

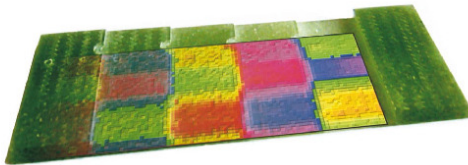


Kai Baaske (Autor)

Zerstörungsfreie Prüfung von faserverstärkten Kunststoffen mit der Dauerstrich THz-Spektroskopie

Kai Baaske

**Zerstörungsfreie Prüfung von
faserverstärkten Kunststoffen mit
der Dauerstrich THz-Spektroskopie**



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/339>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1. Einleitung

Der Mensch weiß seit vielen Jahrhunderten die Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen zur Herstellung von Gebrauchsgegenständen und Häusern für sich zu nutzen. Dabei sind Holz sowie eine aus Lehm und Stroh bestehende Wand bekannte Beispiele. Abgesehen von diesen beiden Beispielen spielten Faserverbundmaterialien bis etwa Ende des 19. Jahrhunderts eine eher untergeordnete Rolle. Stattdessen wurden vielmehr Werkstoffe wie Kupfer, Bronze, Eisen, später auch Stahl, in großem Umfang verwendet. Ebenso waren viele Werkstoffe aus der Gruppe der Keramiken, wie Glas, Feuerstein, Ton und Zement bis dahin weit verbreitet. Sogar Polymere, wenn auch nur solche, die direkt aus der Natur gewonnen werden konnten, wie Bernstein, Baumharz oder natürlicher Asphalt waren bekannt. Ihre Relevanz war jedoch noch sehr gering. Einen groben zeitlichen Überblick über die historische Bedeutung einzelner Werkstoffgruppen gibt die Grafik in Abbildung 1.1, die die relative Wichtigkeit der einzelnen Gruppen über der Zeitachse darstellt. Mit der Entwicklung des ersten Phenolharzes und der anschließenden Patentierung 1907 unter dem Gebrauchsnamen *Bakelit*[®], setzte Leo H. Baekland den Grundstein für die spätere Nutzung von faserverstärkten Kunststoffen [2]. Neun Jahre später, 1916, patentierte R. Kemp die Herstellung eines vollständig aus faserverstärkten Kunststoffen bestehenden Flugzeugs. Weitere nennenswerte Entwicklungen folgten jedoch erst rund 20 Jahre später [3] durch die Owens-Corning Fiberglass Corp., USA, die mit der großtechnischen Herstellung von Glasfasern begannen. Nach der Erteilung des Patentes zur Herstellung von Epoxidharzen an P. Castan 1938, wurden in den 1940er Jahren erste Bauteile aus glasfaserverstärktem Kunststoff

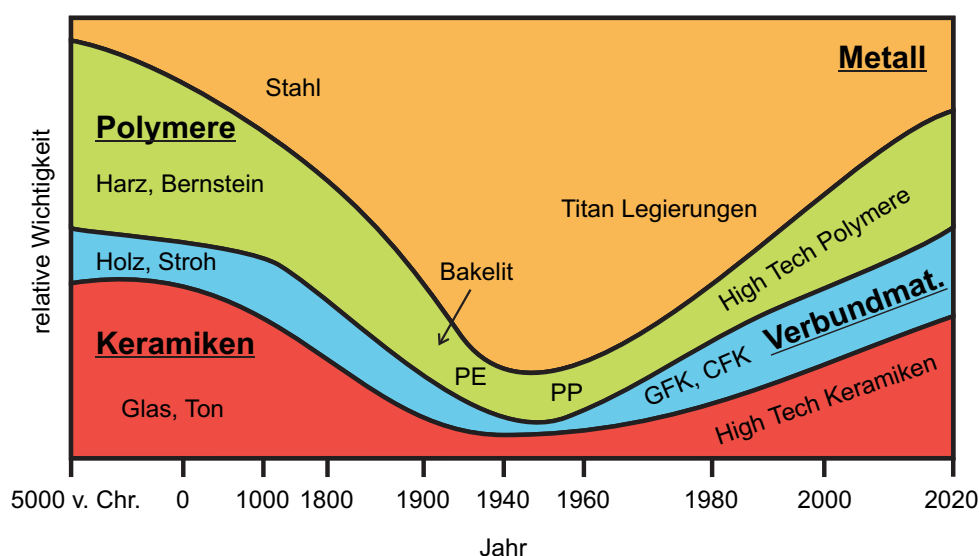


Abbildung 1.1.: Entwicklung technischer Materialien (nach [1])

