmung.“⁹⁸⁹

Realisiert wurden nur wenige von Junkers Metall-Architekturprojekten. Seine Forschungen auf dem Gebiet der Metallhäuser wurden durch seinen sich verschlechternden Gesundheitszustand und seinem Tod 1935 beendet.

Wie auch bei seinen Flugzeugprojekten, ging Junkers bei seiner metallenen Architektur sehr strukturiert vor und übertrug konsequent Forschungsergebnisse und praktische Erfahrungen auf dieses neue Betätigungsfeld. Die Konzeption seines Metallhauses zeigt, dass er viele Elemente direkt aus dem Flugzeugbau und aus seinem Hallenbau übertrug. Es gab also einen massiven Technologietransfer vom Flugzeugbau auch auf die Architektur.

⁹⁸⁹ Lauff 2001. Seiten 120 – 123. Vgl. auch Reichspatente Nr. 642346 vom 14.07.1934, Nr. 702818 vom 14.07.1934, Nr. 329226 vom 22.11.1919.

7.4 Automobilbau

Im Automobilbau konnte sich der Werkstoff Holz im Vergleich zum Flugzeugbau temporär etwas länger behaupten und anders als beispielsweise im Schiff- und Eisenbahnbau besaß Metall hier keine grundsätzliche Überlegenheit bzw. Vorteile gegenüber den traditionellen Werkstoffen wie etwa dem Holz. Dem Prinzip des „*Economies of Scale*“⁹⁹⁰ folgend, war die Voraussetzung für den Werkstoffwandel im Automobilbau die Schaffung eines (zivilen) Massenmarktes mit möglichst standardisierten Fahrzeugen. Im Gegensatz zum Flugzeugbau war die technische Entwicklung des Autos bis nach dem Ersten Weltkrieg fast ausschließlich abhängig vom zivilen und nicht vom militärischen Bedarf. Eine ausgedehnte staatlich-militärischer Förderung wie im Flugzeugbau gab es nicht.

Die Automobilpioniere orientierten sich material- und konstruktionstechnisch am einzigen in Massen hergestellten Individualverkehrsmittel jener Zeit: dem Fahrrad. Stahlrohrrahmen, gummibereifte Stahlspeichenräder, Kettenantrieb auf die Hinterräder und das Differentialgetriebe übernahmen sie von den fortschrittlichsten Fahrradmodellen, die James Starley⁹⁹¹ und andere Konstrukteure zur gleichen Zeit in England bauten.

Diese funktionalen Leichtbaukonstruktionen, die noch den Beginn des Automobils bestimmten, wurden jedoch vergessen oder verdrängt, als die Erhöhung der Motorleistung es erlaubte, auch aus schweren Kutschen Autos zu machen.⁹⁹²

Bauten Benz⁹⁹³, Daimler⁹⁹⁴ und Maybach⁹⁹⁵ zunächst noch unter dem Leitbild des Fahr-

⁹⁹⁰ „Economies of scale, in microeconomics, refers to the cost advantages that a business obtains due to expansion. There are factors that cause a producer's average cost per unit to fall as the scale of output is increased. "Economies of scale" is a long run concept and refers to reductions in unit cost as the size of a facility and the usage levels of other inputs increase.“ (Sullivan, Arthur; Steven M. Sheffrin: Economics. Principles in Action. Saddle River, New Jersey 2003. Seite 157).

⁹⁹¹ Starley, James (* 21.04.1830 in Alburne, Mid Sussex; † 17.06.1881).

⁹⁹² Vgl. Krause, Joachim: Versuch, auf's Fahrrad zu kommen. Zur Technik und Ästhetik der Velo-Evolution. In: Absolut modern sein. Zwischen Fahrrad und Fließband – Culture technique in Frankreich 1889-1937. Berlin 1986. Seiten 59-74. Hier Seite 59.

⁹⁹³ Benz, Karl Friedrich Michael (* 25.11.1844 in Karlsruhe-Mühlburg; † 04.04.1929 in Ladenburg).

⁹⁹⁴ Daimler, Gottlieb Wilhelm (* 17.03.1834 in Schorndorf; † 06.03.1900 in Stuttgart-Cannstatt).

⁹⁹⁵ Maybach, August Wilhelm (* 09.02.1846 in Heilbronn; † 29.12.1929 in Stuttgart-Cannstatt).

rades ein integriertes, funktionales Auto, so zwang die Prestigebedürftigkeit der (vor allem zuerst der deutschen, später der europäischen) Gesellschaft schon bald zum Verlassen dieses rationalen Ansatzes: die bewährte, integrierte, funktionale Form gab zu wenig her, ließ sich nicht verkaufen. Also begann gleich zu Beginn der „Rückschritt“: man motorisierte repräsentative Kutschen, und aus Gründen des Prestiges vergaß man das Leitbild, die Leittechnologie Fahrrad, das zu einem Auto von nur 263 Kilogramm Gewicht geführt hatte, und befuhr den Weg der „schweren Wagen“ mit schweren Holzkarosserien.⁹⁹⁶

Ähnlich wie bei der Flugzeugkonstruktion und dem Schiffbau, erfolgte dann der sozusagen zweite Werkstoffwandel vom Holz zurück zum Metall über die gleichzeitige Verwendung der beiden Werkstoffe, dem so genannten Mischbau. Dabei blieb Holz bis in die 1930er Jahre das wichtigste Material für den Karosseriebau. Die Rahmen bestanden aus Stahlrohren und wurden in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts durch kombinierte Holz- und Eisenrahmen und dann gepresste Stahlrahmen, die eine erhöhte Tragfähigkeit bei niedrigem Gewicht aufwiesen, ersetzt.⁹⁹⁷ Die Geschwindigkeit, mit welcher die technische Evolution des Automobils erfolgte und die ungefähre Gleichzeitigkeit des automobilen Werkstoffwandels machen es nötig Ergänzungen anzufügen.

Der Übergang von der Holz- zur Metallbauweise ging im Automobilbau einher mit dem Übergang vom individuellen oder in lediglich sehr kleinen Serien gefertigten Luxusartikel zum massentauglichen Gebrauchsgut. Ein Wandel, der sich vor dem Ersten Weltkrieg noch nicht abzeichnete. Vor allem europäische Auto- und Karosseriebauer hielten lange an der aufwändigen Fertigung individueller und in Handarbeit gestalteter Karosserien für eine wohlhabende Kundschaft⁹⁹⁸ fest. Diese Fertigungsweise erschwerte den Materialwandel und verbot sogar den übermäßigen Einsatz des Werkstoffs Metall: *„Wenn wir unsere Kundschaft in, sagen wir 50 verschiedene Geschmacksklassen einteilen könnten*

⁹⁹⁶ Vgl.: Rauck, Max J.B.; Volke, Gerd; Paturi, Felix R.: Mit dem Rad durch zwei Jahrhunderte. Das Fahrrad und seine Geschichte. Aarau, Stuttgart 1979. Seite 221.

⁹⁹⁷ Vgl. Braess, Hans-Hermann: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. Wiesbaden 2007. Seite 732.

⁹⁹⁸ In Europa kostete eines, der nach der Jahrhundertwende gebauten Luxusautos, den Gegenwert eines Hauses. (König, Wolfgang: Massenproduktion und Technikkonsum. Entwicklungslinien und Triebkräfte der Technik zwischen 1880 und 1914. Seite 461. In: König, Wolfgang (Hg.): Propläen Technikgeschichte. Band 4: Netzwerke, Stahl und Strom 1880 - 1914. Berlin 1997. Seite 472)

und dann für jede dieser 50 verschiedenen Geschmäcker, je eine Type von Wagenkarosserie festlegen könnten, das ist doch viel, bedenken Sie 50 verschiedene Wagen! – Sehen Sie, dann würde ich es für möglich halten, nach Festlegung eines nach Hunderttausenden zählenden Kapitals für Modelle, Formen und Pressen aller Art, Metallkarosserien zu bauen, welche im Rohbau um ein geringes billiger sind wie unsere Stellmacherarbeit an Wagenkästen. Aber Sie können bestimmte Formen nur auf Risiko festlegen und für ein oder ein paar Kästen Modelle und Formen anzuschaffen, wäre einfach Geldverschwendung. Auch sind die Karosserieformen nicht 50 sondern viel Hundertfältig, diese Behauptung mag vielen der Herren Automobil-Ingenieure unwahrscheinlich erscheinen, ist aber unbedingt richtig.“⁹⁹⁹

„Für manche der damals etwa zweihundert deutschen Karosseriebaufirmen, zumal solche, die aus Stellmachereien¹⁰⁰⁰ hervorgegangen waren und sich vorwiegend auf Luxusausführungen verlegt hatten, war es schon ein kühner Schritt, ihre Kundschaft von den Vorzügen der Sperrholztafel zu überzeugen und sie davon abzubringen, wie bisher darauf zu bestehen, dass nur massives Linden- oder Pappelholz für die Bekleidung der aus Eschen- oder Rotbuchenholz bestehenden Gerippe ihrer Wagenaufbauten verwendet wurde.“¹⁰⁰¹

Metallverkleidungen hielten ab Mitte der 1920er Jahre Einzug in den deutschen Karosseriebau. Doch noch zu Beginn der 1930er Jahre lag nach Auskunft des Reichsverbandes der Deutschen Automobilindustrie der Blech-Anteil am Materialeinsatz bei lediglich 40% und im Karosseriebau fand ansonsten immer noch vorwiegend Holz Verwendung.¹⁰⁰² Dies lag an den in Deutschland vorherrschenden Schotter- oder groben Pflasterstraßen, den im Vergleich zu den USA im Automobil- und Karosseriebau niedrigeren Löhne, sowie an den demgegenüber hohen Beschaffungskosten für Blechpressen und Kopierfräs-

⁹⁹⁹ Goele, H.: Holz- oder Metall-Karosserien? In: Der Motorwagen 9, 1906. Seite 301.

¹⁰⁰⁰ Die Stellmacherei ist die Werkstatt eines als Stellmacher bezeichneten Handwerks, der Räder, Wagen und andere landwirtschaftliche Geräte aus Holz herstellt.

¹⁰⁰¹ Mende, Michael: „Dort drüben von fabelhafter Größe, hier nur in bescheidenem Umfange...“ – Begegnung mit amerikanischen Verhältnissen im Karosseriebau Mitte der 1920er Jahre. In: Reith, Reinhold (Hg.): Kleine betriebe – angepasste Technologie? Hoffnungen, Erfahrungen und Ernüchterungen aus sozial- und technikhistorischer Sicht. Münster 2002. Seite 68.

¹⁰⁰² Vgl. Ledermann, Fred: Fehlrationalisierung – der Irrweg der deutschen Automobilindustrie seit der Stabilisierung der Mark. Betriebswirtschaftliche Studie eines Beispiels der Investitionskonjunktur. Stuttgart 1933. Seite 52.

maschinen, die zur ständigen Verfügbarkeit der Tiefziehwerkzeuge unentbehrlich waren.¹⁰⁰³

Die Straßenqualität stand in direkter Verbindung zur Materialwahl. Letzten Endes wurden damals nicht die Straßen den Automobilen, sondern die Automobile den Straßen angepasst.¹⁰⁰⁴

In seinem Reisebericht aus den USA beschrieb der deutsche Karosseriebauer Wilhelm Karmann¹⁰⁰⁵ die oft genug noch „grundlosen Wege“¹⁰⁰⁶ und auch in Europa verboten unasphaltierte Straßen bis in die Zeit nach dem Ersten Weltkrieg die Metallkarosserie, da die ständigen Stöße und Schwingungen dazu führten, dass der in mehreren Schichten über Spachtelmasse aufgetragene Emailack abplatze, Lötstellen freigelegt wurden, Schweißnähte brachen und Nietlöcher ausleierten. Die Kombination des federnden, bei Beanspruchung und Chassisverwindung nachgebenden und dann seine alte Lage wieder einnehmenden Holzgerippes mit Stahllarmierung und Stahlmantel hatte sich dagegen bei diesen Straßenbedingungen bewährt. Sie erzeugte keine hässlichen Nebengeräusche und war in der Formgebung zudem noch beweglicher als die Stahlkarosserie, da die Gerippe mittels einfacher Modelle hergestellt werden konnten.¹⁰⁰⁷

Ein weiterer Beleg für den Zusammenhang zwischen Materialwahl und Straßenbeschaffenheit sind Automobile, die speziell für Rennen gefertigt wurden. Auf den Rennbahnen war die Straßenqualität besser und so wurde in diesem Bereich auch schon früh mit anderen Materialien experimentiert. Ein Mercedes, der um 1900 anlässlich der Rennwoche in Nizza konstruiert worden war, besaß ein Kurbelwellengehäuse aus Leichtmetall und einen Rahmen aus leichtem Pressstahl, der nur etwa ein Viertel der üblichen Holz-Winkeleisen-Rahmen wog, aber eine größere Verwindungsfestigkeit aufwies.¹⁰⁰⁸ Natürlich spielten in diesem Segment auch die Fertigungskosten eine untergeordnete Rolle.

Erst die Verbesserung der Straßenqualität ab Mitte der 1920er Jahre erlaubte und begüns-

¹⁰⁰³ Vgl. Mende 2002. Seite 70.

¹⁰⁰⁴ Vgl. König, Wolfgang: Massenproduktion und Technikkonsum. Entwicklungslinien und Triebkräfte der Technik zwischen 1880 und 1914. Seite 467. In: König, Wolfgang (Hg.): Propyläen Technikgeschichte. Band 4: Netzwerke, Stahl und Strom 1880 - 1914. Berlin 1997; Vgl. auch Mom 1997. Seite 272.

¹⁰⁰⁵ Karmann, Wilhelm (* 14.02.1871 in Ilfeld/Harz; † 28.09.1952 in Osnabrück).

¹⁰⁰⁶ Karmann, Wilhelm: Meine Amerikafahrt. Osnabrück 1924. Seite 11.

¹⁰⁰⁷ Vgl. Westermann, Franz: Der Karosseriebau. In: Allmers, Robert u.a. (Hg.): Das deutsche Automobilwesen der Gegenwart. Berlin 1928. Seite 183.

¹⁰⁰⁸ Vgl. König 1997. Seite 461.

tigte die Massenfertigung von Gebrauchs-Automobilen in Ganzmetallbauweise.

