



Philipp Hassinger

## Zwischen Evolution und Revolution Der Werkstoffwandel im Flugzeugbau

KIT Scientific Publishing

---

# 7. Der Werkstoffwandel im Vergleich

---

Publisher: KIT Scientific Publishing  
Place of publication: Karlsruhe  
Year of publication: 2013  
Published on OpenEdition Books: 22 août 2017  
Series: KIT Scientific Publishing  
Electronic EAN: 9782821883352



<http://books.openedition.org>

### Electronic reference

HASSINGER, Philipp. 7. *Der Werkstoffwandel im Vergleich* In.: *Zwischen Evolution und Revolution: Der Werkstoffwandel im Flugzeugbau* [Online]. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2013 (Erstellungsdatum: 08 septembre 2023). Online verfügbar: <<http://books.openedition.org/ksp/3890>>. ISBN: 9782821883352.

---

## 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.<sup>844</sup> 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.<sup>845</sup>

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.<sup>846</sup>

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-

---

<sup>844</sup> 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).

<sup>845</sup> Vgl.: Scholl, Lars U. (Hg.): Technikgeschichte des industriellen Schiffbaus in Deutschland. Hamburg 1994. Seite 15.

<sup>846</sup> 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.<sup>847</sup>

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.*“<sup>848</sup>

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.<sup>849</sup> 1891 waren dann über 80 Prozent der gebauten Schiffe aus Stahl.<sup>850</sup>

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.<sup>851</sup>

---

<sup>847</sup> Vgl. ebenda. Seite 143

<sup>848</sup> Radkau 2008. Seite 209.

<sup>849</sup> Vgl. Friel, Ian: *Maritime History of Britain and Ireland*. London 2003. Seite 228.

<sup>850</sup> Vgl. Mokyř 1990. Seiten 128, 129.

<sup>851</sup> Vgl. Hooper Mc Carty, Foecke 2009. Seite 43 f.

## 7.1 Luftschiffbau

Der Bau von starren Luftschiffen<sup>852</sup> 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 Zeppelin<sup>853</sup> 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.

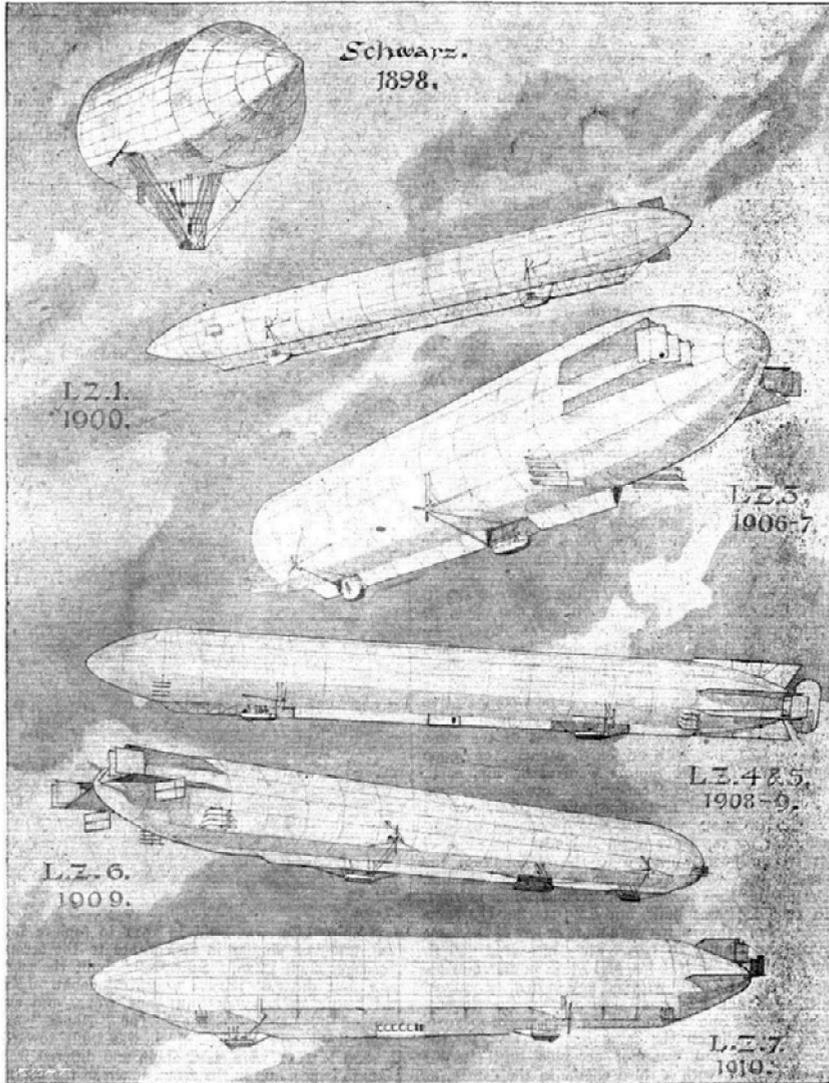
Das Luftschiffgerüst, mit Baumwollstoff bezogen und aus Längsträgern und 16 Spanten wurde bei LZ 1 bereits überwiegend aus Aluminiumteilen hergestellt und so erscheint folgende Aussage durchaus berechtigt: „*Die Geschichte des Starrluftschiffgerippes ist also mit der Geschichte der Aluminiumlegierungen eng verknüpft.*“<sup>854</sup> Den Auftrieb lieferten, wie später auch, wasserstoffgasgefüllte Ballons.

