

Intelligent Production of Rotor Blades using IT-aided Automation Approaches

Intelligente Fertigung von Rotorblättern durch IT-gestützte Automationsansätze



J.-H. Ohlendorf

J.-H. Ohlendorf, K.-D. Thoben; BIK – Institut für integrierte Produktentwicklung der Universität Bremen
C. Hans, Z. Ghrairi; BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH

EXTERNAL ARTICLE

ENGLISH - DEUTSCH

Introduction

Rotor blades for wind turbines (WT) are normally made of continuous-fibre reinforced polymer composites due to their beneficial strength-to-mass relationship and extraordinary stiffness [1]. Considering the growing number of offshore operation blade lengths and production volumes will increase further in future. Fig. 1 and 2 illustrate these effects [2, 3].

Today, the production quality is highly influenced by the experience, knowledge and intuition of the engaged employees and therefore bears a great risk of process uncertainties. Hence, considerable safety margins had to be implemented into the manufacturing in order to guarantee a consistently high product quality. This holds true for such activities like the still commonly used hand lay-up procedure or the liquid composite moulding (LCM). In the case of production or process uncertainties, components are usually designed bigger and firmer than really necessary, or, due to imprecise knowledge of the infusion and curing, they are left in the mould for more time than necessary. These preventive measures are undoubtedly important for the industry, nevertheless, they express themselves in growing material costs and prolonged lead times.

Einleitung

Rotorblätter für Windenergieanlagen (WEA) werden aufgrund des guten Verhältnisses von Masse und Festigkeit bzw. Steifigkeit hauptsächlich aus endlosfaserverstärkten Kunststoff-Verbunden hergestellt. [1] Vor dem Hintergrund des Offshore-Einsatzes von Windenergieanlagen werden die Rotorblattlängen und Stückzahlen weiter ansteigen. In Abb. 1 und 2 sind diese Effekte dargestellt [2, 3].

Die aktuelle Fertigung von Rotorblättern ist in einem hohen Maße von Prozessunsicherheiten und dem Erfahrungswissen einzelner Mitarbeiter geprägt. Sowohl für das noch häufig anzutreffende manuelle Handlaminieren als auch für die Vakuuminfusionstechnik (*liquid composite molding*, LCM) werden daher Sicherheitszuschläge einberechnet, um eine gleichbleibend hohe Produktqualität gewährleisten zu können. So werden beispielsweise die Bauteile stärker ausgelegt als eigentlich notwendig oder sie bleiben aufgrund des ungenauen Prozesswissens über den aktuellen Infusions- und Aushärtvorgang länger im Formwerkzeug als erforderlich. Diese Zuschläge äußern sich u. a. in höheren Materialkosten oder verlängerten Durchlaufzeiten.



***Increase productivity to face
tomorrows demands***



***Wind turbine blades on aerospace
quality and reliability standards***



Higher productivity due to

- harmonized manufacturing concepts
- optimised tooling design for minimum heating and production cycles
- components of highest and adequate precision
- transportation solutions



Lower production costs due to

- automated handling and positioning of composite materials
- automated assembly and positioning of components
- automated and reliable production processes
- strong interaction between design and manufacturing processes



**Higher product guarantee level
and minimum maintenance costs due to**

- safety and reliability requirements for 20 years
- residence to extreme environmental conditions
- low weight and high stiffness of structures
- high level certification procedures

*Premium Aerotec accompanies you as reliable partner
throughout the complete product lifecycle.*



Premium AEROTEC GmbH
Production Systems
Riesweg 151–155
26316 Varel
Germany
www.premium-aerotec.com
info.fertigungssysteme@premium-aerotec.com

Fig. 1: Total Number of wind turbines in Germany between 1987 and 2009 and annual build-up [2]
 Abb. 1: Anzahl der Windenergieanlagen von 1987 bis 2009, kumuliert und jährlicher Zubau [2]