Der Übergang zur Massenfertigung im Automobilbau ging mit dem langsamen Verschwinden der unabhängigen Karosseriebauer einher. Die Automobilhersteller nahmen den Karosseriebau ab Ende der 1920er Jahre zunehmend in die eigenen Hände, um ihre Modelle zu standardisieren und so der Massennachfrage nach erschwinglichen Automobilen nachzukommen. Dies war die Voraussetzung für den etwa 1934 erfolgten Wechsel zur Schalenbauweise von selbsttragenden Ganzstahlkarosserien, bei denen der Rahmen in die Bodengruppe integriert und mit dem übrigen Aufbau zu einer Einheit verschweißt wurde.¹⁰⁰⁹

In den USA verlagerte sich der Motoren- und Karosseriebau schon kurz nach der Jahrhundertwende von der Ostküste in den Mittleren Westen. Die Eisengießereien Detroit bildeten die Grundlage für die Ansiedlung der Motorenproduktion und der zunächst hölzerne Karosseriebau konzentrierte sich in Grand Rapids, Flint und anderen Orten Michigans, den Zentren der amerikanischen Holzverarbeitung.¹⁰¹⁰

Dabei visierten Autobauer wie Ford¹⁰¹¹ schon früh über einen möglichst geringen Fahrzeugpreis einen viel breiteren Kundenstamm an, als die Europäer mit ihren teuren handgefertigten Autos. Massenproduktion wirkte zu jener Zeit, in den USA früher als in Europa, wie die logische Bedingung eines Massenwohlstands.¹⁰¹²

Die Verwendung genormter Teile hatte sich in den USA längst durchgesetzt. Die Vereinigungen der Hersteller und die großen Zulieferer, die zahlreiche Firmen versorgten, wirkten in jene Richtung. Je weniger Modelle eine Firma produzierte, desto mehr Kosten konnte sie durch Normierung einsparen. Als sich Ford 1908 entschloss, nur noch ein Modell zu bauen, ließen sich Normierung und Rationalisierung der Produktion weiter vorantreiben. In Kooperation mit Werkzeugmaschinenfabriken entwickelten Fords Mitarbeiter Spezialmaschinen, die jeweils nur einen Bearbeitungsvorgang, aber diesen mit großer Präzision und hoher Arbeitsgeschwindigkeit erledigten. Aus der Fahrradherstellung übernahm Ford rationelle Fertigungstechniken, beispielsweise das Stanzen und Pressen.¹⁰¹³

¹⁰⁰⁹ Vgl. Mende 2002. Seite 72.

¹⁰¹⁰ Vgl. Flügge, Eva: Die Automobilindustrie der Vereinigten Staaten. Jena 1931. Seite 27.

¹⁰¹¹ Ford, Henry (* 30.07.1863 in Wayne County, Michigan, USA; † 07.04.1947 in Dearborn, Michigan).

¹⁰¹² Vgl. Radkau 2008. Seite 243.

¹⁰¹³ Vgl. König 1997. Seite 469.

Die „Assembly Belts“, die Fertigungsstraßen und Fließbänder entstanden.

Nach dem damaligen Stand der Materialtechnik konnten alle diese Neuerungen nur durch die zunehmende Verwendung von Stahlblech erfolgen. Der Stand der Holztechnik erlaubte noch keine Massenproduktion von gepressten und witterungsbeständigen Holzteilen. Dabei hielt sich lange ein Gemischtbau aus einem hölzernen tragenden Gerippe und Stahlblechpaneelen, die auf dieses Holzgerippe aufgebracht wurden. Das Holz für das tragende Gerippe ließ Ford in eigenen Forsten schlagen, in Bohlen schneiden und - je nach Ausgangsfeuchtigkeit – über einen Zeitraum von einer bis vier Wochen künstlich auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 7 % trocknen.¹⁰¹⁴

Der Übergang von Gemischtbau-Karosserien zu Ganzmetallstrukturen ging im Automobilbau einher mit der zunehmenden Massenproduktion von immer billigeren Autos.

Jahr	Preis des Tourenwagens (in US-Dollar)	Verkaufte Exemplare (auf 100 gerundet)
1908	850	6 000
1909	950	12 300
1910	780	19 300
1911	690	40 400
1912	600	78 600
1913	550	182 800
1914	490	260 700
1915	440	355 300
1916	360	577 000

*Tabelle 5: Preise und Verkaufszahlen des Ford Modell T 1908 - 1916.*¹⁰¹⁵

Auch die Verbesserung der Straßenqualität spielte beim Werkstoffwandel eine wichtige Rolle: „Nachdem zwischen 1936 und 1939 der Anteil der leichten, nur festgewalzten Schotterdecken bei den Reichsstraßen von knapp zwölf auf fünf Prozent und selbst bei den

¹⁰¹⁴ Vgl. Van Deventer, John H.: Ford Principles and Practice at River Rouge. XIII – Manufacturing and Assembling Body Parts. In: Industrial Management 66, 1923. Seite 151.

¹⁰¹⁵ Daten aus König 1997. Seite 469.

Landstraßen 2.Ordnung von nahezu 80 auf 68 % verringert, hingegen die Reichsstraßen auf einem Viertel und die Landstraßen auf einem Achtel ihrer Gesamtlänge wie die neuartigen Autobahnen mit „schweren“ Decken versehen worden waren¹⁰¹⁶, mussten die Kraftfahrer auch nicht mehr um ihre Karosserien fürchten. Einerseits gewährleisteten die Schweißnähte mittlerweile mit einem höheren Maß an Elastizität auch eine stärkere Belastbarkeit und damit eine längere Lebensdauer, andererseits erlaubten die nun sehr viel ebenmäßigeren Fahrbahndecken, den Vorteil der leichteren und windschnittigeren Ganzstahlkarosserie ohne Bedenken in höhere Geschwindigkeiten umzusetzen.“¹⁰¹⁷

Aluminium spielte im Automobilbau, weil es im Verhältnis zu Holz und Stahl teuer war, anfangs nur eine Rolle im Bereich des Sport- und Luxuswagensegments. 1899 präsentierte der Bielefelder Nähmaschinen- und Fahrradproduzent Dürkopp auf der internationalen Motorwagen-Ausstellung einen kleinen Sportwagen mit Aluminiumkarosserie.¹⁰¹⁸ 1907 baute Rolls-Royce den „Silver Ghost“, einem Luxusfahrzeug, das ebenfalls eine mattpolierte Aluminiumkarosserie hatte. 1912 begann die amerikanische Pierce-Arrow Motor Company ebenfalls damit, die Karosserien, der von ihr in Kleinserie hergestellten Fahrzeuge aus Aluminiumteilen zusammen zu setzen.¹⁰¹⁹ Dass sich das neue Metall aber noch nicht für die Massenfertigung von Alltagsfahrzeugen eignete, musste BMW 1924 lernen, als das Projekt eines Kleinwagens mit selbsttragender Aluminiumkarosserie wegen mangelnder Robustheit und Haltbarkeit eingestellt werden musste.¹⁰²⁰ Dagegen wurde der Rennsport zum Schrittmacher der Einführung neuer Materialien in den Automobilbau. Zwischen 1934 und 1937 schrieb die „Rennformel“ ein Fahrzeug-Höchstgewicht von 750 Kilogramm vor, was die Entwicklung von Leichtbauweisen und die Einführung von Aluminium in den Karosserie- und Motorenbau weiter vorantrieb.¹⁰²¹ Der 150 Stundenkilometer schnelle BMW 328, dessen Aluminiumkarosserie auf eine Stahlstruktur montiert war, verkaufte sich zwischen 1936 und 1940 ganze 462 Mal. Hinsichtlich der Karosserie-

¹⁰¹⁶ Länderrat des Amerikanischen Besatzungsgebiets (Hrsg.): Statistisches Handbuch von Deutschland 1928-1944. München 1949. Seite 375.

¹⁰¹⁷ Mende 2002. Seite 73.

¹⁰¹⁸ Vgl. Aluminium Journal. 1987, Nr. 9. Seite 920 f.

¹⁰¹⁹ Vgl. Marschall 2008. Seite 129.

¹⁰²⁰ Vgl. Falk, S.; Schwarz, R.: Aluminium – Metall der Moderne. In: Schäfke, W.; Schleper, Th.; Tauch, M. (Hrsg.): Aluminium. Das Metall der Moderne. Köln 1991. Seite 60.

¹⁰²¹ Vgl. Marschall 2008. Seite 129.

form gab es in den 1930er Jahren einen Technologietransfer: die Stromlinienform wurde vom Flugzeug- und Luftschiffbau auf den Automobilbau übertragen. Es liegt nahe, dass es auch material- und strukturtechnische Beeinflussungen gab.

Nachdem die Skepsis von Herstellern und Mechanikern gegenüber dem Aluminium überwunden war, setzte es sich in den 1920er Jahren auch als Herstellungsmaterial für Automotoren durch wohingegen es schon im Ersten Weltkrieg im Flugmotorenbau verwendet wurde.¹⁰²² Der Opel 4/12 PS, auch „Laubfrosch“ genannt, war 1924 der erste in Deutschland am Fließband hergestellte Pkw. Sein Aluminiummotorblock erlaubte dem nur 560 Kilogramm schweren Fahrzeug immerhin eine Höchstgeschwindigkeit von 60 Stundenkilometern.

Auch nach dem Zweiten Weltkrieg verhinderte die Verfügbarkeit von billigem Stahl und dessen einfache Verarbeitung die breite Einführung des Aluminiums in den Automobilbau. Nur Luxus-, Sport- und Nischenfahrzeuge wurden teilweise in diesem Leichtmetall ausgeführt.¹⁰²³

Erst die Ölkrise der 1970er Jahre führte zu einem Umdenken bei der Materialwahl für Automobilkarosserien. Aluminium, das um ein Drittel leichter ist als Stahl, versprach Verbrauchsreduzierung, weniger Schadstoffausstoß und mehr Unabhängigkeit von ausländischem Öl. Während Anfang der 1970er Jahre in europäischen Autos meist nur die Motorkolben aus Aluminium bestanden, stieg in den Jahren danach der Aluminiumanteil in sämtlichen Anwendungsbereichen des Automobilbaus stetig an. Felgen, Vergaser, Kühler, Ölwanne, Zylinderkopfschrauben, Getriebedeckel und ganze Getriebegehäuse und Motorblöcke wurden jetzt aus Aluminium hergestellt. Auch der Aluminiumanteil in der Karosserie steigt bis heute stetig an.¹⁰²⁴

¹⁰²² Vgl. Aluminium Journal. 1935, Nr. 7. Seiten 355 – 369. Der größte Vorzug von Aluminiumkolben ist, dass dank ihres geringen Gewichtes weitaus weniger Kraft für die ständige Auf- und Abbewegung im Motor notwendig ist. Dadurch lassen sich Drehzahl und Leistung des Motors erhöhen, während der Kraftstoffverbrauch sinkt (Marschall 2008. Seite 131).

¹⁰²³ Vgl. Garzia, C.; Mollona, E.: Aluminium for the Transportation Industry in Europe. Mailand 2002. Seite 37 ff.

Die Verwendung von Kunststoff im Automobilbau der DDR ist ein singuläres Phänomen, dass auf die Verfügbarkeit bzw. Nichtverfügbarkeit von Rohstoffen zurückzuführen ist und hier auf Grund seiner Isoliertheit nicht näher untersucht wird.

¹⁰²⁴ Vgl. ebenda. Seite 40.

Jahr	Durchschnittlicher Aluminiumanteil in europäischen Automobilen in Kilogramm
1970	30
1980	43
1990	61
1999	99
2008	150

Tabelle 6: Entwicklung des Aluminiumanteils in europäischen Pkw.¹⁰²⁵

Um die Gewichtsersparnis im Automobilbau weiter zu erhöhen und Mehrgewichte im Bereich der Fahrzeugausstattung auszugleichen, treten heute neue Werkstoffe in Konkurrenz zum Aluminium. Dazu gehören Magnesium und vor allem Faserverbundwerkstoffe wie der kohlenfaserverstärkte Kunststoff (CFK). Wie bei der Einführung des Aluminiums, ist es heute wieder das Oberklassesegment, in dem an CFK geforscht und auch schon eingesetzt wird. Dies liegt am hohen Preis von CFK. Lamborghini und McLaren gehören hier zu den Vorreitern. Durch neue Produktionstechniken und umfangreiche Forschung – verspricht Carbon doch eine enorme Gewichtsersparnis, was wiederum den Spritverbrauch und die CO₂-Emmission reduziert - sind die Preise für CFK im Sinken begriffen. Am Beispiel des Einliter-Autos XL1 erläuterte Ferdinand Piëch¹⁰²⁶ den Preisverfall: „Die Karbonkarosserie des ersten Entwurfs von 2002 kostete rund 35.000 Euro, die des XL1 noch 5.000 Euro.“¹⁰²⁷ BMW plant schon ab 2012 mit dem Elektroauto i3 einen Kleinwagen mit Kohlefaser-Karosserie herzustellen und den neuen Werkstoff damit Massenkompabil machen.¹⁰²⁸

Zurzeit findet wieder ein Technologietransfer aus dem Flugzeug- auf den Automobilbau-

¹⁰²⁵ Daten aus Marschall 2008. Seiten 134, 135.

¹⁰²⁶ Piëch, Ferdinand Karl (*17.04.1937 in Wien) ist seit 2002 Vorsitzender des Aufsichtsrates der Volkswagen AG.

¹⁰²⁷ Vgl. Grünweg, Tom: Karbon in der Großserie. Die schwarze Zukunft des Autobaus. Spiegel online. 25.03.2011. Auf: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,753000,00.html>. Stand 06.04.2011.

¹⁰²⁸ Vgl. Auto Motor und Sport: Werkstoff-Revolution im Automobilbau. 24.01.2011. Auf: <http://www.auto-motor-und-sport.de/testbericht/cfk-technik-autos-aus-kohlefaser-verstraertem-kunststoff-3337760.html>. Stand 10.03.2011.

bau hinsichtlich faserverstärkter Kunststoffe statt. Lamborghini kooperiert dabei mit Boeing, Audi und BMW arbeiten mit Eurocopter, EADS und DLR¹⁰²⁹ zusammen. Auch durch den neuen Werkstoff bedingte veränderte Reparaturverfahren können von den Flugzeugbauern übernommen werden. Im Gegenzug erhoffen sich die Luftfahrtunternehmen Erkenntnisse, was die Verwendbarkeit von CFK für große Stückzahlen und schnelle Produktion angeht.¹⁰³⁰

Sind die materiellen Vorteile des Metalls im Flugzeugbau eher unscharf, so zeigen die Beispiele des Brücken- und Automobilbaus, dass hier der Wechsel des Werkstoffs handfeste technisch-ökonomische Vorteile mit sich brachte. Im Brückenbau konnte durch Metall schnell der hohe Bedarf, gerade an Eisenbahnbrücken, gedeckt werden. Im Automobilbau verlangte die strenge Rationalisierung der Fertigung, die Massenfertigung der Autos und der Preisdruck die Verwendung metallener Werkstoffe.