---

<sup>852</sup> 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.

<sup>853</sup> Graf von Zeppelin, Ferdinand Adolf Heinrich August (\* 08.07.1838 in Konstanz; † 08.03.1917 in Berlin).

<sup>854</sup> 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 Schwarz<sup>855</sup> 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

<sup>855</sup> 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. Battistsäcke<sup>856</sup> 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.<sup>857</sup>

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 Bergs<sup>858</sup>. 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.<sup>859</sup> 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,

---

<sup>856</sup> Baumwollartiges, glänzendes, leichtes, feines, glattes Gewebe in Leinwandbindung aus einem mäßig gedrehten Garn.

<sup>857</sup> 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.

<sup>858</sup> Berg, Carl (\* 04.02.1851 in Lüdenscheid; † 26.05.1906 in Bonn).

<sup>859</sup> 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.<sup>860</sup> 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.“*<sup>861</sup>

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 Winkelaschen 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/m<sup>2</sup> wog. [...] Die Überdruckventile bestanden aus einer Gummimembrane. [...] Die äußere Verkleidung des Tragkörpers bestand im oberen Teil aus wasserdicht imprägniertem Baumwollstoff, Pegamoid<sup>862</sup> genannt, welcher zusammengenäht und durch Ösen und Schnüre an den*

---

<sup>860</sup> Vgl. Dürr 1925. Seite 32; Wissmann 1975. Seite 151.

<sup>861</sup> Dürr 1925. Seite 34.

<sup>862</sup> 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/m<sup>2</sup> verkleidet.“*<sup>863</sup>

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.<sup>864</sup> Außerdem schützte das Aluminium den Hüllstoff selbst, da es ihn vor der zerstörenden Wirkung der ultravioletten Strahlung schützte.<sup>865</sup>

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.“*<sup>866</sup>

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

<sup>863</sup> Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seiten 282, 283.

<sup>864</sup> Zum Problem des „super-heating“, der Aufheizung des Luftschiffs im Sonnenlicht, vgl. Morpurgo 1972. Seite 114.

<sup>865</sup> Vgl. Dürr 1925. Seite 80.

<sup>866</sup> Ebenda. Seite 33.

luftdurchlässig.<sup>867</sup> 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 Goldschlägerhaut<sup>868</sup>, 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 7<sup>869</sup> 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.“*<sup>870</sup> 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-*

---

<sup>867</sup> Vgl. ebenda. Seite 8.

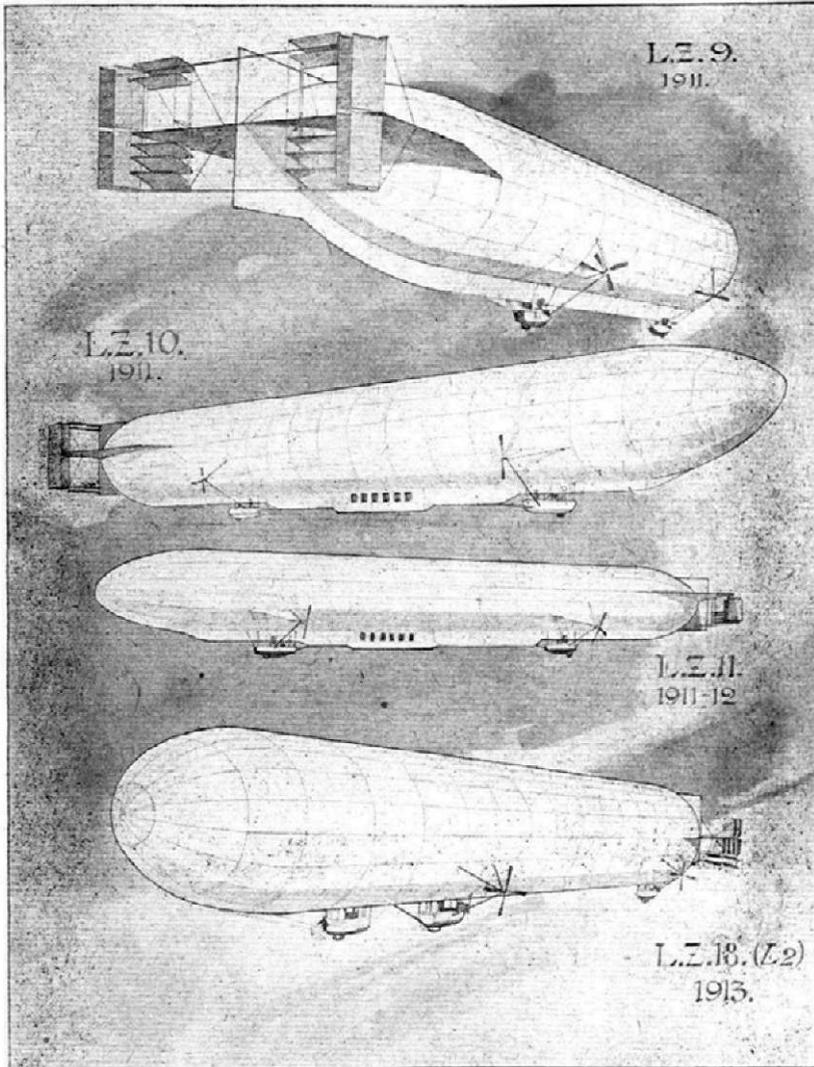
<sup>868</sup> Die Bezeichnung wird zurückgeführt auf die Arbeit des Goldschlägers, der das Edelmetall zu hauchdünnem Blattgold austreibt und es dazu in eine feine Haut einlegen muss.