<i>Luftfahrt</i>	<i>Raumfahrt</i>	<i>Automobil</i>
Tragflächen und Leitwerke	Satellitenstrukturen	Blatt- und Spiralfedern
Holmkonstruktionen	Antennenstrukturen	Karosserieteile
komplette Rümpfe	Hohlleiter	Kardanwellen
Propeller	Druckbehälter	Versteifungselemente
Tankbehälter		

Tabelle 1.1.: Einsatzbereiche von Faserverbundmaterialien

(GFK) für Flugzeuge, Boote und Autos industriell hergestellt. Auch wurden ab 1943 Sandwichbauteile aus Polyesterharz / Glasfasern in Verbindung mit Balsaholz für Flugzeuge verwendet. Seit 1945 kamen dann auch Wabenkern-Verbundmaterialien hinzu, bis dann 1967 das erste nahezu vollständig aus GFK hergestellte Flugzeug (Windecker Research Inc.) gebaut und erprobt wurde.

Die heutige Popularität von Faserverbundbauteilen liegt an ihren vielfältigen Vorteilen [4] gegenüber bspw. metallischen Bauteilen. So weist jeder Werkstoff in Form einer Faser eine deutlich höhere Festigkeit, gegenüber allen anderen Formen [3] auf. Weiterhin können zwei unterschiedlich belastbare Komponenten, die zu einem Verbundwerkstoff kombiniert wurden, höhere mechanische Spannungen aufnehmen, als die schwächere der beiden Komponenten allein aushalten würde. Ein weiterer entscheidender Vorteil liegt in der Parametervielfalt, wie die Anzahl der Gewebelagen, deren Orientierung, Materialart, Bauteilform, Gewicht, Anisotropie der Kraftaufnahme, Temperaturbeständigkeit oder mitunter die elektrische Isolationsfähigkeit, die auf den gewünschten Einsatzzweck hin optimiert werden können. Daher ergeben sich auch speziell dort Einsatzgebiete, wo es auf Gewichts- und der damit einhergehenden Kostenersparnis sowie Stabilität ankommt, wie z.B. in der Luft- und Raumfahrt, oder bei Windkraftanlagen. In der folgenden Aufstellung der Tabelle 1.1 sind einige der häufigsten aus Faserverbundmaterialien bestehenden Bauteile der genannten Rubriken aufgelistet.

Qualitätskontrolle

In den letzten Jahrzehnten nahm neben der rasanten Erforschung und Weiterentwicklung von verschiedensten Werkstoffen auch die Vielfalt ihrer Anwendungsgebiete zu und dabei speziell die, bei denen es auf eine sehr hohe Qualität der Werkstoffe einerseits, wie auch der daraus gefertigten Bauteile andererseits ankommt. Insbesondere in der Luft- und Raumfahrt, wo es um höchste Zuverlässigkeit und Gewichtersparnis geht, werden sehr hohe Anforderungen an die Qualitätskontrolle gestellt. Daher wurden parallel zu den Werkstoffen bzw. Bauteilen auch neuartige Prüftechnologien entwickelt, um den Anforderungen hinsichtlich Fehlstellendetektion oder Überprüfung von mechanischen Kennwerten gerecht zu werden.