Bietet sich der Vergleich von Flugzeug- zum Brückenbau wegen der Ähnlichkeit der räumlichen Strukturen (Gerüste) an, so ist der Vergleich von Flugzeug- zum Automobilbau vor allem wegen der zeitlich parallelen Entwicklung, der verkehrstechnischen Relevanz und des Technologietransfers interessant. *„So hat letztlich erst der Flugzeugbau die Anstöße gegeben und die Voraussetzungen dafür geschaffen, dass aus dem Auto etwas anderes wurde als die motorisierte Kutsche.“*¹⁰³¹ Hier sei beispielsweise auf selbsttragende Strukturen verwiesen.

Hauptunterschied zwischen Brücken- und Automobilbau auf der einen und Flugzeugbau auf der anderen Seite ist die materielle Abhängigkeit von zivilen Märkten. Das Gesetz von Angebot und Nachfrage bestimmte die technische Entwicklung bei Brücke und Auto viel stärker als beim Flugzeug. Aufgrund umfangreicher staatlicher und militärischer Förderung entfielen bei der Entwicklung und Fertigung von Flugzeugen der ökonomische Druck und auch die Steuerungsmechanismen des freien Marktes. Durch militärische Konflikte behindert, entwickelte sich der zivile Markt von Flugzeugen im Vergleich zum Automobil sehr spät. Und auch dann war an eine Massenfertigung mit den Stückzahlen, die man aus dem Automobilbau kannte, nicht zu denken.

¹⁰²⁹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

¹⁰³⁰ Vgl. Grünweg 2011.

¹⁰³¹ Krausse 1986. Seite 59.

8. Schlussbetrachtung

*„Every time a new technology emerges, it has to struggle with the status quo.“*¹⁰³²

Was waren nun die Ursachen des Werkstoffwandels? Es konnte gezeigt werden, dass auf technischer Ebene je nach Anforderungsprofil materielle Vorteile durchaus bei beiden Werkstoffen Holz und Metall bestehen. Es wurde ebenfalls herausgestellt, dass soziale Faktoren den Werkstoffwandel entscheidend beeinflussten. Wie Gijs Mom schon bei der Untersuchung des Scheiterns des frühen Elektroautomobils feststellte, zeigt sich auch bei dem hier untersuchten Werkstoffwandel, dass eine rein technische Erklärung ebenso wenig ausreicht wie eine rein soziokulturelle.¹⁰³³ Nur eine geographisch und temporal differenziert Bewertung der Faktoren kann zu befriedigenden Ergebnissen führen.¹⁰³⁴ Eine geographische Differenzierung ist im Falle des Flugzeugs nötig, weil sich der Werkstoffwandel nicht überall gleich schnell und mit gleichem Ausmaß vollzogen hat. Die internationalen Unterschiede bei der Werkstoffwahl beim Bau von Flugzeugen waren bis Ende der 1920er Jahre beträchtlich. Eine temporale Differenzierung ist nötig, weil es, wie beschrieben, durchaus eine, wenn auch kurze, Konkurrenzsituation zwischen den Werkstoffen gab, bevor sich dann die metallenen Werkstoffe durchsetzten. Da sich die Konkurrenten Holz und Metall unterschiedlich schnell entwickelten, ist eine zeitliche Differenzierung notwendig. Man darf auch hier nicht vom Ende einer Geschichte auf ihren Anfang blicken. Man muss versuchen das eigene historische Wissen außer Acht zu lassen, um die Erkenntnisse, die zu einem bestimmten Zeitpunkt eines Entwicklungsprozesses vorhanden waren, entsprechend würdigen und einschätzen zu können.¹⁰³⁵ Jürgen Kocka bezeichnete diese Betrachtungsweise als die „*Verflüssigung*“ von Geschichte, als „*das Rückverwandeln von Faktizität in Möglichkeiten*“.¹⁰³⁶

¹⁰³² Mokyř 1990. Seite 266.

¹⁰³³ Ergänzend hierzu ist die ökonomische Dimension zu berücksichtigen. Mokyř kommt bei der Betrachtung der Entwicklung des Fahrrads zu dem Schluss, dass diese weder durch technische noch durch ökonomische Faktoren erklärt werden kann, eine rein ökonomische Begründung für technische Veränderungen also auch zu kurz greift (Mokyř 1990. Seite 130).

¹⁰³⁴ Vgl. Mom 1997. Seiten 269, 270.

¹⁰³⁵ Vgl. Neitzel, Welzer 2011. Seite 27.

¹⁰³⁶ Zitiert nach Neitzel, Welzer 2011. Seite 27.

Die soziokulturellen Einflüsse auf Werkstofffragen werden bei der Analyse der Werkstoffentwicklung auf anderen Gebieten besonders deutlich. Es ist festzustellen, dass Werkstoffentscheidungen oft nicht nüchtern-rational oder wissenschaftlich begründet getroffen wurden, sondern gesellschaftliche Einflüsse und Werturteile, wie beschrieben, mannigfach feststellbar sind: „*It is not only engineers who are obsessed by steel and concrete (and quite indifferent to appearances); politicians and the man in the street seem to have caught the same infection. The disease seems to have originated two hundred years ago with the Industrial Revolution [...].*“¹⁰³⁷ Gordon erkennt also in der irrationalen Wahl der Werkstoffe Obsessionen und Krankheiten, die durch die Industrielle Revolution hervorgerufen wurden.

Eric Schatzberg zeigt in seinem Buch über den Materialwandel im amerikanischen Flugzeugbau einen Comic über die de Havilland „Mosquito“ aus der Reihe „*Ripley's – Believe It or Not!*“ von 1989¹⁰³⁸. Dieser stellt zuerst die Leistungen der „Mosquito“ heraus und bemerkt anschließend, dass das Flugzeug vollständig aus Holz bestand. „*Ripley's does not seek to provide historical instruction, however, but rather to evoke surprise and disbelief.*“ So kommentiert Schatzberg den Comic und fragt anschließend: „*Why should a successful airplane with a wood structure evoke surprise and disbelief?*“¹⁰³⁹

In die gleiche Richtung weist eine Anekdote des schon mehrfach erwähnten James Edward Gordon. Er zitiert in seinem Buch „*Structures, or Why Things don't fall down*“ die Frau eines amerikanischen Wissenschaftlers mit den Worten: „*So you're telling me that people used to make airplanes out of wood? – out of lumber! I don't believe you, you're kidding me.*“¹⁰⁴⁰

Der Comic Schatzbergs und die Anekdote Gordons zeigen sehr anschaulich welche gesellschaftlichen Vorurteile gegenüber Materialien herrschen können. Die Botschaften des Comics und der zitierten Dame lassen sich auf folgenden Nenner bringen: „*Wie kann man ein Flugzeug nur aus einem solch rückständigen Material wie Holz fertigen?*“ Oder noch weiter zugespitzt: „*Wie kann ein Flugzeug aus Holz überhaupt fliegen?*“

Hier wird eine technosoziale *Shifting Baseline* erkennbar. Wie die von Harald Welzer beschriebenen Fischer, die sich schnell an veränderte Fischbestände gewöhnten ohne sich an

¹⁰³⁷ Gordon 2003. Seite 318.

¹⁰³⁸ Vgl. Washington Post vom 21.05.1989.

¹⁰³⁹ Schatzberg 1999. Seite 3.

¹⁰⁴⁰ Gordon 2003. Seite 22.

fischreichere Zeiten zu erinnern, können wir uns heute nicht daran erinnern, dass es für ein technisches Artefakt, welches so lange existiert wie das Flugzeug, jemals eine andere technische und werkstoffliche Lösung gab, als eine Flugzeugkonstruktion, die überwiegend aus unterschiedlichen metallenen Werkstoffen besteht. Dazu bemerkt Mokyr: „*Variations on unsuccessful experiments in a previous generation are rarely tested.[...]. [...], the net of economic and social connections bequeathed from the past holds us with iron fetters fast in our tracks.*“¹⁰⁴¹ Eine andere Shifting Baseline in Verbindung mit dem Flugzeugbau zeigt sich übrigens, wenn man erkennt, dass Flugzeuge mit Propellermotoren unter Umständen heute viel wirtschaftlicher zu betreiben wären, als moderne triebwerkbestückte Flugzeuge.¹⁰⁴²

Auch Künstler wie Lewis Carroll¹⁰⁴³ oder Salvadore Dalí¹⁰⁴⁴ merkten, dass man das Publikum schockieren kann, wenn man dem Betrachter vertraute Dinge aus vermeintlich völlig ungeeigneten Materialien, wie beispielsweise Gummi, Brot oder Butter, herstellte und präsentierte.¹⁰⁴⁵

Dabei ändert sich die Akzeptanz von Materialien im Kontext von Mode und Stil ständig. Strohdächer wurden beispielsweise im 18. Jahrhundert, als der Wohlstand zunahm, durch Schiefer- und Ziegeldächer ersetzt. Stroh galt als Baumaterial der Armen. Heutzutage aber werden Strohdächer bewundert, unter Denkmalschutz gestellt und für viel Geld mit traditionellen Methoden wieder verwendet. Dabei gilt zu bedenken, dass die Wasserdichtigkeit bei allen Dachmaterialien, die richtige Anwendung vorausgesetzt, nahezu gleich ist.¹⁰⁴⁶

¹⁰⁴¹ Mokyr 1990. Seiten 284, 285.

¹⁰⁴² Vgl. Peeters, P.M.; Middel, J.; Hoolhorst, A.: Fuel efficiency of commercial aircraft. An overview of historical and future trends. Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). November 2005.

¹⁰⁴³ Carroll, Lewis – eigentlich Dodgson, Charles Lutwidge (* 27.01.1832 in Daresbury (GB); † 14.01.1898 in Guildford).

¹⁰⁴⁴ Dalí i Domènech, Salvadore Felipe Jacinto, Marqués de Púbol (* 11.05.1904 in Figueres, Katalonien; † 23.01.1989 ebenda).

¹⁰⁴⁵ Vgl. Gordon 2003. Seite 318.

Verfremdungseffekte sind auch aus der Literatur bzw. vom Theater bekannt. Sie sollen dem Leser/Betrachter vertraute Dinge in einem neuen Licht erscheinen lassen, um so die Widersprüche der Realität sichtbar zu machen.

¹⁰⁴⁶ Vgl. ebenda. Seite 318.

Wie in der Einleitung beschrieben, wird ein technisches Artefakt gesellschaftlich akzeptiert, sobald die interpretierbare Flexibilität seiner Nutzung verschwindet und ein technisches Problem wird dadurch gelöst, dass es gesellschaftlich als gelöst betrachtet wird.¹⁰⁴⁷

Auf den Flugzeugbau angewandt heißt das: Die Hauptprobleme der frühen Flugzeuge waren ihre mangelnde Sicherheit und Lebensdauer. Der Werkstoff Metall wurde als Lösung dieser Probleme, unter anderem von Hugo Junkers, propagiert und auch als solche gesellschaftlich (nicht nur für den Flugzeug-, sondern auch für den Luftschiff- und Schiffbau) akzeptiert, unabhängig davon wie sicher und langlebig diese neuen metallenen Flugzeuge, Luftschiffe oder Schiffe wirklich waren. „*The premise of interpretive flexibility works especially well in cases in which social consensus is achievable, where all or most parties can say at the end of the process, „Thank God we came together around this set of design features.*“¹⁰⁴⁸

Spektakuläre Unfälle mit Passagiermaschinen, wie der Knute-Rockne-Crash von 1931¹⁰⁴⁹, wurden der Öffentlichkeit mit der Verwendung des rückständigen hölzernen Werkstoffes erklärt. Bei dem Absturz einer Fokker F-10 der TWA in Kansas kam unter anderem der damals sehr populäre Football-Trainer der Notre Dame University, Knute Rockne, ums Leben. Sein Tod machte Schlagzeilen, die US-Luftfahrtindustrie kam in eine große Vertrauenskrise. Die Behörden mussten eine Ursache für den Absturz finden und sie beheben. In Verdacht geriet die hölzerne Tragfläche der F-10, deren Haut und Holme Klebstoff zusammenhielt. In einem beispiellosen Schritt sperrten die US-Luftfahrtbehörden alle F-10 für den Passagierdienst. Auch als die Sperre später unter strengen Bedingungen gelockert wurde, wollte niemand mehr in den Maschinen fliegen.¹⁰⁵⁰ Gerade auf den entstehenden und immer wichtiger werdenden zivilen Luftverkehr muss dieser Vorfall enormen Einfluss ausgeübt haben. Der öffentliche Druck und die Nichtnutzung¹⁰⁵¹ des traditionell hergestellten Artefakts beschleunigte die Umstellung auf neue Werkstoffe. Die Nutzer hatten Holz als Sicherheitsproblem akzeptiert. Die Beseitigung der Schwachstelle durch Verstärkung der hölzernen Struktur, konnte die Nutzungsverweigerung nicht mehr rück-

¹⁰⁴⁷ Vgl. Pinch; Bijker 1984. Seiten 426, 427.

¹⁰⁴⁸ Winner 1993. Seite 372.

¹⁰⁴⁹ Schatzberg 1999. Seite 132-134.

¹⁰⁵⁰ Grant 2008. Seite 138.

¹⁰⁵¹ Zum Einfluss der Nichtnutzung auf technologische Entwicklung schreibt Mokyr: „Even in an industry with no competition among techniques, a technique can disappear if it is used to produce something consumers no longer want (Mokyr 1990. Seite 283).“

gängig machen. Metall wurde als Lösung des Problems akzeptiert und dies förderte direkt die amerikanischen Ganzmetallverkehrsflugzeuge der 1930er Jahre, wie die Lockheed Vega oder die Ford Tri-Motor.

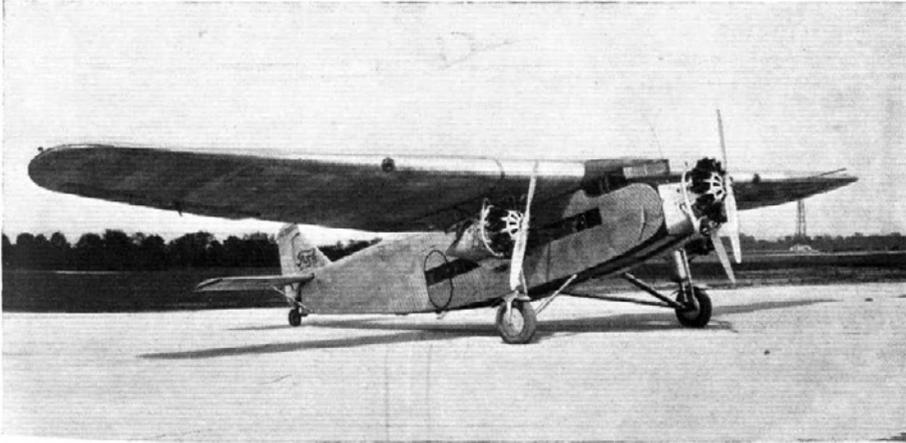


Abbildung 61: Ford Tri-Motor. Aus: Ford-Werbung in Flight (11.07.1929).