<sup>869</sup> Erstflug: 19.06.1910.

<sup>870</sup> 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.“<sup>871</sup>

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.

<sup>871</sup> 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.<sup>872</sup> Auf dem Höhepunkt der deutschen Starrluftschiffproduktion wurde alle 10 Wochen ein neuer Zeppelin in Dienst gestellt.<sup>873</sup> Die hohe Verwundbarkeit der großen und langsamen Luftschiffe durch die gegnerische Flugabwehr führte bereits vor Kriegsende zur Einstellung der strategischen Luftschiffoperationen.<sup>874</sup>

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“ II<sup>875</sup>.

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, [...]“*<sup>876</sup>

---

<sup>872</sup> Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 302.

<sup>873</sup> Morpurgo 1972. Seite 99.

<sup>874</sup> Zum Luftschiffkrieg im Ersten Weltkrieg vg. Wissmann 1975. Seiten 158 – 162.

<sup>875</sup> Erstflug LZ 129: 04.03.1936; Erstflug LZ 130: 14.09.1938.

<sup>876</sup> 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.“*<sup>877</sup>

Der vollständige Übergang von organischen zu anorganischen Materialien erfolgte bei den Zeppelin-Luftschiffen damit erst in den 1930er Jahren.

Johann Schütte<sup>878</sup> 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.<sup>879</sup>

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 Lanz<sup>880</sup> 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-

---

<sup>877</sup> Werkzeitschrift der Zeppelin-Betriebe. Nr.1. 01.01.1937. Seiten 19, 20.

<sup>878</sup> Schütte, Johann Heinrich Karl (\* 26.02.1873 in Osterburg bei Oldenburg; † 29.03.1940 in Dresden).

<sup>879</sup> Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 197.

<sup>880</sup> 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).”*<sup>881</sup> Die Träger selbst bestanden aus drei 1 mm dicken, zusammengeleimten Holzfurnieren, deren Fasern teils längs, teils quer verliefen.<sup>882</sup>

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.<sup>883</sup> *“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.”*<sup>884</sup> 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.

<sup>881</sup> Schütte, Johann: Der Luftschiffbau Schütte-Lanz 1909 – 1925. München, Berlin 1926. Seite 4.

<sup>882</sup> Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 208.

<sup>883</sup> Ebenda. Seite 225.

<sup>884</sup> 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.”*<sup>885</sup>

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.<sup>886</sup>

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-

---

<sup>885</sup> Ebenda. Seiten 4, 5.

<sup>886</sup> Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 207.

konstruktion ständig Probleme<sup>887</sup> 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.”*<sup>888</sup>

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.<sup>889</sup>

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.<sup>890</sup> 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 Anschiften<sup>891</sup> ohne Festigkeitsverlust einleimen. Außerdem beschränkt sich beim Holz wegen seiner hohen Elastizität die Überbeanspruchung und Zerstörung meist auf eine einzige schwache Stelle.<sup>892</sup>

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.

<sup>887</sup> Vgl. ebenda. Seiten 208f., 231, 234.

<sup>888</sup> Wissmann 1975. Seite 155.

<sup>889</sup> Vgl. Haaland, Knäusel, Schmitt, Seifert 1997. Seite 247.

<sup>890</sup> 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.

<sup>891</sup> Einen Balken durch Annageln seitlich schräg an einen anderen anfügen.

<sup>892</sup> 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.”*<sup>893</sup>

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.”*<sup>894</sup>

Zwischen 1911 und 1921 entstanden in Großbritannien 15 Starrluftschiffe, die fast ausschließlich, bis ins Detail den Zeppelin- und Schütte-Lanz-Schiffen nachgebaut waren.<sup>895</sup>

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.”*<sup>896</sup>

Die *Mayfly* sollte jedoch nie fliegen: *“At last all was said to be ready, and the leviathan*

---

<sup>893</sup> Morpurgo 1972. Seite 73. Zur politischen und militärischen Einstellung zum starren Luftschiff vgl. Morpurgo 1972. Seiten 80, 81.

<sup>894</sup> *Flight* vom 05.06.1909. Seite 324.

<sup>895</sup> Kleinheins, Peter (Hrsg.): Die großen Zeppeline. Die Geschichte des Luftschiffbaus. Düsseldorf 1996. Seite 116.

<sup>896</sup> *Flight* vom 27.05.1911. Seite 461.

*was towed out of her shed one morning<sup>897</sup> 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.”<sup>898</sup>*

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'.”<sup>899</sup>*

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.<sup>900</sup>

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.<sup>901</sup>

---

<sup>897</sup> Dieser Aufstiegsversuch fand am 22.05.1911 statt.

