Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 89 (2017)

Artikel: Visionäre "beflügeln" Polymere : verkannte Potentiale? : Hybride Werkstoffe in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts

Autor: Haka, Andreas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-685418

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ANDREAS HAKA

Visionäre «beflügeln» Polymere: Verkannte Potentiale?

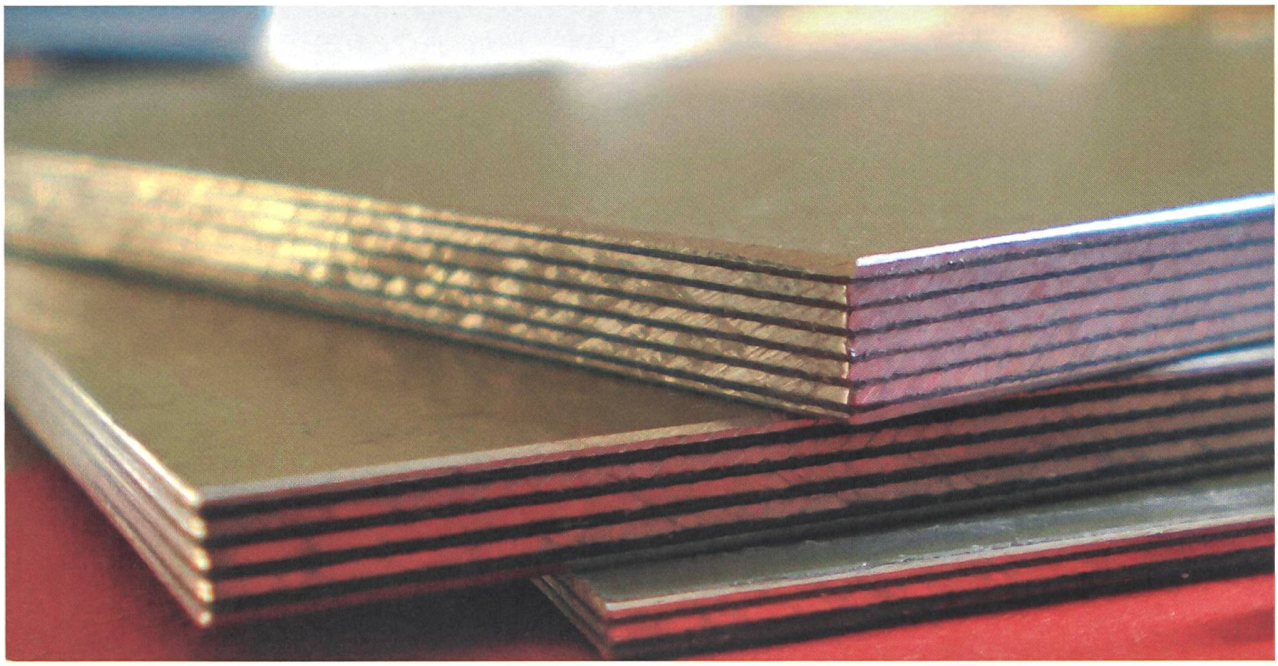
Hybride Werkstoffe in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts

Kaum einer Werkstoffgruppe wird derzeit von Ingenieuren und Naturwissenschaftlern so viel Potential eingeräumt wie faserverstärkten Kunststoffen, jenen Werkstoffkonstruktionen, welche zumeist aus zwei verschiedenen Werkstoffen gefügt werden, um so durch eine vorteilhafte Kombination ihrer Eigenschaften einem Anforderungsprofil effizienter zu entsprechen. Das Prinzip der Faserverstärkung ist bereits seit der Antike bekannt. Jedoch erst im beginnenden 20. Jahrhundert widmeten sich zunächst nur einige Ingenieure im Rahmen der aufkommenden makromolekularen Chemie diesen hybriden Werkstoffen, um sie als Strukturwerkstoffe zu qualifizieren. Die Entwicklung, Fertigung und der Einsatz dieser Werkstoffe definierte einen neuen Umgang im Kontext werkstofftechnischen Designs und trug wesentlich dazu bei, neue Lasthorizonte für technische Produkte zu definieren. Dieser Prozess dauert bis heute an.

Der Einsatz von modernen faserverstärkten Kunststoffen (FVK) ist heute aus einer Vielzahl technischer Bereiche nicht mehr wegzudenken, wie z. B. der Luft- und Raumfahrt, dem Automobilbau, der Sportindustrie oder dem Bauwesen. Mit kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) fanden etablierte Hybridwerkstoffe bereits seit Mitte der 1970er-Jahre zunächst im militärischen und später im zivilen Flugzeugbau Beachtung.[1] Mit der Inbetriebnahme des Grossraumflugzeuges A380 des Herstellers AIRBUS im Jahr 2005 wurden FVK erstmals von einer breiteren Öffentlichkeit wahrgenommen, wobei lediglich der aus glasfaserverstärkten Komponenten bestehende Hybridwerkstoff GLARE® in dem Grossraumflugzeug tatsächlich seine Premiere hatte. Erst mit der deutlichen Steigerung an verwendeten CFK-Bauteilen in dem prestigeträchtigen AIRBUS Modell A350 XWB und deren konstruktiver Relevanz erfolgte eine weithin beachtete Legitimation hybrider Werkstoffsysteme in der Öffentlichkeit.

Entwicklung und Einsatz früher faserverstärkter Kunststoffe

Bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert lassen sich vereinzelt frühe Formen von FVK bzw. erste Hybridstrukturen mit der Intension einer materiellen Gewichtsreduzierung nachweisen. Ein Beispiel hierfür sind die Sonderbauten in dem Ballon, der dem Leiter der Astronomischen Abteilung



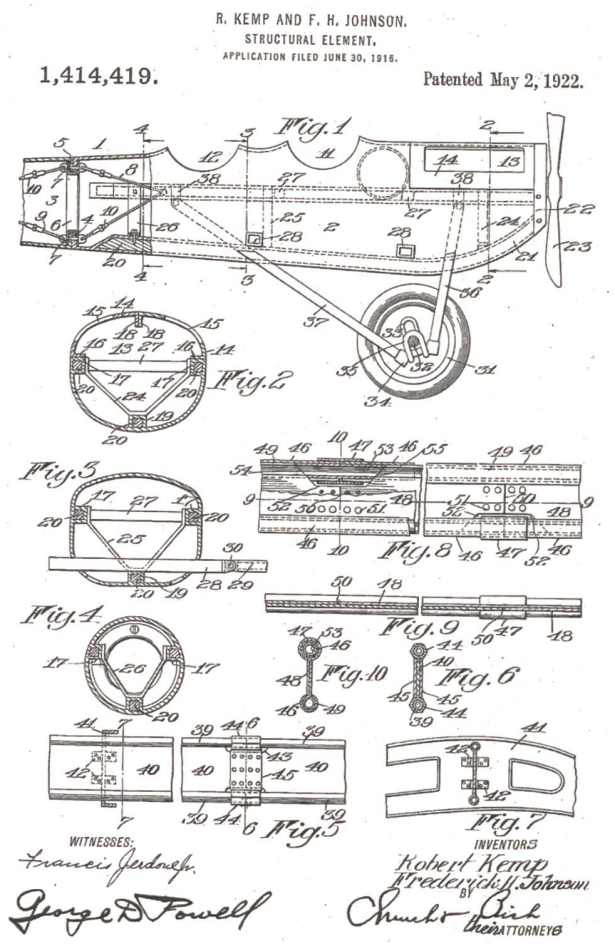
1 GLARE® (glasfaserverstärktes Aluminium).