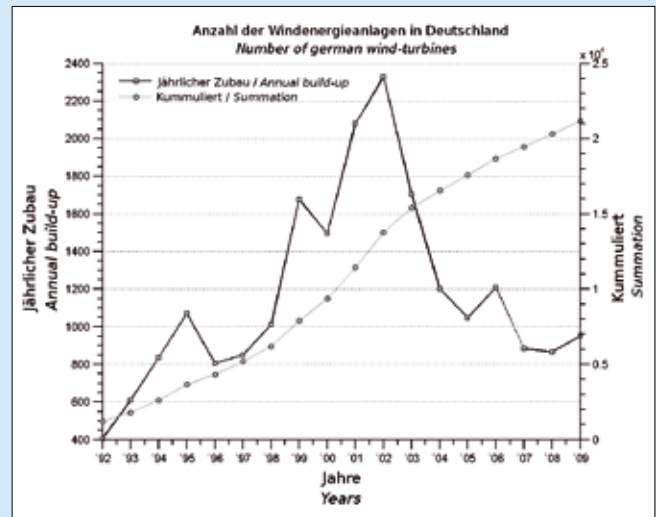
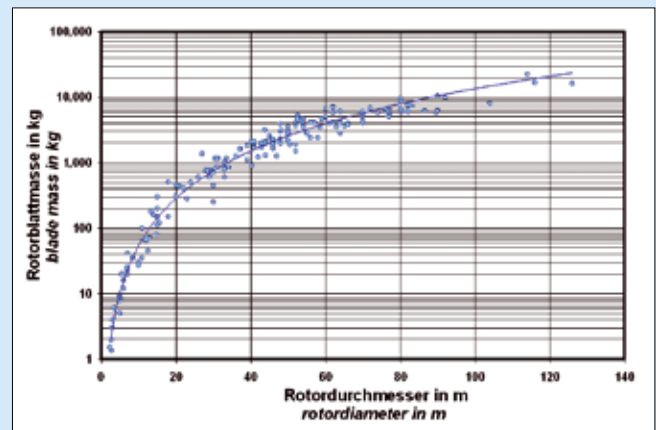


Fig. 2: Blade mass plotted against rotor diameter [3]
 Abb. 2: Massen verschiedener Rotorblatttypen aufgetragen über den Rotordurchmesser [3]



Problem Description

Regarding the vacuum infusion technique in the current rotor blade production, the vacuum assisted resin infusion (VARI) has established itself as the predominant technique. It uses a flexible counter mould and is therefore very suitable for rather large parts. Fig. 3 explains the VARI-technique. In the application of the procedure, the fibres, which are mainly semi-finished E-glass, are positioned in the mould dry. After the fibres are set up, separation and distribution medium are inserted and evacuated for the infusion process with the help of a vacuum film. A resin-hardener system is then inserted into the layer structure using a special connection nozzle and differential pressure. At last, the composite material is tempered to ensure the final gelling and curing of the reactants (resin and hardener). This tempering process can either be carried out in an oven or in heated moulds. Regarding this process, the homogeneous impregnation of the fibre as well as the uniform hardening of the resin-hardener system can be seen as the key parameters for a consistently high product quality [4].

The knowledge and experience-based production of rotor blades described above impedes a thorough in-process control of product quality since quality is mainly determined by the worker and its intuition. This manufacturing method is rather inconvenient even if safety margins are installed as elaborated above. For example, in two-sided

Problembeschreibung

Beim Einsatz der Vakuuminfusionstechnik in der aktuellen Rotorblattfertigung hat sich vor allem das Harzinfusionsverfahren (*vacuum assisted resin infusion, VARI*) etabliert. Dies ist ein Verfahren, welches mit einer flexiblen Gegenform (Vakuumfolie) auskommt. Es eignet sich dadurch speziell für besonders großflächige Bauteile. Schematisch ist der Aufbau des VARI-Verfahrens in Abb. 3 dargestellt. Bei der Anwendung des Verfahrens werden die technischen Textilien, überwiegend Halbzeuge aus E-Glasfaser, trocken im Formwerkzeug positioniert. Ist der textiltechnische Aufbau abgeschlossen, werden Trenn- und Verteilermedium eingelegt und mit Hilfe der Vakuumfolie für den Infusionsprozess evakuiert. Durch spezielle Anschlussstutzen wird ein Harz-Härter-System mittels Druckdifferenz in den Lagenaufbau gedrückt. Im Falle der Vakuuminfusionsverfahren sind dabei vor allem die gleichmäßige Durchtränkung des textilen Gewebe- bzw. Gelegematerials wie auch eine ebensolche Aushärtung des Harz-Härter-Systems die zentralen Kenngrößen für eine gleichbleibend hohe Produktqualität. Es folgt der Vorgang des Temperns, welcher für das Gelieren und Aushärten der Reaktionspartner (Harz und Härter) sorgt. Dieser Tempervorgang kann in einem Ofen oder in beheizten Formwerkzeugen erfolgen. [4] Die bis hierher geschilderte Fertigungsweise macht einen prozessbegleitenden Nachweis der Produktqualität schwer. Dies hat seine Ursache einerseits darin, dass der Produktionsprozess weitgehend durch Erfahrungswissen und damit

Certification

- > Project Certification
- > Type Certification
- > Component Certification
- > Site Specific Certification
- > Certification during Development

Services On-/Offshore

- > Type Approval
- > Turbulence Analysis
- > Periodic Inspections
- > Personnel Safety
- > Expertises for Authorities and Insurances
- > Damage Analyses and Damage Expertises
- > Risk Analyses

Services Offshore

- > Assessment of Construction and Foundation
- > Evaluation of Design Concepts



DEWI-OCC Offshore and Certification Centre GmbH

Am Seedeich 9 // D - 27472 Cuxhaven
Tel. +49 (0) 4721 - 5088 - 0 // Fax +49 (0) 4721 - 5088 - 43
info@dewi-occ.de // www.dewi-occ.de

mould manufacturing processes, much of the manufacturing process within the mould can't be observed visually. Furthermore, certain parts compose of many layers. Around the flange of new rotor blades, laminate thicknesses may currently reach 150 mm. Therefore, the problem can even be observed in the flexible counter mould procedure. [5] As a consequence, there is a comparatively high risk of product deficiency and a comprehensive rework of the parts may be required. Nevertheless, the share of inferior parts could be reduced drastically if existing moulds would be retrofitted with information and communication technology (ICT) that monitors and evaluates the crucial process factors to control the process.

