

AERO

Rotorblattfertigung GmbH

Entwicklung und Errichtung
einer halbautomatischen Rotorblattfertigung für Windkraftanlagen
Zeitraum 93-99

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt
gefördert unter dem Az: 00470 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl. Ing. Klaus Schultes & Dipl. Ing. Johannes Kannenberg
& Dipl. Geol. Arthur Geiken

Aurich den 30.08.1999



ENERGIE FÜR DIE WELT

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	5
Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen	7
Zusammenfassung	8
Einleitung	9
Hauptteil	10
<u>Phase I</u>	10
Laminieranlage	10
Ziele	10
Aufgaben	10
Vorgehen	10
Rovingziehmaschine	14
Ziele	14
Aufgaben	14
Vorgehen	13
Harz und Härterversorgung	17
Ziele	17
Aufgaben	17
Vorgehen	17
Flanschbearbeitung	19
Ziele	19
Aufgaben	19
Vorgehen	19
Bearbeitungswerkzeuge	21
Zuschneideeinrichtungen für die Gewebbahnen	21
Herstellen von Gewebestreifen	21
Klebeflächenvorbereitung	21
Gratentfernung an den Klebekanten	21
Oberflächennacharbeit	22
Montage und Tempervorrichtungen für die E66	22
Druckluftversorgung	22
Vakuumanlage	22
Staubabsaugung	22
Sonstiges	23
Bereitstellung der Prozesswärme	23
<u>Phase II)</u>	25
1.) Ablegeeinrichtung für Gewebbahnen	25
<u>Teil 1: Transport und Zwischenlagerung</u>	25
Ziele	25
Aufgaben	25
Vorgehen	25
<u>Teil 2 : Teil- oder Vollautomatisierung des Einlegevorgangs</u>	26
2.) Automatisches Ablegen von Rovingsträngen	26
3.) Automatisierung der Flanschbearbeitung	26
4.) Neuerungen bei den Rotorblattstrukturen	27
5.) Rotorblattformen	28

Inhaltsverzeichnis

<u>Phase III)</u>	29
Verknüpfung von Laminier- und Einlegeanlage	29
Anlage zur Klebeflächenvorbereitung und definierten Auftrag des Klebematerials	29
<u>Phase IV</u>	30
Weitgehende Vermeidung und Rückgewinnung von Produktionsabfällen	30
Rückgewinnung von Reinigungs- und Lösungsmitteln	30
Fazit	31
<u>Literaturverzeichnis</u>	33
<u>Anhänge</u>	33

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

A)	Produktionszahlen, Materialverbrauch und Mitarbeiterzahlen 1993 – 1998	34
B)	Entwicklung der Abfallsituation bei der AERO Rotorblattfertigung GmbH	35
C)	Gewebetränkanlage	39
D)	1) Übersicht Fertigungshallen Stand Ende 95	41
	2) Übersicht über die Planungen 99	42
E)	Anlagenübersicht	
	1) Rovingziehmaschine	45
	2) Flanschbearbeitung	46
	3) Gewebettransfer	47
	4) Rovingtransfer	47
	5) Sandstrahlanlage	48
	6) Finishvorrichtung E66	49

Zusammenfassung

Im Rahmen des Aufbaus einer Fertigungsanlage für Rotorblätter für Windkraftanlagen in Faserverbundbauweise wurden Einrichtungen, Arbeitsverfahren und Bauweisen erprobt und eingesetzt mit dem Ziel den Kontakt der Mitarbeiter mit den chemischen Arbeitsstoffen und die Belastung der Umwelt mit Emissionen und Abfall zu reduzieren.

Diese Ziele konnten in dem Bereich „ Imprägnieren der Glasfasern “ durch den Einsatz einer Imprägnieranlage für flächige Gewebe und einer Tränk- und Ziehanlage für die UD-Glasfaserovingstränge erreicht werden. Für einige Bauteile mit großen Wandstärken wird inzwischen auch ein Vakuuminjektionsverfahren eingesetzt. Weitgehende Fortschritte wurden im Bereich der weiteren Bearbeitung der ausgehärteten Bauteile erzielt. Die Einführung weiterer Verbesserungen im Bereich der Handhabung der noch nicht gehärteten Halbzeuge (getränkte Glasgewebe bzw. Rovingstränge) steht noch aus. Die Einführung neuer Verfahren gestaltet sich in diesem Bereich schwieriger als ursprünglich angenommen. Zusätzliche Probleme entstehen sowohl durch Produktionsumstellungen auf andere - insbesondere größere – Rotorblatttypen als auch durch das extrem schnelle Wachstum der Windkraftbranche und dem dadurch bedingten hohen Produktionsdruck.

Das Vorhaben wurde unter AZ 00470 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Einleitung

Für die Herstellung von Rotorblättern wurde eine Fertigungsanlage konzipiert und in Betrieb genommen, welche die Vorzüge des konventionellen Handlaminates beibehält und sie mit den qualitativen Vorteilen der Prepregbauweisen verknüpft. Dabei konnte sowohl der direkte Kontakt der Mitarbeiter mit den Arbeitsstoffen, als auch die Belastung der Umwelt durch Produktionsabfälle deutlich reduziert werden.

Das Projekt wurde in vier Phasen aufgegliedert. Diese bauen zum Teil aufeinander auf, zum Teil laufen sie parallel zum gesamten Vorhaben.

In Phase I wurden die grundlegenden technischen Voraussetzungen für das gesamte Vorhaben geschaffen. Hierzu gehören:

- eine Imprägnieranlage für flächige Glasgewebe ✓
- eine Tränk- und Ziehanlage für Rovingstränge ✓
- eine zentrale Harz- und Härterversorgung ✓
- die Flanschbearbeitung des Rotorblattanschlusses ✓
- weitere Bearbeitungseinrichtungen, Formen und Trocknungsanlagen ✓

Die Ziele aus Phase I wurden weitgehend erreicht.

In Phase II lagen die Schwerpunkte bei

- der Weiterverarbeitung der noch nassen getränkten Gewebe bzw. Rovings ✓
- der Bearbeitung des Rotorblattanschlusses ✓
- Neuentwurf / Anpassung der Rotorblattstrukturen an die Produktionsweise. ✓

Die Arbeiten in diesem Bereich sind noch nicht abgeschlossen

In Phase III war vorgesehen

- die Verknüpfung von Phase I und II bezüglich der Handhabung der getränkten Gewebe ✓
- Maßnahmen zur Klebeflächenvorbereitung.

Die Arbeiten in diesem Bereich sind ebenfalls noch nicht abgeschlossen

Phase IV ist eine das ganze Projekt begleitende Maßnahme mit dem Ziel der Ressourcenschonung:

- speziell die Vermeidung von Produktionsabfällen und ✓
- die Rückgewinnung von Reinigungs- und Lösungsmitteln. ✓

Hier konnten wesentliche Fortschritte erzielt werden.

Hauptteil

Phase I)

1) Laminieranlage

Ziele

- a) Qualität sichern
- b) Belastung der Mitarbeiter reduzieren
- c) Produktivität erhöhen
- d) Rohstoffe einsparen

Aufgaben

- a) gleichmäßiger Harzauftrag
Mischverhältnis und Durchmischung der Komponenten reproduzierbar
- b) reduzierter direkter Umgang mit dem Laminierharz
kein Tränken der Lamine von Hand in den relativ schlecht zugänglichen Formen
(gebückte bzw. weit nach vorn übergebeugte Haltung)
- c) Trennen der Arbeitsschritte „Gewebe tränken“ und „Gewebe einlegen“
Zuschnitt der getränkten Gewebepahnen auf dem Laminiertisch, Markierung der
Zuschnitte mit der Laminiermaschine („Plotter“)
- d) nur unmittelbar benötigtes Harz vermischen (kein Mischen auf Vorrat)
definierte Abschnitte tränken
nicht benötigte Abschnitte von Harz freihalten

Vorgehen

Die üblichen Verfahren für das Tränken der Glasgewebepahnen mit Kunstharzen sind bisher:

- a) Manuelles Einlegen der einzelnen Bahnen in die Formen und anschließendes manuelles Tränken mit Kunstharz (mit Walzen oder Spachteln).
- b) Manuelles Tränken der (auf Tischen liegenden) Bahnen auf Folien und dann Einlegen dieser bereits getränkten Bahnen in die Formen.
- c) Maschinelles Tränken der Bahnen mit definiertem Harzauftrag, dabei wird das Harz auf eine Folie aufgebracht und dann das Glasgewebe in diesen Harzfilm hineingewalzt. Die weitere Verarbeitung erfolgt dann wie bei b).
- d) Maschinelles Tränken der Bahnen mit Tränkbädern; dabei wird das Glasgewebe durch ein Tränkebad geführt und anschließend zwischen Walzen hindurchgeführt um den Harzgehalt zu definieren. Die weitere Verarbeitung erfolgt dann wie bei b).

Die Nachteile dieser Verfahren sind bei:

- a) und b) läßt sich ein häufiger direkter Kontakt der Mitarbeiter mit dem Kunstharz nicht vermeiden, bei

- b) ist zusätzlich mit einem erheblichen Anfall von mit Harz benetzten Folien zu rechnen. Bei
- c) fallen ebenfalls Folien an. Außerdem war bei den bisherigen Maschinen nur das Tränken der vollen Bahnenbreite und Zuschnitt an der Form möglich. Bei
- d) befindet sich immer ein erheblicher Vorrat an bereits gemischtem Harz im Tränkbad und es können ebenfalls nur volle Bahnenbreiten verarbeitet werden. Der Harzgehalt und eine gleichmäßige Verteilung des Harzes ist bei einem manuellen Verfahren nur schwer reproduzierbar.

Daher wurden die Funktionsanforderungen an die Maschine definiert und die Maschine in Auftrag gegeben. Wesentliche Forderungen waren dabei:

- Ablegen des Gewebes auf einen Tisch (für den anschließenden Zuschnitt) ✓
- Tränken von Konturen (nur die benötigten Bereiche der Glasgewebebahnen tränken)
- Markieren der Zuschnitte
- Mehrlagiges Tränken durch Ablegen und Tränken mehrerer Bahnen in Folge ✓
- Mischen des Harzes erst unmittelbar beim Auftragen ✓
- Gewebe auf Länge abschneiden ✓

Bei Fertigungsbeginn stand dieser Prototyp noch nicht zur Verfügung. Um die Mitarbeiter von Beginn an auf die spätere Arbeitsweise zu trainieren, wurde daher das Gewebe konsequent nicht in den Formen sondern auf einem Tisch getränkt, zugeschnitten und anschließend zu den Formen transferiert.

Mit der Installation des Prototypen im Dezember 93 standen dann die Funktionen:

- Dosieren und Mischen des Harzes
- definierte Harzmengen verteilt auftragen
- Konturen tränken und markieren
- Gewebe quer abschneiden

zur Verfügung.

Damit waren die o.g. Aufgaben weitgehend erfüllt.