des «Königlich-Preussischen Geodätischen Instituts», Carl Theodor Albrechts (1843–1915), im Jahr 1872 zur Höhenforschung diente.[2] Um ausreichend Messtechnik mitführen zu können, wurden aus Gewichtsgründen Vollholz-Lage- und Trageflächen im Ballonkorb für geodätische Instrumente durch verleimte Linoleum-Holz-Verbunde in hybrider Bauweise ersetzt. Dabei hat es sich vermutlich um einfache Sandwich-Verbunde gehandelt, deren vorrangiges Ziel die Gewichtseinsparung war. Ein bewusst eingesetztes Werkstoffdesign in Richtung hybrider Strukturen ist hierbei, nicht zuletzt aufgrund der Quellenlage, nicht nachweisbar.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war das Konzept des FVK, welcher gezielt zur Gewichtsreduzierung beitragen sollte, bereits vorhanden und wurde vermutlich schon um die Jahrhundertwende vereinzelt umgesetzt. Dabei stand vorzugsweise der Aspekt der Gewichtsreduzierung im Vordergrund und nicht das später typische lastgerechte Werkstoffdesign von FVK. Ein früher Beleg dafür sind die Patentschriften des bei «Westinghouse Elektric Company» in Pennsylvania angestellten Robert Kemp bzw. sein zusammen mit Frederick H. Johnson verfasstes Folgepatent. In den Patenten wurde erstmals der Charakter des modernen Faserverbundes beschrieben.[3] Bemerkenswert ist, dass Kemp insbesondere das «Hitze-Druck-Verfahren» des Chemikers Leo Hendrik Baekeland (1863–1944) bereits so früh als Fertigungsverfahren für seinen Flugzeugwerkstoff aufgriff. Dabei handelte es sich um das Verfahren, an dessen Ende der erste Massenkunststoff «Bakelit» stand, ein Kondensationsprodukt aus Formaldehyd und Phenol, einem farblosen Harz, dessen erste Generierung 1872 durch den Chemiker Adolf von Baeyer (1835–1917) erfolgt war.[4] Dass Kemp hier dieses relativ neue Verfahren von Baekeland aufgriff, war aber kein Zufall, da Baekeland und «Westinghouse» bereits früh eine Kooperation verband.[5] So wurden beispielsweise die Gehäuse des Fotoapparates «Autographic Kodak Special No. 1 A» ab 1910 aus dem von «Westinghouse» entwickelten Marken-Werkstoff «Micarta» gefertigt. Dabei handelte es sich um eine weiterentwickelte Form von «Bakelit», in den statt der üblichen Stabilisierungsstoffe, wie z. B. Holzmehl oder gestampfte Muschelschalen, dünne Holzfurnierschichten eingebunden wurden.[6] Die Phenolharztränkung war hierbei unbewusst ein Tor zu dem modernen FVK, auch wenn bei der Entwicklung des Hybridwerkstoffes der Grundgedanke der Veredelung bzw. der optischen Aufbesserung von Holz galt.

Das im Kemp-Patent beschriebene neue Verfahren zur Herstellung eines Flugzeugwerkstoffes war somit keine wirkliche Erfindung, sondern lediglich die Zuweisung eines neuen Verwendungshorizontes für ein vorhandenes «Westinghouse»-Produkt. Sicherlich kann Kemp der Verdienst zuerkannt werden, dass er erstmals grössere tragende Strukturen für ein Flugzeug und im Speziellen die eines Holzpropellers werkstofftechnisch neu gestaltete. Dies stellt zweifelsfrei auch die Erfinderhöhe des Patentes dar. Das, was jedoch den modernen FVK ausmacht, die lastgerechte Einlegung eines Faserwerkstoffes in eine Polymermatrix, ist in den Ausführungen der Kemp-Patente nicht zu finden.

Mitte der 1920er-Jahre wurde ein Teil des Kemp-Patentes, der Propeller aus «Micarta», durch die «de Havilland Aircraft Company» in den USA im Flugzeugbau modifiziert eingesetzt.[7] Zeitgleich mit der Adaption des Kemp-Patentes durch die «de Havilland» erfolgten Forschungsbemühungen in der «Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt» (DVL) in Berlin, welche aber über die amerikanischen Aktivitäten hinausgingen. So begann die DVL zu dieser Zeit mit einfachen U-Profilen und Platten aus geschichteten Pressstoffen, also ersten leistungsfähigen FVK, zu experimentieren. Dabei entwickelte die DVL ein Flugzeugseitenleitwerk aus Pressstoff mit eingelegten Gewebe-



2

bahnen als Prototyp.[8] Bereits hier kollidierten jedoch die in der Forschung erlangten Erkenntnisse und konstruktiven Möglichkeiten von geschichteten Pressstoffen mit den Vorstellungen von Entscheidungsträgern im Flugzeugbau, welche auch weiterhin auf die traditionellen Luftfahrtwerkstoffe Holz und das zunehmend eingesetzte Duraluminium setzten.[9]

Die Polymerchemie als Basis einer neuen Werkstoffgeneration

Zwei entscheidende Entwicklungsprozesse Anfang der 1920er-Jahre waren Wegbereiter und Voraussetzung für moderne FVK. Zum einen wurde durch die Begründung der makromolekularen Chemie durch Hermann Staudinger (1881–1965) die Entwicklung einer leistungsfähigen Polymermatrix ermöglicht.[10] Als führend sind hier vor allem die «I. G. Farbenindustrie AG» und die eng mit ihr verbundene «Dynamit Nobel AG» zu sehen.[11] Zum anderen ist die Anfang der 1920er-Jahre verstärkt einsetzende Faserstoffforschung ein weiterer wichtiger Entwicklungsprozess, der später massgeblich den modernen FVK über die Palette der Verstärkungsmaterialien beeinflusste. Dieser Forschungsbereich erweiterte sich noch einmal mit den deutschen Autarkiebestrebungen ab 1936 und fokussierte verstärkt die Naturfaserforschung.[12] Das Augenmerk fiel dabei in erster Linie auf tierische und pflanzliche Naturfasern sowie auf halbsynthetische Fasern auf Zellulosebasis und später auf vollsynthetische Fasern.[13] Welche Relevanz allein das Thema Fasern, auch ausserhalb der Entwicklung von FVK, zu dieser Zeit für die Luftfahrtforschung hatte, geht aus einer internen Dokumentation des Reichsluftfahrtministeriums hervor. Dabei fokussierte die Luftfahrtforschung vor allem auf neue Belastungshorizonte von Bespann-, Fallschirm- und Ballonstoffen.[14] Dabei lassen sich als damalige Entwicklungszentren der Faserforschung das 1920 in Berlin gegründete «Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Faserstoffchemie», das 1921 in Dresden entstandene «KWI für Lederforschung», das 1938 in Sorau in der Niederlausitz gegründete «KWI für Bastforschung», das 1935 neu gegründete «Institut für Werkstoffforschung» der DVL und das «Institut für Botanik» der TH Dresden unter Leitung Friedrich Toblers (1879–1957) identifizieren. Letzterer hatte 1920 das «Forschungsinstitut für Bastfasern» in Sorau gegründet, das 1938 in das «KWI für Bastforschung» umgewandelt worden war. Vier Jahre später übernahm Tobler das «Institut für Botanik» an der TH Dresden. Dort entstand unter seiner Ägide eine der wichtigsten Anlaufstellen für Unternehmen und später auch für die Wehrmacht bezüglich Fragen zu Fasern und Faserstoffen. Dabei wurden an seinem Institut vorzugsweise einheimische Pflanzenfasern analysiert sowie deren Gewinnung und technische Verwertung untersucht.[15] Einer der Forschungsschwerpunkte von Tobler waren Zellstoff liefernde Pflanzen. In diesem Kontext wurden ebenfalls Hartpapiere analysiert, welche von verschiedenen Unternehmen für die Fertigung von geschichteten Pressstoffen genutzt wurden.