Dass jedoch auch moderne metallene Werkstoffe Probleme mit der Haltbarkeit und Sicherheit hatten und haben, zeigen das bereits beschriebene Problem der interkristallinen Duralkorrosion im Flugzeugbau und die spektakulären Unglücke des Liniendampfers „Titanic“ 1912 und des Luftschiffes „Hindenburg“ 1937.

Obwohl bei der „Hindenburg“ weniger die metallene Struktur, als viel mehr eine elektrostatische Entzündung des Traggases das Hauptproblem und die Unfallursache darstellte, so war das Vertrauen in die silbernen zigarrenförmigen Luftschiffe trotz katastrophaler Unfall- und Absturzquoten eher blind als technisch fundiert. Bei der legendären „Titanic“, die man als „*man's technological triumph over nature*“¹⁰⁵² feierte, ging das Vertrauen in die Technik und die Unsinkbarkeit des stählernen Kolosses sogar so weit, dass man nicht einmal genug Rettungsboote für alle Passagiere mit auf die desaströse Jungfernfahrt nahm: „*The opulence, the size, and the combination of her mechanical and structural elements provided the „unsinkable“ package that society longed to believe in. Despite a string of accidents starring the White Star Line ships, people were convinced that technology had mastered the seas.*“¹⁰⁵³ Bei einem Schiff aus Holz kaum denkbar. „*Nineteenth-century engineers usually made things which were subject to tension stresses, such as boilers and*

¹⁰⁵² Hooper Mc Carty, Foecke 2009. Seite 7.

¹⁰⁵³ Ebenda. Seite 11.

beams and ships, out of wrought iron or mild steel, which had, with some justice, the reputation of being „safe“ materials. When a large factor of ignorance had been applied to the strength calculations, such structures often turned out to be quite satisfactory, although in fact accidents continued to occur fairly frequently.“ ¹⁰⁵⁴

Wichtig ist hier auch, dass die „Titanic“ in der Zeit eines Werkstoffwandels im Schiffbau, nämlich von Schmiedeeisen zu Stahl, vom Stapel lief. Die Probleme, die daraus resultierten, dass man den alten und den neuen Werkstoff kombinierte (Stahlplatten, die mit Schmiedeeisennieten, zum Teil in Handarbeit, verbunden wurden) spielte nach neuesten Erkenntnissen eine wichtige Rolle beim Untergang der Titanic. ¹⁰⁵⁵

Das zum Teil blinde Vertrauen, dass den metallenen Werkstoffen entgegengebracht wurde, basierte nicht zuletzt auf spektakulären Flugzeugabenteuern in extremen Klimazonen. Die Leistungsfähigkeit der neuen Werkstoffe wurde offensiv beworben. So wurde beispielsweise die Widerstandsfähigkeit eines Dornier Wals 1927 wie folgt beschrieben: „[...] zeigte ein an der Amundsenschen Flugzeug-Nordpolexpedition beteiligtes, aus Duralumin hergestelltes Dornier Flugboot „Wal“ sehr gute Widerstandsfähigkeit. Dieses Boot hat sich in einer kritischen Lage vollkommen als Eisbrecher betätigt und eine Fahrrinne durch 10 cm dickes Eis gebrochen. Obwohl hier eine Eispressung von mindestens 30 000 kg/m² zu überwinden war, sind die Seitenwandungen des Bootes dicht geblieben und wiesen nur an ihren unteren Teilen einige Formänderungen auf.“ ¹⁰⁵⁶

¹⁰⁵⁴ Gordon 2003. Seite 64.

¹⁰⁵⁵ Vgl. hierzu Hooper Mc Carty, Foecke 2009.

¹⁰⁵⁶ Berg 1927. Seite 490.

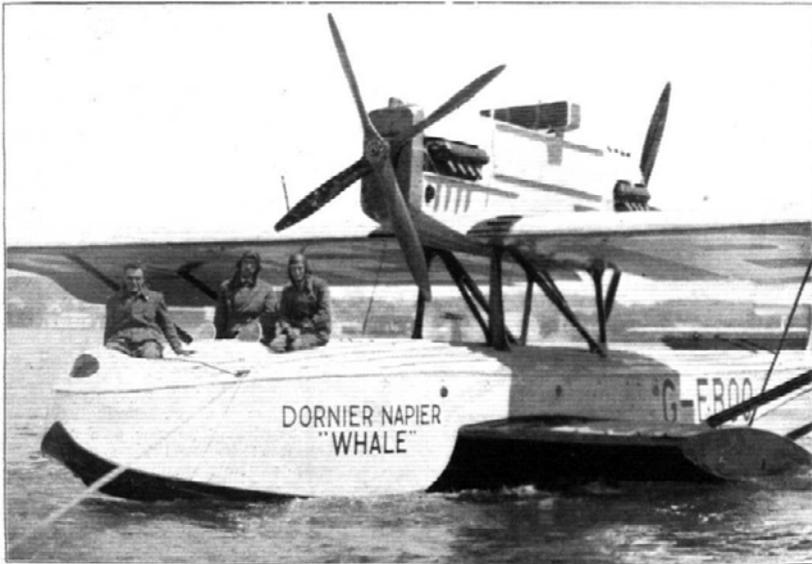


Abbildung 62: Abbildung eines Dornier "Wal" in Flight anlässlich dem Versuch einer doppelten Atlantiküberquerung. Aus: Flight (14.07.1927) Seite 470.

Beispiele aus dem modernen Flugzeugbau zeigen jedoch, dass es fortlaufend bis in die Gegenwart immer wieder Probleme mit den metallenen Werkstoffen gab. Es lohnt sich auch unter diesem Gesichtspunkt das Wrack der Titanic zu untersuchen.

Dieses zeigt heute, dass das vermeintlich anorganische Metall von organischen Bakterien durchaus zerfressen werden kann.¹⁰⁵⁷

Im April 2011 verlor eine Boeing 737 einen Teil ihrer Rumpf-Aluminiumbeplankung und gewährte so einigen der 123 Passagieren einen freien Blick in den Himmel über ihnen. Ursache war hier einfaches Materialversagen auf Grund von Überlastung.¹⁰⁵⁸

Hooper McCarty und Foecke bemerken zur heutigen Korrosionsanfälligkeit von amerikanischen Marineflugzeugen: „Navy aircraft are under constant attack by sea spray, and according to the Naval Research Lab, aluminium corrosion is a huge maintenance issue on Navy planes.“¹⁰⁵⁹

¹⁰⁵⁷ Vgl. Sánchez-Porro, Cristina; Kaur, Bhavleen; Mann, Henrietta; Ventosa, Antonio: Halomonas titanicae sp. nov., a halophilic bacterium isolated from the RMS Titanic. In: International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology (2010), 60, Seiten 2768–2774.

¹⁰⁵⁸ Becker, Markus: Marodes Metall überrascht Boeing-Ingenieure. Spiegel-Online. 06.04.2011. <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,755393,00.html>. Stand: 06.05.2011.

¹⁰⁵⁹ Hooper Mc Carty, Foecke 2009. Seite 190.

Natürlich liegt ein wartungsfreies, ewig haltbares Flugzeug nicht im Interesse der Flugzeughersteller. Man will und wollte nach Verkauf der Maschine auch an der Wartung und Instandhaltung verdienen. Dazu bemerkte *Flight* im Jahre 1980: „*Designing aircraft that never cracked or corroded would be one of many ways to go broke in the aviation business. Boeing did not become the world's biggest supplier of airliners by attempting such perfection.*“¹⁰⁶⁰

Wirtschaftlicher Druck hat auf den Bau von zivilen Flugzeugen also unterschiedliche Auswirkungen. Neben dem einfachen Preis eines Flugzeugs, muss es auch wirtschaftlich und damit gewinnbringend zu betreiben sein. Zugleich will der Flugzeughersteller natürlich auch nach dem Verkauf noch an seinem Flugzeug durch Reparatur, Wartung und Instandhaltung verdienen. Das Verhältnis von Sicherheit zu anvisiertem Reparaturgeschäft der Hersteller stellt vor allem auf materialtechnischer Ebene einen Konflikt und eine Gradwanderung da: „*As the cost of new aircraft goes up, and as technology breakthroughs become less frequent, the economic pressures are on operators to prolong service lives. Airliners of seven or eight years are considered young these days by bankers - but not by the elements which cause fatigue and corrosion.*“¹⁰⁶¹

Wie zuvor beschrieben, hat bereits der Flugzeugkonstrukteur Adolf Rohrbach in den 1920er Jahren Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit im Flugzeugbau angestellt. Dabei ist zu beachten, dass der Flugzeugbau eigentlich bis 1945 von militärischen Anforderungen dominiert wurde. Diese unterscheiden sich grundlegend von den zivilen Anforderungen der Wirtschaftlichkeit. Diese wurde erst nach dem Zweiten Weltkrieg zu einem wichtigen Kriterium im zivilen Flugzeugbau.

Unter militärischen Gesichtspunkten wurde die Materialfrage nur teilweise auf Grund der Materialeigenschaften und der Eignung eines Werkstoffs für die schnelle Herstellung möglichst vieler Flugzeuge beantwortet. Auch die Versorgung mit strategischen Rohstoffen musste berücksichtigt werden. Dies erklärt, warum Deutschland im Ersten Weltkrieg Versuche mit Metallflugzeugen anstellte und Großbritannien im Zweiten Weltkrieg Holzflugzeuge in großer Stückzahl herstellte.

Da das teurere Metall sich vor allem auf Grund seiner Langlebigkeit für den Bau ziviler Flugzeuge anbietet und das billige Holz auf Grund seiner Eigenschaften (z. B. billige

¹⁰⁶⁰ *Flight* vom 15.03.1980. Seite 844.

¹⁰⁶¹ Ebenda. Seite 851.

Massenproduktion und einfache Reparatur) vor allem militärische Vorteile mit sich bringt, verwundert es, dass schon ab den 1920er Jahren fast ausschließlich metallene gebaut wurde. *Flight* schrieb 1940 dazu: „*The fabric-covered system, although undesirable on aerodynamic grounds, makes for cheap, rapid production as it enables the complex military equipment to be quickly installed. The limitations imposed by fabric may be overcome by the introduction of some other form of covering over the open girder structure. Plastic sheet or plywood are suggested.*“¹⁰⁶²

So lange militärische Konflikte die internationale Politik bestimmten, läge die Annahme nahe, dass zumindest ein Teil der Flugzeuge durchgehend mindestens bis 1945 aus Holz gebaut wurden. Dass aber schon ab den 1920er Jahren mit einer kurzen Unterbrechung zwischen 1943 und 1945 ausschließlich metallene Werkstoffe im Flugzeugbau Verwendung fanden, beweist einmal mehr, dass es neben den materiellen Eigenschaften auch andere Gründe für den Werkstoffwandel geben musste. Zu diesen gehört, neben der gesellschaftliche Akzeptanz eines Werkstoffes, sicherlich auch die wirtschaftlichen Interessen einer Metallindustrie, die einmal aufgebaut, ihre Produkte auch verkaufen wollte. Die Aluminiumindustrie ist hier ein Paradebeispiel, da hier der Bedarf erst nach der Schaffung des Produkts künstlich geschaffen werden musste.

Da sich das Militär international ab Ende der 1920er, Anfang der 1930er Jahre vor allem auf den Metallflugzeugbau konzentrierte und die staatlich-militärischen Aufträge bis 1945 der Schrittmacher der Luftfahrtindustrie blieben, muss die militärische Festlegung auf das Metall als Werkstoff für Flugzeuge zur Zementierung der „Shifting Baseline“ „Moderne Flugzeuge werden nicht aus Holz gebaut“ geführt haben. „*As Trotsky once said, war has always acted as the locomotive of history, forcing men to come up with better and better weapons if they wanted to survive.*“¹⁰⁶³ Die Möglichkeit des strategischen Luftkriegs, also die Entscheidung eines Krieges nur durch Flugzeuge, rückte in der Zwischenkriegszeit durch den Anstieg der Nutzlasten in den Bereich des Möglichen. Das Flugzeug wurde zunehmend als kriegsentscheidende Waffe wahrgenommen. Kein Land konnte sich eine Rückständigkeit leisten.¹⁰⁶⁴ Die Förderung der Luftfahrtindustrie wurde trotz Weltwirtschaftskrise in fast keinem Land eingestellt. Größere und schnellere Flugzeuge machten den Bau von Flugzeugen komplizierter und förderten damit den Triumph des Ingenieurs

¹⁰⁶² *Flight* vom 14.03.1940. Seite 246.

¹⁰⁶³ Creveld 2008. Seite 149.

¹⁰⁶⁴ Vgl. Schatzberg 1999. Seite 6.

über den Bastler und verstärkten so auch den Eindruck der Alternativlosigkeit der metallenen Werkstoffe.

Neben dem Erkennen von sozialen und wirtschaftlichen Einflüssen auf die Werkstoffwahl, wirft Gordon auch eine Frage auf, die vor allem in der Zukunft einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Wahl des Werkstoffs haben dürfte: wie viel Energie ist für die Herstellung eines Materials erforderlich?

Gordon identifiziert die als modern geltenden Werkstoffe Stahl, Aluminium und Beton als Kinder der Industriellen Revolution und der Energiewende hin zu fossilen Energieträgern. Diese Werkstoffe können nur in einem energieintensiven Wirtschaftssystem, basierend auf billig verfügbarer Energie, profitabel eingesetzt werden. In Anbetracht der Energiebilanz moderner Kompositwerkstoffe, wird schnell klar, dass der Trend zu immer energieintensiveren Werkstoffen noch immer anhält, obwohl Energiekosten steigen und fossile Energieträger weniger werden. Die Krux ist, dass Motoren, welche die fossilen Energien mit einem höheren Wirkungsgrad und damit wirtschaftlicher verbrennen, Herstellungsmaterialien erfordern, die selbst wiederum nur sehr energieintensiv herzustellen sind. So wird die Einführung von Karosserien aus Faserverbundwerkstoffen in der Automobilindustrie zum zweischneidigen Schwert: die, zur Herstellung der Karosserie nötige Energie übersteigt jene Energie, die durch die leichtere Karosserie gespart werden soll womöglich um ein Mehrfaches.¹⁰⁶⁵ So frisst die Revolution der Werkstoffe ihre zu energieintensiv herzustellenden Kinder.