Im alltäglichen Einsatz zeigten sich jedoch anschließend einige Schwachpunkte im Konzept der Anlage:

- Der fahrbare Laminiertisch war zu unhandlich und nicht stabil genug, er wurde durch eine ortsfeste Ausführung ersetzt.
- Die Anlage konnte zunächst nur eine Geweberolle aufnehmen, der dadurch erforderliche häufige Wechsel der relativ schweren Rollen erwies sich als erhebliche Belastung der Mitarbeiter. Es wurden daher folgende Erweiterungen zur besseren Ergonomie des Arbeitsplatzes durchgeführt:

- a) Installation eines Mehrfachgewebebehalters, damit können auf der Maschine bis zu 4 Geweberollen gleichzeitig verbleiben, und
 - b) Installation eines Hebezeuges zum Wechsel der Rollen.
- Nachgerüstet wurde auch noch ein Halter für die Folienrolle, die anfangs von Hand ausgelegt werden mußte.

An der Maschine selbst zeigten sich folgende Schwachpunkte:

- Fehlfunktion des Mischerantriebs: Verbesserungen am Antrieb und Überwachung des Mischerantriebs
- Fehlfunktion der Volumenzähler durch Verschmutzung: Lösung durch zusätzliche Siebe und später Änderung der Entnahmestelle im Zwischentank der Maschine (Schmutzpartikel können sich im Tank absetzen ohne in die Pumpe zu gelangen)
- Das Plotsystem war zu anfällig, der Plottstift blieb an der Tischkante bzw. der Folie hängen und wurde beschädigt.
- Der Schwenkantrieb des Mischkopfs mußte verstärkt werden
- Die Standzeit der Gewebeabschneideeinrichtung reicht nicht aus
- Es gab Kühlprobleme der Steuerungselektronik
- Die Bedienung (Software) ist zum Teil sehr umständlich.

Durch diese Probleme kam es zu häufigen Ausfällen dieser Prototypenmaschine und in der Folge zu erheblichen Produktionsstörungen.

Mit zunehmendem Produktionsvolumen erwies sich auch der Transfer der getränkten Bahnen (mäanderförmig an einem fahrbaren Rahmen aufgehängt) als zu umständlich und wurde durch Aufrollen der getränkten und zugeschnittenen Bahnen und Abrollen in die Formen ersetzt.

Im September 94 wurde entschieden, eine zweite verbesserte Version der Laminiermaschine in Auftrag zu geben, um die wesentlichen Schwachpunkte des Prototypen zu beseitigen und die Leistung zu erhöhen.

Die Installation dieser Anlage erfolgte im April 95 .

Auch bei dieser verbesserten und robusteren Ausführung traten gelegentlich Störungen in der Dosierung (Volumenzähler) und dem Plotsystem (trocknet zu schnell ein) auf. Die Dosierprobleme sind derzeit durch Umstellung auf andere Volumenzähler und durch den Einbau einer neuen Pumpengeneration gelöst. Für das Plotsystem steht eine vernünftige Lösung noch aus. Bei hohen Umgebungstemperaturen traten noch Kühlprobleme auf, die durch zusätzliche Kühlluft und Verbesserungen der Kühlluftführungen beseitigt wurden.

Bei der Prototypenanlage sind die Elektronikteile noch enger gesetzt. Deshalb wurde zusätzlich ein Klimagerät installiert. Ein Problem bei beiden Maschinen war das Tränken von relativ kurzen Zuschnitten, da durch das Stoppen, Abschneiden und Wiederanfahen die Tränkleistungen erheblich nachlassen. Hierzu wurde eine Lösung gefunden, bei der die Maschine nur die Aufgabe „Tränken“ ausführt. Das Ge-

webe wird vorher zugeschnitten und unabhängig von der Tränkeinrichtung in den Harzfilm eingelegt.

Weiter wurden folgende Entwicklungen und Maßnahmen durchgeführt:

- Ein Verfahren zum parallelen Tränken von mehreren schmalen Streifen in einem Arbeitsgang
- Die Wiederinbetriebnahme des Prototypen nach Umbau auf den technischen Stand der 2. Maschine
- Softwareänderungen zur Vereinfachung der Bedienungsabläufe und zur Erhöhung des Harzausstoßes bei dem Prototypen,
- Softwareänderung zur Verbesserung der Dosierkontrolle.

- Umfang i.O.

→ Elektrische Defekte nur eine einseitige
Messung durchführen (2 Varianten!)

2) Rovingziehmaschine:

Ziele

- a) Qualität sichern
- b) Belastung der Mitarbeiter reduzieren
- c) Produktivität erhöhen
- d) Rohstoffe einsparen

Aufgaben

- a) gleichmäßiger Harzgehalt
geringe mechanische Belastung der Einzelstränge beim Ziehen
- b) Kein Einlegen der einzelnen Rovingstränge von Hand in die relativ schlecht zugänglichen Formen (gebückte bzw. weit nach vorne übergebeugte Haltung)
- c) Paralleles Arbeiten am Rovinggurt und an den Schalen
- d) Es wird nur unmittelbar benötigtes Harz vermischt (kein Mischen auf Vorrat), die Rovingspulen werden ohne Reststücke endlos aneinandergespleißt

Vorgehen

Übliche Verfahren zum Rovingtränken und -ziehen sind:

- 1) zunächst den Roving mit Überschuß an Harz tränken, dann den Harzgehalt grob über eine Walkstrecke einstellen und anschließend über eine Düse den restlichen Harzüberschuß beseitigen und den Rovingstrang kalibrieren.
- 2) Die Rovings durch ein senkrechtes Harzbad mit Düse im Boden ziehen und anschließend umlenken; hierbei übernimmt die Düse vollständig die Funktionen Harzgehalt einstellen und Kalibrieren.
- 3) den Roving mit definierter Harzmenge tränken und anschließend über eine Düse den Rovingstrang kalibrieren

Nachteile dieser Verfahren sind:

- 1) In das abgestreifte Harz wird in der Walkstrecke relativ viel Luft eingearbeitet, dieses Harz fließt in die Tränkstrecke zurück und führt dort zu einer Schaumbildung. Der kalibrierte Roving weist ebenfalls relativ viele Lufteinschlüsse auf.
- 2) Der Rovingstrang wird nach der Kalibrierung durch die Umlenkung noch einmal durchgewalkt und die Fasern gegeneinander verschoben. Dies kann insbesondere bei großen Ziehquerschnitten zu Qualitätseinbußen führen.
- 3) Das Verfahren ist problematisch bei größeren Querschnitten und birgt ebenfalls die Gefahr von Lufteinschlüssen im Rovingstrang bei der Zusammenführung der Einzelrovings in der Düse.

Es wurde daher ein Verfahren entwickelt, bei dem die Rovings senkrecht von oben in ein Harzbad einlaufen. Im Harzbad werden die Einzelrovings leicht durchgewalkt

dann etwas flachgedrückt und abgestreift. Anschließend werden sie einzeln in die Horizontale umgelenkt und im noch Harzbad zur Düse geführt. In der Düse werden die Einzelrovings zu einem Strang zusammengeführt, der Harzgehalt definiert und der Strang kalibriert.

Die Harzzufuhr erfolgt dabei von unten im Gegenstrom zur Ziehrichtung der Rovings. Bei geeigneter Einstellung kann man damit erreichen, daß durch die o.g. Abstreifzone kein oder nur wenig Harz- Luftgemisch in Richtung Düse verschleppt wird. Im Bad selber befindet sich jeweils nur eine geringe Harzmenge. Frisches Harz wird über eine Niveauregulierung jeweils nachgefördert.

Eine Versuchsanlage wurde vor Produktionsbeginn hergestellt und erprobt.

Bei Produktionsbeginn stand auf dieser Basis eine Tränkanlage für 30 Einzelrovings zur Verfügung.

Diese Anlage wurde zusammen mit einer mobilen Zieheinrichtung und einem ebenfalls mobilen Rovingmagazin an der jeweils zu beschickenden Form angebaut und die Rovingstränge nach dem Ziehen direkt in die Form abgelegt. Da bei diesem Arbeitsgang die Arbeitsbelastung der Mitarbeiter durch die nach vorne übergebeugte Haltung an der Form relativ hoch ist und die Zeit zum Ziehen der Stränge einen relativ hohen Anteil an der Gesamtbelegungszeit der Formen in Anspruch nahm, wurde nach Lösungen gesucht, dies zu ändern.

In einem ersten Ansatz wurden die Gurte als vorgehärtete Halbzeuge in separaten Gurtformen vorgefertigt und dann jeweils als ein Stück in die nasse Schale eingelegt. Hierzu wurden die Gurtformen erstellt und die Rovingziehanlage stationär aufgebaut. Ein Nachteil dieses Verfahrens waren die großen Kontaktflächen zwischen dem bereits harten Gurt und dem dünnen Schalenlaminat. Diese Flächen waren nur mit großem Aufwand halbwegs lunkerfrei herzustellen und es waren häufig Nacharbeiten erforderlich.

In einem zweiten Schritt wurden daher die Vorteile des nassen Einlegens mit der separaten Vorfertigung verbunden. Hierzu wird der Gurt auf einem als Rutsche ausgebildeten Tisch zunächst vollständig assembliert und dann zusammen mit dieser Rutsche zur Form gebracht. Dort wird ein Ende des Gurtes an der Form fixiert und die Rutsche unter dem nassen Gurt längs herausgezogen, so daß der Gurt in der Form zu liegen kommt.

Eine weitere Variante zu diesem Verfahren wurde für größere Gurtgewichte (E66) entwickelt. Dabei wird der Gurt mit einer langen Traverse von dem Assembliertisch abgehoben und in die Form abgelegt. Hiermit ist eine bessere Positioniergenauigkeit gewährleistet. Erprobt wurde diese Variante bisher bei Gurtlängen bis 33 m und Gewichten bis über 500 kg.

Mit Produktionsbeginn der E66 im Herbst 95 wurde eine zweite Maschine nach dem gleichen Funktionsprinzip aufgebaut. Verbesserungen wurden insbesondere im Bereich der Rovingführungen bis zum Tränkbad vorgenommen.

Die größeren Rotorblätter erforderten nach und nach auch schnellere Produktionsverfahren. Hier wurde eine Kapazitätserhöhung durch gleichzeitiges Ziehen einer

erhöhten Anzahl von Rovings erreicht. Vorversuche wurden erfolgreich abgeschlossen. Inzwischen wurden mehrere Roving Zieh- und Tränkanlagen mit doppelter Kapazität ausgerüstet und werden seither erfolgreich betrieben.

In der Vorbereitung sind folgende Arbeiten:

- Eine pneumatische Abschneidevorrichtung zum Ablängen der Rovingstränge (bisher erfolgt dies von Hand). Eine Versuchseinrichtung hierzu wurde gebaut; es fehlen aber noch Erfahrungen zur Standzeit des Messers
Ev. s.
- Die direkte Harzversorgung aus einer Misch- und Dosieranlage (der Zwischenbehälter für vorgemischtes Harz kann dann reduziert werden bzw. ganz entfallen).
→ Au
- Untersuchungen zur Automatisierung des Ziehvorgangs, dabei soll der Ziehvorgang über zwei alternierend arbeitende Greifer kontinuierlich gestaltet werden, die Konstruktion hierzu ist ausgeführt. Da ein Kernpunkt dieser Anlage jedoch ebenfalls das automatische Abschneiden ist, wurde die Realisierung zurückgestellt bis hier ausreichende Erfahrungen vorliegen.
*2. Teil
aufsetzt
s. 54 Au*

Umfang u. volla. abstrakt s.o.!