<sup>898</sup> Flight vom 30.12.1911. Seite 1126.

<sup>899</sup> Morpurgo 1972. Seite 75.

<sup>900</sup> Vgl. Kleinheins 1996. Seite 118. Vgl. auch Morpurgo 1972. Seite 98.

<sup>901</sup> Vgl. Wissmann 1975. Seite 163.

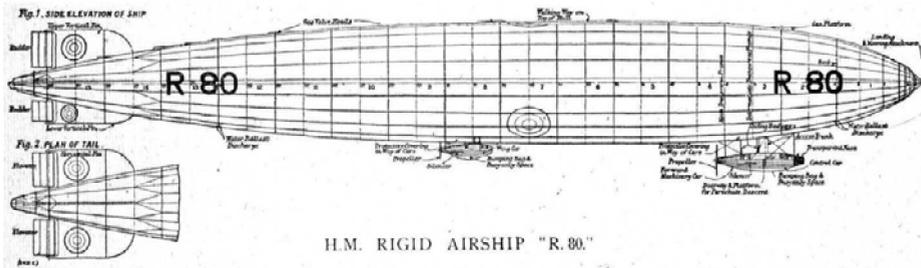


Abbildung 58: Das britische Luftschiff R 80. Aus: *Flight* (26.08.1920). Seite 926.

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.”*<sup>902</sup>

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*

<sup>902</sup> Morpurgo 1972. Seite 189.

Goodyear Tire and Rubber Co. This firm, it may be of interest to mention, purchased the intestines of 1,400,000 cattle before the 900,000 satisfactory skins necessary for manufacture into gold-beaters' skin were obtained.”<sup>903</sup> Die Herstellung ausreichend stabiler Aluminiumlegierungen und das Beschaffen einer ausreichenden Zahl von Tierdärmen machten also große Probleme.

Die USA konzentrierten sich jedoch nicht nur auf starre Luftschiffe. Der Prallluftschiffbau wurde hier bis in die 1950er Jahre hinein sehr umfangreich betrieben.

Ab 1926 entwickelten die USA ein Versuchs-Prallluftschiff, das eine selbsttragende Außenhaut aus Aluminiumblech besaß: das ZMC-2, wobei MC für “Metal Clad” stand. Das Traggas wurde direkt in die aus fünf Lagen bestehende Luftschiffhülle gefüllt. ZMC-2 besaß kein inneres Gerüst oder Traggaszellen. *“The surface of the conventional fabric ship consists of five layers (exclusive of framing), from outside to inside, namely: Outer fabric covered with doped coating; shear wiring; gas-pressure wiring; cord netting (eliminated in the latest Zeppelin); gas cell fabric lined with goldbeater skin. These five layers in the fabric-covered airship collectively perform the function of: Fairing the surface; protection against atmosphere; transmission of shear stresses; accommodation of pressure; retention of buoyant gas. The single metal surface in the metalclad ship performs all these functions, and performs each of them in a better way.”*<sup>904</sup>

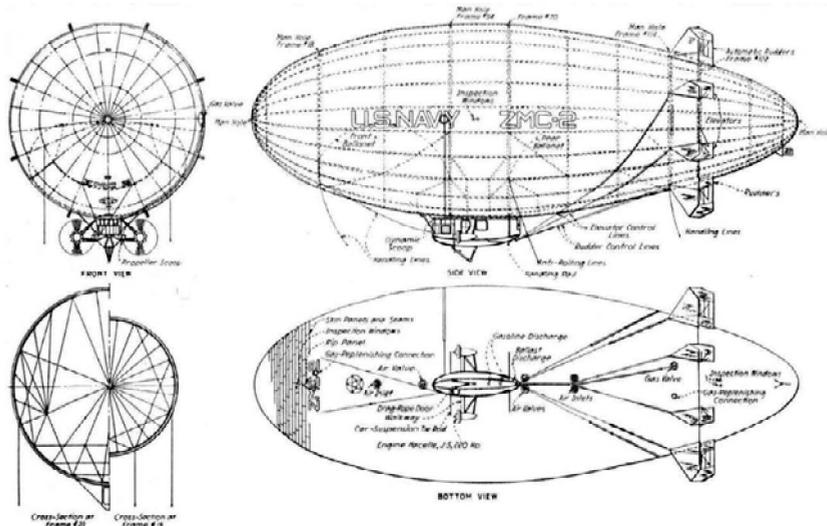


Abbildung 59: 3-Seiten-Ansicht von ZMC-2. Aus: *Flight* (29.05.1931). Seite 485.

<sup>903</sup> *Flight* vom 29.11.1923. Seite 721.

<sup>904</sup> *Flight* vom 22.05.1931. Seite 461.

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.<sup>905</sup> 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.”*<sup>906</sup>

Das Ergebnis der Untersuchung bewies die hohe Haltbarkeit der Aluminiumpaußenhaut. 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-*

---

<sup>905</sup> Vgl. ebenda. Seite 464.

<sup>906</sup> Flight vom 29.05.1931. Seite 483.

wicht.“<sup>907</sup> 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).”*<sup>908</sup>

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.

---

<sup>907</sup> Kaemmerer 1914. Seite 127.