Ein Unternehmen, das Hartpapiere und deren Faserqualität bei Tobler untersuchen liess, war die «H. Römmler AG» in Spremberg in der Niederlausitz, Hersteller der ersten marktfähigen FVK-Produkte.[16] Bereits 1925 ging «Römmler» dazu über, statt der klassischen Bakelit-Füllstoffe zunächst Hartpapier und Lumpen zur Verstärkung in das Harz einzuarbeiten. Wenig später wurden statt Lumpen hochwertige Gewebebahnen als Verstärkungsmaterial genutzt. Kurz danach kam als Matrixwerkstoff Harnstoff-Formaldehyd hinzu, was eine neue Qualität hinsichtlich der Bettungsmatrix für Presswerkstoffe darstellte. Einhergehend mit einer Weiterentwicklung der Fertigungstechnik, im Besonderen der Presswerkzeuge, wurden FVK hergestellt, welche als Verstärkung z. B. Papierfasern, Asbestfasern, Textilgewebe und Metallgewebe enthielten. Die Römmler-Produkte aus Pressstoffen waren vielfältig und reichten Anfang 1930 von Armaturenbrettern für Autos über schlichte Gehäuseverkleidungen bis hin zu Lagerschalen für Maschinen.[17] Nach Auslaufen des Patentes des «Hitze-Druck-Verfahrens» 1931, von welchem «Römmler» dank einer produktionstechnischen Parallelentwicklung neben der deutschen «Bakelit-Gesellschaft» seit 1920 kostenfrei profitieren konnte, dominierte die deutsche Pressstoffproduktion die an Kapital und Ressourcen überlegene «Dynamit Nobel AG» in Troisdorf.[18] Dieser Wechsel am Markt kann als eine Art werkstofftechnische

3

2 Auszug aus dem Kemp-Johnson-Patent zur Anwendung von Hybridwerkstoffen im Flugzeugbau.

3 Fahrgastraum des Zeppelins «D-LZ 127» mit verkleideten Wandsegmenten aus FVK.

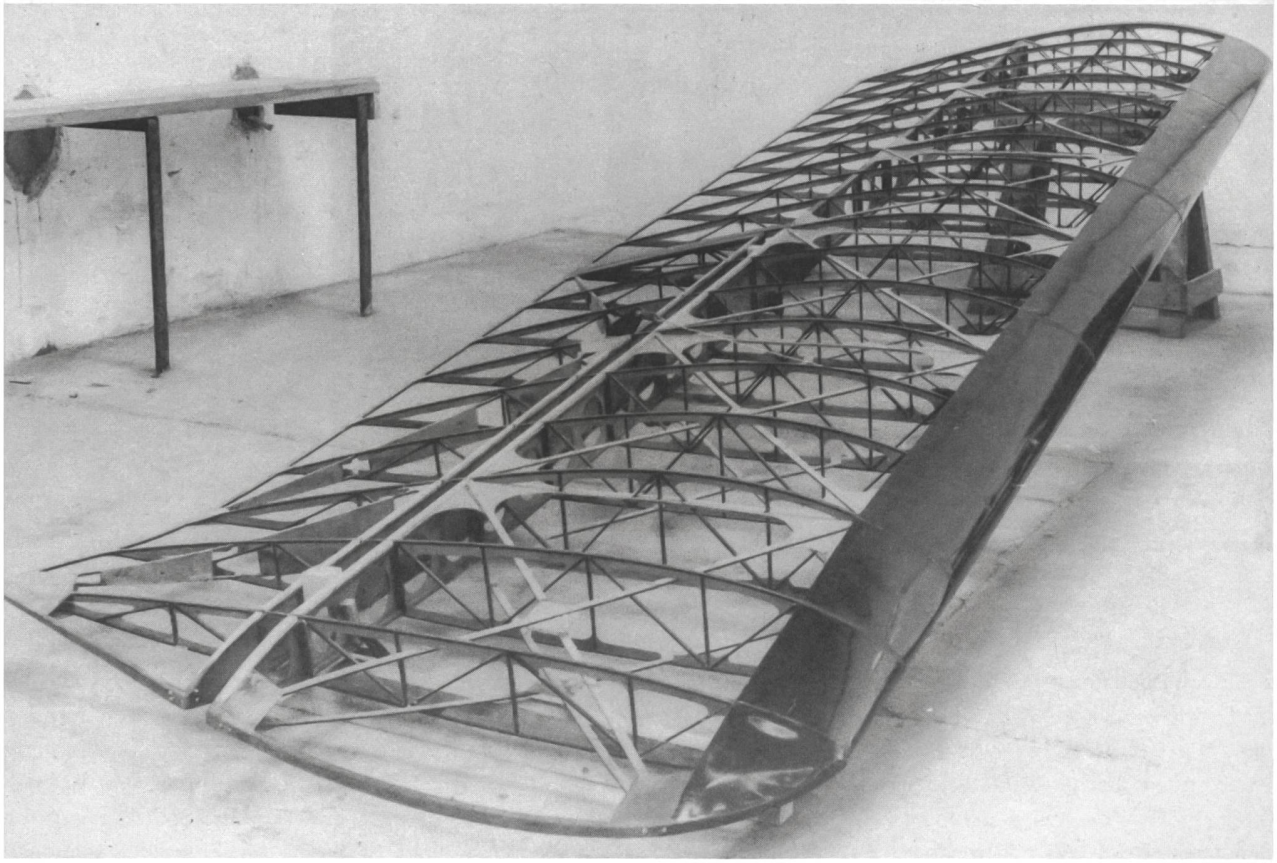
Zäsur wahrgenommen werden, besonders im Hinblick auf die Entwicklung von FVK, die 1928 mit der In-Dienststellung des Zeppelins «D-LZ 127» und dem Einsatz von frühen FVK einen ersten Abschluss gefunden hatte.

Durch die Ausgestaltung des Fahrgastraumes des Zeppelins «D-LZ 127» mit tragenden Wandsegmenten aus FVK wurde diese Werkstoffgruppe erstmals in der Luftfahrtindustrie verankert und damit auch deren Potential als vielseitiger Konstruktionswerkstoff, aber auch als Dekorationswerkstoff aufgezeigt.[19] Bei diesem FVK handelte es sich um mit Dekortapete beklebte Plattensegmente aus «Bakelit-Harz», in das geschichtete und mit Harz vorimprägnierte Papierbahnen auf der Basis von Natroncellulose und Baumwoll-Linters eingelegt waren.