*↳ Problem: schnelle Freitaktung ab. Bauteile →
Bauteilgröße → stellt sich neue
Anforderungen an die Vgf.-Technik.*

3) Harz und Härterversorgung

Ziele

- a) Qualität sichern
- b) Belastung der Mitarbeiter reduzieren
- c) Produktivität erhöhen
- d) Rohstoffe einsparen

Aufgaben

- a) Die vollständige Durchmischung der Harz- und Härterkomponenten in richtiger Dosierung.
- b) Das Beimischen von Zusatzstoffen in richtiger Dosierung.
- c) Die Bereitstellung von Harz und Härter mit der richtigen Temperatur.
- d) Die Vermeidung des direkten Kontaktes der Mitarbeiter mit den ungemischten oder gemischten Harz- und Härterkomponenten.
- e) Die Vermeidung des manuellen Transportieren / Dosieren oder Vermischen der Komponenten.
- f) Das direkte zur Verfügung stellen der vermischten Komponenten für die Produktion
- g) Die Entnahme bzw. das Vermischen nur unmittelbar benötigter.

Vorgehen

Bei Produktionsbeginn wurde das Harz unmittelbar von den Entnahmehähnen der Harz- und Härtercontainer entnommen, abgewogen und dann vermischt.

Ein Versuch mit Entnahmepumpen direkt aus den Containern zu einer einfachen Misch- und Dosieranlage zu fördern scheiterte aus zwei Gründen:

- 1.) Für die Entnahmepumpen war die Viskosität des anfangs eingesetzten Harzes zu hoch.
- 2.) Die eingesetzte Dosieranlage war zu ungenau.

Mitte 94 wurde die zentrale Harz- und Härterversorgung mit Entnahmestationen an der Laminieranlage und im Harzmischraum installiert. Diese Versorgungsanlage verfügt über beheizte Zwischentanks und über ein Zirkulationssystem.

Ebenfalls in Mitte 94 wurde eine leistungsfähige Misch- und Dosieranlage für das Tränkharz der Rovingziehanlage und das Klebeharz installiert (Füllstoffe mußten jedoch noch nachträglich eingemischt werden)

Anschließend wurden die Zapfstellen für Reinharz bzw. Härter im Harzmischraum umgebaut und für die direkte und automatisierte Versorgung der Misch- und Dosieranlage eingesetzt. Diese Anlage wurde hierzu mit Füllstandssensoren und einer elektronischen Auswerteeinrichtung ausgerüstet. Im „Harzmischraum“ steht damit direkt das bereits gemischte Harz aus der Misch- und Dosieranlage zur Verfügung.

Im Verlauf der Entwicklungen wurde eine weitere Misch und Dosieranlage für die Produktion der E66 Rotorblätter bereitgestellt. Die bei der ersten Misch- und Dosieranlage gesammelten Erfahrungen wurden hier voll angewandt. Die Anlage wurde sofort mit einer automatischen Nachfülleinrichtung ausgerüstet. Eine Fehlbedienung wird hiermit nahezu ausgeschlossen. Die Nachfüllung der Anlagen erfolgt heute mittels Faßpumpen direkt aus dem Anliefergebinde. Hier wurde die Version mit einem Zwischentank beibehalten. Die Anordnung der Zwischentanks ermöglicht eine vollständige Entleerung der Anliefergebinde. Bei den Anliefergebänden handelt es sich um 1000 l Container. Diese Gebinde werden in der Regel direkt beim Lieferanten nach einer Kontrolle ohne umweltbelastende Zwischenreinigung wieder erneut befüllt.

Zusätzlich wurde aufgrund gesteigerten Harzverarbeitungsmengen zur Erweiterung der Lagerkapazität und zur besseren Kontrolle der Temperatur von Harz und Härter (Viskosität) ein beheizbares Lagerregal aufgebaut.

Aufgrund weiter steigendem Produktionsvolumens wird jetzt eine Versorgung über Großgebinde mit 8000 l Inhalt installiert. Hierbei handelt es sich um Wechselbrücken, die direkt vom Hersteller befüllt und angeliefert werden.

Kleinmengen von Harz, insbesondere mit Härtern kurzer Topfzeit, wurden über Handdosierpumpen aus Fässern entnommen (Abwiegen der Komponenten entfällt damit).

Später wurde eine Misch- und Dosieranlage für mehrere Komponenten installiert. Damit werden jetzt auch die Harze mit höheren Reaktivitäten direkt vermischt zur Verfügung gestellt.

Eine Rühranlage zum Vermischen der Füllstoffe in das Klebharz wurde angeschafft. Versuche zum gezielten Dosieren der Füllstoffe in das Klebharz während des Mischvorgangs führten nicht zum gewünschten Erfolg, die Füllstoffe wurden daher separat dosiert und beim Mischen von Hand zugegeben. Die hierbei unvermeidliche Staubentwicklung wurde durch lokale Absaugung begrenzt.

Seit 1995 wird an einem System fertiger Klebepaste gearbeitet. Hier sind die Harz- und Härterkomponenten schon mit dem Füllstoff eingestellt. Zunächst entsprachen weder die Maschine noch das entwickelte Material den Anforderungen. In Zusammenarbeit mit dem Maschinenhersteller und dem Materialhersteller gelang es, die Maschine und das Material produktionsstauglich zu entwickeln. Heute wird ein fertig eingestelltes System verwendet. Letzte feine Einstellarbeiten an der Klebepaste werden produktionsbegleitend noch durchgeführt.

Da hierdurch das Einrühren der Füllstoffe in das Laminierharz und die damit verbundene Staubentwicklung entfällt, werden hier die Mitarbeiter entscheidend entlastet. Das Einbringen der Füllstoffe beim Lieferanten erfolgt unter vollständig vakuumdichten Abschluß. Die Problematik wurde also nicht verlagert, sondern gelöst.

*Umfang erfüllt!
Wolfgang*

4) Flanschbearbeitung

Ziele

- a) Qualität sichern
- b) Belastung der Mitarbeiter reduzieren
- c) Produktivität erhöhen
- d) Rohstoffe einsparen

Aufgaben

- a) Planes Absägen des Blattes und Erstellung der Quer- und Längslöcher für den Blattanschluß innerhalb der vorgegebenen Toleranzen. Vermeiden von Übertemperaturen und Reduzierung der Schnittkräfte bei der Bearbeitung durch schleifende Verfahren mit Diamantwerkzeugen
- b) Vermeidung von Staubbelastung der Mitarbeiter durch nasses Bearbeiten mit Wasser (keine speziellen Kühl/ Schmierstoffe erforderlich)
- c) Zügiges Bearbeiten durch automatische Vorschübe
Reduzierung von Rüstzeiten durch einmaliges Ausrichten des Blattes und anschließende möglichst komplette Bearbeitung
- d) Reduzierung des Werkzeugverschleißes durch nasses Schneiden mit Diamantwerkzeugen und kontrollierte Vorschübe beim Bohren

Vorgehen

Eine Bearbeitungseinheit mit pneumatisch betätigten Bohrvorschüben und Antrieb über flexible Welle wurde bei Produktionsbeginn installiert. Der Vorschub der Sägeeinheit erfolgt dabei von Hand, die einzelnen Bohrpositionen werden ebenfalls von Hand angefahren und die Maschine dann über Teilscheibe und Indexbolzen fixiert.

Das Rotorblatt wird dabei in Haltevorrichtungen ausgerichtet und fixiert.

Die Säge- und Bohrarbeiten erfolgen mit Diamantwerkzeugen. Wasser wird als Kühl- und Schmiermittel eingesetzt. Die Aufbereitung dieses Wassers erfolgt über eine Filteranlage in der Naßschleifzone.

Verbesserungen wurden an dieser Anlage im Bereich der manuellen Ausrichtung (großes Handrad) und der Vorrichtungen für die Rotorblattausrichtung und Fixierung vorgenommen.

Beim Blattanschluß E66 wird der Anschlußbereich abweichend von den kleineren Anlagen vorgefertigt und die fertigen Einzelteile werden mit den Flügelschalen verklebt. **Zum Bearbeiten dieser Teile wurde eine kompakte Einheit erstellt, die sich an den Laminiervorrichtungen dieser Anschlußringe abstützt.**

In einer zwischenzeitlich neu errichteten Fertigungsstätte für E66 Rotorblätter in Magdeburg wurde das Bearbeiten der Anschlußringe auf eine **CNC Maschine verlegt**. Die Anschlußringe werden dort halbautomatisch bearbeitet.

Weitergehend wurde im Werk in Aurich eine Maschine entwickelt, welche die Anschlußringe der E40 weitgehend automatisch bearbeitet. Diese Maschine ist allerdings aufgrund des Blatttypes – die E40 Rotorblätter werden in Dessau, Brasilien und Indien gefertigt - nicht in Aurich im Einsatz.

Für die Blatttypen E66 und E58 sind identische Verfahren in Entwicklung .

- erfüllt -

→ je nach ^{Rechn.} Typ unterschiedliche Lösungen
u. unterschiedliche Gewebe. Koffern!

5) **Bearbeitungswerkzeuge**

Zuschneideeinrichtungen für die Gewebbahnen

Anfangs wurden Versuche mit motorisch angetriebenen Schneidwerkzeugen ausgeführt. Der Reinigungs- und Instandhaltungsaufwand war beim Einsatz für getränkte Laminat jedoch unverhältnismäßig hoch. Da gegenüber der ursprünglichen Planung der Fertigungsschwerpunkt von Produktionsbeginn an bereits bei relativ großen Rotorblättern (E40) lag und dadurch das Verhältnis Oberfläche zu Rändern wesentlich günstiger ist (wenig Schneidaufwand) wurden über die o.g. Schneidwerkzeuge hinaus eine separate Zuschneideanlage bisher nicht angeschafft.

Herstellen von Gewebestreifen

Als sinnvoll zur Ressourcenschonung und als Zuschnittoptimierung von Geweben und Gelegen ergab sich eine Zuschnitteinrichtung für ganze Geweberollen. Eine Schneideeinrichtung zum Herstellen von Streifen konstanter Breite durch das Querteilen kompletter Geweberollen wurde im April 96 beschafft. Nach Problemen mit der Standzeit der Schneidmesser wurde jedoch schon bald nach Alternativen gesucht. Die erste Anlage wurde nach umfangreichen Vorversuchen im Juli 97 durch eine verbesserte Anlage, die nach dem Prinzip einer Bandsäge arbeitet, ersetzt.