<sup>908</sup> Morpurgo 1972. Seite 101.

### 7.1.1 Der Schienenzeppelin

Einen interessanten Technologietransfer von Luftschiffbautechniken auf den Eisenbahnbau stellt der Schienenzeppelin des Konstrukteurs Franz Kruckenberg<sup>909</sup> 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.<sup>910</sup> 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.<sup>911</sup>

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

---

<sup>909</sup> Kruckenberg, Franz Friedrich (\* 21.08.1882 in Uetersen; † 19.06.1965 in Heidelberg).

<sup>910</sup> Vgl. Gottwaldt, Alfred: Der Schienenzeppelin. Franz Kruckenberg und die Reichsbahn-Schnelltriebwagen der Vorkriegszeit 1929-1939. Freiburg 2006. Seite 12.

<sup>911</sup> 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.”<sup>912</sup>*

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.

---

<sup>912</sup> 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.“*<sup>913</sup>

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.<sup>914</sup> 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*,

---

<sup>913</sup> Flight vom 19.07.1957. Seite 72.

<sup>914</sup> Vgl. Möser 2009. Seite 275.

*bespannt mit billigem Shirting.*“<sup>915</sup> 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.<sup>916</sup> 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.<sup>917</sup>

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.*“<sup>918</sup>

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.<sup>919</sup> 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.<sup>920</sup>

<sup>915</sup> Schülerflugclubs. In: Flugsport 1 (1909). Seite 29. Zur Einordnung der Zeitschrift Flugsport siehe auch Brinkmann/Zacher 1999. Seite 20.

<sup>916</sup> Vgl. Geistmann, Dieter: Die Entwicklung der Kunststoff-Segelflugzeuge. Stuttgart 1976. Seite 12.

<sup>917</sup> Vgl. Brinkmann/Zacher 1999. Seite 159.

<sup>918</sup> Vgl. ebenda. Seite 23.

<sup>919</sup> Die erste akademische Fliegergruppe war die Akaflieg Darmstadt, die 1920 gegründet wurde.

<sup>920</sup> 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.“<sup>921</sup>

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 Klemperer<sup>922</sup> 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.“<sup>923</sup>

---

<sup>921</sup> Vgl. Schwipps 1968. Seite 90.

<sup>922</sup> Klemperer, Wolfgang Benjamin (\* 18.01.1893 in Dresden; † 25.03.1965 in Kalifornien, USA).

<sup>923</sup> 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.“*<sup>924</sup>

Auch die Brüder Horten<sup>925</sup> bauten ihre berühmten Nurflügel<sup>926</sup>-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-

---

<sup>924</sup> Brinkmann/Zacher 1999. Seite 80.

<sup>925</sup> Horten, Reimar (\* 02.03.1915; † 14.03.1994) und Horten, Walter (\* 13.11.1913; † 09.12.1998 in Baden-Baden).

<sup>926</sup> 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.<sup>927</sup>

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.“*<sup>928</sup>

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.<sup>929</sup>

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.*<sup>930</sup>

<sup>927</sup> Vgl. Brütting, Georg: Die berühmtesten Segelflugzeuge. Stuttgart 1986. Seite 73.

<sup>928</sup> Brinkmann/Zacher 1999. Seite 102.

<sup>929</sup> Vgl. Brinkmann/Zacher 1999. Seite 120.

<sup>930</sup> 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.<sup>931</sup> 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.<sup>932</sup> Darüber hinaus sind Fiberglasrumpfe beispielsweise viel weniger stoßempfindlich als Rumpfe mit Stahlrahmen.<sup>933</sup> 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!“*<sup>934</sup> 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

<sup>931</sup> Vgl. Hänle, Urula: Kleine Fiberglas Flugzeug Flickbibel. 1997. Einsehbar unter <http://www.dg-flugzeugbau.de/fileadmin/flickfibel-d.pdf>. Einführung.

<sup>932</sup> Vgl. Brütting 1986. Seite 99.

<sup>933</sup> Vgl. Hänle 1997. Einführung.

<sup>934</sup> 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.<sup>935</sup>

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.“*<sup>936</sup>

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.“*<sup>937</sup>

---

<sup>935</sup> Vgl. Brinkmann/Zacher 1999. Seite 110.

<sup>936</sup> Ebenda. Seite 126.

<sup>937</sup> 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.<sup>938</sup>

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.<sup>939</sup>

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 Schreder<sup>940</sup> 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 Temperatur<sup>941</sup>, 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.<sup>942</sup> 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.

<sup>938</sup> Vgl. ebenda. Seite 151.

<sup>939</sup> Nach Brinkmann und Zacher kostete das Kilogramm CFK Anfang der 1970er Jahre je nach Typ bis zu DM 1800,- (Brinkmann/Zacher 1999. Seite 148).

<sup>940</sup> Schreder, Richard E. (\* 25.09.1915 in Tecumseh, Michigan; † 02.08.2002 in Bryan, Ohio).

<sup>941</sup> 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.)