Verkannte Werkstoffpotentiale

Der Übergang vom klassischen Pressstoff «Bakelit», dem Füllstoffe beigemengt wurden, zum FVK, in den zur Verstärkung Fasern oder Gewebe eingebunden waren, kann als fliessend angesehen werden. Mit grosser Wahrscheinlichkeit ist dieser Schritt in den Produktentwicklungen von Unternehmen wie der «H. Römmler AG» zu finden, welche sowohl die Innovationen der sich entfaltenden chemischen Industrie aufnahmen, als auch die daraus erwachsenden fertigungstechnischen Parameter deutlich gegenüber dem Maschinenbau formulieren konnten. Ein wesentlicher Entwicklungsschub im Bereich der Pressstoffe erfolgte mit der Einführung von chemischen Katalysatoren, welche die Aushärtezeiten für die Polymermatrix herabsetzten. Daraufhin mussten die Taktzeiten für die Presswerkzeuge neu definiert werden. Hier wiederum waren es Presswerkzeughersteller, wie z. B. «Siempelkamp» in Krefeld oder «Wumag» in Görlitz, welche die fertigungstechnischen Rahmenbedingungen aufnahmen und mit einem neuen Maschinendesign reagierten. Dies beeinflusste massgeblich die Quantität und die Qualität der Pressstoffe Mitte der 1920er-Jahre.[20]

Die vielversprechenden Ergebnisse, nicht zuletzt der gelungene Einsatz von FVK in dem Zeppelin-Luftschiff bzw. die prototypischen Entwicklungen von Flugzeugsegmenten, welche in den 1930er-Jahren in der DVL erfolgt waren, aber auch bei verschiedenen Flugzeugherstellern, wie z. B. der «Focke-Wulf-Flugzeugbau AG» in Bremen oder den «Arado Flugzeugwerken» in Rostock, blieben in den Schubladen der Forschungs- und Entwicklungsbüros.[21] Grund hierfür sind zum einen traditionelle Vorstellungen von werkstofftechnischer Stabilität, die über Generationen hinweg mit metallischen Werkstoffen verbunden wurde und somit der ingenieurtechnischen Tradierung kaum Handlungsspielraum liess. Zum anderen kam erschwerend hinzu, dass mit Hugo Junkers (1859–1935), einem der wichtigsten Flugzeugbauer und Unternehmer seiner Zeit, ein prominenter Fachmann sich überdeutlich für das «Ganzmetallflugzeug» aussprach, hinter dem eine dominante metallverarbeitende Industrie stand.[22] Junkers hatte mit seinen Vorstellungen und seinem Unternehmen im Flugzeugbau eine werkstofftechnische Trendwende eingeleitet. Der bisherige Standard-Konstruktionswerkstoff im Flugzeugbau, Hartholz, wurde durch Junkers Intensionen durch metallische Werkstoffe, insbesondere durch den Leichtbauwerkstoff Duraluminium abgelöst. Als Junkers starb, waren erst 20 Jahre vergangen, seit dem er das erste «Ganzmetallflugzeug» vorgestellt und schliesslich dessen serielle Produktion umgesetzt hatte. Umso bedauerlicher war, dass sein «Erbe» bereits zu seinen Lebzeiten in das Fadenkreuz des jungen NS-Staates und dessen Aufrüstungspläne geriet. Dankbar bediente sich dieser an Junkers Patentfülle und dem reichen produktionstechnischen Erfahrungsschatz seines Unternehmens.[23] Ebenfalls verschrieb sich der NS-Staat der neuen werkstofftechnischen Stabilität, welche gerade für den militärischen Flugzeugbau entscheidende Vorteile einräumte, wie z. B. gute serielle Fertigungs- und Montagemöglichkeiten, höhere Fluggeschwindigkeiten aufgrund neuer Lasthorizonte oder bessere Panzerung bei Beschuss. Darüber hinaus lag bereits ein grosses Grundlagenwissen zu metallischen Werkstoffen vor bzw. versprachen staatliche, aber auch



4

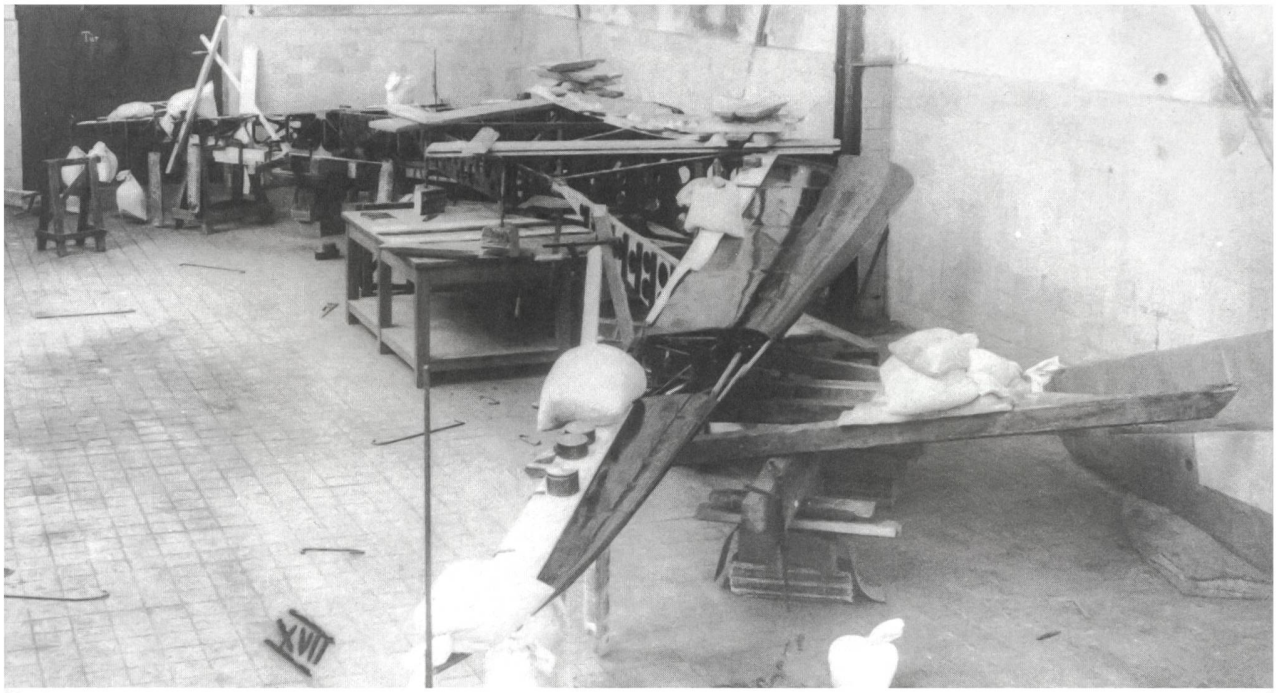
industrienahe Entwicklungs- und Forschungsarbeiten in diesem Bereich zeitnah verwertbare Forschungsergebnisse, die unmittelbar in Rüstungsentwicklungen einfliessen konnten.[24]