In dem neu errichteten Rotorblattwerk in Magdeburg wurde eine Zuschnittabteilung für trockenes Gewebe eingerichtet. Hier werden sowohl Streifen als auch spezielle Zuschnitte vorgefertigt. Dadurch kann der Ausnutzungsgrad des Gewebes bis auf 95 % erhöht werden.

Klebeflächenvorbereitung

Durch konstruktive und fertigungstechnische Maßnahmen - geeignete Gestaltung der zu verklebende Bereiche - konnte eine Nachbearbeitung dieser Bereiche zur Klebevorbereitung weitgehend vermieden werden. Für das Vorbereiten der Klebeflächen wird auf den Bauteilen ein sogenanntes Abreißgewebe verwendet. Damit werden die Klebeflächen problemlos vorbereitet. Die Mitarbeiter werden nicht durch das Anschleifen der Klebeflächen belastet. Metalloberflächen werden in geschlossenen Kammersandstrahlanlagen sandgestrahlt. Die Belastung der Umwelt und der Mitarbeiter durch diese Anlagen ist minimal.

Gratentfernung an den Klebekanten

Es wurde ein Fräswerkzeug für die Bearbeitung des Übergangs zwischen der GFK-Schale und dem Endkanten-Blitzschutz entwickelt. Hiermit wird die Endkante in diesem Bereich besäumt und eine Nut bzw. Absatz erstellt. Für das Besäumen der übrigen Klebenähte wurden Versuche durchgeführt. Es wurde jedoch noch keine akzeptable Lösung gefunden. Ein Grund hierfür liegt insbesondere in der Verwendung von Metalldrähten die durch die Trennähte verlaufen, um die Klebewinkel gegen die Schalen zu pressen.

Oberflächennacharbeit

Anfangs wurden Versuche durchgeführt, die Oberflächen naß zu bearbeiten. Da die trockene Bearbeitung allerdings wesentlich angenehmer und effektiver auszuführen war, wurden - entgegen der ursprünglichen Planung, in diesem Bereich naß zu arbeiten - Bearbeitungsgeräte mit integrierter Staubabsaugung eingesetzt.

Für das Handling der Rotorblätter bei den Finisharbeiten wurden Aufnahmen entwickelt, bei denen das Rotorblatt am Flansch aufgenommen wird und zur Bearbeitung in jede beliebige Lage um seine Längsachse gedreht werden kann.

Für den Blatttyp E66 wurden Drehvorrichtungen entwickelt und gebaut in denen die Rotorblätter bei den Oberflächenarbeiten in die jeweils optimale Arbeitsposition gedreht werden können. Auf Grund der mehrteiligen Bauweise dieser Vorrichtungen können die jeweils nicht belasteten Teile zur besseren Zugänglichkeit des Blattes demontiert werden.

Aufgrund von Bearbeitungsnighteilen dieser Vorrichtung wurde aber für das neue Werk in Magdeburg das vorherige Prinzip wieder aufgenommen. Die vorher im Finish eingesetzte Drehvorrichtung wurde modifiziert und wird jetzt in der Montage eingesetzt.

Montage und Tempervorrichtungen für die E66

Aufgrund der aufgelösten Bauweise werden die Einzelteile der E66 in mehreren aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten zusammengefügt. Hierfür wurden Montagevorrichtungen und kompakte Heizanlagen für die Nachttemperung entworfen und erstellt.

Druckluftversorgung

Eine Druckluftversorgung mit ölfreier und trockener Druckluft wird eingesetzt.

Vakuumanlage

Für das Aufbringen des Vakuums auf die Formen wurden zunächst mobile Vakuumpumpen eingesetzt.

Für Teile der Produktion, an denen die Formen nicht bewegt werden oder die Vakuumanlage nahezu immer an den gleichen Positionen benötigt wird, wurde diese Einrichtungen stationär aufgebaut.

Staubabsaugung

Der bei der Bearbeitung anfallende Staub wurde zunächst mit leistungsfähigen mobilen Industriebesaugern abgesaugt. Mit zunehmendem Produktionsvolumen wurden diese Absaugeräte ortsfest eingesetzt und die einzelnen Arbeitsplätze über ein Rohrsystem angeschlossen.

Später wurden die vorhandenen Absauganlagen aus den Produktionshallen heraus verlegt und in einem separaten Container zentralisiert. Die einzelnen Arbeitsplätze sind über ein Rohrsystem und kurze Schläuche zu den Maschinen angeschlossen. Mit dieser Maßnahme konnte der Geräuschpegel in den Hallen gesenkt und die Belüftung verbessert werden (da die gefilterte Abluft der Absaugungen nun nicht mehr in die Halle erfolgt wird der Frischluftnachfluß erhöht).

In dem neu in Magdeburg errichteten Werk wurde eine verbesserte Version dieser Anlage eingesetzt. Hierdurch wurde eine Absaugung des anfallenden Staubes bis zu 90% erreicht. Zusätzlich wurde eine Kabine eingerichtet, in der alle Teile besäumt werden. Die Kabine ist komplett mit einer Strömung beaufschlagt. Dadurch wird der anfallende Staub sofort vom Mitarbeiter weggesaugt. Zusätzlich wird an den Handgeräten lokal abgesaugt. Hiermit konnte der Staubanfall weiter bis auf ein Minimum reduziert werden. Die Belastungen der Mitarbeiter durch Staub konnte erheblich reduziert werden. Im Werk Aurich sind zur Zeit weitläufige Umbaumaßnahmen im Gange. Dadurch können die im neuen Werk Magdeburg gesetzten Standards im Werk in Aurich umgesetzt werden und nochmals mit den jetzt in Magdeburg gesammelten Erfahrungen verbessert werden.

Sonstiges

Für das Aufbringen der Oberflächenschichten (Witterungsschutz der Bauteile) wurden Zweikomponenten Airless Spritzanlagen beschafft. In der Anfangszeit traten bei einigen dieser Anlagen große Probleme mit den Dichtungen der Dosierpumpen bzw. Ventile auf. Ursache hierfür waren zum einen Teil die eingesetzten Härter, zum anderen Teil der hohe Füllstoffanteil der Harzkomponenten.

Da die Oberflächentechnik einem starken Wandel unterliegt liegt hier ein großes Potential in Richtung Umwelt- und Arbeiterschutz. Das zunächst eingesetzte Material wurde nach Verarbeitbarkeit ausgewählt, nach und nach aber konsequent weiterentwickelt. Heute ist ein lösemittelfreies System im Einsatz, welches gleichzeitig den hohen Ansprüchen des Bauteils genügt. Das Material wird zudem gerollt statt gespritzt. Eine Belastung des Personals durch Spritznebel ist daher nicht gegeben.

Die benutzten Systeme sind nach heutigem Stand

- a) für die Mitarbeiter stark entlastend und
- b) für die Umwelt sehr günstig.

Bereitstellung der Prozesswärme

Das Aushärten und Tempern der Bauteile erfolgte bei Produktionsstart in einer beheizten Kabine (Trocknungsöfen). Mit zunehmendem Produktionsvolumen wurde diese Kabine zunächst durch eine einfache Kapselung und direkte Umluftbeheizung der Formen bzw. gezielte Beheizung der nachträglich

auszuhärtenden Bereiche ergänzt. Die Umluftbeheizung wurde anschließend noch durch eine direkte Warmwasserheizung der Aluminumformen ersetzt. Diese Beheizung weist von der Temperaturkontrolle und -verteilung sowie vom Energieverbrauch deutliche Vorzüge auf.

Zur Reduzierung des Energieverbrauchs bei der Aushärtung der E66 Schalen wurde die bei der E40, E26 und E30 erprobte Warmwasserbeheizung angebracht. Im Unterschied zu diesen Anlagen wird bei der E66 das benötigte Warmwasser nicht über separate (elektrische) Beheizung erzeugt, sondern direkt der Gebäudeheizung über einen zusätzlichen Wärmetauscher entnommen.

Auch in diesem Falle wurden die gesammelten Erfahrungen direkt in das in Magdeburg errichtete Werk übertragen. Hier wurden die Formen von Anfang an konsequent mit Warmwasserheizung ausgerüstet. Über eine zentrale Heizungsanlage wird die Prozesswärme komplett bereitgestellt. Für die Produktion der Prozesswärme wird derzeit Erdgas benutzt.

- erfüllt -

Zur. Flycatcher Druckluft

→ auch von: Erfahrung → E66 übertragen
(Magdeburg!)

Phase II)

1) Ablegeeinrichtung für Gewebbahnen

Teil 1: Transport und Zwischenlagerung

Ziele

- a) Qualität sichern
- b) Belastung der Mitarbeiter reduzieren
- c) Produktivität erhöhen

Aufgaben

- a) Ablegen der Gewebbahnen ohne zusätzliche mechanische Belastung (Verzug, Faltenbildung etc.)
- b) Vermeiden von Lufteinschlüssen unter den Bahnen
- c) direkten Kontakt mit den harzgetränkten Bahnen soweit möglich reduzieren
- d) schnelles Einlegen der bereits vorher zugeschnittenen Bahnen in die Formen

Vorgehen

Bereits bei Produktionsbeginn wurde eine **manuell bediente Transfereinrichtung** in Betrieb genommen. Hierzu wurden die getränkten Bahnen mit Querstangen, die zwischen Bahn und Tisch nach dem Tränken von der Seite eingeschoben wurden, zusammen mit der darunterliegenden Folie aufgenommen und mäanderförmig an ein fahrbarer Gestell gehängt. Dieses Verfahren erlaubte die Aufnahme relativ schwerer Bahnen mit nur geringen manuellem Kraftaufwand. **Das Gesamtgewicht einer Bahn beträgt bis zu 60 kg.** Durch das Verfahren wurde jedoch jeweils immer nur ein kleiner Teil der Bahn aufgenommen. Der Vorzug gegenüber einem flachen Aufnehmen von Hand ist, daß die Bahnen von dem Gestell so abgezogen werden, so daß die vorher unten liegende Seite (mit Folie) anschließend oben liegt. Das Positionieren und Anwalzen erfolgt zunächst zusammen mit der Folie. Die Folie wird im folgenden erst vor dem Aufbringen der nächsten Lage entfernt.

Mit zunehmendem Produktionsvolumen erwies sich jedoch diese Art von Transfer als ungünstig, für das Transfergestell mußte um die Formen viel Platz freigehalten werden. Dieser stand aber bei der Ausweitung der Produktion - mehrere Formen für insbesondere auch größere Rotorblätter - nicht mehr zur Verfügung. Es wurden daher erfolgreich **Versuche mit dem Aufrollen der Bahnen mit und ohne die Trägerfolie auf eine leichte Kunststofftrommel ausgeführt.** Die Trommel wird dann anschließend entweder mit einem fahrbaren Portalgestell oder dem Hallenkran über den Formen geführt und wieder abgerollt.

Diese Rollen erleichtern auch die Zwischenlagerung bereits getränkter Bahnen vor dem Einlegen in die Formen. Zusätzlich reduziert diese Methode die offen liegenden, mit Harz benetzte Oberflächen. Nachteilig ist, daß die max. mögliche Zwischenlagerzeit durch die kompakte Lagerform reduziert wird. Das ist dadurch be-

dingt, daß durch hohe Materialansammlungen die Reaktion des Harzes beschleunigt wird.