A new Monitoring and Control Approach for Resin Infusion and Curing Processes

This paper presents a concept for such an ICT-based solution. It is to be built upon sensor technologies in combination with artificial intelligence (neural networks). The underlying framework concept is currently developed in the European project 'Intelligent Reactive Polymer Composites Moulding' (iReMo) [6]. The curing process is to be constantly monitored and controlled over the entire part within the mould. This can be achieved by equipping the moulds with sophisticated sensors that constantly measure temperature as well as the viscosity of the resin during the

„Fingerspitzengefühl“ gesteuert wird. Um dennoch eine gleichbleibende Produktqualität gewährleisten zu können, wird auf Sicherheitszuschläge an verschiedenen Stellen zurückgegriffen. Andererseits spielt sich - insbesondere bei Fertigungsverfahren mit zweiseitigem Formwerkzeug - ein Großteil des Fertigungsprozesses innerhalb des Formwerkzeugs ab und ist somit visuell nicht überprüfbar. Bestimmte Bauteile weisen darüber hinaus eine hohe Anzahl von Textillagen auf. Im Flanschbereich von aktuellen Rotorblättern können beispielsweise Laminatstärken von bis zu 150 mm erreicht werden. Daher ist diese Problematik auch bei Verfahren mit flexibler Gegenform zu beobachten. [5] Als Folge daraus ergibt sich ein - gegenüber anderen Fertigungsverfahren - höheres Risiko für Ausschuss bzw. die Notwendigkeit zum Nacharbeiten, nachdem das Produkt (wie z. B. ein Rotorblatt) dem Formwerkzeug entnommen wird. Dieser Anteil ließe sich reduzieren, indem bestehende Formwerkzeuge mit einer Informations- und Kommunikationstechnologie-Lösung (IKT) nachgerüstet würden, welche die maßgeblichen Faktoren zur Überwachung des Fertigungsprozesses aufnimmt und auswertet, um diese für eine kontinuierliche Überwachung und Regelung zu nutzen.

Ein neuer Ansatz für die Überwachung und Regelung des Harzinfusions- und Aushärtungsprozesses

Der vorliegende Beitrag stellt ein Konzept für solch eine

Fig. 3: Schematic of VARI-process
 1: preform / textile; 2: separation medium ; 3: distribution layer; 4: vacuum foil; 5: resin line; 6: gas pipe; 7: gasket; 8: resin pipe; 9: mould; 10: resin infusion head

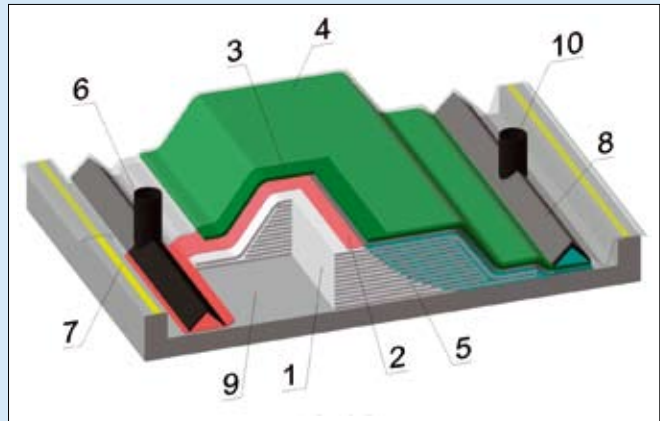
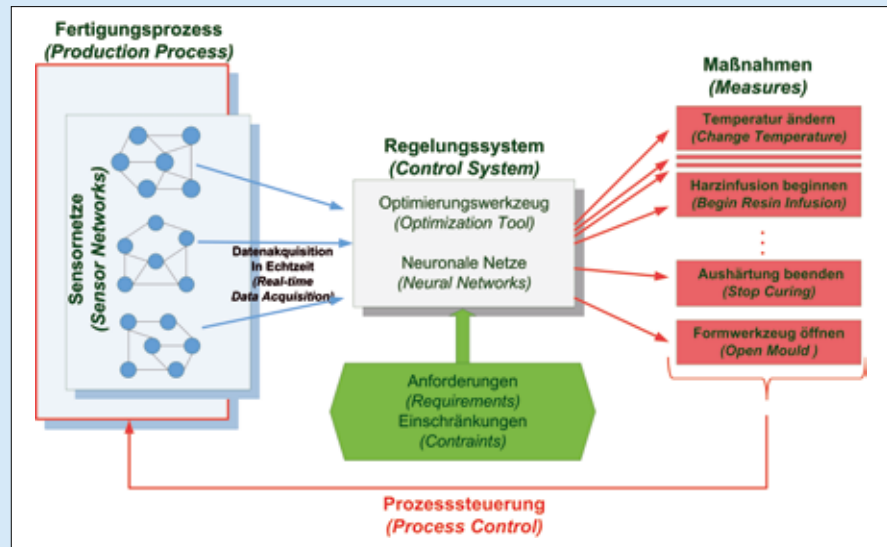