Zensierte Forschung

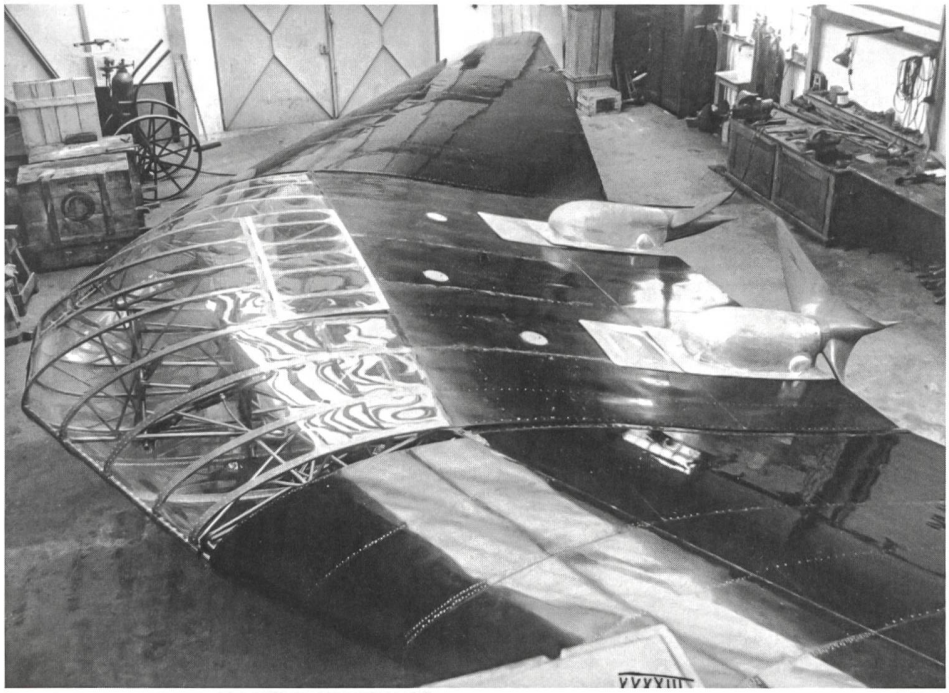
Allein aufgrund der Tatsache, dass bereits Anfang der 1930er das deutsche Patentregister in der Klasse der Kunststoffindustrieprodukte eine weitere Untergliederung einführte, nämlich «Kunststoffe mit imprägnierten Fasern und Geweben», also FVK, zeigt, dass diese Werkstoffgruppe zu dieser Zeit in Grössenordnungen vorhanden war. Deren Kennwerte hatten bereits die Grenzen der Forschungslabore überschritten und stellten in der Praxis keine unbekannten Grössen mehr dar. Nur wenig später reagierte auch der «Verein Deutscher Ingenieure» (VDI), das damals grösste Sprachrohr der Ingenieure, mit der Gründung des «Fachausschusses für Kunst- und Pressstoffe» und mit der Verabschiedung der DIN 7701 «Kunstharz-Pressstoffe, warmgepresst».[25]

Eines der wichtigsten Projekte zu FVK begann unter Ausschluss der Öffentlichkeit bei drei Brüdern in Bonn, Wolfram (1912–1940), Walter (1913–1998) und Reimar (1915–1994) Horten, welche sich «Nurflügler-Flugzeugen», also Flugzeugen, welche einen fliessenden Übergang zwischen Rumpf und Tragflächen haben, als Autodidakten seit ihrer Kindheit genähert hatten. Im Rahmen der Weiterentwicklung ihrer Nurflügler-Modelle nutzten die Hortens zunächst «Astralon-Folien» als Cockpit-Sichtfenster für ihren Nurflügler «H II - Habicht». Die guten Erfahrungen mit den Kunststoffprodukten der «Dynamit Nobel AG» führten schliesslich 1932 zu einer Zusammenarbeit. Diese sah vor, den im gleichen Jahr von dem Unternehmen auf den Markt gebrachten hochfesten duroplastischen Schichtpressstoff «TROLITAX» bzw. «TROLITAX-SUPRA», in den lastgerecht Zellstoffbahnen eingebracht worden waren, für einen militärischen Flugzeugprototypen zu verwenden.[26] Dafür stellte die «Dynamit Nobel AG» den Hortens erhebliche Ressourcen zur Verfügung. Dieser neue Nurflügler, mit der Kennung «H Va» wurde von den Hortens als «Vollkunststoffflugzeug» konzipiert. Um dem Reichsluftfahrtministerium die Militärtauglichkeit des Nurflüglers aufzuzeigen, wurden zwei kleine, aber leistungsstarke Antriebsmotoren vorgesehen, welche genügend Platz für eine Bordbewaffnung liessen.[27] Aufgrund der hohen Kosten für Presswerkzeuge für Pressstoffe wurde von den Hortens zunächst eine einfach herstellbare Tragfläche zu Testzwecken für ein Gleitflugzeug aus «TROLITAX» gefertigt und erfolgreich getestet.

Bereits bei der benannten Teststruktur des Gleiters zeigte sich aber, dass der Grossteil der klassischen Fertigungs- und Fügetechniken des Flugzeugbaus, also das Zerspanen bzw. das Verkleben, Schrauben und Nieten, bei dem Schichtpressstoff nur modifiziert anwendbar war und somit neue Verarbeitungskonzepte entwickelt werden mussten.[28] Auch eine Vielzahl von theoretischen Erkennt-



5



6

4 Halbfertige Tragfläche des Gleiters «Hol's der Teufel», welche inklusive der Querstreben durch die Gebrüder Horten komplett in geschichtetem Pressstoff (= FVK) ausgeführt wurde.

5 Fertigung der «H Va» 1935 – Metallgewichte und Sandsäcke beschweren die unter Spannung stehenden verleimten, genieteten und geschraubten FVK-Strukturen.

6 Die fertiggestellte «H Va» – markant ist die glänzende Oberfläche des FVK (Schichtpressstoffes) «TROLITAX».

nissen konnte bei diesem Nurflügler gesammelt werden, wie z. B. zur Kerbempfindlichkeit des Schichtpressstoffes oder zum Thema des Auflaminierens an Knotenpunkten, welche auch bei der heutigen Auslegung und Fertigung von FVK von Bedeutung sind.[29]

Die Konstruktion der «H Va» konnte als sehr erfolgreich angesehen werden und war aus heutiger Sicht werkstofftechnisch und aerodynamisch dem damaligen Flugzeugbau um Jahrzehnte voraus. Diese Tatsache formulierten auch Luftfahrtexperten auf einer geheimen Tagung der «Fachgruppe Aerodynamik» der «Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung» im Januar 1937 zum Thema «Nurflügler». Neben Reimar und Walter Horten nahmen an der Tagung unter anderem Vertreter des «Reichsluftfahrtministeriums», der «Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt», der «Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen», der «Prüfstelle für Luftfahrtzeuge Berlin» und Vertreter von Unternehmen wie z. B. der «Focke-Wulf Flugzeugbau AG», der «Junkers Flugzeug- und Motorenwerke AG», der «Heinkel Flugzeugwerke» und als Hersteller für Pressstoffe die «Dynamit Nobel AG» teil.[30] Nach der Besichtigung der fertiggestellten «H Va» hielten Luft-

7 Ludwig Prandtl mit den Gebrüdern Horten bei der Vorführung des Horten-Nurflüglers «H III» 1943, v. l. n. r.: Prof. Pohl, Walter Horten, Ludwig Prandtl, Assistent von Prandtl, Reimar Horten.

fahrtexperten in ihrem Tagungsbericht zum Einsatz von «TROLITAX» unter anderem fest:

