

Abstract

The introduction to the topic is a description of the techno-economic evolution of composites. Apart from this, today's market state of the art of composites is also explained. As a conclusion, the principal trend towards the higher quality by the increased application of carbon fibers is ascertained. In particular, it is pointed out that the restraints of the market growth are mainly caused by the high price, most notably, of the fiber materials. This situation, in connection with the maturation of the composite manufacturing processes, demands the need of a cost calculation tool.

In the second step, former composite cost models and their implementations into software – if available – are described and benchmarked. As a result it is proposed to combine, different approaches because of their fundamental potential as well as the deficits. It is suggested to use a resource-based methodology combined with the PBKM (prozessbasierte Kostenmodellierung = process-based cost modelling) and to implement the models in a cost calculation software.

The first aim is an economic process analysis which is carried out to receive an abstract and modular system. Thereby, it is possible to describe the production processes by successive refinement more and more detailed. The process is divided in multiple steps which are itself subdivided in technical activities or handlings. The relevant cost objects with the identifiable cost positions are assigned to those handlings. This approach assures modularity and offers the possibility of an easy software implementation. In addition, the functionality of this methodology is demonstrated considering the two examples "thermoplastic tape placement" and "continuous pressing". For that reason these composite manufacturing techniques are analyzed and the structure is mapped within the use of suggested methodology.

The next topic deals with the modelling of the cycle time for the thermoplastic tape placement with the use of the PBKM. Within this methodology the derivation of the cycle time depends only on physical process parameters, which results in a geometrical complexity based model. The developed model is verified by comparing of the theoretically derived values with practical experiments. Along with this, the assumptions for this model are revised and verified. As a technical enhancement of the tape placement process, different designs of a geometry-adaptive consolidation role are

introduced. This technical extension of the process technology is necessary for the final verification of the model. The new consolidation unit enables to move all geometrical degrees of freedom and complexities with the same laminate quality. Finally, a possibility to transfer the methodology of the PBKM to other technologies is proved. Therefore, it is offered a modus operandi how the continuous pressing technique can be modelled with the help of the PBKM.

The last chapter deals with the cost calculation tool concerning the structural configuration, design, and functionality of the software. It is the consequential synthesis of the results of the economic process analysis and the cycle time models. The practicability of the modularity is proved by its application in the design phase of the software and by the integration of the modelling into the tool. The developed cost calculation software for composite manufacturing processes offers a standardization of the inputs and calculation algorithms by the use of introduced process analysis, the subdivision into smallest units. The cycle time calculation models are process specific know-how which can easily be used unlike an expert's system. The separation of the single functional entities assures a stringent data management, possibilities for the advancement, and furthermore, the variableness of representation and reuse of the derived data. The functionality of the cost tool concerning evaluations and comparisons are pointed out with two case studies. Plus, the postulated transferability of the methodology on other composite technologies is demonstrated. The main advantage of this system is that the modelling offers economical statements of different process variations without experimentation. Besides, the values ascertained by the PBKM are more precise compared to other existing models. Therefore, the PBKM can be the basis for investment decisions like technology change or modifications and helps to identify techno-economic limitations and potentials.

This version of the cost calculation software offers only the standard repertoire of cost evaluations and comparisons which turn out to be upgradeable. Thus, there exists potential to enhance the functionality concerning sensitivity analyses, the integration of cycle time models for other composite processing technologies, and further possibilities for the graphic processing. As a conclusion the software with the combination of different attempts offers a good starting position with respect to the current evolution status and should be extended.

1 Einleitung und Zielsetzung

Aufgrund ihres spezifischen Eigenschaftsprofils weisen Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) wesentliche komparative technische Vorteile gegenüber Konkurrenzwerkstoffen in einer großen Zahl von Anwendungsfeldern auf. Trotz des daraus resultierenden Marktpotenzials konnten sich die FKV noch nicht umfassend industriell durchsetzen. Ursache hierfür ist die im Allgemeinen zwischen FKV und traditionellen Materialien bestehende signifikante "Wirtschaftlichkeitslücke" [1]. Sie hat einen komplexen wirtschaftlich-technischen Hintergrund. Hierzu gehören die vergleichsweise noch hohen Werkstoffkosten, insbesondere die der Kohlenstofffasern, was nicht zuletzt an der Ressourcenknappheit liegt. Aber auch der Stand der Verarbeitungstechnik, der in einem breiten Feld an Verfahren von der händischen Fertigung bis zur Großserienanlagentechnik in vielen Fällen noch nicht über Prozessketten mit entsprechendem Qualitätsmanagement verfügt, begründet diese Kostennachteile.