Abb. 3: Schematische Darstellung des VARI-Prozesses
 1: *preform*/Textil; 2: Trennmedium; 3: Verteilermedium; 4: flexible Gegenform; 5: Harzfront; 6: Anschluss der Vakuumpumpe; 7: Dichtmasse; 8 Harzkanal; 9: Formwerkzeug; 10: Harzzuführstutzen

Fig. 4: Schematic overview over the control approach with the help of sensor and neural networks

Abb. 4: Schematische Übersicht über den Regelungsansatz mit Hilfe von Sensornetzwerken und Neuronale Netzen



infusion and curing and continuously transmit relevant data to a control component. If needed, the control system then initiates measures such as the modification of local temperatures. The architecture of this approach is illustrated in Fig. 4.

A variety of requirements have to be met in order to be adopted by industrial practice.

1. Functional requirements: The basic functionality of the solution is the permanent monitoring and control of process parameters to ensure an optimal curing process in terms of efficiency as well as product quality. In this respect, the approach must figure in material deviations as well as the flexibility of production, that is, various different products and materials. Besides the reduction of rework, deficient goods, and safety margins, the documentation of product quality should also be supported.
2. Requirements regarding embedding: The solution must be a retrofit of existing plants. This means that all required sensors can be integrated in the existing mould. In addition, an ICT- infrastructure has to be installed to assure the acquisition, transmission and storing of sensor data (see Fig. 4).
3. Performance requirements: Requirements concerning the performance of the solution primarily arise from the complexity and size of the products or moulds and

Lösung auf Basis von Sensortechnologie in Kombination mit Verfahren aus der Künstlichen Intelligenz (Neuronale Netze) vor. Die Grundlagen hierfür werden derzeit in dem europäischen Forschungs- und Entwicklungsprojekt iReMo (*intelligent REactive polymer composites Moulding*) [6] entwickelt. Es soll der Aushärtungsprozess für die verschiedenen Bereiche eines Bauteils innerhalb eines Formwerkzeuges kontinuierlich überwacht und gezielt geregelt werden.

Die Grundidee besteht in der Ausstattung von Formwerkzeugen mit einer Sensorik. Diese misst die Temperatur wie auch die Viskosität des Harzes im Zuge der Infusion und Aushärtung und gibt die Messwerte an eine Regelungskomponente weiter. Aus den eingehenden Messwerten leitet die Regelungskomponente Maßnahmen zur Prozesssteuerung ab. Mögliche Maßnahmen liegen beispielsweise im Erwärmen bzw. Kühlen einzelner Bereiche des Formwerkzeugs. Die Architektur dieses Ansatzes ist in Abb. 4 dargestellt.

Aus dem Einsatz dieser Lösung im industriellen Umfeld ergeben sich verschiedene Kategorien von Anforderungen, die im Folgenden skizziert werden.

1. Funktionale Anforderungen: Die Grundfunktionalität der Lösung besteht in der kontinuierlichen Überwachung und Regelung von Prozessparametern, um einen optimalen Aushärtungsprozess im Sinne der Effizienz wie auch der Produktqualität zu gewährleisten. Hierbei ist die Flexibilität der Unternehmen bzgl. ihrer Produktpalette zu berücksichtigen.

Technology that works



Always one step ahead with the combination of the best qualities

As an independent manufacturer SINOI is a strong and reliable partner in rotor blades, mould production and in the transfer of state of the art technology.

For SINOI, 'Made in Germany' means the highest quality standards with proven quality management. With over 10 years of experience, highly qualified employees and its own training centre, SINOI's services range from individual customer solutions through the construction and development of prototypes, to the production of an extensive individual product range with rotor blades up to 5.0 MW.

With the CNBM Group as a financially strong partner, SINOI is Asia's leading producer of rotor blades. SINOI is optimally represented in the target market in Europe and, what is more, competently accompanies its clients in new target markets.