Teil 2 : Teil- oder Vollautomatisierung des Einlegevorgangs

Die Teil- oder Vollautomatisierung des Einlegevorgangs wurde bisher noch nicht in Angriff genommen. Aufgrund wechselnder und immer größer werdenden Rotorblatttypen muß unverhältnismäßig große Hallenfläche von einer solchen Einrichtung erfaßt werden. Andere Arbeitsvorgänge würden dadurch stark behindert werden. Hier sind noch erhebliche konzeptionelle Vorarbeiten zur sinnvollen Integration einer solchen Anlage in den Fertigungsprozeß erforderlich.

2.) Automatisches Ablegen von Rovingsträngen

Da das automatische Ziehen und Ablängen der Rovings noch nicht durchgeführt wird und damit die Grundlagen für eine weitere Automatisierung fehlen, ist auch das automatische Ablegen noch nicht über Prinzipskizzen und Vorüberlegungen hinaus untersucht worden.

technisch erfüllt
Problem → wahlweise Roboterarme

nicht erfüllt!

3.) Automatisierung der Flanschbearbeitung

Eine volle Automatisierung der Flanschbearbeitung war bisher bei den Rotorblättern bis zur E40 (ca. 900mm Flanschdurchmesser) nicht sinnvoll, da der Aufwand für Sägen und Bohren im Vergleich zum Gesamtaufwand mit Transport /Fixieren und Ausrichten in der Vorrichtung relativ gering war.

Bei den Anschlußringen der E66 mit je 60 Längs- und Querbohrungen stellte sich diese Frage jedoch neu. Das angewandte Verfahren blockierte die Laminierformen der Flasche zu lange. Die Formen wurden auch als Basis für die Bohrvorrichtungen benutzt. Zusätzlich mußte das erhebliche Gewicht der Formen zwischen den Hallen hin und her transportiert werden. Zur Vermeidung dieser Nachteile wurde 1998 zunächst eine Maschine entwickelt, die ein Teil der Bearbeitung - die Längsbohrungen und das Besäumen der Stirnflächen - übernimmt. Dadurch wurden die Laminiervorrichtungen deutlich entlastet. Weitere Schritte wurden angedacht und inzwischen auch verwirklicht. Hierbei werden die Anschlußringe jeweils einmal positioniert, eine Anlage sägt und bohrt dann automatisch.

In der Fertigungsstätte für E66 Rotorblätter in Magdeburg wurde das Bearbeiten der Anschlußringe auf eine CNC Maschine verlegt. Die Anschlußringe werden dort halbautomatisch bearbeitet.

Für den Rotorblatttyp (E40) einer 600 KW Windkraftanlage wurde bei der Rotorblattfertigung in Aurich eine Maschine entwickelt, die die Anschlußringe weitestgehend automatisch bearbeitet. Diese Maschine ist in Dessau, in Indien und in Brasilien im Einsatz. In Aurich werden vor allem E66 Rotorblätter und Rotorblätter für Prototypen von Windkraftanlagen gefertigt.

~~Automatisch~~ erfüllt!

4.) Neuerungen bei den Rotorblattstrukturen

Die Entwicklung zu mehr differenzierter Fertigung und Auflösung der komplexen Bauteile in einzelne Baugruppen läßt sich an der Entwicklung Rotorblatttypen E40, E26, E30, E66/70 und E58 nachvollziehen. Hierbei wurden neue Verfahren und Erkenntnisse soweit wie möglich auch jeweils in die älteren Entwürfe nachträglich integriert.

I) E40

Gurtfertigung :

- Ablegen der Einzelstränge in die Form (Ausgangssituation)
- Vorfertigung des Gurtes. Einlegen des ausgehärtetes Halbzeuges in die nicht gehärtete Schale.
- Vorfertigung des Gurtes als nicht gehärtetes Halbzeug. Einlegen des Halbzeuges in die nicht gehärtete Schale mittels „Rutsche“ oder Transfertraverse

Blattanschluß :

- Vorfertigung der Innenverstärkung über einen Formkern
- Seit 1999 Vorfertigung des kompletten Anschlusses über ein Formkern mittels eines Vakuuminjektionsverfahrens. Das Vakuuminjektionsverfahren ist in diesem Falle sehr entlastend für die Mitarbeiter. Der komplette Laminataufbau für den Blattflansch findet daher trocken auf einem Formkern statt, das Imprägnieren erfolgt anschließend über Vakuuminjektion.

Stege und Einbauteile

- Vorfertigung der Stege als einbaufertige Teile mit angeformten Klebewinkeln
- Verbesserung der Klebewinkel

II) E26 und E30

- neue Rotorblatttypen bei denen die o.g. Erfahrungen aus E40 berücksichtigt wurden

III) E66

- Anwendung der Erfahrungen aus E40, E26 und 30 und zusätzlich:
- Vorfertigung des gesamten Anschlußbereichs und anschließendes Verkleben mit den Schalenbauteilen (hier noch ohne das später bei E40 eingeführte Vakuuminjektionsverfahren der Ringe)
- Längsteilung des Bauteils zur besseren Zugänglichkeit bei der Fertigung der Halbschalen

- Vorfertigung des Gurtes als nasses Halbzeug und Ablegen in die nasse Schale
- Verkleben der langen Schalen geändert / die US wird entformt, mit einer Helling gedreht und auf die OS gesetzt
- Verkleben der Halbschalen komplett getrennt von den Formen in Klebevorrichtungen
- Vormontage der Einbauten

IV) E12

- Neue Windkraftanlage mit einem Rotordurchmesser von 12 Metern. Hier wurde die Blattlagerung im Blattanschluß integriert.

V) E58

- Die E58 stellt sich ähnlich wie die E66 dar. Eine Längstrennung der ½ Schalen war jedoch hier nicht erforderlich.
- Ein drittes Formteil im Flanschbereich an der Rotorblatthinterkante erleichtert die Herstellung der ½ Schalen.
- Bei der Flanschfertigung wurde das Vakuuminjektionsverfahren eingeführt.

VI) Allgemeines

Oberflächenausführung

- Die folgenden Oberflächen wurde bei Rotorblättern eingesetzt und getestet:
 - a) EP-System (beste Verträglichkeit zum Laminiersystem) konnte wegen mangelnder UV - Beständigkeit nicht eingesetzt werden
 - b) UP-Systeme waren im Einsatz:
Probleme Styrol Emission und Haftung zur EP-Matrix
 - c) PUR System : verbesserte Witterungsbeständigkeit, jedoch Lösungsmittellemission
 - d) PUR-System : Eigenschaften wie in c) jedoch Verzicht auf Lösemittel.
- Als bester technischen Stand kann die lösemittelfreie PUR Beschichtung angesehen werden.

afelt.

5.) Rotorblattformen

Abweichend von bisher üblichen Verfahren zur Formenherstellung in der Kleinserienfertigung - zunächst ein Urmodell herzustellen und von diesem eine GFK-Form abzunehmen - wurden die Formen hier aus Aluminium hergestellt. Hierzu wurden Bleche grob auf die spätere Sollkontur vorgewärmt, mit einer Stützkonstruktion versehen und dann sofort auf die endgültige Sollkontur gefräst. Die Vorzüge dieser

Formenbauweise sind eine schnelle Verfügbarkeit der Formen, eine deutlich verbesserte Standzeit und eine leichtere Instandhaltung.

Zus. Lösung!

Phase III)

1) Verknüpfung von Laminier- und Einlegeanlage

Hier erfolgten bisher keine Arbeiten, da die Voraussetzungen aus Phase II noch nicht gegeben sind. Es ist zur Zeit eine weitere Laminieranlage in der Konstruktionsphase. Diese verbindet zunächst die Arbeitsschritte:

- a) Halbautomatisches Bestücken der Laminieranlage mit dem notwendigen Rohmaterial
- b) Eintränken des Rohmaterials mit dem benötigten Harz- Härtergemisch
- c) halbautomatisches Aufrollen der fertig getränkten Gewebepapieren.

Mit der Verwirklichung dieser Anlage kann im Anschluß relativ leicht eine Einlegemaschine für getränktes Gewebe entwickelt werden. Hiermit sind dann die Voraussetzungen für die Phase III gegeben.

wird erfüllt.

2) Anlage zur Klebeflächenvorbereitung und definierten Auftrag des Klebmaterials

Durch konstruktive und fertigungstechnische Modifikationen konnte erreicht werden, daß nur noch minimale manuelle Nacharbeiten im Bereich der Kleidungen erforderlich sind (z.B. lokale Welligkeiten entfernen). Für das Vorbereiten der Klebeflächen wird auf den Bauteilen ein sogenanntes Abreißgewebe verwendet. Damit werden die Klebeflächen problemlos vorbereitet. Die Mitarbeiter werden nicht durch das Anschleifen der Klebeflächen belastet. Metalloberflächen werden in geschlossenen Kammersandstrahlanlagen sandgestrahlt. Die Belastung der Umwelt und der Mitarbeiter durch diese Anlagen ist minimal.

erfüllt.

Phase IV

1) Weitgehende Vermeidung und Rückgewinnung von Produktionsabfällen

Hauptmaßnahme ist hier die produktionsbegleitende Optimierung der Zuschnitte. Dadurch wird mit dem Grundmaterial (Glas und Harz) und Hilfsstoffen (Folien etc.) sparsam umgegangen und unnötige Abfälle weitgehend vermieden. Entscheidend für die Reduzierung des Verbrauchs an Laminierfolien war auch das mehrlagige Ablegen von Glasgewebeklebschichten auf eine Folie mit der Laminieranlage bzw. später die Verwendung von entsprechend dickeren Gewebeklebschichten die von den Lieferanten entsprechend unseren Spezifikationen angefertigt werden.

In den Bereichen in denen die Voraussetzungen für kontinuierliches Mischen und Dosieren nach Bedarf von Harz bzw. Farbe mit den jeweiligen Härtern oder Füllstoffen noch nicht eingeführt werden konnte, fallen durch chargenweises Mischen jeweils Restmengen dieser Mischungen an, die entsorgt werden mußten. Hier sind weitere Mengenoptimierungsmaßnahmen bzw. die Einführung kontinuierlicher Verfahren erforderlich.

Vom Volumen her waren bei den Restabfällen die Verpackungsemballagen dominierend. Soweit hier nicht auf Systeme mit Wechselcontainern übergegangen werden konnte bzw. die Behälter einer weiteren Verwertung zugeführt werden konnten, mußten diese zunächst entsorgt werden. Durch Änderungen in den gesetzlichen Grundlagen (Verpackungsmittelverordnung) ist die Pflicht zur Beseitigung / Verwertung inzwischen auf den Lieferanten übergegangen.