Das zur industriellen Marktdurchdringung dieser Werkstoffklasse erforderliche Qualitätsmanagement benötigt unter anderem eine große Menge an (Produktions-)Daten und verlässliche Aussagen zu Kosten und Kostenstrukturen. An diesen Bedarf schließt sich in Folge die Forderung nach einem Werkzeug an, mit dem es möglich ist, vorhandene Prozesse abzubilden, aber auch bereits implementierte Prozessabläufe und Fertigungskosten zu verwalten, um so die Datenbasis sukzessive zu erweitern. Die allgemeinen Ziele und Funktionen der Kostenberechnung auf Basis von computergestützten Systemen sind heutzutage jedoch nicht mehr statisch oder auf eine Produktionsstätte begrenzt. Vielmehr existiert durch das Zusammenwachsen der Wirtschafts- und Handlungsräume nicht zuletzt durch die datentechnische Vernetzung eine Reihe von übergeordneten, keineswegs mehr ortsgebundenen Anforderungen an solche Systeme. Gerade für junge Technologien, für die nur sehr wenige Daten vorhanden sind, sind diese übergreifenden Ziele von großer Bedeutung. Unter diese in sich verbunden und gegenseitig beeinflussenden Ziele fallen Kostenberechnung und -analyse, Design, Produktion und Dokumentation. Bezogen auf die computergestützten Varianten leiten sich daraus die in Bild 1.1 stellvertretend dargestellten Funktionen ab.

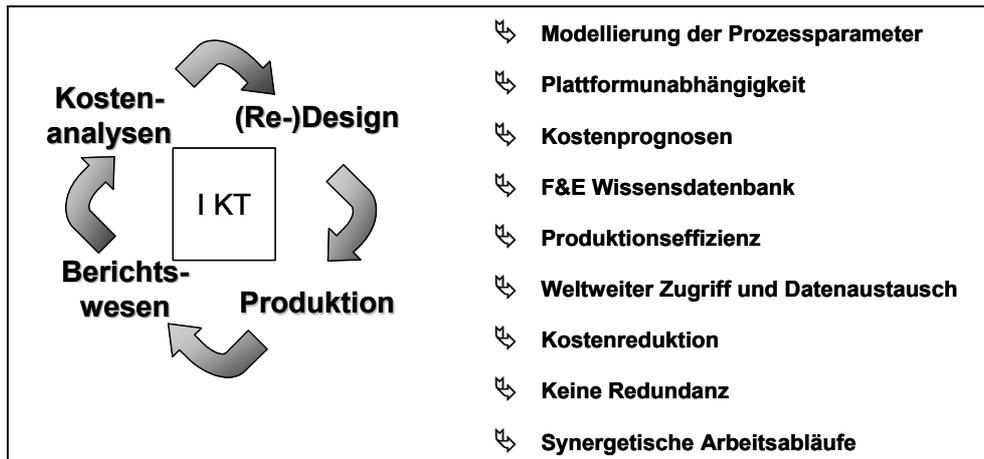


Bild 1.1: Strategische Ziele und Funktionen der computergestützten Kostenberechnung

Es gab in der Vergangenheit groß angelegte Studien, deren Aussagen zur Wirtschaftlichkeit der FKV aber in der Literatur [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9] je nach Zielrichtung teilweise sehr plakativ und untereinander auch widersprüchlich sind. Denn die tatsächlich zu erwartenden Kosten sind in den meisten Fällen nicht oder nur sehr ungenau verfügbar. Jedoch sind gerade diese Informationen das ausschlaggebende Kriterium während der Entscheidungsprozesse bezüglich einer Verfahrensauswahl, beziehungsweise der generell darüber, ob ein Produkt selbst gefertigt werden soll (make or buy). Das heißt, ein weiterer Bestandteil, der zu einer Verlangsamung der Marktdurchdringung dieser Werkstoffklasse führt, ist die ungenaue oder zumindest aufwändige Bestimmung der Herstellkosten der FKV-Verarbeitung im Vorfeld einer Produktentwicklung und -gestaltung. Diese Effekte könnten ebenfalls durch ein Kostenberechnungstool aufgehoben werden.

Bezogen auf die inhaltliche Vorgehensweise bei früheren Studien haben die Instrumente zur Kostenanalyse für FKV ihren Ursprung klassischerweise in der pagatorischen Kostenrechnung. Dadurch ist die Betrachtung darauf fokussiert, was bereits existiert oder gemacht wurde. Durch diese zeitliche und technologische Rückwärtsorientierung entsteht die Problematik, dass die Effekte und Interaktionen durch Änderungen am Prozess- oder Bauteil-Design nicht berücksichtigt werden können [10]. Zusätzlich besteht wegen der relativen Neuheit der Verarbeitungstechnologien für FKV ein allgemeines Informationsdefizit bezüglich Gestaltungsmöglichkeiten, Kennwerten, Einsatzbereichen etc. bei den potenziellen Anwendern. In diesem Zusam-

menhang wird dieser Werkstoffklasse dadurch auch eine Art Mystik und Unsicherheit zuteil, die ihr nicht gerecht wird. Folglich sind auch hier Ursachen für eine gehemmte Erweiterung des FKV-Makts begründet. Durch die Entwicklung eines Berechnungswerkzeugs mit gewohnt einfacher Bedienung und transparenter Darstellung aller zu erwartenden Kosten durch den Einsatz der FKV-Technologie wird ein Beitrag geleistet, Entscheidungen objektiver zu treffen.