SINOI GmbH · Kohnsteinbrücke 10 · D-99734 Nordhausen · Germany – a CNBM company
phone: +49 (0) 36331-90300 · fax: +49 (0) 36331-90333 · e-mail: info@sinoi.de
web: www.sinoi.de · www.lzfrp.com · www.cgc.com · www.cnbm.com.cn

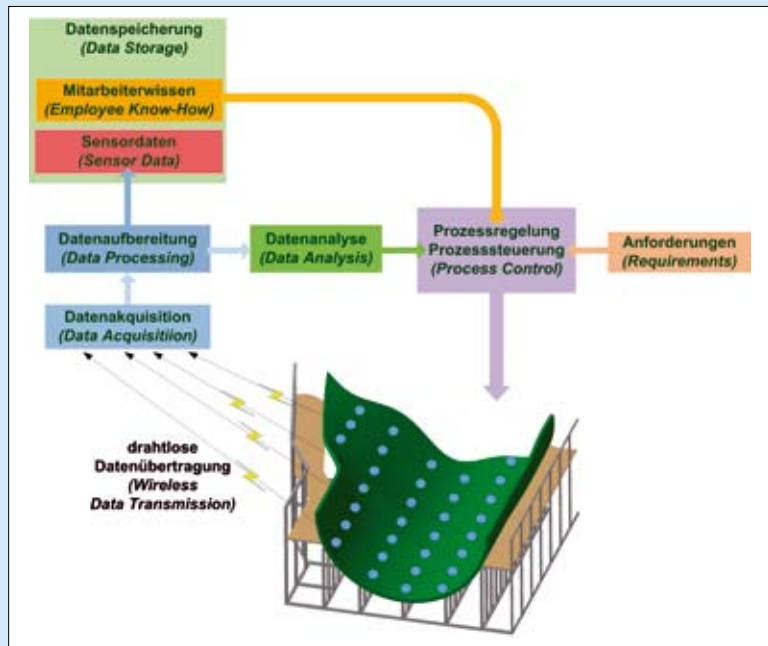


Fig. 5: Detailed data flow; Mould for rotor blade parts equipped with sensors for the monitoring of the curing process

Abb. 5: Detaillierte Übersicht über den Datenfluss; Darstellung mit Formwerkzeug für die Rotorblattschale, (Auszug) welches mit Sensoren zur Aushärtemessung ausgerüstet ist

the resulting number of sensors. In order to derive and initiate necessary measures in time, data gathering, transmission, and processing must be extremely efficient and reliable, especially considering the amount of data expected for big parts such as rotor blades.

4. Handling requirements: Human-machine interfaces must be created that allow a comprehensible display and documentation of the incoming information about the current status of the manufacturing process. This requires the design of an user-friendly use model, which visualizes the process sequence and initiates the measures of the control system. The system must furthermore recognize internal errors such as malfunctioning sensors and respond to them if necessary.

In accordance with the requirements above, iReMo incorporates many different components that are summarized in Fig. 4 and explained in the following section.

Sensor Network

Sensor networks are wired or wireless networks of spatially distributed sensor nodes that monitor their environment. The collected data are pre-processed at the sensor node and transmitted to the control system. Wireless sensor nodes usually have a very limited capacity of energy, because electricity cannot be provided constantly. The use of alternative energy sources (e. g. vibration, temperature) is therefore desirable. In this context, an energy production using the temperature of the resin and/or form is conceivable.

Information about the current state of the resin infusion and curing process is processed and stored in real time. Fig. 5 illustrates the data flow from the sensor network to the control system.

- Sensor: The process data (measurements) are gathered with sensors (e.g. www.synthesites.com/products.php). The accuracy of information depends on the placement of sensors in the mould. Various industry standards such

sichtigen, d. h. der Ansatz muss mit verschiedenen Produkten wie auch Abweichungen bei den zu verarbeitenden Materialien zurechtkommen. Neben der Verringerung von Nacharbeiten bzw. Ausschuss sowie der Minimierung von Sicherheitszuschlägen sollte die Lösung die Dokumentation der Produktqualität unterstützen.

2. Einbettungsanforderungen: Die Lösung muss ein *Retro-fitting* bestehender Anlagen zulassen. Dies bedeutet zum einen, dass die erforderliche Sensorik in bestehende Formwerkzeuge integrierbar sein muss. Darüber hinaus ist eine Informations- und Kommunikationsinfrastruktur notwendig, welche die Aufnahme und Übertragung von Sensormesswerten ermöglicht (vgl. dazu Abb. 4).
3. Leistungsanforderungen: Anforderungen in Bezug auf das Leistungsvermögen der Lösung ergeben sich vor allem aus der Komplexität wie auch der Größe der Produkte bzw. Formwerkzeuge und der damit notwendigen Anzahl von Sensoren. Im Falle der Fertigung von Rotorblättern und dem, in diesem Anwendungsgebiet zu erwartenden hohen Datenvolumen, muss die Aufnahme, Kommunikation und Weiterverarbeitung auf effiziente und zuverlässige Weise erfolgen, um notwendige Regelungsmaßnahmen rechtzeitig ableiten und initiieren zu können.
4. Handhabungsanforderungen: Schließlich müssen Mensch-Maschine-Schnittstellen geschaffen werden, die das aufkommende Datenvolumen bzgl. des aktuellen Fertigungsprozesses für den Menschen nachvollziehbar darstellen und dokumentieren. Dies bedingt die Konzeption eines anwendungsfreundlichen Benutzungsmodells, welches den Prozessverlauf geeignet visualisiert und die Maßnahmen des Regelungssystems motiviert. Darüber hinaus muss das System interne Fehlerzustände (z. B. einen defekten Sensor) erkennen und darauf reagieren.