2) Rückgewinnung von Reinigungs- und Lösungsmitteln

Zunächst wurde so vorgegangen, daß verschmutzte Reinigungsmittel durch Destillation im Hause aufgearbeitet und erneut verwendet wurden. Aufgrund der Änderung der gesetzlichen Rahmenbedingungen wurden von den Lieferanten inzwischen eigene Recyclingkapazitäten aufgebaut. Diese Anlagen gewährleisten ein besseres Aufarbeiten als eigene Kleinanlagen. Daher werden nun diese Reinigungsmittel nur noch gesammelt und dann an den Lieferanten zurückgegeben. Eine Lösung, die neben der besseren Qualität auch Kostenvorteile bietet.

Im Rahmen der Planung der anstehenden Erweiterung der Produktionshallen wird hier aber neu nachgedacht. Erprobt wurde unter anderem eine Anlage zur Reinigung verschmutzter Laminierwerkzeuge. Diese Anlage bereitet das benutzte Reinigungsmittel selbständig wieder auf. Eine solche Anlage hat den Vorteil,

- a) daß sie vollständig geschlossen arbeitet und damit die Mitarbeiter entlastet und
- b) eine deutliche Reduzierung des Lösemittelverbrauches erwarten läßt und damit die Umwelt entlastet.

Zur Abfallentwicklung siehe auch Anhang B)

3) Fazit

Das Vorhaben konnte in wesentlichen Teilbereichen erfolgreich durchgeführt werden.

Durch Probleme an einigen Anlagenteilen kam es jedoch zu Verzögerungen, die sich insbesondere auf die Bearbeitung späterer Projektphasen auswirkten. So konnten die Teilbereiche „Automatisierung des Ziehens und Einlegens der Rovings“ sowie weitere Verbesserungen bei der „Handhabung nasser Gewebe“ bisher nicht ausreichend bearbeitet bzw. erprobt werden. Hier sind weitere Arbeiten unbedingt erforderlich.

Die Vollautomatisierung der Flanschbearbeitung erwies sich bis zum Produktionsstart der E66 Rotorblätter nicht als vordringlich. Seit der Herstellung separater Flansche in einer neuen Technik wurde aber verstärkt auf die Automatisierung gesetzt. So wurde zunächst eine CNC Maschine umgebaut und dann eigens eine Maschine zur automatischen Flanschbearbeitung konzipiert und gebaut.

Kontinuierliche weitere Anstrengungen sind auch noch im Bereich der Abfallvermeidung erforderlich.

Literaturverzeichnis

Anhänge

A)	Produktionszahlen, Materialverbrauch und Mitarbeiterzahlen 1993 – 1998	34
B)	Entwicklung der Abfallsituation bei der AERO Rotorblattfertigung GmbH	35
C)	Gewebetränkanlage	39
D)	1) Übersicht Fertigungshallen Stand Ende 95	41
	2) Übersicht über die Planungen 99	42
E)	Anlagenübersicht	
	1) Rovingziehmaschine	45
	2) Flanschbearbeitung	46
	3) Gewebettransfer	47
	4) Rovingtransfer	47
	5) Sandstrahlanlage	48
	6) Finishvorrichtung E66	49

A) Produktionszahlen, Materialverbrauch und Mitarbeiterzahlen 1993 – 1998

Stand 27.08.99

		1993	1994	1995	1996	1997	1998
Personalstand zum 31.12:		21	94	82	78	166	235
Produktion:	E40_3	9	187	273	62	16	
	E40_2				30	65	99
	E30		21	72	48	9	
	E26				6		15
	E66			3	6	87	234
	E12						3
Gesamteinsatz Mat. in to		11	242	544	284	622	1473

B) Entwicklung der Abfallsituation bei der AERO Rotorblattfertigung GmbH

Die Variationsbreite an Rohmaterialien wie Epoxidharz, Härter, Glasgewebe, Lacke als auch Hilfsmaterialien wie Folien, Vlies etc. und die Handfertigung sind Gründe für die Entstehung relativ großer Abfallmengen.

Es wird zwischen drei Abfallgruppen unterschieden:

1. Restabfälle

Bestehend aus:

- Verschnittreste aus Folien, Vlies, Glasgewebe und Laminatreste
- Kunststoffeimern mit ausgehärtetem Epoxidharz
- Verdreckte Arbeitsbekleidung etc.

2. Sonderabfälle

Bestehend aus:

- Harzrückstände, Altlacke, Lösungsmittel, Lackierereiabfälle

3. Verpackungsabfälle

Bestehend aus :

- Holz, Folien, Papier/Pappe

Der Beginn der Datenaufnahme erfolgte im Jahre 1996. Seither findet ein jährlicher Mengenvergleich statt.

Restabfälle

Bei der Betrachtung dieser Abfallgruppe ist zu erkennen, dass im Jahre 1995 22,6 % des Gesamtmaterialeinsatzes von 544 Tonnen als Restabfälle anfielen. Aufgrund einer Absatzrückgangs im Jahre 1996 wurden nur 284 Tonnen Material verbraucht. Davon mußten 32,7 % als Restabfälle entsorgt werden. Im Jahre 1997 konnte der Materialumschlag wieder auf 622 Tonnen gesteigert werden. Die Restabfälle machten dabei 26,7 % des Gesamtmaterialeinsatzes aus. Bedingt durch die Serienproduktion des Windkraftanlagentyps E-66 in 1998 kam es zu einem 2,4-fachen Anstieg der Einsatzstoffe. Die Größe des Blattes und der damit einhergehende erhöhte Materialverbrauch sowie die parallele Produktion von Rotorblättern des Typs E-40 rechtfertigen den Mengenanstieg. Der Anteil an Restabfällen betrug 27,1%. Diese Abfallmengen müssen in Relation zu den Verbrauchsstoffen betrachtet werden. An eine Mengenreduzierung wird ständig gearbeitet. So werden z.B. Verschnittreste von Glasgewebe und Hartschaumplatten verstärkt für den Kleinteilebau weiterverwertet. Um Überschussmengen von Verklebharz zu reduzieren, wurde in eine Verklebharzmaschine investiert. Mit dieser Maschine wird ein besseres Mischverhältnis zwischen dem Harz und dem Härter geschaffen, und die benötigten Mengen können der Maschine in dosierter Form entnommen werden. Außerdem wird die Gesundheitsbelastung der Mitarbeiter erheblich reduziert.

Folienabfälle werden durch Übereinanderschichten von möglichst vielen Einzelschichten der Lamine auf einer Folienschicht minimiert. Dass diese Maßnahmen schon ihre Auswirkungen gezeigt haben, beweist das Jahr

1998. Trotz enormer Produktionssteigerung blieben die Verschnittanteile mit 27,1 % relativ konstant.

Dennoch sind diese Maßnahmen zur Mengenreduzierung noch nicht als zufriedenstellend zu betrachten. Eine Produktionsoptimierung ist durch den derzeitigen Produktionsdruck und durch die räumliche Enge in der Fertigung kaum realisierbar. Trotz der erschwerten Bedingungen wird nach Lösungen zur mehr Effizienz bei der Abfallverminderung gesucht. Zur Zeit wird an einem Projekt zur Optimierung des Glasgewebeverbrauchs im Stegbau gearbeitet.

Für die derzeit nicht mehr zu verwertenden Restmengen erfolgte eine Umstellung von der Deponierung hin zur umweltfreundlicheren thermischen Verwertung. Um die Transporte der Abfallcontainer zu minimieren, wurde ein Bagger zur Komprimierung der Restabfälle angeschafft.

Sonderabfälle

Eine deutlichere Reduzierung ist bei den Sonderabfällen zu erkennen. Die Mengen stehen auch hier wieder in Relation zu den Einsatzstoffen.

Blieben von den Einsatzstoffen im Jahre 1995 noch 4,4 % und im Jahre 1996 noch 6 % Sonderabfälle über, so wurden 1997 noch 1,6 % und in 1998 nur noch 1,2 % Sonderabfälle produziert.

Dies ist aus der Sicht des Umweltschutzes als positiv zu betrachten, weil es sich hierbei um umweltgefährliche Abfälle handelt.

Der Rückgang dieser Abfälle ist sowohl auf die Vermeidung, wie z.B. durch den rückstandslosen Verbrauch als auch auf die stoffliche Verwertung einiger Sonderabfälle zurückzuführen. Beispiele für eine stoffliche Verwertung sind die Destillation von gebrauchtem Lösungsmittel oder die Weißblechrückgewinnung von Farbemalagen.

Eine weitere Verminderung dieser Abfälle wird angestrebt. Gegenwärtig wird an einem Projekt gearbeitet, um den Verbrauch von Lösungsmittel zur Reinigung von Werkzeugen zu reduzieren.

Verpackungsabfälle

Diese Abfälle werden zu 100 % einer Wiederverwertung zugeführt werden.

Fazit

Insgesamt gesehen läßt sich feststellen, dass trotz der schwierigen Produktionsbedingungen die erwähnten Maßnahmen zur Verminderung von Produktionsabfällen bisher erfolgreich waren.

Besonders bei den Sonderabfällen war ein deutlicher Mengenrückgang zu verzeichnen. Die Mengenreduzierung bei den Restabfällen ist noch nicht als zufriedenstellend anzusehen.