> « [...] Dieser zukunftsreiche Baustoff kann sich heute schon mit Leichtmetall messen, sogar bei handwerksmäßiger Verarbeitung und ist dem Holz in jeder Beziehung überlegen. Welche Vorteile künftig die Verwendung der Troisdorfer Kunststoffe mit sich bringen wird, bei weiterer Entwicklung der Presstechnik, ist gar nicht einzuschätzen. Jedenfalls ergibt sich die Möglichkeit, eine Maschine in einigen Pressteilen herzustellen, Perspektiven, die heute noch im Flugzeugbau unglaublich anmuten.»[31]

Eine Folge der Tagung waren weiterführende Versuche zur Qualifizierung von Pressstoffen als Luftfahrtwerkstoff, sowohl im Auftrag des Reichsluftfahrtministeriums bei der «Dynamit Nobel AG» als auch bei der DVL.[32]

Die vorliegenden Untersuchungen und die Auswertung zahlreicher Forschungsberichte aus der DVL und anderen Luftfahrtunternehmen haben gezeigt, dass bereits Anfang der 1930er-Jahre Schichtpressstoffe von Unternehmen wie z. B. der «Dynamit Nobel AG» in einer hohen Qualität hergestellt wurden. Dies hätte zeitnah eine Qualifikation des Werkstoffes für Strukturbauteile im Flugzeugbau ermöglicht.[33] Die ebenfalls intensive Erforschung von Faserstoffen und die Entwicklung in der Polymerchemie, aber auch die konstruktiven und fertigungstechnischen Entwicklungen in verschiedenen Luftfahrtunternehmen wie z. B. Patente der «Focke-Wulf Flugzeugbau AG» zeigen, dass es spätestens ab 1938 möglich gewesen wäre, eine werkstofftechnische Trendwende im Flugzeugbau herbeizuführen oder aber zumindest den Schichtpressstoff als einen alternativen Leichtbauwerkstoff zu qualifizieren.[34]

Ausserhalb von Deutschland wurde das Thema der Hybridwerkstoffe ebenfalls in der Luftfahrtindustrie in Grossbritannien und den USA fokussiert und fand Ende der 1930er-Jahre mit Verfahren wie z. B. «Duramold», «Aeromold» oder «Vidal» seinen Höhepunkt.[35] Bei allen diesen Verfahren handelte es sich um verschiedene harzverpresste Holzfurnierschicht-Verbunde, welche jedoch nur eine Aufbesserung des Holzflugzeugbaus darstellten, und nicht um eine Weiterentwicklung von Hybridwerkstoffen im Sinne moderner FVK.

In Deutschland stockte die weitere Entwicklung und Qualifizierung von hochfesten Schichtpressstoffen für Luftfahrtanwendung mit Beginn des Zweiten Weltkrieges, obwohl mit dem Einsatz von Glasfasern 1942 nochmals eine aussergewöhnliche strapazierfähige Faser als Verstärkungsmaterial in die Polymermatrix im Rahmen von Forschungsvorhaben der DVL eingebunden wurde.[36]

Ebenfalls kam das Konzept des Nurflüglers nicht über das Prototypenstadium hinaus, trotz prominenter Unterstützung wie z. B. durch Ludwig Prandtl (1875–1953), dem Direktor des «KWI für Strömungsforschung». Prandtls Fürsprache ermöglichte jedoch den Hortens noch den Bau eines Nurflüglers mit Strahltriebwerk vor Ende des Krieges, der unter der Kennung «H IX» im Dezember 1944 erfolgreich im Flug getestet werden konnte.[37]

Dass die Qualifizierung von Schichtpressstoffen für die Luftfahrt scheiterte, lag daran, dass das «Ganzmetallflugzeug» als Dogma aufgefasst wurde und die traditionellen Vorstellungen von Ingenieuren und Technikern, welche werkstofftechnische Stabilität in erster Linie auf metallische Werkstoffe projizierten, nur einen engen Handlungsspielraum für Hybridwerkstoffe und deren Befürworter liessen. Eine werkstofftechnische Trendwende oder zumindest eine breite Akzeptanz von Schichtpressstoffen als belastbare werkstofftechnische Alternative für metallische Strukturwerkstoffe war somit in den 1930er-

und 1940er-Jahren nicht möglich. Für den Bereich der Hybridwerkstoffe lassen sich in dieser Zeit lediglich bemerkenswerte Achtungszeichen und innovative Prototypen verzeichnen.

Daher sind die werkstofftechnischen Entwicklungsetappen des Flugzeugbaus im Zeitraum von ca. 1900 bis Ende der 1920er-Jahre als vom Holzbau geprägt zu sehen, welcher ab den 1930er-Jahren vom Metallflugzeugbau abgelöst wurde. Erst nach dem Zweiten Weltkrieg erfolgte zunächst der Einsatz von glasfaserverstärkten (GFK), später borfaserverstärkten (BFK) und schliesslich kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) für die Luftfahrt.[38]

Auch wenn der Einsatz von Schichtpressstoffen sich im Flugzeugbau der 1930er- und 1940er-Jahre fast ausschliesslich auf Prototypen im Bereich der Forschung und Entwicklung beschränkte, kann zumindest ihr Einsatz in einem Maschinenelement, dem Lager, für diese Zeit konstatiert werden. Eine der treibenden Kräfte hierbei war der Dresdner Maschinenbauprofessor Enno Heidebroek (1876–1955). Der Pionier im Bereich der deutschen Gleitlager- und Verschleissforschung befasste sich bereits Anfang der 1930er-Jahre mit dem Einsatz von Pressstoffen in Gleitlagern und pflegte darüber hinaus eine langjährige Forschungskooperation mit der «H. Römmler AG».[39] Aufgrund seiner Kompetenzen bzw. seines Forschungsvorlaufes erfolgte nach der Bombardierung der Schweinfurter Kugellagerindustrie im August 1943 auch seine Ernennung zum «Beauftragten für die Ausarbeitung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen zur Umstellung von Wälzlager- auf Gleitlager» im Rahmen der «Schnellaktion Schweinfurt». Dabei kamen viele Austauschgleitlager mit Lagerbuchse aus Schichtpressstoffen zum Einsatz.[40]

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Werkstoffgruppe der FVK oder Pressstoffe, wie sie noch bis in die 1950er-Jahre genannt wurden, begann mit «Bakelit», einem Harz, dem Füllstoffe zur Stabilisierung beigemengt wurden. Mit der Verpressung von Holzschichten mit diesem «Bakelit-Harz» zu einem schichtbasierten Hybridverbund, welcher die mechanischen Eigenschaften des Holzes potenzierte und den Werkstoff imprägnierte, erfolgte der erste Schritt in Richtung des modernen FVK. Die Einbringung von Hartpapierschichten veränderte diesen Hybridwerkstoff nachhaltig. In diesem Kontext wurden nicht nur Aspekte des Leichtbaus fokussiert, sondern auch mit der richtungsabhängigen Einbindung von Hartpapierbahnen, später Gewebe- und Fasermatten und schliesslich Fasern, die Entwicklung zum modernen FVK endgültig vollzogen.