Für die technische Umsetzung eines Systems, welches den o. g. Anforderungen gerecht wird, werden im Projekt iReMo verschiedene Komponenten vorgesehen (vgl. Abb. 4). Sie werden im Folgenden skizziert.

Sensornetzwerk

Sensornetzwerke sind drahtgebundene oder drahtlose Netzwerke aus räumlich verteilten Sensorknoten, die ihre Umgebung mit Sensoren überwachen. Die von den Sensoren gelieferten Daten werden mittels interner Prozessorleistung vorverarbeitet und weitergeben. Sensorknoten haben in der Regel sehr beschränkte Kapazitäten an Energie zur Verfügung, da nicht auf eine kontinuierliche Stromversorgung zurückgegriffen werden kann. Die Nutzung von Energiequellen aus der direkten Umgebung des Sensorknotens (z. B. Vibration, Temperatur) ist daher anzustreben. Für das hier diskutierte Anwendungsgebiet ist eine Energieerzeugung durch die Temperatur des Harzes und/oder der Formheizung vorstellbar. Die Daten über den aktuellen Zustand des Harzinfusions- und Aushärteprozesses werden in Echtzeit erfasst, aufbereitet und gespeichert. **Abb. 5** veranschaulicht den Fluss der prozessbezogenen Daten vom Sensornetzwerk bis hin zum Regelungssystem.

- **Sensorik:** Die gewonnenen Prozessdaten werden von Sensoren gesammelt (z. B. www.synthesites.com/products.php). Die Genauigkeit der Informationen hängt von der Platzierung der Sensoren im Formwerkzeug ab. Für die drahtlose Übertragung der Sensordaten existieren verschiedene Industriestandards (z. B. *WiFi*, *Bluetooth*, *ZigBee*).
- **Datenakquisition:** Das Akquirieren von Prozessdaten kann auf zwei verschiedenen Arten erfolgen. Daten können kontinuierlich von den Sensorknoten abgefragt oder über einen längeren Zeitraum gesammelt, zusammengefasst und dann von einem Regelungssystem abgefragt werden.
- **Datenaufbereitung:** Die von den Sensorknoten vorverarbeiteten Daten werden für die Weiterverarbeitung aufbereitet. Hierzu sind leistungsfähige Rechner erforderlich. Die vorverarbeiteten Daten werden anschließend an das Regelungssystem geliefert.
- **Datenspeicherung:** Für eine zentrale oder dezentrale Speicherung der Daten (Sensormessdaten, Erfahrungswissen der Mitarbeiter) wird ein geeignetes Modell konzipiert und implementiert, welches die Konsistenz, Dauerhaftigkeit und Verfügbarkeit aller erfassten Informationen sicherstellt. Mögliche Szenarien sind z. B. der Einsatz eines Datenbanksystems und/oder eines verteilten Speichers (*Flash-Speicher* eines benachbarten Sensorknotens) im Sensornetzwerk.

Regelungssystem

Das Regelungssystem beruht auf der Integration verschiedener Technologien zu einem Gesamtsystem. Neben einer geeigneten Sensorinfrastruktur nebst leistungsfähiger Verfahren zur Speicherung und weiteren Vorverarbeitung der Prozessdaten stellt die Anwendung von Ansätzen aus der Künstlichen Intelligenz (Neuronale Netze) in diesem Umfeld eine Neuheit dar. Über ihre Fähigkeit zur Behandlung nicht-linearer Probleme hinausgehend stellt insbesondere ihre Flexibilität eine wichtige Eigenschaft für den Einsatz Neuronaler Netze in einem industriellen Umfeld mit einer großen Produktvielfalt dar. So können Neuronale Netzwerke nicht nur zur Regelung eingesetzt werden. Im Rahmen des iReMo-Pro-