Historisch betrachtet, wurden die ersten Qualitätsuntersuchungen optisch bzw. akustisch bei der Beurteilung von Schwertern oder Glocken durchgeführt. Dabei wurde bei letzterer Methode der Klang des Metalls als Bewertungskriterium herangezogen. Im Laufe des 20. Jahrhunderts,

als sich die Luftfahrt und das industrielle Verkehrswesen entwickelte, kamen weitere Techniken wie die Radiographie von Metall mit Röntgen (1922, H. H. Lester) bzw. Gammastrahlen (1930, R. F. Mehl) zum Einsatz [5]. Auch die akustischen Methoden im Ultraschallbereich nahmen 1929 durch Versuche von S.Y. Sokolov ihren Anfang, indem er mit einem Quarzoszillator Ultraschallwellen erzeugte. Ab 1940 wurde die Erforschung dieser Technologie forciert und weitere Methoden entwickelt (F. Firestone). Ab 1942 wurden dann auch erste gepulste Ultraschallgeräte eingesetzt, die dann ab Mitte der 1950er Jahre in Tauchbädern verwendet wurden und mit denen Ultraschallbilder (D. C. Erdman) erzeugt werden konnten.

Generell kann die Qualität bzw. Fehlerfreiheit eines Bauteils mit Hilfe einer Vielzahl von Prüfungstechniken untersucht werden [6–8]. Dabei ist zwischen zerstörenden und zerstörungsfreien Methoden zu unterscheiden. Zur ersten Gruppe zählen hauptsächlich mechanische, physikalische und chemische Prüfungen. Mit ersteren kann ein Bauteil bspw. hinsichtlich seiner Festigkeitswerte (Zug, Biegung, Druck) überprüft werden. Bei den physikalischen Prüfungen werden dann dynamische Eigenschaften bei z.B. Schwingungen untersucht und zuletzt die chemischen Methoden, mit denen eine Massenbestimmung der enthaltenen Bestandteile durchgeführt werden kann.

Soll jedoch jedes Bauteil einer Produktionsreihe einer Qualitätskontrolle unterzogen werden, so können zerstörende Prüftechniken nicht mehr verwendet werden, da sie nur bei Musterbauteilen einer Serie (z.B. Stichprobe) angewendet werden können. In diesem Fall werden zerstörungsfreie Technologien angewendet, zu denen Ultraschall, Röntgen, Thermografie, aber auch Wirbelstrom, Hochfrequenz und optische Techniken gehören. Jede dieser Methoden bietet jeweils einzigartige Vorteile, wie die bildgebende Darstellung des Bauteilinneren beim Ultraschall oder Röntgen, aber auch Nachteile, wie die zwingende Beachtung des Strahlenschutzes beim Röntgen oder begrenzte Eindringtiefen bei der Thermografie. Es ist somit für jede Anwendung bzw. jedes Bauteil die optimale Prüftechnologie zu wählen, da sich nicht alle technologischen Methoden gleichermaßen eignen. Durch die Kombination verschiedener Methoden können die jeweiligen Nachteile der einen Technik durch die Vorteile der anderen kompensieren werden. So werden bei der Qualitätskontrolle von faserverstärkten Kunststoffbauteilen in der Luftfahrtindustrie überwiegend Ultraschallgeräte eingesetzt, aber auch thermografische Techniken sowie Computertomografen (Röntgen).

In der kunststoffherstellenden bzw. -weiterverarbeitenden Industrie kommen hauptsächlich noch zerstörende Prüftechniken zur Anwendung, um z.B. die Dispergiertüte von Zusatzstoffen in Rohpolymeren zu untersuchen oder deren Zähigkeit mittels Schlagversuchen zu ermitteln. Neben den bisher genannten zerstörungsfreien Technologien gibt es noch eine weitere, im Vergleich zu den bereits etablierten, relativ neue, als Terahertz-Spektroskopie bezeichnete Technologie. Der Frequenzbereich der Terahertz (THz)-Wellen erstreckt sich zwischen den Mikrowellen auf der langwelligen Seite bis hin zu den infraroten Wellen, die den Bereich auf der hochfrequenten Seite begrenzen. Er erstreckt sich somit von 300 GHz bis 6 THz. Eine Übersicht des elektromagnetischen Spektrums zeigt Abbildung 1.2. Zur Erzeugung von elektromagnetischen Wellen in diesem Frequenzbereich bestehen eine Reihe verschiedenartiger Ansätze.