Prognose

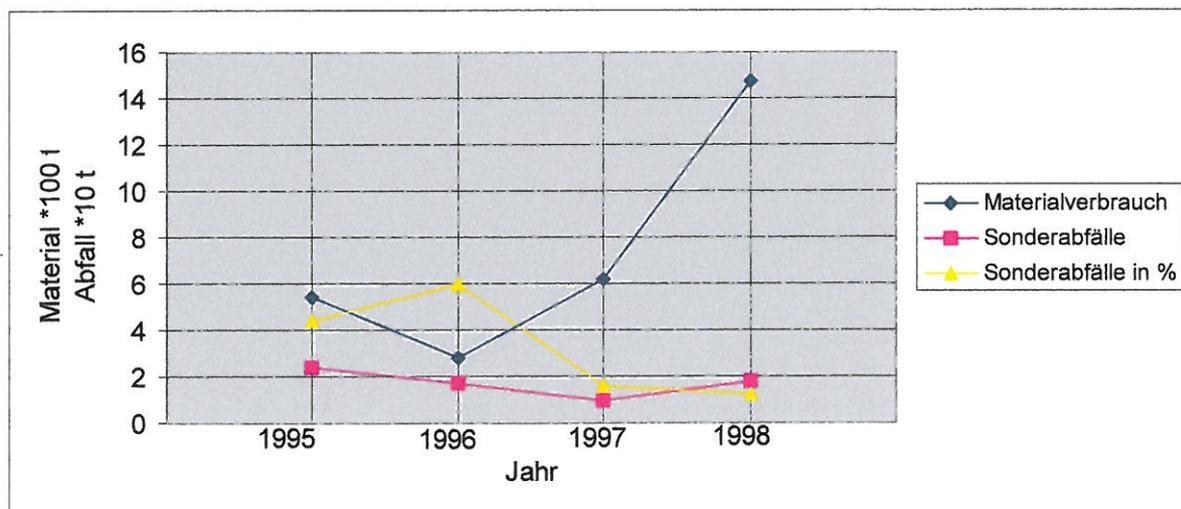
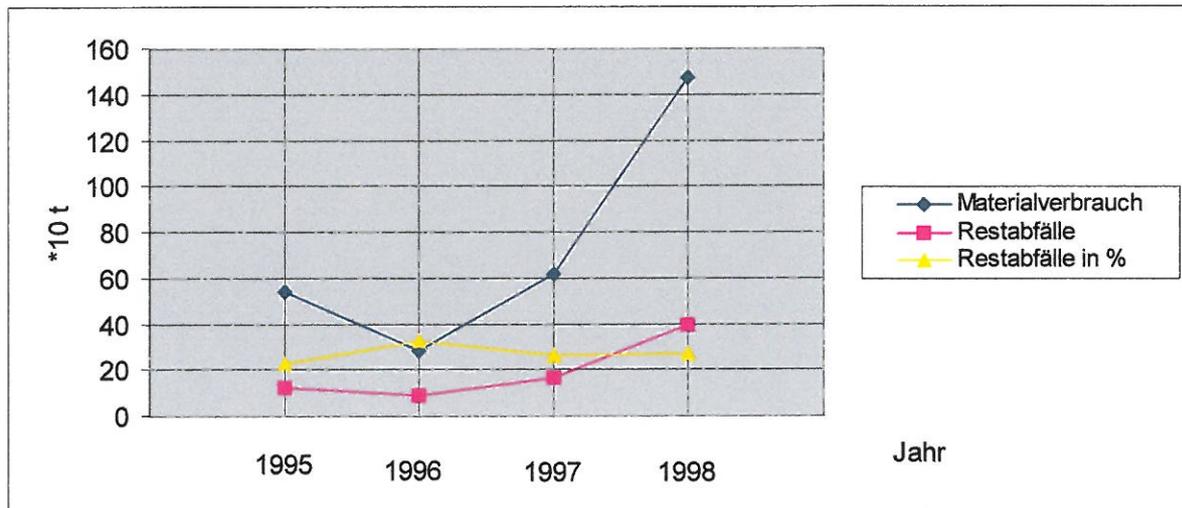
Durch eine ständige Produktionsoptimierung lassen sich Abfälle von vornherein vermeiden.

Da zur Zeit eine Erweiterung der Fertigung stattfindet, werden in Zukunft die Arbeitsabläufe besser zu koordinieren sein, wodurch der Produktionsdruck gesenkt wird.

Durch die Verfügungstellung von mehr Produktionsraum können Materialmengen für einzelne Arbeitsschritte vorkommissioniert werden, was eine weitere Minimierung der Abfälle zur Folge hat. Außerdem können mehr Abfallsammelsysteme für eine bessere Abfalltrennung bereitgestellt werden.

Anteil der Abfallmengen am Gesamtmaterialeinsatz in dem Zeitraum von 1995 bis 1998

Jahre	Gesamtmaterialeinsatz brutto [t/a]	Anteil d. Restabfälle [t/a]	Anteil d. Sonderabfälle [t/a]	Materialverbrauch Netto [t/a]	Anteil d. Restabfälle %	Anteil d. Sonderabfälle %
1995	544	123	24	397	22,6	4,4
1996	284	93	17	174	32,7	6,0
1997	622	166	10	446	26,7	1,6
1998	1473	400	18	1055	27,2	1,2



C) Gewebetränkanlage

Unternehmensgeschichte ES

Die Firma wurde 1979 als Einzelfirma gegründet und 1991 in eine GmbH überführt. Der Inhaber ist Elektromeister, Flugzeugelektriker und Privatpilot. Die Konstruktion führte zu anspruchsvollen Elektrik- und Avionikprojektierungen wie für das GFK- Amphibienflugzeug P300 von **Equador Aircraft** (7 Sitze), für den **Dornier-Seastar** (14 Sitze) sowie für mehrere Luftkissenfahrzeuge der **Buderus-Hovercraft**. Die guten Kontakte zur GFK- verarbeitenden Industrie lenkten das Interesse auf die Problematik Bei der Verbundwerkstoffverarbeitung. Mit den Möglichkeiten und Kenntnisse der modernen Automatisierungstechnik wurde 1988 die erste Dosier- und Mischanlage für 2K- Epoxidharz entwickelt. Die Dosieranlagen wurden weltweit, hauptsächlich im Flugzeugbau zur Grundausrüstung. Mit elektronischen Heißlufttemperanlagen, angepaßt auf die speziellen Belange der GFK- Verarbeitung wurde das Programm erweitert.

Großes Interesse der GFK-Verarbeiter führte dann 1988 zur Entwicklung und Patentierung der ersten Gewebetränkanlage **COMATIC®**.

Die Entwicklung wurde in einer Tochtergesellschaft mit zwei Partnern geführt. Die Erfindung wurde 1989 mit dem **Förderpreis "Junges Handwerk"** ausgezeichnet. Die erste **COMATIC®** erhielt der namhafte Flugzeughersteller **GROB**, weitere Anlagen wurden im In- und Ausland erfolgreich eingesetzt.

Steigend Qualitätsanforderungen konnten jedoch von der **COMATIC®** nur bedingt erfüllt werden.

Im Rahmen eines BMFT- Verbundprojektes (02FT 40954) wurde dann von 1991 bis 1993 mit 6 Industriepartnern und 3 Instituten die Technologie weiterentwickelt. Das Ziel war die GFK- Verarbeitung weitgehend zu automatisieren.

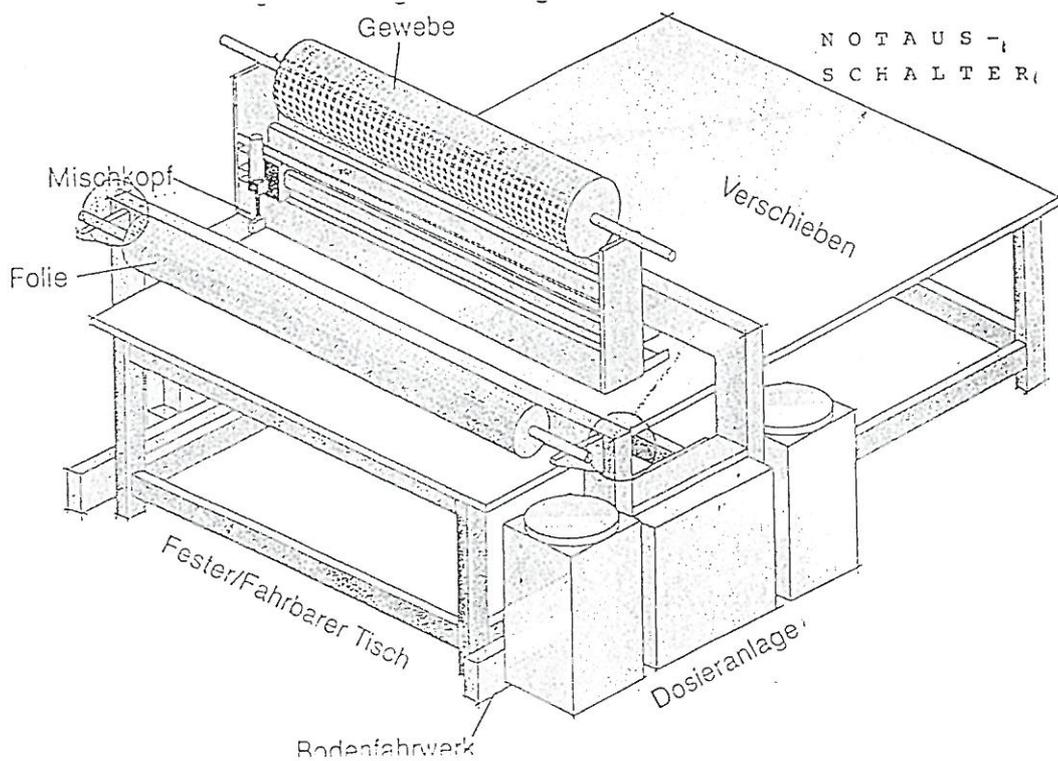
Erstmalig wurde die CNC- Technik für die Gewebetränkung eingesetzt. Die erste **ES-Laminatic®** konnte 1993 auf der Verbundwerkmesse in Wiesbaden präsentiert werden, dabei wurde sie mit dem **Composite Innovationspreis** ausgezeichnet. Vom Landesgewerbeamt Baden- Württemberg wurde die **ES- Laminatic®** 1994 für den **Dr.-Rudolf-Eberle-Preis** nominiert.

Bereits Ende 1993 wurde die erste **ES- Laminatic®** bei Deutschlands größtem Windkraftanlagenhersteller **ENERCON** für die Serienproduktion von GFK- Rotorblättern eingesetzt. Die Produktionszeit der ca.20m langen Rotorblätter konnte in kurzer Zeit halbiert werden. Im Flugzeugbau war die weltbekannte und innovative Firma **Walter EXTRA** Vorreiter. Mit **ES- Laminatic®** Anlagen werden heute täglich mehrere Tonnen Naßlaminat hergestellt.

Mit 10 Jahren Erfahrung gelang 1998 die Entwicklung einer einfachen und preiswerten Basisanlage. Die **ES- Laminatic® "K"** eignet sich besonders gut für Segel- und Ultraleichtflugzeugbau, die erste "K" wird bei **DG-Flugzeugbau** zur Steigerung der Produktivität und Qualität eingesetzt.