1910 2010 100



Überspannungsschutz für Windenergieanlagen

Anwendungsoptimiert für höhere Systemspannungen



- DEHNbloc® Maxi 1 760 FM: Blitzstrom-Ableiter (Typ 1) für max. Dauerspannung bis 760 V AC. Für IT-Systeme 690 V
- DEHNbloc® Maxi 1 440 FM: Blitzstrom-Ableiter (Typ 1) für max. Dauerspannung bis 440 V AC. Für TN-Systeme 400/690 V
- DEHNguard® M WE 600 FM: Überspannungs-Ableiter (Typ 2) für max. Dauerspannung bis 600 V AC. Varistorbemessungsspannung 750 V AC

DEHN + SÖHNE
Blitzschutz
Überspannungsschutz
Arbeitsschutz

Infoservice 1951 · Postfach 1640
92306 Neumarkt · Tel.: 09181 906-123
Fax: 09181 906-478
www.dehn.de · info@dehn.de

WiFi, Bluetooth, ZigBee exist for the wireless transmission of sensor data.

- **Data acquisition:** There are two different ways to acquire process data: Data can either be sent continuously and in real-time to the control system or be collected and bundled by sensor nodes over a long period, and then be accessed by the control system.
- **Data processing:** The sensor data undergoes further processing. For this, powerful computers are required. The processed data is then supplied to the control system.
- **Data storage:** For a centralized or decentralized storage of data (sensor data, Employee Know-how), an appropriate model should be designed and implemented, which ensures the consistency, durability and availability of all gathered information. Possible scenarios are the usage of a database system and/or a distributed memory in the sensor network.

Control System

The control system is based on the integration of different technologies. In addition to a suitable sensor infrastructure, efficient methods for the storage and further processing of process data, approaches from artificial intelligence (neural networks) are implemented for the first time in this environment. Beyond the ability to process non-linear problems, the flexibility of neural networks is a crucial advantage regarding the range of materials used and products manufactured in industry. Thus, neural networks are not only utilized within the control system itself, but moreover serve the material modelling in the iReMo-project. These models, that is, the virtual material compositions and conditions, are used to train and therewith prepare the learning control system [7].

Measures

The measures that should be triggered by the control system depend on the resin infusion process and the nature of the heating of the mould. For example, the volume flow rates of the resin curing system and the performance of vacuum pumps can be controlled by the VARI-process. By the pressure-supported method of vacuum infusion, such as Single-Line Injection (SLI) or Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding (VARTM), and by pure printing process such as Resin Transfer Moulding (RTM) or the Structural Resin Transfer Moulding (S-RTM) [8], can also be controlled by the ambient pressure.

In curing processes, the heating temperature and flow rate can be controlled by fluid heating. Nevertheless, more research regarding the optimal number and size of these heaters is needed for the application of such a control system. One feasible option in this context would be resistance heating that regulates temperature with the intensity of current within a system. Due to low heat capacity of the resistance heater, such a system is rather responsive and therewith facilitates the application of fast measures.

Abstract and Perspective

In this paper, the necessity of a control system for resin infu-

jektet ist ferner ihr Einsatz für Materialmodelle vorgesehen, die schließlich als Grundlage für eine selbstlernende Regelungskomponente dienen, indem das Training der Regelungskomponente auf Basis virtueller Materialzusammensetzungen erfolgen kann. [7]

Maßnahmen

Die Maßnahmen, die durch das Regelungssystem auszulösen sind, sind abhängig vom eingesetzten Typ des Harzinfusionsverfahrens sowie von der Art der Beheizung des Formwerkzeugs.

Exemplarisch können beim VARI-Verfahren die Volumenströme des Harz-Härter-Systems sowie die Leistung der Vakuumpumpen geregelt werden. Bei druckunterstützten Verfahren der Vakuuminfusionstechnik, wie beispielsweise beim *Single-Line-Injection* (SLI) oder *Vacuum Assisted Resin Transfer Moulding* (VARTM) sowie bei reinen Druckverfahren wie dem *Resin Transfer Moulding* (RTM) oder dem *Structural Resin Transfer Moulding* (S-RTM) [8], können zudem die Umgebungsdrücke geregelt werden.

Für den Aushärteprozess können bei Fluidheizungen die Heiztemperaturen und die Strömungsgeschwindigkeit geregelt werden. Versuche zur Anzahl und Größe der Heizfelder sind jedoch Voraussetzung für eine solche Regelung.

Bei Widerstandsheizungen kann durch ein solches System die Stromstärke und dadurch die Temperatur geregelt werden. Aufgrund der geringeren Wärmekapazität der Widerstandsheizung ist ein solches System weniger träge, so dass eine schnellere Regelung möglich ist.