Mit der Einbindung von Schichtpressstoffen als Strukturwerkstoff in den Zeppelin «D-LZ 127» erfolgte der Abschluss der ersten Entwicklungsetappe von FVK. Mit der Aufhebung des «Hitze-Druck-Patentes» setzte eine rasante Entwicklung von Pressstoffen in Richtung des modernen FVK ein, welche einherging mit weitreichenden fertigungstechnischen Neuerungen, vor allem im Bereich der Pressentechnik und Qualitätssicherung im Rahmen der Etablierung von Fachgremien und der «DIN 7701». Trotz intensiver Bemühungen im Bereich des Flugzeugbaues und herausragender Prototypen-Modelle wie der Horten «H Va» blieb die Qualifikation von Schichtpressstoffen in den 1930er- und 1940er-Jahren auf Modellversuche beschränkt. Durch das Bekenntnis zum «Ganzmetallflugzeug» und den damit einhergehenden doktrinären Auflagen bzw. Vorstellungen, welche auf den Rahmenbedingungen der Rüstungs- und Kriegspolitik des NS-Staates basierten, wurden Schichtpressstoffe zwar beforscht und von grossen Teilen der Luftfahrtindustrie wahrgenommen, jedoch nicht mit Nachdruck in Konstruktionen dieser prestigeträchtigen Industrie eingebunden. Neben den genannten Rahmenbedingungen dieser Zeit ist in den traditionellen Vorstellungen von Ingenieuren und Technikern, welche werkstofftechnische Stabilität mit metallischen Werkstoffen und nicht mit Hybridwerkstoffen verbanden, ein weiteres Hemmnis zu sehen, das erst mit einer neuen ingenieurtechnischen Generation überwunden werden konnte. Die Einbindung und Qualifizierung von FVK als Strukturwerkstoffe im Flugzeugbau konnten daher erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts umgesetzt werden. Die erfolgreiche Implementierung von Pressstoffen in technischen Systemen blieb daher auf Gleitlager im Bereich der Maschinenelemente zum Ende der 1930er-Jahre beschränkt. ■

Verwandter Artikel im Ferrum-Archiv:
«Geschichte der Zeppeline: Geschichte der Katastrophen?» von Wolfgang Meighörner aus Ferrum 69/1997:
Technische Entwicklung als Folge von Katastrophen

Zum Autor

Dr. phil. Dipl.-Ing. (FH) Andreas Haka, M. A.

Andreas Haka absolvierte ein Studium in der Fachrichtung Faserwerkstofftechnik an der TU Dresden und arbeitete im Anschluss als Entwicklungsingenieur in der Luftfahrtindustrie und am Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik. Hier befasste er sich mit der Entwicklung von Hochleistungswerkstoffen für die Luftfahrt und den Automobilbau. Später absolvierte er noch ein Magisterstudium mit den Fächern Neuere und Neueste Geschichte, Technikgeschichte und Soziologie an der TU Dresden. Mit dem Wechsel an das Institut für Angewandte Naturwissenschaften Dresden wurde er zum Geschäftsführer des Bereiches Vorlaufforschung Werkstoffe berufen, wo er sich vordergründig mit Fügetechnik und Materialprüfung von Hochleistungswerkstoffen befasste. Mit seiner Arbeit zu sozialen Netzwerken im Maschinenbau an deutschen Hochschul- und ausseruniversitären Forschungseinrichtungen zwischen 1920 und 1970 erfolgte 2014 berufsbegleitend seine Promotion im Fach Geschichte der Naturwissenschaften und Technik an der Universität Stuttgart. Seit April 2015 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung für die Geschichte der Naturwissenschaften und Technik an der Universität Stuttgart und befasst sich mit seinem Habilitationsprojekt, dessen Schwerpunkt Forschungs- und Entwicklungsaspekte hybrider Werkstoffe im 20. Jahrhundert ist.

Universität Stuttgart, Deutschland
andreas.haka@hi.uni-stuttgart.de

Anmerkungen

1 Bernhard Altpeter: Alpha-Jet Höhenleitwerk aus CFK. In: Luftfahrttechnisches Handbuch. FL 24 300-05. Ottobrunn 1984, S. 1–12.

2 Berichte zur Höhenforschung 1872. Nachlass Carl Theodor Albrecht. Mit freundlicher Genehmigung des Archivs des Vereins zur Förderung von Studierenden der TU Dresden e. V.

3 Westinghouse Elektric & Manufacturing Company, Pennsylvania. Robert Kemp, Patent 1,433,728. Propeller. 26. May 1916. ders. & Frederick H. Johnson, Patent 1,414,419. Structural Element. 30. June 1916. United States Patent Office.

4 Dietrich Braun: Kleine Geschichte der Kunststoffe. München 2013, S. XIII.

5 Jeffrey L. Meikle: American Plastic: A Cultural History. New York 1995, S. 56ff.

6 Oskar Kausch: Tabelle der Warenzeichen, Fabrikzeichen, Handelsbezeichnungen u. dgl. für plastische Massen und aus solchen hergestellte Produkte. In: Kunststoffe. Zeitschrift für die Erzeugung und Verwendung veredelter oder chemisch hergestellter Stoffe. 1932, S. 222–224.

7 F. W. Caldwell, N. S. Clay: Micarta Propeller. I. Materials. Technical Notes. National Advisory Committee for Aeronautics. No. 198. 1924.

8 Wilhelm Küch, Kurt Riechers: Kunststoffe und ihre Verwendung im Flugzeugbau. In: Ringbuch der Luftfahrttechnik. Berlin 1941, S.16.

9 Vgl. Hans Häneke: Kunstharz-Pressstoffe – Zukunfts-Werkstoffe! In: Kunststoffe. Zeitschrift für die Erzeugung und Verwendung veredelter oder chemisch hergestellter Stoffe. 1932, S. 150; Kurt Riechers: Verbundstoffe-Verleimverfahren und ihre Anwendung im Flugzeugbau. In: Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung (Hg.): Werkstoffe und Fertigung. Bericht über die Sitzung Holz im Flugzeugbau am 10. und 11. Dezember 1942. Berlin 1943.

10 Manfred Lechner, Klaus Gehrke, Eckhard Nordmeier: Makromolekulare Chemie. Basel 2003; Gottfried Plumpe: Die I. G. Farbenindustrie AG. Wirtschaft, Technik und Politik 1904–1945. Berlin 1990, S. 319.

11 Andreas Haka: Geschichte der Faserverbundwerkstoffe. Entwicklung von faserverstärkten Kunststoffen in der deutschen Luftfahrt. FL 13 000-03. In: LTH Koordinierungsstelle (Hg.): Luftfahrttechnisches Handbuch. Ottobrunn 2012, S. 1–27.

12 Vgl. Helmut Maier: Forschung als Waffe. Rüstungsforschung in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und das Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung 1900–1945/48. 2 Bd. Göttingen 2007.

13 Vgl. Günther Luxbacher: Roh- und Werkstoffe für die Autarkie. Textilforschung in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft. In: Carola Sachse (Hg.): Ergebnisse 18. Vorabdrucke aus dem Forschungsprogramm «Geschichte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft im Nationalsozialismus». Berlin 2004; Susanne Heim: Kalorien, Kautschuk, Karrieren. Pflanzenzüchtung und landwirtschaftliche Forschung in Kaiser-Wilhelm-Instituten 1933–1945. Göttingen 2003; Anne Sudrow: Vom Leder zum Kunststoff. Werkstoff-Forschung auf der «Schuhprüfstrecke» im Konzentrationslager Sachsenhausen 1940–1945. In: Helmut Maier (Hg.): Rüstungsforschung im Nationalsozialismus. Organisation, Mobilisierung und Entgrenzung der Technikwissenschaften. Göttingen 2002, S. 214–249.