<sup>942</sup> 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 Antonov<sup>943</sup> 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.<sup>944</sup>

Bemerkenswert ist auch die Segelflugzeugentwicklung in Großbritannien. Dort ist der Segelflugbau vor allem mit dem Namen „Slingsby“ verknüpft. Frederick N. Slingsby<sup>945</sup> 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.<sup>946</sup>

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.<sup>947</sup> Besonders interessant ist jedoch das bereits erwähnte Imageproblem des Holzbaus: „*Another reason for the change to*

---

<sup>943</sup> 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.

<sup>944</sup> Vgl. Brütting 1986. Seite 176.

<sup>945</sup> 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.

<sup>946</sup> Vgl. Brütting 1986. Seite 152.

<sup>947</sup> 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.*“<sup>948</sup>

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*<sup>949</sup>, 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.

---

<sup>948</sup> *Flight* vom 18.05.1967, Seite 785.

<sup>949</sup> *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.<sup>950</sup> Die Fachwerkbauweise war beispielsweise von Anfang an eine Holzspar-Bauweise.<sup>951</sup> „*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.*“<sup>952</sup>

Im 19. Jahrhundert wurde der Holzbau<sup>953</sup> 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

---

<sup>950</sup> Vgl. Radkau, Joachim: Holz. Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt. München 2007. Seite 69.

<sup>951</sup> Vgl. ebenda. Seite 75.

<sup>952</sup> Gordon 2003. Seite 215.

<sup>953</sup> 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.*“<sup>954</sup> 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.<sup>955</sup> 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.<sup>956</sup> 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.<sup>957</sup> 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.

<sup>954</sup> Gordon 2003. Seite 260.

<sup>955</sup> 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.

<sup>956</sup> Vgl. ebenda. Seiten 42-44.

<sup>957</sup> 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.*“<sup>958</sup> 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.<sup>959</sup> 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.*“<sup>960</sup>

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.*“<sup>961</sup>

---

<sup>958</sup> Gordon 2003. Seite 202.

<sup>959</sup> Vgl. Mehlhorn; Hoshino 2007. Seite 38.

<sup>960</sup> Radkau 2007. Seite 222.

<sup>961</sup> 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.“*<sup>962</sup>

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.<sup>963</sup> 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.“*<sup>964</sup>

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.“*<sup>965</sup> Der Grundschutz besteht meistens aus einer Verzinkung des Stahls. Darauf kommt in der Regel ein dreifacher Farbanstrich.<sup>966</sup>

<sup>962</sup> Ebenda. Seite 233.

<sup>963</sup> Vgl. Mehlhorn; Hoshino 2007. Seite 38.

<sup>964</sup> Dietrich, Richard J.: Faszination Brücken. Baukunst-Technik-Geschichte. München 2001. Seite 44.

<sup>965</sup> Gordon 2003. Seite 332.

<sup>966</sup> 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.<sup>967</sup>

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.“*<sup>968</sup>

---

<sup>967</sup> Vgl. Gordon 2003. Seite 204.

<sup>968</sup> 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.<sup>969</sup> Auch in den Metallmöbelbau stieg man ein. In Zusammenarbeit mit dem Bauhaus und Marcel Breuer<sup>970</sup> 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'Orme<sup>971</sup> 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.<sup>972</sup>

---

<sup>969</sup> Vgl. Blunck 1951. Seite 131.

<sup>970</sup> Breuer, Marcel Lajos (\* 21.05.1902 in Pécs, Ungarn; † 01.07.1981 in New York City).

<sup>971</sup> De l'Orme, Philibert (\* 1514 in Lyon; † 08.01.1570 in Paris).

<sup>972</sup> 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 Torsionskräfte<sup>973</sup> nicht fähig war, da es sich der Belastung durch fortlaufende Verformung entzog. Außerdem führte die Tauwasserbildung zum Verrotten der Schalungsnägel.<sup>974</sup>

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.<sup>975</sup> *Flight* urteilte 1930 über die Hallen, dass sie „*ridiculously simple*“<sup>976</sup> 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.*“<sup>977</sup> 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.<sup>978</sup>

*Flight* bemerkte zu den Vorteilen dieser Hallenbauweise: „*[...] it not only provides a*

---

<sup>973</sup> Auswirkungen einer parallel zur Grundfläche und tangential zur Seitenfläche eines Körpers wirkenden Kraft.

<sup>974</sup> Vgl. Lauff 2001. Seite 45.

<sup>975</sup> Vgl. ebenda. Seiten 48, 57.

<sup>976</sup> *Flight* vom 18.07.1930. Seite 804.

<sup>977</sup> Lauff 2001. Seite 59.

<sup>978</sup> 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.“<sup>979</sup>

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.