¹⁰⁶⁵Hier ist vor allem der Unterschied zwischen Stahl und Faserverbundwerkstoffen gemeint. Der Energiebedarf für die Herstellung von Aluminium- und GFK-Strukturen ist in etwa gleich. Vgl. hierzu auch Bräutigam, Klaus-Rainer; Achternbosch, Matthias: Analyse der Umweltauswirkungen bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von CFK- bzw. Aluminiumrumpfkomponten im Flugzeugbau. In: Technikfolgenabschätzung, Nr. 1, 12. Jahrgang - März 2003, S. 86-91

Material	η = benötigte Energie zur Herstellung Joules x 10⁹ pro Tonne	Öl-Äquivalent in Tonnen
Stahl (weich)	60	1,5
Titan	800	20
Aluminium	250	6
Glas	24	0,6
Backstein	6	0,15
Beton	4	0,1
kohlefaserverstärkter Kunststoff	4.000	100
Holz (Fichte)	1	0,025
Polyäthylen	45	1,1

Tabelle 7: Energiebedarf zur Herstellung verschiedener Materialien.¹⁰⁶⁶

Ein starkes Ansteigen der Energiepreise legt die Prognose nahe, dass sich der momentane Werkstoffwandel hin zu faserverstärkten Kunststoffen zumindest verzögert und im Kontext eines energetischen Paradigmenwechsels nachwachsende Rohstoffe eine Renaissance erleben. Ein Beleg ist der Materialwandel im modernen Einfamilienhausbau, wo sich die energieeffizientere Holzbauweise schon jetzt auf dem Vormarsch befindet. Ähnlich wie der Zweite Weltkrieg die Baseline „Moderne Flugzeuge sind nur aus Metall herzustellen“ aufweichte, könnte teure Energie dazu führen, dass sich die Baseline „Moderne Rumpfe und Karosserien werden aus Carbonfaser, zumindest aber aus Aluminium hergestellt“ auflöst. In Anbetracht der Notlage, die im Zweiten Weltkrieg zu einer Renaissance des Werkstoffes Holz führte, muss analog dazu geschlussfolgert werden, dass nur eine sehr starke Verteuerung der Energie zu einer werkstofftechnischen Rückbesinnung („Set-back Baseline“) führen kann.

¹⁰⁶⁶ Daten aus: Gordon 2003. Seite 319. Gordon verweist darauf, dass es sich bei diesen Daten um Rundungen und zum Teil um Schätzungen handelt.

Wir sehen, dass viele Faktoren in die Entwicklung, Produktion und Verwendung und das Sich-entwickeln von Werkstoffen hineinspielen. Wie bei Eisbergen, bei denen nur die Spitze aus dem Wasser ragt und der viel größere Teil sich unter Wasser befindet, basiert werkstofflicher Wandel nur zu einem geringen Teil auf rein technischen Erwägungen: *„Quirks of fashion and prestige seem to play a large part in the matter. Gold is not really a very good material for watches, nor is steel for office furniture. The Victorians insisted on making all sorts of improbable articles, such as umbrella stands, out of cast iron, and there ist he story of the African who had his palace made out of the same substance.“*¹⁰⁶⁷

Was bedeuten diese Erkenntnisse für das Flugzeug und seine Weiterentwicklung? Vielleicht können wir uns irgendwann wieder an den Gedanken von Zeppelin und ihrer langsamen, aber kostengünstigen Fortbewegung oder hölzernen Flugzeugen mit effizienten Turbopropantrieben gewöhnen. Im Bereich des Lufttransports wurden Luftschiffe in Form des „Cargolifters“ jüngst wieder in Betracht gezogen. „Setback Baselines“ fanden bisher jedoch nur sehr selten statt. Wird ein Werkstoff oder ein technisches Artefakt von einer „Shifting Baseline“ begraben, können nur äußere gesellschaftliche Einflüsse sie reaktivieren und die Baseline zurücksetzen und wie beschrieben, führten bisher nur gesellschaftliche Not- und Extremsituationen zu einer Neubewertung eigentlich schon vergessener Materialien.

Welche Rolle spielt die Forschung in der Werkstoffentwicklung? Die Forschung verstärkt die „Shifting Baseline“, indem sie sich auf das vermeintlich modernere Material konzentriert. Wie dargestellt wurde, löste sich das Haltbarkeitsproblem des Durals etwa sechsmal so schnell, wie das des verleimten Holzes, was eine Konzentration der Forschung auf Metall, vermutlich unterstützt von einer mächtigen Metallindustrie, zumindest nahelegt. Dies führt auch zu der Annahme, dass Holz als Werkstoff durch die Leistungssteigerung der Flugzeuge spätestens ab 1945 keine Chance mehr hatte. Arendt und Dörner schreiben dazu: *„Die ständig wachsenden Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Fluggeräte hinsichtlich Geschwindigkeit, Flughöhe, Nutzlast usw., führten zwangsläufig zum Einsatz von Metallen, zunächst von Stahl, bis Aluminiumlegierungen, zum Beispiel*

¹⁰⁶⁷ Gordon 2003. Seite 317.

Duralumin, in den erforderlichen Mengen zur Verfügung standen.“¹⁰⁶⁸ Diese Aussage erscheint aus heutiger Sicht richtig und plausibel, obwohl hier zu bedenken ist, dass durch die Konzentration der Forschung auf metallene Werkstoffe moderne Holzwerkstoffe von vornherein wohl keine Chance hatten.

Sieht man einmal vom Flugzeugbau ab, müsste beispielsweise in der Architektur ein rationaleres Umgehen mit Werkstoffen und die Überprüfung aller Faktoren, die einen Werkstoff betreffen (außer Werkstoffeigenschaften beispielsweise auch energieeffiziente Herstellung und Verarbeitung), zu einer Neubewertung des Werkstoffes Holz führen.

Der Amerikaner Craig Calfee begann Mitte der 1990er Jahre Fahrradrahmen aus Bambus herzustellen. Auch wenn die Entwicklung viel Zeit in Anspruch nahm, erweisen sich seine heutigen Bambusräder als äußerst widerstandsfähig. Und der Deutsche Nicolas Meyer konstruierte im Sommer 2009 ein Komposit-Fahrradrahmen mit einem Hanfanteil von 60 Prozent und einem Bambusanteil von 15 Prozent.¹⁰⁶⁹

Eine interessante materialtechnische Rückbesinnung konnte auch 2008 beim deutschen Autohersteller BMW beobachtet werden. Das vorgestellte Konzeptfahrzeug „GINA“ (Geometrie und Funktionen in N-facher Ausprägung) besitzt zeppelinähnlich eine stoffbespannte Aluminiumrohr-Karosserie. Eine solche Karosserie könnte um etwa 40 Prozent leichter sein, als eine übliche selbsttragende Stahlkarosserie. „Auto Bild“ titelte „Der Z-Zeppelin“¹⁰⁷⁰ in Anspielung auf die bekannten Luftschiffe und die Sportwagenreihe „Z“ von BMW.

Abschließend: was sind nun die zentralen Thesen zum Werkstoffwandel im Flugzeugbau? Es lassen sich unter dem materiell-stofflichen Aspekt vier Hauptphasen des Flugzeugbaus unterscheiden:

1. Phase (bis 1903): Beobachtung, Untersuchung und Kopie des organischen, animalischen Fluges durch Verwendung von organischen und sogar animalischen Materialien, wie beispielsweise Federn. Dies schlägt sich auch bei den Veröffentlichungen der frühen Flugpioniere nieder. Leonardo da Vinci sammelte seine Er-

¹⁰⁶⁸ Arendt, Franz Joseph; Dörner, H.: Struktur und Zelle. in: Bölkow 1990. Seite 103.

¹⁰⁶⁹ Andrea Reidl: Bambus statt Blech. SPIEGEL ONLINE 06.01.2010.

<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,667888-2,00.html>. Stand: 20.05.2011.

¹⁰⁷⁰ Knecht, Jochen: Der Z-Zeppelin. AutoBild.de 10.06.2008. <http://www.autobild.de/artikel/studie-bmw-gina-light-717314.html>. Stand: 20.05.2011.

kenntnisse 1505 im „Kodex über den Vogelflug“, August von Parseval¹⁰⁷¹ betitelt seine Untersuchungen 1889 „Die Mechanik des Vogelflugs“ und Otto Lilienthals Publikation aus dem selben Jahr trägt den Titel „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“.

2. Phase (1903 bis 1920er Jahre): Mechanischer motorisierter Flug unter Verwendung von Propeller und Tragfläche. Das Flugzeug reiht sich ein in eine Serie von Erfindungen, welche die Herrschaft des Menschen über die Natur demonstrieren soll. Die Materialien sind nicht mehr animalischer, wohl aber organischer Natur. Die Produktion von Flugzeugen erfolgt in Werkstätten und Manufakturen in Handarbeit durch Bastler, später durch Fachkräfte. Die Flugidee wird von den Vorbildern der Natur losgelöst. Das instabile und gefährliche Flugzeug ist das Paradebeispiel einer Abenteuermaschine einer kleinen Zahl verwegener aber auch genialer Pioniere.
3. Phase (1920er bis 1970er Jahre): Das Flugzeug wird zunehmend in Fabriken durch Maschinen und ungelernete Arbeiter hergestellt. Die Herrschaft des Menschen über die Natur soll sich nun auch in den Materialien zeigen. Das Flugzeug löst sich vollständig von organischen Materialien und wird anorganisch. Die Produktion wird maschinisiert, standardisiert und uniform. Der Lebenszyklus der Flugzeuge, die Flugleistungen und das Wissen über die aerodynamischen Gesetzmäßigkeiten steigen stark an. Metall verdrängt Holz vollständig und nahezu ausschließlich im Flugzeugbau. Nach dem Zweiten Weltkrieg zivilisiert sich der Flugzeugbau und emanzipiert sich als zuverlässiges Verkehrsmittel von der Verwendung als Abenteuer- und Kriegsmaschine.
4. Phase (1970er Jahre bis heute): Die Verwissenschaftlichung des Flugzeugbaus nimmt weiter zu. Das Forschungslabor wird zur wichtigen Größe bei der Suche neuer Werkstoffe. Metall wird zunehmend durch Kunststoffe und Kunstharze ersetzt. Anorganischen Materialien orientieren sich zunehmend an organischen Materialien der Natur.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich wiederum folgende Grundströmungen im Flugzeugbau ableiten:

1. Materialtechnisch erfolgt eine schrittweise Loslösung von natürlichen Werkstoffen.

¹⁰⁷¹ von Parseval, August (* 05.02.1861 in Frankenthal; † 22.02.1942 in Berlin).

2. Der Flugzeugbau rationalisiert sich. An die Stelle des Bastlers, der in seiner Werkstatt Unikate herstellt, tritt die Manufaktur mit ihrer Serienfertigung durch Fachkräfte, an deren Stelle wiederum die Massenfertigung der Fabrik durch überwiegend ungelernete Arbeiter tritt. Die Handarbeit wird von der effizienteren maschinellen Produktion abgelöst. Diesem Trend entspricht auch die zunehmende Verwendung von integralen Bauteilen. Die Arbeitskraft wird berechnet und mechanisiert.
3. Der Flugzeugbau verwissenschaftlicht und spezialisiert sich. An die Stelle des Beobachters und Bastlers tritt der rechnende Ingenieur, an dessen Stelle eine institutionalisierte Forschung tritt.
4. Der Flugzeugbau internationalisiert sich. Bis 1945 und gefördert durch zwei Weltkriege, herrscht eine nationale Luftfahrtforschung vor. Auch die Verwendung der Werkstoffe trägt bis dahin ausschließlich nationale Züge. Nach Ende des Zweiten Weltkriegs erfolgt eine schrittweise internationale Standardisierung des Flugzeugs und der Flugzeugwerkstoffe, zumindest im zivilen Bereich. Militärisch wird dieser Trend durch nationale Interessen und den Kalten Krieg behindert.

Lassen sich die Erkenntnisse, die aus der Untersuchung des Materialwandels im Flugzeugbau gewonnen wurden auf das Sich-durchsetzen oder Verschwinden von Technologien allgemein übertragen?

Die Untersuchungen Schatzbergs legen diese Schlussfolgerung nahe. Schatzberg kommt bei seinen Untersuchungen zu folgendem Ergebnis:

*„New technologies do not arise through a process of natural selection, an objective process that insures the survival of only the fittest variations. Technologies are, rather, cultural expressions, reifications of human purposes. For new technologies to succeed, people must believe that they will succeed. Such beliefs depend on part on empirical evidence and reasoned arguments. But in the face of inevitable uncertainties about the future, reason alone rarely suffices, even for the most scientific of technologies. The symbolic meanings of technical things do more than shape modern culture; they also influence the course of technical change itself.“*¹⁰⁷²

Und auch diese Untersuchung belegt, dass es in der Technikentwicklung im Sinne Darwins kein „Survival of the Fittest“ gibt. Vielmehr wird der Erfolg einer Technologie durch

¹⁰⁷² Schatzberg 1999. Seite 232.

den kollektiven Glauben an sie bestimmt. In diesem Zusammenhang kann von einer sich selbst erfüllenden Prophezeiung gesprochen werden. In der Soziologie definierte Robert Merton diesen Mechanismus zur Erklärung von menschlichem Handeln wie folgt: „*Wenn die Menschen Situationen als real definieren, sind sie in ihren Konsequenzen real.*“¹⁰⁷³

Die Nutzer, als wichtigster „relevant social group“ bewerten eine Technologie oder einen Werkstoff und entscheiden damit gleichzeitig über seine Anwendung. Diese soziale Komponente der Technikbewertung ist ein Hauptgrund für die Dominanz einer Technologie oder eines Werkstoffes.

Im Bereich der soziokulturellen Einflüsse auf Technologieentwicklung liefert die eingeführte Theorie der „Shifting Baselines“ einen interessanten Ansatz, zum Verständnis von technischer Evolution. Sie kann erklären, wieso manche Erfindungen in der Geschichte wiederholt werden mussten und wieso alternative Technologien so gründlich vergessen werden.