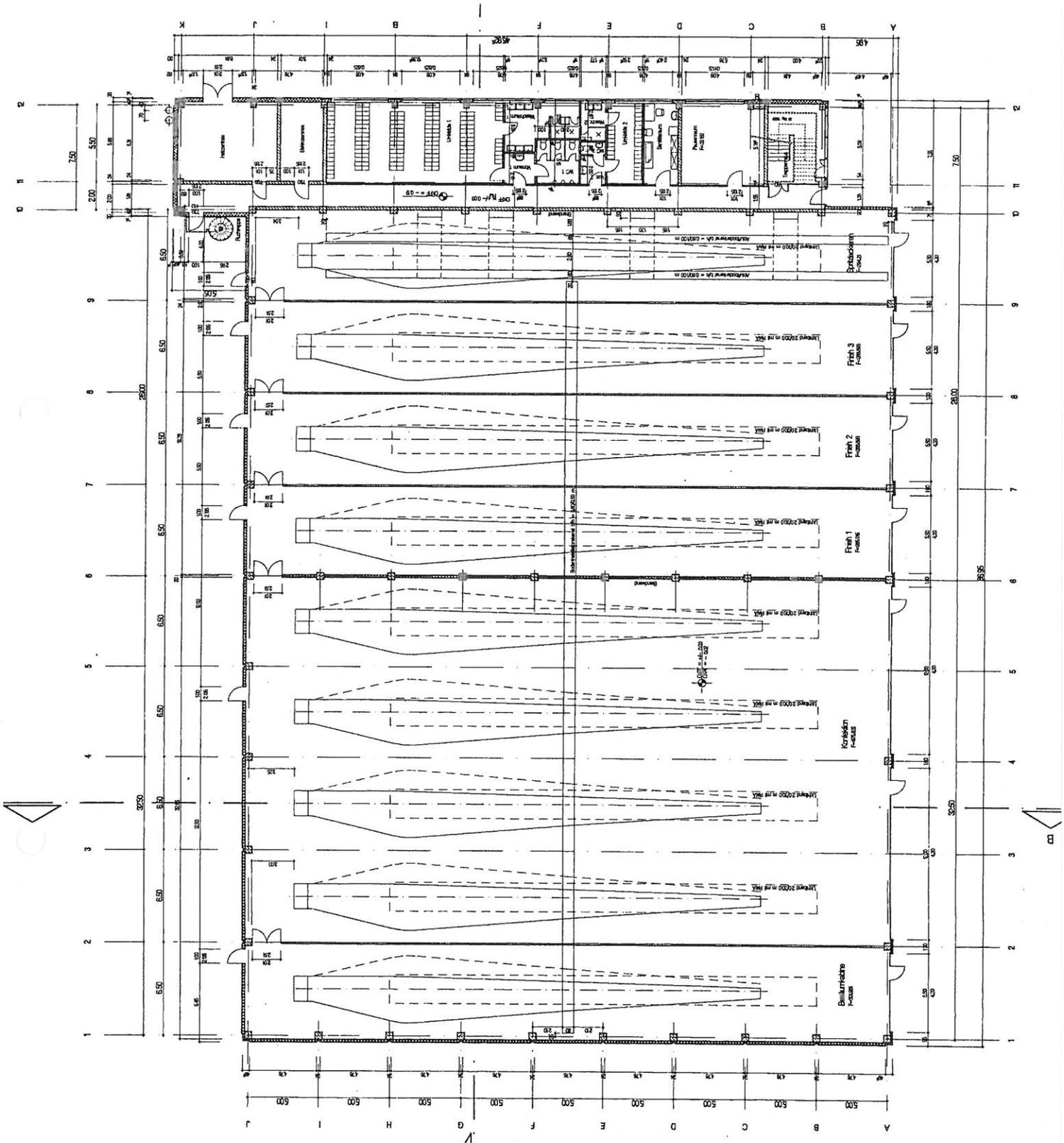


Laminiermaschine ES Laminatic mit mehrfach Geweberollenhalter, Folienabwickelvorrichtung und Ablegetisch für getränktes Gewebe

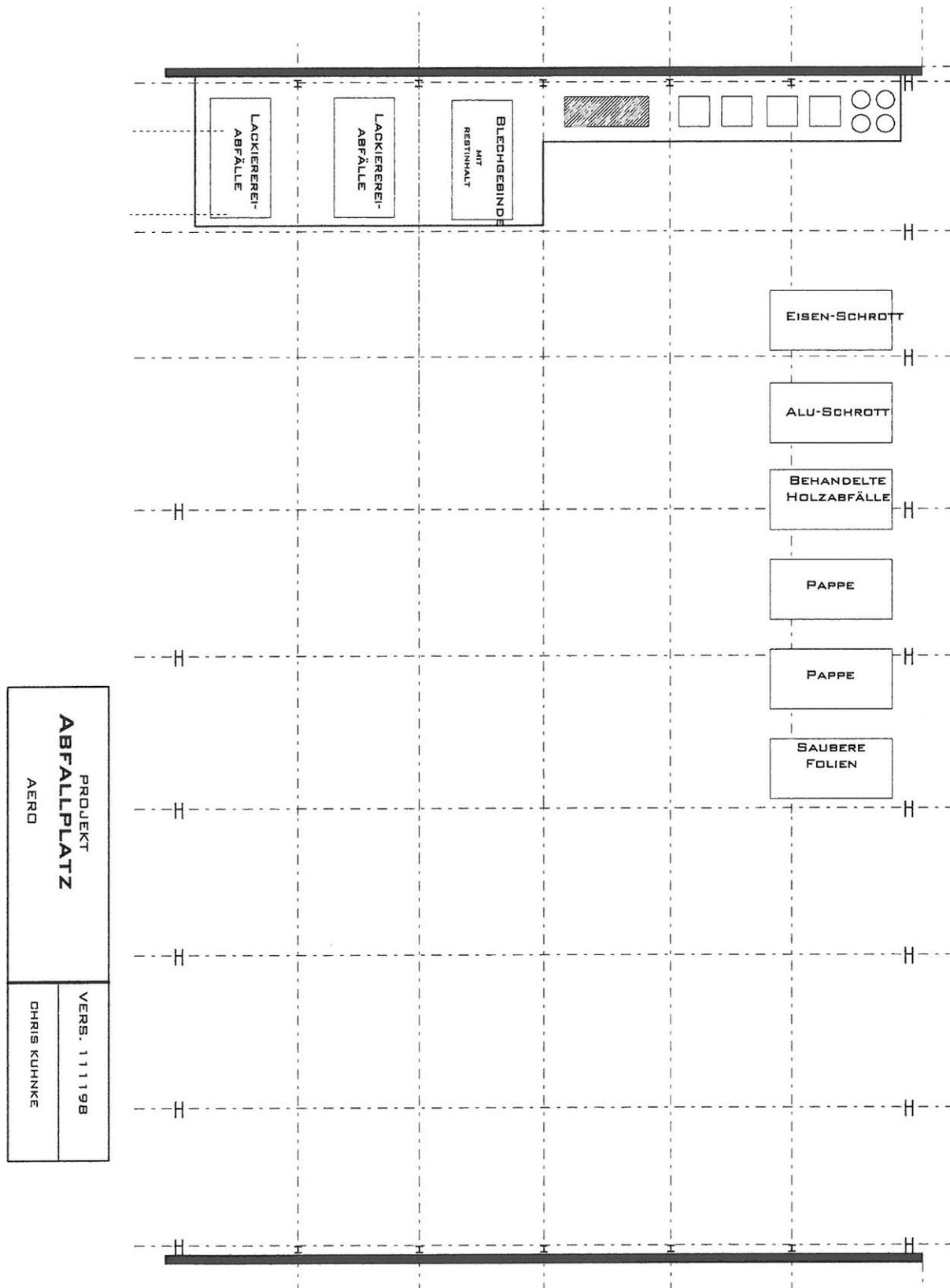


Prinzipskizze ES Laminatic

D2) Übersicht über Planungen der Rotorblattfertigung



Übersicht über die geplanten Hallen für Montage und Finish der Rotorblätter



Halle für die Lagerung, Verwertung und Aufbereitung von Produktionsabfällen

E1) Rovingziehmaschine



Rovingziehanlage mit Rovingregal und Tränkbecken



Rovings werden oben zugeführt und im Becken getränkt, dann durch die Düse kalibriert.

E2) Flanschbearbeitung

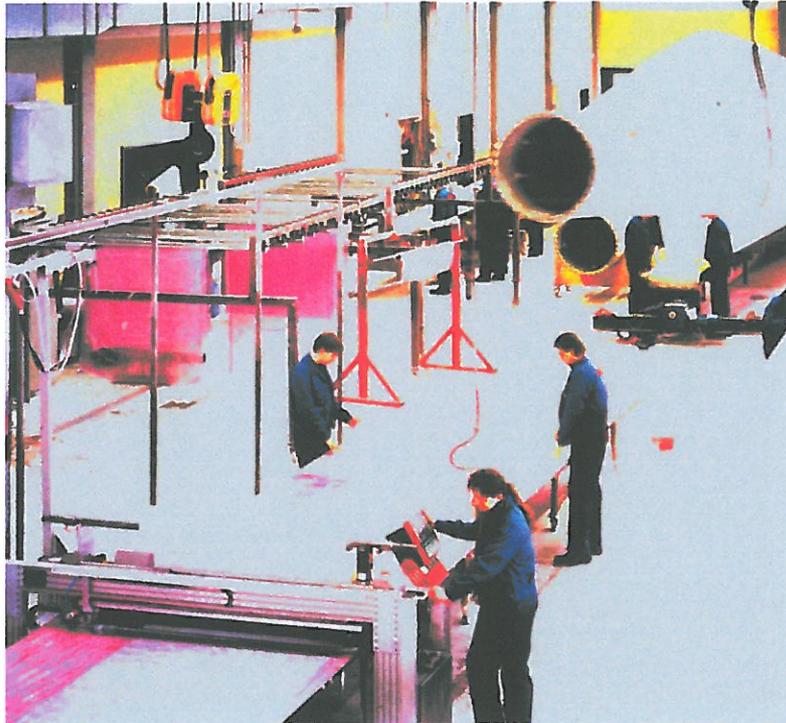


Flanschbearbeitung an E40 Rotorblättern mit halbautomatischer Bohranlage



Automatische Bearbeitung separat gefertigter Flansche auf einer CNC Anlage

E3) Gewebettransfer



Gewebettransfer bei Produktionsbeginn. Im Hintergrund erkennt man die mäanderförmig aufgehängten Gewebekleber

E4) Rovingtransfer

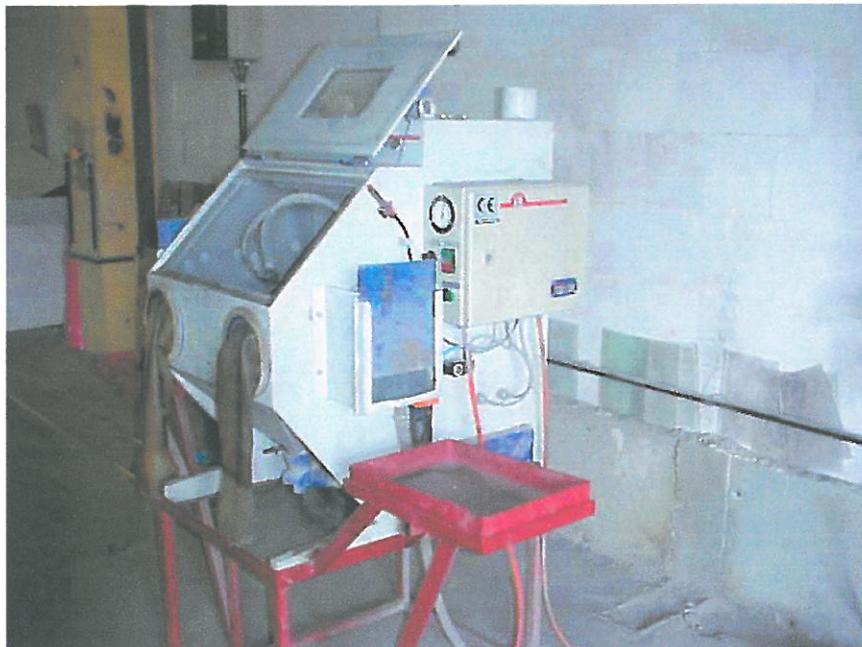


Rovingtransfer mittels einer „Gurtrutsche“



Rovingtransfer mittels langer Traverse

E5) Sandstrahlanlage



E6) Finishvorrichtung