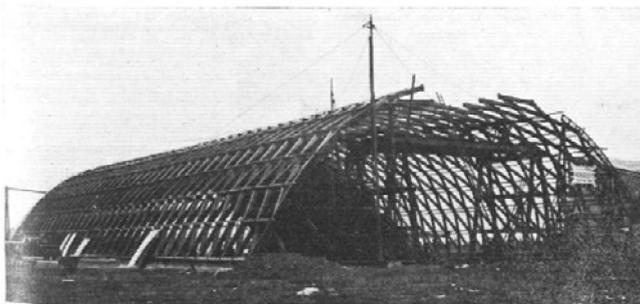
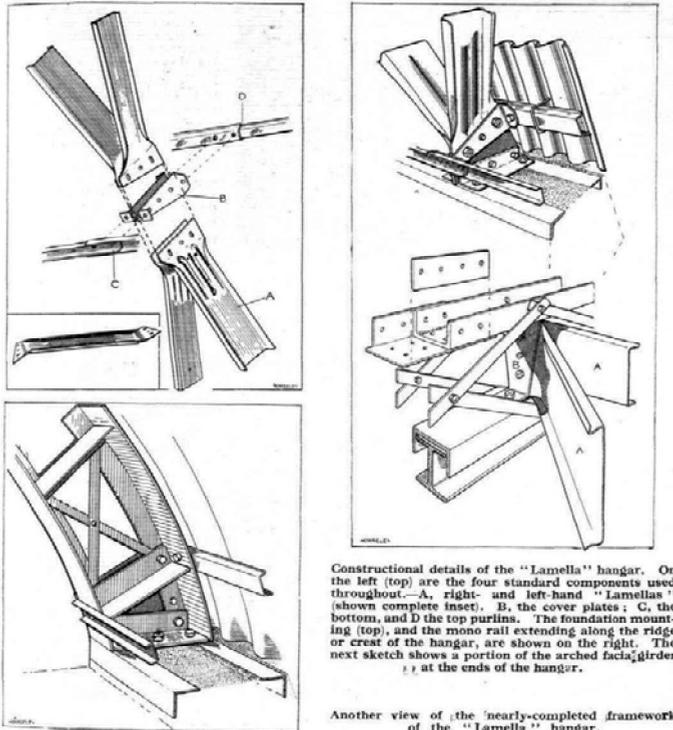


Abbildung 60: Details und Bauansicht einer Lamellenhalle nach Junkersscher Bauart. Aus: Flight (18.07.1930) Seite 805.

<sup>979</sup> 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.“*<sup>980</sup>

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.<sup>981</sup> Uneinigkeit bestand jedoch auf dem Gebiet der Materialwahl. 1926 schrieb Junkers dazu: *„Gropius<sup>982</sup> 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.“*<sup>983</sup>

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 Fuller<sup>984</sup>, 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

---

<sup>980</sup> Paulssen 1926. Seite 1365.

<sup>981</sup> Vgl. Lauff 2001. Seite 87.

<sup>982</sup> Gropius, Walter Adolf Georg (\* 18.05.1883 in Berlin; † 05.07.1969 in Boston, Massachusetts).

<sup>983</sup> Briefwechsel zwischen Junkers und Gropius, April/Mai 1926, Sammlung Erfurth, Dessau.

<sup>984</sup> 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 Holzpfeiler 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.“<sup>985</sup> Fuller entwickelte in den frühen 1930er Jahren auch ein stromlinienförmiges und dreirädriges „Dymaxion Car“, das ein aluminiumbeplanktes Holzgerippe mit Stoffverdeck besaß.<sup>986</sup> 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.<sup>987</sup>

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.<sup>988</sup>

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-

<sup>985</sup> Krausse, Joachim; Lichtenstein, Claude (Hrsg.): Your Private Sky. R. Buckminster Fuller. Design als Kunst einer Wissenschaft. Zürich 1999. Seite 238.

<sup>986</sup> Vgl. Krausse; Lichtenstein 1999. Seite 191.

<sup>987</sup> Vgl. Blunck 1951. Seite 294.

<sup>988</sup> 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.“<sup>989</sup>

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.

---

<sup>989</sup> 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*“<sup>990</sup> 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 Starley<sup>991</sup> 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.<sup>992</sup>

Bauten Benz<sup>993</sup>, Daimler<sup>994</sup> und Maybach<sup>995</sup> zunächst noch unter dem Leitbild des Fahr-

---

<sup>990</sup> „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).

<sup>991</sup> Starley, James (\* 21.04.1830 in Alburne, Mid Sussex; † 17.06.1881).

<sup>992</sup> Vgl. Krause, Joachim: Versuch, auf's Fahrrad zu kommen. Zur Technik und Ästhetik der Volo-Evolution. In: *Absolut modern sein. Zwischen Fahrrad und Fließband – Culture technique in Frankreich 1889-1937*. Berlin 1986. Seiten 59-74. Hier Seite 59.

<sup>993</sup> Benz, Karl Friedrich Michael (\* 25.11.1844 in Karlsruhe-Mühlburg; † 04.04.1929 in Ladenburg).

<sup>994</sup> Daimler, Gottlieb Wilhelm (\* 17.03.1834 in Schorndorf; † 06.03.1900 in Stuttgart-Cannstatt).

<sup>995</sup> 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.<sup>996</sup>

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.<sup>997</sup> 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 Kundschaft<sup>998</sup> 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*

---

<sup>996</sup> 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.

<sup>997</sup> Vgl. Braess, Hans-Hermann: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. Wiesbaden 2007. Seite 732.

<sup>998</sup> 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.“<sup>999</sup>*

*„Für manche der damals etwa zweihundert deutschen Karosseriebaufirmen, zumal solche, die aus Stellmachereien<sup>1000</sup> 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.“<sup>1001</sup>*

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.<sup>1002</sup> 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-

<sup>999</sup> Goele, H.: Holz- oder Metall-Karosserien? In: Der Motorwagen 9, 1906. Seite 301.