Die Theorien des „Pluto-Effekts“ und des „Sailingship-Effects“ liefern weitere interessante Ansätze, zur Erklärung des Entstehens einer Leit- oder Alternativtechnologie. Auf die hier dargestellte Werkstoffgeschichte können beide teilweise angewendet werden. Die große Geschwindigkeit des Werkstoffwandels im Flugzeugbau und der hohe Verdrängungsgrad des „alten“ Werkstoffes führen aber dazu, dass dieser mit der Entwicklung anderer Technologien nur schwer zu vergleichen ist. Die Frage, wieso eine Technologie über eine andere triumphiert, können beide Ansätze letztendlich nicht erklären.

Bei allen Beweisen, die für eine soziokonstruktivistische Betrachtungsweise von Technikentwicklung sprechen, darf nicht vergessen werden, dass der Materialwandel auch von handfesten technischen, aber auch wirtschaftlichen und strategischen Eigenschaften der Materialien bestimmt wurde. Nur eine temporal, geographisch und vor allem sorgfältig differenzierte Untersuchung nahe am Artefakt ermöglicht Rückschlüsse auf den Kontext von Technik und Gesellschaft.

Die Untersuchung des Werkstoffwandels im Flugzeugbau zeigt wie erkenntnisführend die Betrachtung und Interpretation des technischen Artefakts ist. Im Gegensatz zur Interpretation schriftlicher Quellen, die in der Technikbewertung oft selbst lediglich Interpretationen des Artefakts sind, ermöglicht nur die Untersuchung des Artefakts selbst eine nicht durch Meinungen verfälschte Einordnung von Technik. Das Artefakt wird somit zur ein-

¹⁰⁷³Vgl. Merton, Robert K.: Social theory and social structure. New York 1957. Seiten 144 ff.

zig gültigen „Primärquelle“ des Technikhistorikers und bietet der Technikgeschichte die Möglichkeit vor der Einordnung von Technik in soziokulturelle Zusammenhänge den materiellen Grundlagen durch messen und rechnen näher zu kommen, um so auch bei der Einordnung von Technik eine höhere Exaktheit zu erlangen. Dies bedeutet für die Technikgeschichte, sich weiter von der Geschichtswissenschaft zu emanzipieren und als eigene Profession zwischen Technik- und Sozialwissenschaften verstanden zu werden.

9. Danksagung

Beim Gedanken an eine Danksagung zu dieser Dissertation, welche die letzten drei Jahre meines Lebens mitbestimmte, kam mir immer wieder Albert Einstein in den Sinn der erklärte, dass er bei seinen Erkenntnissen lediglich auf den Schultern von Riesen gestanden habe. Ohne mich mit Einstein auch nur entfernt vergleichen zu wollen erklärt seine Aussage sehr gut die wissenschaftlichen und persönlichen Abhängigkeiten ohne die auch ich die vorliegenden Seiten nicht hätte füllen können.

Es ist daher nötig und mir ein großes persönliches Anliegen an dieser Stelle einigen Menschen zu danken, deren Schultern diesen Text ermöglicht haben.

Ein großer Dank gilt Herrn PD Dr. Kurt Möser für eine Betreuung, die weit über das übliche Maß hinausging. Unzählige E-Mails und Treffen, die neben mannigfachen wissenschaftlichen oft genug auch persönliche Themen beinhalteten, zeugen von einem Lehrer-Schüler-Verhältnis, das ich enorm schätze, auf das ich sehr stolz bin und das hoffentlich noch lange anhält.

Auch Herrn Prof. Rolf-Jürgen Gleitsmann und Herrn Prof. Rolf-Ulrich Kunze möchte ich für das offene Ohr danken, das mir am Institut für Geschichte des KIT stets entgegengebracht wurde.

Ich danke meinen Promotionskommilitoninnen Rubina Zern und Suzan Kulak für viele ermunternde und aufbauende Gespräche. Rubina bin ich darüber hinaus für ihre Korrekturen sowie zahlreiche Kaffees und Gespräche in der Bibliothekskantine dankbar. Ich wünsche Euch für Eure Promotionen und Eure Zukunft nur das Beste!

Der größte Dank gilt meiner Familie. Ohne Euch hätten die vorangegangenen Seiten leer bleiben müssen. Ich danke meinen Eltern Margit und Martin dafür, dass sie immer hinter mir und diesem Vorhaben standen und deren Zuspruch mir half, die wirtschaftlichen und persönlichen Schwierigkeiten einer Promotion zu meistern. Meiner Mutter Margit danke ich dafür, dass sie sich, obwohl fachfremd, durch die Rohfassung der Dissertation kämpfte und neben der Korrektur deutscher sowie englischer Schreibfehler mir auch interessante wissenschaftliche Anregungen geben konnte. Ich danke meinen Geschwistern Sarah und Sebastian dafür, dass sie das Los der Promotion mit mir teilen und ihr Zuspruch oft genug den Kern des Problems traf. Carl und Jochen bin ich für die nötige Ablenkung vom heimischen Schreibtisch dankbar, ohne die es mir nicht möglich gewesen wäre, die Selbstdisziplin so lange aufrecht zu halten.

10. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Die Eroberung des Himmels.** Aus: Flight (03.01.1930) Seite 9. ... 4
- Abbildung 2: Vermerk in Flight zur Zielgruppe eines Artikels.** Aus: Flight (16.01.1936)..... 18
- Abbildung 3: Rohrbach-Werbung in Flight.** Aus: Flight (04.04.1929)..... 19
- Abbildung 4: Konstruktionszeichnung des Wright-Flyer.** Aus:
<http://www.flightglobal.com/airspace/media/wrightbrothers/wright-flyer-cutaway-7339.aspx> (Stand 10.11.2011).
Flightglobal.com ist die Website von Flight..... 37
- Abbildung 5: 2-Seiten-Ansicht des Voisin-Flugzeugs.** Aus: Flight (14.08.1909).
Seite 486. 39
- Abbildung 6: Der erste Looping eines Engländers.** Bei dem Flugzeug handelt es sich um einen verstärkten Blériot-Eindecker. Aus: Flight (06.12.1913). Seite 1319..... 40
- Abbildung 7: 2-Seiten-Ansicht der Etrich "Taube".** Aus: Flight (11.11.1911).
Seite 974. 41
- Abbildung 8: 3-Seiten-Ansicht der Rumpler "Taube".** Aus: Flight (09.07.1915).
Seite 491. 42
- Abbildung 9: Deperdussin-Rumpf.** Deutlich wird hier das geringe Gewicht des Rumpfes. Aus: Crouch 2003. Seite 131. 46
- Abbildung 10: 3-Seiten-Ansicht eines Deperdussin-Flugzeugs von 1913.**
Deutlich wird hier die Stromlinienform des Rumpfes. Aus: Flight (22.11.1913). Seite 1270. 47
- Abbildung 11: Cellon Werbung.** Aus: Flight (29.08.1929). Seite (Advertisements) 59..... 49
- Abbildung 12: Details der Sopwith "Camel".** Aus: Flight (12.09.1918). Seite 1021. 54
- Abbildung 13: Sechszylinder-Reihenmotor der Firma Mercedes (180 PS).**
Aus Flight (20.06.1918). Seite 682. 55

Abbildung 14: Bild aus DURAMOLD-Werbung der Firma Fairchild. LIFE- Magazin 30.08.1943. Seite 90.	79
Abbildung 15: Gemischtbau bei der D.H. "Hornet". Aus: Flight (24.01.1946). Seite 87.	79
Abbildung 16: Experimentalflugzeug Bristol 188. Aus: Flight (03.05.1962). Seite 693.	86
Abbildung 17: Strategischer Höhengklärer SR-71 "Blackbird". Aus Flight (20.05.2003). Seite 12.	87
Abbildung 18: Detailansicht der MiG-25. Aus: Flight (23.04.1977) Seite 1123.	89
Abbildung 19: 3-Seiten-Ansicht und Leistungsdaten des Airbus A380. Aus Flight Supplement (20.05.2003).	93
Abbildung 20: Materialzusammensetzung des Airbus A380. Aus: Flight (13.07.2004).	95
Abbildung 21: Illustration in Flight, die belegt, dass man sich in Großbritannien schon im Ersten Weltkrieg der kommenden geostrategischen Bedeutung des Flugzeugs bewusst wurde. Aus Flight (03.02.1916). Seite 91.	111
Abbildung 22: Morane 406. Aus: Flight (04.04.1940). Seite 307.....	114
Abbildung 23: Karrikatur in Flight über den erwarteten Kriegseintritt der USA. Aus: Flight (22.03.1917). Seite 265.	116
Abbildung 24: Boeing P-26 "Peashooter". Aus: Flight (23.08.1934). Seite 864.	117
Abbildung 25: Karrikatur des Flugzeugdesigners. Aus: Flight (10.03.1921). Seite 165.	124
Abbildung 26: 3-Seiten-Ansicht des Morane-Saulnier Eindeckers. Aus: Flight (24.05.1913). Seite 562.	129
Abbildung 27: 3-Seiten-Ansicht des Fokker Eindeckers. Die Ähnlichkeit zum Morane-Saulnier Eindecker ist sehr deutlich. Aus: Flight (10.12.1915). Seite 964.	130

- Abbildung 28: Illustration in Flight zur Fokker-Plage.** Aus: Flight (03.02.1916).
Seite 103. 132
- Abbildung 29: Fokker Dr I.** Deutlich werden in dieser Illustration die dicken Flügel und die dünnen Streben dazwischen. Aus: Flight (14.03.1918). Seite 279. 134
- Abbildung 30: Details der Fokker DVII.** Aus:
<http://www.flightglobal.com/airspace/media/militaryaviation1903-1945cutaways/fokker-d-vii-cutaway-drawing-82689.aspx>
(Stand 10.11.2011). 135
- Abbildung 31: Urvater der Schlachtflugzeuge. 3-Seiten-Ansicht der Junkers J 4.** Aus: Flight (26.02.1920). Seite 230. 144
- Abbildung 32: 3-Seiten-Ansicht der Junkers D 1 (J 9).** Aus: Flight (01.04.1920). Seite 377. 146
- Abbildung 33: Konstruktionsdetails der Junkers F 13.** Aus: Flight (18.01.1923). Seite 37. 147
- Abbildung 34: Von Dornier konstruierte, drehbare Luftschiffhalle (1912).** Aus: Wachtel 1989. Seite 15. 151
- Abbildung 35: Seitenansicht der Dornier Rs I.** Aus: Flight (16.12.1920). Seite 1269. 155
- Abbildung 36: Seitenansicht der Dornier Rs III.** Aus: Flight (16.12.1920). Seite 1271. 156
- Abbildung 37: Dornier C 1.** Aus: Flight (16.12.1920). Seite 1272. 157
- Abbildung 38: Dornier Cs I.** Aus: Flight (23.12.1920). Seite 1289. 158
- Abbildung 39: Dornier D I.** Aus: Flight (23.12.1920). Seite 1290. 159
- Abbildung 40: Staaken E 4/20.** Aus: Flight (17.03.1921). Seite 185. 162
- Abbildung 41: Verschiedene Ansichten eines Rohrbach "Rocco" Flugbootes.** Auffällig sind die geraden Seiten des Rumpfes. Aus: Flight (12.05.1927). Seite 287. 165

Abbildung 42: 2-Seiten-Ansicht des ersten de Havilland Flugzeugs. Aus: Flight (09.04.1910). Seite 267.	173
Abbildung 43: Detailansicht der D.H.4. Aus: Flight (20.06.1918). Seite 676.	175
Abbildung 44: Aufteilungsskizze der D.H.18. Aus: Flight (24.03.1921). Seite 203.....	176
Abbildung 45: Werbung für den "Cirrus"-Motor. Aus: Flight (11.04.1929)...	178
Abbildung 46: D.H. 88 "Comet". Aus: Flight (20.09.1934). Seite 969.....	180
Abbildung 47: 3-Seiten-Ansicht der D.H.84 "Dragon". Aus: Flight (22.12.1932). Seite 1213.	182
Abbildung 48: Risszeichnung der D.H. 91 "Albatross". Aus: Flight (17.11.1938). Seiten 454, 455.....	183
Abbildung 49: Details der D.H. 95 "Flamingo". Aus: Flight (16.02.1939). Seiten 152, 153.....	185
Abbildung 50: Risszeichnung der D.H. 98 "Mosquito". Aus: http://www.flightglobal.com/airspace/media/militaryaviation1903-1945cutaways/de-havilland-dh-mosquito-cutaway-10573.aspx (Stand: 10.11.2011).....	188
Abbildung 51: Geodätische Struktur der "Wellington". Aus: Flight (06.07.1939). Seite 17.	194
Abbildung 52: Seitenansicht und Leistungsdaten des BMW 801A. Aus: Flight (13.08.1942). Seite 169.	217
Abbildung 53: De Havilland-Werbung mit den hohen Produktionszahlen der "Moth". Aus: Flight (07. und 21.02.1929).....	231
Abbildung 54: Industrielle Produktion von Holz-Werkstoffen. Aus: Flight 24.01.1946.....	233
Abbildung 55: Die Evolution der Zeppeline. Teil 1. Aus: Flight (26.10.1916). Seite 926.	254
Abbildung 56: Die Evolution der Zeppeline. Teil 2. Aus: Flight (26.10.1916). Seite 927.	259

Abbildung 57: Details von LZ 130 "Graf Zeppelin II". Aus: Flight (10.11.1938). Seiten 418, 419.	261
Abbildung 58: Das britische Luftschiff R 80. Aus: Flight (26.08.1920). Seite 926.	268
Abbildung 59: 3-Seiten-Ansicht von ZMC-2. Aus: Flight (29.05.1931). Seite 485.	269
Abbildung 60: Details und Bauansicht einer Lamellenhalle nach Junkersscher Bauart. Aus: Flight (18.07.1930) Seite 805..	291
Abbildung 61: Ford Tri-Motor. Aus: Ford-Werbung in Flight (11.07.1929).	309
Abbildung 62: Abbildung eines Dornier "Wal" in Flight anlässlich dem Versuch einer doppelten Atlantiküberquerung. Aus: Flight (14.07.1927) Seite 470.	311

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Preisverfall des Aluminiums.	66
Tabelle 2: Moderne Militärflugzeuge im Vergleich.	98
Tabelle 3: Verhältnis von Serienflugzeugen zu Prototypen.	112
Tabelle 4: Kunststoffsegelflugzeuge in Deutschland.	278
Tabelle 5: Preise und Verkaufszahlen des Ford Modell T 1908 - 1916.	300
Tabelle 6: Entwicklung des Aluminiumanteils in europäischen Pkw.	303
Tabelle 7: Energiebedarf zur Herstellung verschiedener Materialien.	315

12. Literaturverzeichnis

- Allward, Maurice; Taylor, John: The De Havilland Aircraft Company.**
St. Mary's Mill, Chalford, Stroud 1996.
- Barnett, Corelli: The Audir of War. The illusion & Reality of Britain as a Great Nation.** London 1986.
- Barton, Charles: Howard Hughes and his Flying Boat.** USA 1982.
- Baudette, Wm. L.; Schultz, Donald: Airplane Sheet Metal Construction.**
Gardena 1940.
- Berg, H.: Metalle für den Luftfahrzeugbau.** in: Fortschritte der Luftfahrt.
Jahrbuch 1927/28. Seiten 489 - 503.
- Blunck, Richard: Hugo Junkers. Ein Leben für Technik und Luftfahrt.**
Düsseldorf 1951.
- Blunck, Richard; Junkers, Hugo: Der Mensch und das Werk.** Berlin 1942.
- Bölkow, Ludwig: Ein Jahrhundert Flugzeuge. Geschichte und Technik des Fliegens.**
Düsseldorf 1990.
- Boot, Max: War Made New. Weapons, Warriors, and the Making of the Modern World.** New York 2006.
- Braess, Hans-Hermann: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik.** Wiesbaden 2007.
- Braun, Hans-Joachim: Flugzeugtechnik 1914 bis 1935. Militärische und zivile Wechselwirkungen.** In: Technikgeschichte, Band 59. Jahrgang 1992.
- Brenner, Paul: Baustofffragen bei der Konstruktion von Flugzeugen.** Vortrag auf der
20. Ordentlichen Mitgliederversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für
Luftfahrt e.V. (WGL). In: Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt Nr. 21.
München 14.11.1931.
- Brenner, Paul: Ergebnisse von Korrosions- und Oberflächenschutzversuchen mit Aluminium- Walzlegierungen.** In: 198. DVL-Bericht. DVL-Jahrbuch 1931.
- Brütting, Georg: Die berühmtesten Segelflugzeuge.** Stuttgart 1986.