Zusammenfassung und Ausblick

Die bis hierher genannten Komponenten werden innerhalb des iReMo-Projektes zu einer neuartigen Überwachungs- und Regelungslösung im Kontext der Harzinfusion und -aushärtung zusammengeführt. In einem Umfeld welches heute nur wenig Berührung mit der Automatisierungstechnologie besitzt, ist großes Potential in Richtung einer Effizienzsteigerung der Produktionsprozesse und verbesserter Nachweise zur Produktqualität zu erwarten. Darüber hinaus lässt die Lösung eine kontinuierliche Überwachung und Regelung der ansonsten verborgenen Prozesse innerhalb der Formwerkzeuge zu. Weiteres Innovationspotential ergibt sich aus der Zusammenschaltung mit anderen Automatisierungslösungen im Bereich der Herstellung von Produkten aus Faser-Kunststoff-Verbunden. Exemplarisch sei an dieser Stelle die automatisierte Ablage der technischen Textilien im Formwerkzeug genannt ([5], [9], [10], [11]). Es ist vorgesehen, die Kombination dieser beiden Ansätze in weiteren Forschungsarbeiten aufzugreifen. Hier sind in Bezug auf Qualität und Prozesszeit weitere Vorteile zu erwarten. Einer der Schwerpunkte soll dabei in einem kontinuierlichen Datenmanagement zur Qualitätssicherung und Nachverfolgbarkeit liegen. Eine konsequente Zusammenführung aller Produktdaten im Sinne eines *Product Lifecycle Management* (PLM) ist damit auch für Produkte aus Faser-Kunststoff-Verbunden möglich, in dem Produktdaten aus der Produktentstehungsphase verfügbar sind.

sion and curing was elaborated with the example of rotor blade manufacturing. Also, an innovative multi-component learning control system that is based on the results of the iReMo-project was introduced. It reveals so-far hidden processes within the moulding tools via a sophisticated sensor-network, meets all imposed requirements and will therewith considerably change and improve the moulding process of reinforced polymer composite materials. In an environment that has little contact with the automation technology today, these innovations already bear a great potential to increase efficiency and quality and reduce costs and lead times. Further benefits will result from the interconnection with other automation solutions for fibre-reinforced composites products, i.e., the automatic placement of fabrics in the mould and will be subject to future research activities ([5], [9], [10], [11]). An emphasis will be put on the continuous data management to assure quality and traceability. A consequent gathering and filing of all product data in terms of a Product Lifecycle Management (PLM) would be also possible for fibre-reinforced composites.

References / Quellen:

- [1] Hau, E.: *Windkraftanlagen - Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*. 4., vollständig neu bearbeitete Auflage. Berlin : Springer Verlag, 2008
- [2] Deutsches Windenergie Institut (Hrsg.): *Windenergie in Deutschland - Aufstellungszahlen für das Jahr 2009*. www.dewi.de (Zugriff 15.07.2010)
- [3] Seifert, H.: *Studie der Forschungs- und Koordinierungsstelle Windenergie (fk:wind)*. Bremerhaven, 2007
- [4] Flemming, M.; Ziegmann, G. & Roth, S.: *Faserverbundbauweisen - Fertigungsverfahren mit duroplastischer Matrix*. Berlin: Springer Verlag, 1999
- [5] Müller, D. H. ; Weigel, L.: *Gemeinsamer Technischer Abschlussbericht für das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderte Verbundprojekt „preblade“*. Bremer Institut für Konstruktionstechnik, Abeking & Rasmussen Rotec GmbH & Co. KG, 2008
- [6] iReMo (intelligent REactive polymer composites Moulding) www.iremo.eu (Zugriff 15.07.2010)
- [7] Schoonderbeek, A.: *Prozesskontrolle in der Produktion*, IPH - Institut für Integrierte Produktion, Hannover, 2007
- [8] Neitzel, M. ; Mitschang, P.: *Handbuch Verbundwerkstoffe - Werkstoff, Verarbeitung, Anwendung*. München -Wien: Carl Hanser Verlag, 2004
- [9] Müller, D. H.: *Technischer Abschlussbericht für das für das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) geförderte Verbundprojekt „PRO-CFK“*. Bremer Institut für Konstruktionstechnik, 2007
- [10] *Verbundprojekt „LAR – Large Area Robot“*. BMBF www.bik.uni-bremen.de/forsch01.php (Zugriff 15.07.2010)
- [11] *Verbundprojekt „CS-FAP – Composite Structure – Flexible Automated Production“*. WFB www.bik.uni-bremen.de/forsch01.php (Zugriff 15.07.2010)

**New seminar dates
see page 79 in this issue**



TRAINING COURSES

DEWI's world-wide expert seminars are an excellent opportunity for companies that are involved in wind energy business to have their newly hired staff trained. Background knowledge and long-term practical experience of DEWI experts help to understand the complex contexts of wind turbine and wind farm layouts. Much more than isolated facts.

As one of the leading international consultants in the field of wind energy, DEWI offers all kinds of wind energy related measurement services, energy analyses and studies, further education, technological, economical and political consultancy for industry, wind farm developers, banks, governments and public administrations. DEWI is accredited to EN ISO/IEC 17025 and MEASNET for certain measurements and is recognised as an independent institution in various measurement and expertise fields.