<sup>1000</sup> Die Stellmacherei ist die Werkstatt eines als Stellmacher bezeichneten Handwerks, der Räder, Wagen und andere landwirtschaftliche Geräte aus Holz herstellt.

<sup>1001</sup> 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.

<sup>1002</sup> 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.<sup>1003</sup>

Die Straßenqualität stand in direkter Verbindung zur Materialwahl. Letzten Endes wurden damals nicht die Straßen den Automobilen, sondern die Automobile den Straßen angepasst.<sup>1004</sup>

In seinem Reisebericht aus den USA beschrieb der deutsche Karosseriebauer Wilhelm Karmann<sup>1005</sup> die oft genug noch „grundlosen Wege“<sup>1006</sup> 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 abplatzte, 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.<sup>1007</sup>

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.<sup>1008</sup> Natürlich spielten in diesem Segment auch die Fertigungskosten eine untergeordnete Rolle.

Erst die Verbesserung der Straßenqualität ab Mitte der 1920er Jahre erlaubte und begüns-

---

<sup>1003</sup> Vgl. Mende 2002. Seite 70.

<sup>1004</sup> 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.

<sup>1005</sup> Karmann, Wilhelm (\* 14.02.1871 in Ilfeld/Harz; † 28.09.1952 in Osnabrück).

<sup>1006</sup> Karmann, Wilhelm: Meine Amerikafahrt. Osnabrück 1924. Seite 11.

<sup>1007</sup> Vgl. Westermann, Franz: Der Karosseriebau. In: Allmers, Robert u.a. (Hg.): Das deutsche Automobilwesen der Gegenwart. Berlin 1928. Seite 183.

<sup>1008</sup> 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.<sup>1009</sup>

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.<sup>1010</sup>

Dabei visierten Autobauer wie Ford<sup>1011</sup> 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.<sup>1012</sup>

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.<sup>1013</sup>

---

<sup>1009</sup> Vgl. Mende 2002. Seite 72.

<sup>1010</sup> Vgl. Flügge, Eva: Die Automobilindustrie der Vereinigten Staaten. Jena 1931. Seite 27.

<sup>1011</sup> Ford, Henry (\* 30.07.1863 in Wayne County, Michigan, USA; † 07.04.1947 in Dearborn, Michigan).

<sup>1012</sup> Vgl. Radkau 2008. Seite 243.

<sup>1013</sup> 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.<sup>1014</sup>

Der Übergang von Gemischtbau-Karosserien zu Ganzmetallstrukturen ging im Automobilbau einher mit der zunehmenden Massenproduktion von immer billigeren Autos.

<b>Jahr</b>	<b>Preis des Tourenwagens (in US-Dollar)</b>	<b>Verkaufte Exemplare (auf 100 gerundet)</b>
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.*<sup>1015</sup>

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

<sup>1014</sup> 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.

<sup>1015</sup> 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 waren<sup>1016</sup>, 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.“<sup>1017</sup>*

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.<sup>1018</sup> 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.<sup>1019</sup> 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.<sup>1020</sup> 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.<sup>1021</sup> 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-

<sup>1016</sup> Länderrat des Amerikanischen Besatzungsgebiets (Hrsg.): Statistisches Handbuch von Deutschland 1928-1944. München 1949. Seite 375.

<sup>1017</sup> Mende 2002. Seite 73.

<sup>1018</sup> Vgl. Aluminium Journal. 1987, Nr. 9. Seite 920 f.

<sup>1019</sup> Vgl. Marschall 2008. Seite 129.

<sup>1020</sup> 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.

<sup>1021</sup> 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.<sup>1022</sup> 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.<sup>1023</sup>

Erst die Ölkrise der 1970er Jahre führten 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.<sup>1024</sup>

---

<sup>1022</sup> 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).

<sup>1023</sup> 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.

<sup>1024</sup> 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.<sup>1025</sup>*

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 CO<sub>2</sub>-Emmission reduziert - sind die Preise für CFK im Sinken begriffen. Am Beispiel des Einliter-Autos XL1 erläuterte Ferdinand Piëch<sup>1026</sup> den Preisverfall: „Die Karbonkarosserie des ersten Entwurfs von 2002 kostete rund 35.000 Euro, die des XL1 noch 5.000 Euro.“<sup>1027</sup> BMW plant schon ab 2012 mit dem Elektroauto i3 einen Kleinwagen mit Kohlefaser-Karosserie herzustellen und den neuen Werkstoff damit Massenkompabil machen.<sup>1028</sup>

Zurzeit findet wieder ein Technologietransfer aus dem Flugzeug- auf den Automobilbau-

<sup>1025</sup> Daten aus Marschall 2008. Seiten 134, 135.

<sup>1026</sup> Piëch, Ferdinand Karl (\*17.04.1937 in Wien) ist seit 2002 Vorsitzender des Aufsichtsrates der Volkswagen AG.

<sup>1027</sup> 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.

<sup>1028</sup> 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 DLR<sup>1029</sup> 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.<sup>1030</sup>

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.“<sup>1031</sup> 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.

---

<sup>1029</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt.

<sup>1030</sup> Vgl. Grünweg 2011.

<sup>1031</sup> Krause 1986. Seite 59.