- Budraß, Lutz: Flugzeugindustrie und Luftrüstung in Deutschland 1918-1945.**
Düsseldorf 1998.
- Cain, Anthony Christopher: The forgotten Air Force. French air doctrine in the 1930s.** Smithsonian Institution, USA 2002.
- Churchill, Winston S.: Der Zweite Weltkrieg.** 3. Auflage. Frankfurt a.M. 2004.
- Combs, Harry: Brüder des Winds. Orville und Wilbur Wright – ihr Traum vom Fliegen.** Königstein 1981.
- Cowan, Ruth Schwarz: More Work for Mother: The Ironies of Household Technology from the Open Hearth to the Microwave.** New York 1983.
- Crevelde, Martin van: The Changing Face of War. Combat from the Marne to Iraq.**
New York 2008.
- Crouch, Tom D.: Wings. A History of Aviation from Kites to the Space Age.**
New York, London 2003.
- De Havilland, Sir Geoffrey: Sky Fever.** London 1961.
- Dienstbach, C.; Wilson, L. J.: The Wonderful New All-Metal Monoplane. As revolutionary as the first iron ship.** Popular Science Monthly. Oktober 1920. Volume 97, Nr. 4.
- Dierikx, Marc: Fokker. A Transatlantic Biography.** Washington, London 1997.
- Dietrich, Richard J.: Faszination Brücken. Baukunst-Technik-Geschichte.**
München 2001.
- Dornier, Claude: Aus meiner Ingenieurlaufbahn.** Zug 1966.
- Dornier, Claude: Beitrag zur Berechnung der Luftschrauben unter Zugrundelegung der Rateauschen Theorie.** Berlin 1912.
- Dörr, Wilhelm Ernst: Das Zeppelin-Luftschiff „LZ 129“.** In: Zeitschrift des VDI. Band 80, Nr. 13. 1938.
- Dürr, Ludwig: Fünfundzwanzig Jahre Zeppelin Luftschiffbau.** Berlin 1925.
- Dürr, Ludwig: Vom Bau des ersten Zeppelin Luftschiffes.** In: Werkzeitschrift der Zeppelin-Betriebe. Nr. 2, 01.10.1936; Nr. 3, 01.11.1936; Nr. 4, 01.12.1936; Nr. 1, 01.01.1937.

- Ebert, Hans J.; Kaiser, Johann B.; Peters, Klaus: Die deutsche Luftfahrt. Willy Messerschmitt - Pionier der Luftfahrt und des Leichtbaues.** Bonn 2008.
- Eden, Paul: Mikoyan MiG-25 „Foxbat“.** In: Encyclopedia of Modern Military Aircraft. London 2004.
- Engels, Sven Achim: Deutsche Flugzeugtechnik 1900 – 1920.** Heft Nr. IV. Fokker und seine Flugzeuge. Schorndorf 1996.
- Eyermann, Karl Heinz: Die Luftfahrt der UdSSR 1917 – 1977.** Berlin (Ost) 1977.
- Falk, S.; Schwarz, R.: Aluminium – Metall der Moderne.** In: Schäfke, W.; Schleper, Th.; Tauch, M. (Hrsg.): Aluminium. Das Metall der Moderne. Köln 1991.
- Fearon, Peter: The British Airframe Industry and the State 1918 - 1935.** In: Economic History Review 27 (1974), Seiten 236 - 251.
- Ferguson, Eugene: Toward a Discipline of the History of Technology.** In: Technology and Culture. Vol 15. 1974.
- Flügge, Eva: Die Automobilindustrie der Vereinigten Staaten.** Jena 1931.
- Focke, Henrich: Mein Lebensweg. Die Memoiren des Bremer Luftfahrt-Pioniers.** Köln 1977.
- Fokker, Anton Herman Gerard; Gould, Bruce: Der fliegende Holländer. Das Leben des Fliegers und Flugzeugkonstruktors A.H.G. Fokker.** Zürich, Leipzig, Stuttgart 1933.
- Friel, Ian: Maritime History of Britain and Ireland.** London 2003.
- Garzia, C.; Mollona, E.: Aluminium for the Transportation Industry in Europe.** Mailand 2002.
- Geistmann, Dieter: Die Entwicklung der Kunststoff-Segelflugzeuge.** Stuttgart 1976.
- Gersdorff, Kyrill von; Grasmann, Kurt; Schubert, Helmut: Die deutsche Luftfahrt. Flugmotoren und Strahltriebwerke. Entwicklungsgeschichte der deutschen Luftfahrtantriebe von den Anfängen bis zu den internationalen Gemeinschaftsentwicklungen.** Bonn 1995.

- Geschichte der Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft Neuhausen 1888-1938.**
Band 1. Zürich 1942.
- Glancey, Jonathan: Spitfire. The Biography.** London 2006.
- Gleitsmann, Rolf-Jürgen; Kunze, Rolf-Ulrich; Oetzel, Günther: Technikgeschichte.**
Konstanz 2009.
- Goele, H.: Holz- oder Metall-Karosserien?** In: Der Motorwagen 9, 1906.
- Gordon, J. E.: Structures. or Why things don't fall down.** Cambridge 2003.
- Gordon, J. E.: Strukturen unter Stress. Mechanische Belastbarkeit in Natur und Technik.** Heidelberg 1989.
- Gordon, J. E.: The New Science of Strong Materials. Or Why You Don't Fall Through the Floor.** Harmondworth 1975.
- Gottwaldt, Alfred: Der Schienenzeppelin. Franz Kruckenberg und die Reichsbahn-Schnelltriebwagen der Vorkriegszeit 1929-1939.** Freiburg 2006.
- Grant, R. G.: Fliegen. Die Geschichte der Luftfahrt.** München 2008.
- Green, William; Swanborough, Gordon: Jagdflugzeuge der Welt. Eine illustrierte Enzyklopädie.** Zürich 1996.
- Gunston, Bill: The Osprey Encyclopedia of Russian Aircraft 1875 – 1995.** London 1995.
- Haaland, Dorothea; Knäusel, Hans G.; Schmitt, Günter; Seifert, Jürgen: Die deutsche Luftfahrt. Leichter als Luft - Ballone und Luftschiffe.** Bonn 1997.
- Hallion, Richard P.: Taking Flight. Inventing the Aerial Age from Antiquity to the First World War.** Oxford, New York 2003.
- Hallion, Richard P.: Rise of the Fighter Aircraft 1914 – 1918.** Baltimore, Maryland, USA 1988.
- Hassler, F.: Dürener Metallwerke 1885-1935.** Berlin 1935.
- Hänle, Urula: Kleine Fiberglas Flugzeug Flickbibel.** 1997. Einsehbar unter <http://www.dg-flugzeugbau.de/fileadmin/flickfibel-d.pdf>.

- Hegener, Henri: Fokker. The man and the Aircraft.** Harleyford 1961.
- Heinkel, Ernst: Stürmisches Leben.** Preetz 1963.
- Hirschel, Ernst Heinrich; Prem, Horst; Madelung, Gero: Die deutsche Luftfahrt. Luftfahrtforschung in Deutschland.** Bonn 2001.
- Hirschel, Ernst Heinrich; Prem, Horst; Madelung, Gero: Aeronautical Research in Germany. From Lilienthal until Today.** Berlin, Heidelberg 2004.
- Hooper McCarty, Jennifer; Foecke, Tim: What really sank the Titanic. New forensic Discoveries.** New York 2009.
- Hotz, Robert: A New Materials Revolution.** In: Aviation Week & Space Technology. Heft 89 vom 30. September 1986.
- Howard, Frank; Gunston, Bill: The Conquest of the Air.** New York 1972.
- Informationsstelle für Aluminium und Umwelt (Hrsg.): Aluminium Lexikon.** Zürich 1990.
- Ittner, Stefan: Dieselmotoren für die Luftfahrt. Innovation und Tradition im Junkers-Flugmotorenbau bis 1933.** Oberhaching 1996.
- Jackson, A. J.: De Havilland Aircraft since 1909.** United Kingdom 1987.
- Jakowlew, Alexander: Ziel des Lebens. Aufzeichnungen eines Konstrukteurs.** Moskau 1976.
- Junkers, Hugo: Eigene Arbeiten auf dem Gebiete des Metall-Flugzeugbaues.** Vortrag auf der Jahresversammlung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt am 10.12.1919. in: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt 1922. München/Berlin 1923.
- Junkers, Hugo: Metal Aeroplane Construction.** In: Journal of the Royal Aeronautical Society 28 (1923).
- Karmann, Wilhelm: Meine Amerikafahrt.** Osnabrück 1924.
- Kleinheins, Peter (Hrsg.): Die großen Zeppeline. Die Geschichte des Luftschiffbaus.** Düsseldorf 1996.

Köhler, H. Dieter: Die deutsche Luftfahrt. Ernst Heinkel - Pionier der Schnellflugzeuge - Eine Biographie. Bonn 1999.

König, Wolfgang: Massenproduktion und Technikkonsum. Entwicklungslinien und Triebkräfte der Technik zwischen 1880 und 1914. In: König, Wolfgang (Hg.): Propyläen Technikgeschichte. Band 4: Netzwerke, Stahl und Strom 1880 - 1914. Berlin 1997.

König, Wolfgang: Vom Staatsdiener zum Industrieangestellten: Die Ingenieure in Frankreich und Deutschland 1750 – 1945. In: Kaiser, Walter; König, Wolfgang (Hg.): Geschichte des Ingenieurs. Ein Beruf in sechs Jahrtausenden. München, Wien 2006.

Kranzhoff, Jörg Armin: Die deutsche Luftfahrt. Edmund Rumpler - Wegbereiter der industriellen Flugzeugfertigung. Bonn 2004.

Krause, Joachim; Lichtenstein, Claude (Hrsg.): Your Private Sky. R. Buckminster Fuller. Design als Kunst einer Wissenschaft. Zürich 1999.

Krause, Joachim: Versuch, auf's Fahrrad zu kommen. Zur Technik und Ästhetik ver Velo-Evolution. In: Absolut modern sein. Zwischen Fahrrad und Fließband – Culture technique in Frankreich 1889-1937. Berlin 1986. Seiten 59-74.

Kroschel, G.; Stützer, H.: Die deutschen Militärflugzeuge 1910 – 1918. Augsburg 1994.

Kurz, Eugen: Albrecht Ludwig Berblinger, der Schneider von Ulm. Ein geschichtliches Lebensbild. In: Der Schneider von Ulm. Fiktion und Wirklichkeit. Veröffentlichungen der Stadtbibliothek Ulm. Band 7. Weißenhorn 1986.

Kurz, Heinz R.: Fliegende Züge. Vom „Fliegenden Hamburger“ zum „Fliegenden Kölner“. Freiburg 1986.

Länderrat des Amerikanischen Besatzungsgebiets (Hrsg.): Statistisches Handbuch von Deutschland 1928-1944. München 1949.

Langsdorff, Werner von: Die Entwicklung des Motorflugzeugs. in: Die Umschau 27 (1923). Seiten 823 - 829.

Lauff, Sebastian: Der Traum vom Bauen. Hugo Junkers und die Architektur. Berlin 2001.

Laurenza, Domenico: Leonardo on Flight. Baltimore 2004.

Layton, E.: Conditions of Technological Development. In: Spiegel-Rösing, I.; deSolla Price, D. J. (Hrsg.): Science, Technology, and Society. London, Beverly Hills 1977.

- Ledermann, Fred: Fehlrationalisierung – der Irrweg der deutschen Automobilindustrie seit der Stabilisierung der Mark. Betriebswirtschaftliche Studie eines Beispiels der Investitionskonjunktur.** Stuttgart 1933.
- Lilienthal, Otto: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst.** Berlin 1889.
- Lower, Arthur: The Forest: Heart of a Nation.** In: History and Myth: Arthur Lower and the Making of Canadian Nationalism. Vancouver, University of British Columbia 1975.
- Marschall, Luitgard: Aluminium - Metall der Moderne.** München 2008.
- Martin, Glenn L.: The Development of Aircraft Manufacture.** In: Royal Aeronautical Society. London 1931.
- Marx, Karl; Engels, Friedrich: Ausgewählte Briefe.** Berlin 1953.
- McDonald, John J.: Howard Hughes and the Spruce Goose. The story of the largest and most controversial airplane ever built and the man who made it happen!** USA 1981.
- Mehlhorn, Gerhard; Hoshino, Masaaki: Brückenbau auf dem Weg vom Altertum zum modernen Brückenbau.** In: Mehlhorn, Gerhard (Hrsg.): Handbuch Brücken. Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten. Heidelberg 2007.
- Mende, Michael: „Dort drüben von fabelhafter Größe, hier nur in bescheidenem Umfange...“ – Begegnung mit amerikanischen Verhältnissen im Karosseriebau Mitte der 1920er Jahre.** In: Reith, Reinhold (Hg.): Kleine betriebe – angepasste Technologie? Hoffnungen, Erfahrungen und Ernüchterungen aus sozial- und technikhistorischer Sicht. Münster 2002.
- Merkel, Manfred; Thomas, Karl Heinz: Taschenbuch der Werkstoffe.** München 2008.
- Merton, Robert K.: Social theory and social structure.** New York 1957.
- Mokyr, Joel: The Lever of Riches. Technological Creativity and Economic Progress.** Oxford 1990.
- Molloy, E.: Aircraft Production. A practical Survey of Materials and Processes used in the Construction of Modern Aircraft.** New York 1941.
- Mom, Gijs: Das „Scheitern“ des frühen Elektromobils (1895 – 1925). Versuch einer Neubewertung.** In: Technikgeschichte 64 (1997), Seite 269 – 285.