14 Kurt Riechers: Faserstoffe. In: Ringbuch der Luftfahrttechnik. Berlin 1938.

15 Archiv der TU Dresden (nachfolgend UA TUD): Personalakte S.II/F.3 Nr. 1029. Tobler, Friedrich, ebd. A/67 Abteilung für Chemie. Öffentlichkeitsarbeit sowie Schriftverkehr mit der Gesellschaft von Förderern und Freunden der TH Dresden zur Zuteilung von Geldmitteln. 1925–1944; Friedrich Tobler: Deutsche Faserpflanzen und Pflanzenfasern. München 1938.

16 Römmler AG Spremberg (Hg.): Römmler-Handbuch. Handbuch der Römmler-Pressstoffe, ihre Verwendung als Werkstoffe des Vierjahresplanes. Düsseldorf 1938.

17 Ebd.

18 Vgl. Andreas Haka: Flügel aus «Schwarzem Gold». Zur Geschichte der Faserverbundwerkstoffe. In: NTM. Zeitschrift für die Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin, (19) 2011, Heft 1, S. 74f.

19 Otto Kraemer: Kunstharzstoffe und ihre Entwicklung zum Flugzeugbaustoff. In: Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschifffahrt. Nr. 14, (24) 1933, S. 387–393.

20 P. Grodzinski: Neuerungen an Pressen für Kunstharzteile. In: Kunststoffe. Zeitschrift für die Erzeugung und Verwendung veredelter oder chemisch hergestellter Stoffe. 1933, S. 177–185.

21 Vgl. Kurt Riechers: Kunststoffe im Flugzeugbau. Ihr Aufbau, ihre Eigenschaften, heutiger Stand der Forschung und die Möglichkeiten ihrer Verwendung im Leichtbau. In: Deutsche Luftwacht. Luftwissen. Bd. 4, Nr. 8, 1937, S. 235–266.

22 Philipp Hassinger: Zwischen Evolution und Revolution. Der Werkstoffwandel im Flugzeugbau. Karlsruher Studien zur Technikgeschichte. Technikdiskurse. Bd. 12, 2013. Karlsruhe, S. 209ff.

23 Vgl. Helmut Maier: Forschung als Waffe. Rüstungsforschung in der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft und das Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung 1900–1945/48. Bd. 1. Göttingen 2007; Helmuth Trischler: Luft- und Raumfahrtforschung in Deutschland 1900–1970. Politische Geschichte einer Wissenschaft. Frankfurt/Main 1992; RLM-GL/Fertg. (Hg.): Fertigungsverfahren im Flugzeugbau: Besprechungsbericht. In: Bericht über die Fertigungsbesprechung bei der Firma Junkers Flugzeug- und Motorenwerke A. G. in Dessau am 12.6.42. Dessau 1942.

24 Vgl. Otto Oeckl: Flugzeugkonstruktionen. In: Julius Schulz (Hg.): Flieger-Handbuch. Hamburg 1937, S. 25–48; Paul Brenner: Das Institut für Werkstoffforschung der DVL. In: Bericht der DVL. Berlin 1937.

25 Vgl. Richard Vieweg: Die Wertung der Kunststoffe durch den Ingenieur. In: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. Bd. 83, Nr. 38, 1939, S. 1053–1056.

26 Heinricht Wiesenthal: Kunstharze, Pressstoffe und Verwandtes auf der Frühjahrsmesse 1932. In: Kunststoffe. Zeitschrift für die Erzeugung und Verwendung veredelter oder chemisch hergestellter Stoffe. 1932, S. 111–112.

27 Reimar Horten, Peter F. Selinger: Nurflügel. Die Geschichte der Horten-Flugzeuge 1933–1960. Graz 2000, S. 46.

28 Vgl. N. N.: Patentlisten DRP 742849, Kl. 39b vom 4.6.1940, Dynamit-A. G. (Erfinder: Dr. Gustav Barchfeld, Troisdorf).

29 Christian Mittelstedt, Wilfried Becker: Strukturmechanik ebener Laminate. Darmstadt 2017; Helmut Schürmann: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. Berlin, Heidelberg 2007.

30 Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung (Hg.): Tagungsbericht A 34/1. Tagung der Arbeitsgruppe: Nurflügel-Flugzeuge in Köln am 18. und 19. Januar 1937. Berlin 1937.

31 Ebd., S. 78ff.

32 Vgl. Forschungsprojekt LG 078/007. Kunststoffe im Flugzeugbau. DVL. Vorgetragen von Kurt Riechers. Berlin 1937.

33 Vgl.: Wilhelm Küch, Kurt Riechers: Kunststoffe und ihre Verwendung im Flugzeugbau. In: Ringbuch der Luftfahrttechnik. Berlin 1941, S. 9ff., S 21.

34 Patentschrift Nr. 732923. Anmelder Focke-Wulf Flugzeugbau GmbH Bremen. Verfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Kunstsoff. Eingereicht 1939. Patent erteilt 1943.

35 Peter Galison (Hg.): Atmospheric Flight in the Twentieth Century. Dordrecht u. a. 2000, S. 186ff.; Kurt Riechers: Kunststoffe im englischen und amerikanischen Flugzeugbau. In: Kunststoffe-Technik. Bd. 12, H. 4/5, 1942, S. 85–92.

36 Hans Perkuhn: Über Kunstharzschichtstoffe mit Glasgewebeeinlagen. DVL/Ff 303/20. Berlin 1942.

37 Vgl. Moritz Epple: Rechnen, Messen, Führen. Kriegsforschung am Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung 1937–1945. In: Helmut Maier (Hg.): Rüstungsforschung im Nationalsozialismus: Organisation, Mobilisierung und Entgrenzung der Technikwissenschaften. Göttingen 2002, S. 305–356; Reimar Horten, Peter F. Selinger: Nurflügel. Die Geschichte der Horten-Flugzeuge 1933–1960. Graz 2000, S. 73.

38 Vgl. Richard Vieweg, Walter Schneider: Richtungsabhängige Wärmeausdehnung geschichteter Kunststoffe. Kunststoffe, Jg. 32 (10), 1942, S. 295–297.

39 Vgl. Enno Heidebroeks Forschungsberichte vom 6. Juni und 27. Juli 1942 bzw. 16. September 1944 für die Dynamit-Actien-Gesellschaft Troisdorf an der TH Dresden (UA TUD: A/872, Berichte und Diagramme über Verschleissversuche an Kunstharz-Pressstoffen im Auftrag der Dynamit bzw. A/887, Lageruntersuchungen, Versuchsreihe GW-01).

40 Andreas Haka: Soziale Netzwerke im Maschinenbau an deutschen Hochschul- und ausseruniversitären Forschungseinrichtungen 1920–1970. Berlin 2014, S. 244ff.

Bildnachweis

1 Bildarchiv des Instituts für Angewandte Naturwissenschaften Dresden
2 Deutsches Patentamt
3 Nachlass Reisemappe von Prof. Dr. Ernst Brauer (1851–1934). Mit freundlicher Genehmigung des Archivs des Vereins zur Förderung von Studierenden der TU Dresden e. V.
4–6 Archiv Willy Radinger. Mit freundlicher Genehmigung von Peter F. Selinger.
7 Zentralarchiv des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. Göttingen. Foto: PS 42–10.