Tabelle 1.1: Vorgehensweise

Methoden	Aufgaben	Ergebnisse / Ziele
Literaturrecherche	Beschreibung der techno-ökonomischen Entwicklung	Klare Einordnung der Aufgabenstellung, Potenzial der Ergebnisse
	Stand der Technik der Prozess- und Kostenmodellen für FKV	
Prozessanalyse	Analyse der Kostenstruktur	Baukastenprinzip
	Prozessbasierte Kostenmodellierung (PBKM)	Verifizierung des Grundprinzips
	- <i>Beschreibung des Verfahrens</i>	
	- <i>Modellierung der Zykluszeit</i>	
	Verifikation der PBKM	Verifizierung der Modellierung
	- <i>Abgleich Berechnung mit Versuch</i>	
	- <i>Technologische Weiterentwicklung</i>	Belegung gekrümmter Bahnen
- <i>Ansatz für kontinuierliches Pressverfahren</i>	Übertragbarkeit der PBKM	
Software-entwicklung	Entwicklung eines integrativen Ansatzes	Entwickeltes FKV-Kostenberechnungstool
	Auswahl einer Entwicklungsumgebung	
	Umsetzung in ein Kostentool	
	Fallstudien	

Sollen diese Instrumente mit einfacher Benutzeroberfläche und gleichermaßen anpassungsfähig wie FKV-spezifisch sein, eignet sich zur Realisierung ein Top-Down-Ansatz, nachdem erst grundsätzliche, allgemeingültige Strukturen geschaffen werden und diese sukzessive fallspezifisch konkretisiert werden können. Die hierbei vorgeschlagenen Methodiken zur Analyse der Kostenstruktur sind nach Plausibilität so-

wie einem verträglichen Maß an Genauigkeit in Verbindung mit benutzerorientierter Bedienbarkeit zu wählen, wobei die Datenhaltung der zu entwickelnden Software in Bezug auf Nachhaltigkeit ein entscheidender Faktor ist. Die hier vorgestellte Vorgehensweise ist dabei wie folgt:

- Als Einstieg in die Thematik erfolgt eine Beschreibung der technisch-wirtschaftlichen Entwicklungen im Bereich der FKV. Dabei werden neben den Entwicklungen bis heute der aktuelle techno-ökonomische Stand und die zu erwartenden Trends beschrieben.
- In einem zweiten Schritt werden gängige Modelle und deren software-technischen Umsetzungen zur **Kostenberechnung von FKV** beschrieben und bewertet. Als Ergebnis dieses Kapitels wird aufgrund des prinzipiellen Potenzials aber auch der Defizite der bisherigen Ansätze eine Auswahl getroffen und das weitere Vorgehen begründet.
- Als ein erstes Ziel der Arbeit wird eine **ökonomische Prozessanalyse** durchgeführt, ausgehend von einer Analyse zur Entwicklung eines abstrakten Baukastenprinzips, mit dem es möglich ist, durch sukzessive Verfeinerung die Verarbeitungsverfahren immer detaillierter zu beschreiben. Dabei werden beispielhaft zwei Verarbeitungsverfahren beschrieben und ihre Struktur nach der vorgeschlagenen Methodik untersucht.
- Aufbauend auf den Ergebnissen der Prozessanalyse wird anhand des Thermoplast-Tapelegens die Vorgehensweise dargestellt, mit der die Verfahren komplett auf physikalischen Prozessparametern modelliert und in das Kostentool integriert werden kann. Dabei erfolgt auch eine Verifikation der entwickelten Methodik, bei der die technische Abgrenzung der Einflussparameter, eine technologische Weiterentwicklung des Prozesses und die Übertragbarkeit der Systematik anhand des kontinuierlichen Pressprozesses vorgestellt werden.
- Es schließt sich als Synthese der Aufbau des zu entwickelnden Kostentools und die **Integration der Modelle** zur Kostenberechnung (Kapitel 3), der Prozessanalyse (Kapitel 4), sowie zur Zykluszeit (Kapitel 5) in diese Software an. Dabei wird sowohl die geforderte Variabilität der Software als auch die Praktikabilität der Modellierung anhand von Fallbeispielen auf die Probe gestellt.