- Morpurgo, J. E.: Barnes Wallis.** Harmondsworth, England 1972.
- Morrow, John H. Jr.: The Great War in the Air. Military Aviation from 1909 to 1921.** Smithsonian History of Aviation Series. Washington/ London 1993.
- Möser, Kurt: Fahren und Fliegen in Frieden und Krieg. Kulturen individueller Mobilitätsmaschinen 1880 – 1930.** Heidelberg 2009.
- Neitzel, Sönke; Welzer, Harald: Soldaten. Protokolle vom Kämpfen, Töten und Sterben.** Frankfurt a.M. 2011.
- Nicolaus, Fr.: Elektronmetalle als Werkstoff im Flugzeugbau.** in: Fortschritte der Luftfahrt. Jahrbuch 1927/28. Frankfurt a.M. 1927. Seiten 327 - 363.
- Nove, Alec: An Economic History of the USSR.** Harmondsworth, Middlesex 1972.
- Oudshoorn, Nelly: Introduction: How Users and Non-Users Matter.** In: How Users Matter: The Co-construction of Users and Technologies. Cambridge 2003.
- Parsons, Edwin C.: I flew with the Lafayette Escadrille.** Indianapolis 1963.
- Paulssen, O.: Eisenkonstruktionen. Das Junkers-Lamellendach.** In: Zeitschrift des VDI, Band 70, Nr. 41/1926.
- Penrose, Harald: British Aviation: The Great War and Armistice 1915 – 1919.** London 1969.
- Perry, Thomas D.: Modern Plywood.** New York 1942.
- Pinch, Trevor; Bijker, Wiebe: The social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other.** In: Social Studies of Science, Vol. 14, Nr. 3. 1984.
- Pinch, Trevor; Bijker, Wiebe: Science, Relativism and the New Sociology of Technology: Reply to Russel.** In: Social Studies of Science. Vol. 16, No. 2, May 1986. Seiten 347 – 360.
- Poturzyn, Fischer von; Dresel, August: Junkers und die Weltluftfahrt.** München.
- Radkau, Joachim; Schäfer, Ingrid: Holz. Ein Naturstoff der Technikgeschichte.** Reinbek 1987.
- Radkau, Joachim: Holz. Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt.** München 2007.

- Radkau, Joachim: Technik in Deutschland. Vom 18. Jahrhundert bis heute.**
Frankfurt a. M. 2008.
- Rauk, Max J.B.; Volke, Gerd; Paturi, Felix R.: Mit dem Rad durch zwei Jahrhunderte. Das Fahrrad und seine Geschichte.** Aarau, Stuttgart 1979.
- Richthofen, Wolfram von: Der Einfluss der Flugzeugbauarten auf die Beschaffung unter besonderer Berücksichtigung militärischer Gesichtspunkte.** Berlin 1929.
- Robins, James G.: The Wooden Wonder. A short History of the wooden Aeroplane.**
Rigby 1975.
- Roeder, Jean: Die deutsche Luftfahrt. Bombenflugzeuge und Aufklärer. Von der Rumpler-Taube zur Dornier Do 23.** Bonn 1990.
- Rohrbach, Adolf: Bemerkungen zum Neuzeitlichen Flugzeugbau.** In: Langsdorff, Werner (Hg.): Fortschritte der Luftfahrt. Jahrbuch 1927/28. Seiten 295 - 327.
- Rohrbach, Adolf: Entwurf und Aufgaben des Leichtbaus.** In: Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt. 1926. Seiten 64-70.
- Schatzberg, Eric: Ideology and Technical Choice: The Decline of the Wooden Airplane in the United States, 1920-1945.** In: Technology and Culture: The International Quarterly of the Society for the History of Technology. Baltimore 1994.
- Schatzberg, Eric: Wings of Wood, Wings of Metal. Culture and Technical Choice in American Airplane Materials, 1914 – 1945.** Princeton 1999.
- Schiller, Hans von: Zeppelin. Wegbereiter des Weltluftverkehrs.** Bad Godesberg 1966.
- Schmitt, Günter; Schwipps, Werner: Pioniere der frühen Luftfahrt.** Bindlach 1995.
- Schmitz, F. W.: Die „Junkers F13“ - nach 25 Jahren gesehen.** in: Luftwissen 11, 1944.
- Scholl, Lars U. (Hg.): Technikgeschichte des industriellen Schiffbaus in Deutschland.**
Hamburg 1994.
- Schütte, Johann: Der Luftschiffbau Schütte-Lanz 1909 – 1925.** München, Berlin 1926.
- Schwipps, Werner: Kleine Geschichte der deutschen Luftfahrt.** Berlin 1968.
- Schwipps, Werner: Schwerer als Luft. Die Frühzeit der Flugtechnik in Deutschland.**
Koblenz 1984.

- Seifert, Karl-Dieter; Wassermann, Dr. Michael: Otto Lilienthal. Leben und Werk. Eine Biographie.** Hamburg, Wien 1992.
- Selinger, Peter F.: Segelflugzeuge. Vom Wolf zum Mini-Nimbus.** Stuttgart 1978.
- Sharp, C. Martin; Bowyer, J. F.: Mosquito.** London 1972.
- Stattmann, Nicola: Handbuch Material Technologie.** Ludwigsburg 2003.
- Sullivan, Arthur; Steven M. Sheffrin: Economics. Principles in Action.** Saddle River, New Jersey 2003.
- Swanborough, Gordon; Bowers, Peter M.: United States Military Aircraft since 1909.** Washington D.C. 1989.
- Trischler, Helmuth; Schrogl, Kai-Uwe: Ein Jahrhundert im Flug. Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1907-2007.** Frankfurt a. M., 2007.
- Trunz, Helmut: Pionierleistungen der deutschen Luftfahrtindustrie bis 1945.** Stuttgart 2006.
- Verne, Jules: De la Terre à la Lune. Trajet direct en 97 heures 20 minutes.** Paris 1865.
Hier: deutsche Fassung des Herausgebers Volker Dehs. München 2008.
- Wachtel, Joachim: Claude Dornier. Ein Leben für die Luftfahrt.** Friedrichshafen 1989.
- Wagenführ, Rolf: Die deutsche Industrie im Kriege 1939-1945.** Berlin, 1955.
- Wagner, Wolfgang: Geschichte der deutschen Luftfahrzeugtechnik. Die Junkers F 13 und ihre Vorläufer. Vom „Blechesel“ zum ersten Ganzmetall-Verkehrsflugzeug.** Konstanz 1976.
- Wagner, Wolfgang: Die deutsche Luftfahrt. Der deutsche Luftverkehr - Die Pionierjahre 1919-1925.** Koblenz 1987.
- Wagner, Wolfgang: Die deutsche Luftfahrt. Hugo Junkers Pionier der Luftfahrt - seine Flugzeuge.** Bonn 1996.
- Wagner, Wolfgang: Die deutsche Luftfahrt. Kurt Tank – Konstrukteur und Testpilot bei Focke-Wulf.** Bonn 1991.

- Ward, W. H.: The sailing ship effect.** In: Bulletin of the Institute of Physics and the Physical Society 18 (1967), Seite 169 ff.
- Wassermann, Michael: Otto Lilienthal. Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner.** Band 81. Leipzig 1985.
- Weiss, J.B.: Gliding and Soaring Flight.** London 1924.
- Weiß, Susanne: Kunst + Technik = Design? Materialien und Motive der Luftfahrt in der Moderne.** Köln, Weimar, Wien 2010.
- Welzer, Harald: Klimakriege. Wofür im 21. Jahrhundert getötet wird.** Bonn 2008.
- Westermann, Franz: Der Karosseriebau.** In: Allmers, Robert u.a. (Hg.): Das deutsche Automobilwesen der Gegenwart. Berlin 1928.
- Wieland, Gustav: Die Flugzeugbauer vom Bodensee – von Kobers „Fliegenden Kisten“ zum Dornier-Alpha-Jet.** Nachdruck aus Schwäbische Zeitung 1975.
- Winner, Langdon: Upon Opening the Black Box and Finding It Empty: Social Constructivism and the Philosophy of Technology.** In: Science, Technology & Human Values. Vol. 18, No. 3, 1993. Seiten 362 – 378
- Wissmann, Gerhard: Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart. Eine Darstellung der Entwicklung des Fluggedankens und der Luftfahrttechnik.** Berlin (Ost) 1975.

12.1 Verwendete *Flight*-Ausgaben

Jeweiliges Erscheinungsdatum der *Flight*-Ausgabe:

24.04.1909	14.02.1918	17.11.1927	20.09.1934	24.01.1946
05.06.1909	14.03.1918	30.08.1928	09.04.1936	29.01.1948
21.08.1909	02.05.1918	07.02.1929	25.11.1937	25.01.1952
09.04.1910	23.05.1918	21.02.1929	17.11.1938	08.02.1952
27.05.2011	30.05.2018	04.04.1929	15.12.1938	29.02.1952
11.11.1911	06.06.1918	23.05.1929	16.02.1939	28.03.1952
30.12.1911	13.06.1918	11.07.1929	22.06.1939	27.02.1953
09.03.1912	20.06.1918	29.08.1929	06.07.1939	11.12.1953
26.10.1912	29.08.1918	30.01.1930	14.03.1940	21.09.1956
24.05.2013	12.02.1920	18.07.1930	04.04.1940	19.07.1957
22.11.1913	16.02.1920	31.10.1930	10.10.1940	11.04.1958
06.12.1913	04.03.1920	14.11.1930	17.04.1941	08.05.1959
13.12.1913	18.03.1920	28.11.1930	13.08.1942	03.05.1962
09.07.1915	10.03.1921	22.05.1931	10.09.1942	18.05.1967
05.11.2015	17.03.1921	29.05.1931	06.05.1943	06.06.1968
10.12.1915	26.01.1922	21.08.1931	21.10.1943	23.04.1977
03.02.1916	31.05.1923	11.03.1932	02.12.1943	15.03.1980
26.10.1916	29.11.1923	20.05.1932	08.06.1944	20.02.1988
25.01.1917	05.03.1925	22.12.1932	01.07.1944	15.04.1997
22.03.1917	24.09.1925	29.12.1932	20.07.1944	20.05.2003
28.06.1917	14.10.1926	30.11.1933	20.12.1945	13.07.2004

Tabelle 7: Verwendete *Flight*-Ausgaben.

Technikdiskurse

Karlsruher Studien zur Technikgeschichte
(ISSN 1860-3610)

Herausgeber:

Prof. Dr. Rolf-Jürgen Gleitsmann-Topp
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften
Institut für Geschichte, Abteilung Technikgeschichte

Die Bände sind unter www.ksp.kit.edu als PDF frei verfügbar
oder als Druckausgabe bestellbar.

Band 1

Günther Oetzel
*Das pulsierende Herz der Stadt. Stadtraum und industrielle Mobilität.
Die Karlsruher Bahnhofsfrage. 2005*
ISBN 3-937300-45-7

Band 2

Rolf-Ulrich Kunze
*Kursbuch Neueste und Technikgeschichte.
Studienorganisation und Hilfsmittel. 2008*
ISBN 978-3-86644-278-8

Band 3

Rolf-Ulrich Kunze
*Symbiosen, Rituale, Routinen. Technik als Identitätsbestandteil.
Technikakzeptanz der 1920er bis 1960er Jahre. 2010*
ISBN 978-3-86644-493-5

Band 4

Rolf-Ulrich Kunze
*Spurweiten. Technik, Geschichte, Identität u.a.
in H0, Normalspur und 1000 mm. 2011*
ISBN 978-3-86644-632-8

Band 6

Kurt Möser
Grauzonen der Technikgeschichte. 2011
ISBN 978-3-86644-757-8

Band 7

Michael Fischer

Dr. phil. habil. Hans Jüngst 1901-1944.

Ein Leben im deutschen Zeitalter der Extreme. 2012

ISBN 978-3-86644-809-4

Band 8

Gehmann, Ulrich (Hrsg.)

Virtuelle und ideale Welten. 2012

ISBN 978-3-86644-784-4

Band 9

Rolf-Ulrich Kunze

*Mit der Technik auf du. Technik als soziale Konstruktion
und kulturelle Repräsentation, 1930 - 1970.* 2012

ISBN 978-3-86644-778-3

Band 10

Rolf-Ulrich Kunze

Langeoog. Eine historische Erzählung, 1930–1980. 2012

ISBN 978-3-86644-945-9

Band 11

Rolf-Ulrich Kunze

*Meine Materialproben. Beiträge zur historischen Erzählung sozialer
und soziotechnischer Konstruktionen im 20. Jahrhundert.* 2013

ISBN 978-3-86644-949-7

Band 12

Philipp Hassinger

*Zwischen Evolution und Revolution. Der Werkstoffwandel
im Flugzeugbau.* 2013

ISBN 978-3-86644-998-5

„So you’re telling me that people used to make airplanes out of wood? – out of lumber! I don’t believe you, you’re kidding me.“

Frühe Fluggeräte, ob schwerer oder leichter als Luft, bestanden aus Materialien, die uns heute im besten Fall als ungeeignet erscheinen. Bambus und Stoff weckten aber auch das Misstrauen der frühen Flugzeugbauer und -nutzer. Das revolutionäre Technologiesystem Flugzeug sollte von jeher aus den modernsten Materialien bestehen, ganz gleich ob sie immer wirklich die geeignetsten waren. Dieses Dogma hat bis heute nichts an Gültigkeit verloren. Und bis heute verursacht dieser Zwang zu den aktuellsten Materialien oft mehr Probleme als er löst.

Das Beispiel Flugzeugbau bietet interessante Antworten auf die Frage, warum sich Technologien durchsetzen bzw. eben nicht durchsetzen. Es beweist, wie entscheidend und unterschätzt der Einfluss des Nutzers auf die Entwicklung einer Technologie ist.