

# 1 Einleitung

## *Introduction*

Die fortschreitende Globalisierung gepaart mit einer zunehmenden weltweiten Ressourcenverknappung hat eine energieeffiziente Mobilität verstärkt in den Fokus des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Interesses rücken lassen. Gerade die relativ junge Spezies der Elektrofahrzeuge ist zur Erlangung einer Marktakzeptanz auf eine gewisse Mindestreichweite angewiesen, weshalb im Sinne einer gesteigerten Energieeffizienz eine Gewichtsreduzierung des Fahrzeugs allgemein, sowie der Strukturbauteile im Besonderen zwingend erforderlich ist. Aussichtsreiche Mittel zur Erfüllung der ökologischen und politischen Vorgaben stellen der strukturelle sowie insbesondere der werkstofftechnische Leichtbau dar. Hier konnten sich speziell die Faserverbundkunststoffe (FVK) durch ihre vergleichsweise hohe gewichtsspezifische Steifigkeit und Festigkeit am Markt etablieren. Thermoplastische Faserverbundkunststoffe (TP-FVK) verfügen – verglichen mit duroplastischen FVK – über die Eigenschaft, nahezu unbegrenzt oft wieder aufschmelzbar zu sein, und damit einhergehend mehrfach umformbar sowie schweiß- und recycelbar. Darüber hinaus ermöglicht die Wiederaufschmelzbarkeit eine räumliche und zeitliche Trennung des aufwändigen Herstellungsprozesses der Halbzeuge und der anschließenden Bauteilherstellung. Dies macht die TP-FVK für Großserienanwendungen umso interessanter.

Als Halbzeuge der TP-FVK haben sich ebene Laminare etabliert, deren Lagenaufbau hinsichtlich der Faserorientierung entsprechend der Belastung im Bauteil zusammengesetzt wird. Dazu werden unidirektionale (UD) Lagen, bi- oder multidirektionale Gewebe oder andere textile Strukturen verwendet. Diese Lagen werden mit dem thermoplastischen Polymer – der sogenannten Matrix – unter Druck und Temperatur getränkt (imprägniert) sowie im Lagenverbund konsolidiert. Wird die Imprägnierung und Konsolidierung bereits während der Halbzeugherstellung vollständig und porenfrei abgeschlossen, spricht man bei den Halbzeugen von sogenannten Organoblechen.

Zur finalen Bauteilherstellung können die Halbzeuge entsprechend der Bauteilkontur zugeschnitten und nach Erwärmen über Schmelztemperatur in einem Thermoformprozess in die Bauteilgeometrie gebracht werden. Dieser Schritt erfolgt entweder in einer gesonderten Thermoformanlage oder in einer Spritzgießmaschine, in der parallel weitere Funktionselemente wie Rippen oder Clips angespritzt werden. Diese Funktionalisierung ist ein wichtiges Argument für den Einsatz von endlosfaserverstärkten TP-FVK als Konkurrenztechnologie zu konventionellen metallischen Werkstoffen. Daneben stellt in vielen großvolumigen Anwendungen, wie im Automobilbau, der durch konventionelle Materialien erzeugte hohe Kostendruck ein wichtiges Kriterium dar, da die Akzeptanz gegenüber durch Leichtbaumaßnahmen entstehende Kosten mit 5 € Mehrkosten je gespartem Kilogramm Masse relativ gering ist [FRIE17, S.51]. Um die Verfügbarkeit kostengünstiger endlosfaserverstärkter TP-FVK zu erhöhen, ist daher die Bereitstellung effizienter Herstellungsprozesse entscheidend.

Vor diesem Hintergrund hat sich der Einsatz von kontinuierlichen Anlagen und Prozessen bewährt – insbesondere von Doppelbandpressen, welche ihren Ursprung in der Holzverarbeitenden Industrie haben. Hier haben sie ihren Erfolg seit den 1980er Jahren, beispielsweise in der Spanplattenfertigung, vorrangig jedoch nicht ihrem höheren Materialdurchsatz zu verdanken. Vielmehr stellten signifikante Materialeinsparungen das entscheidende Argument für ihre Einführung dar. So führte eine um 5–10 % verringerte Materialrohichte im kontinuierlichen Prozess zu gegenüber statisch hergestellten Platten vergleichbaren Materialeigenschaften hinsichtlich Biege- und Querkzugfestigkeit [SAND09, S.9] [SOIN86, S.372–373]. Dies war durch die Dynamik des Pressprozesses zu begründen, die durch eine bessere Entdampfung im Presseneinlaufbereich die Bildung von festigkeitsmindernden Dampfnestern verhinderte. Daraus resultierte weiterhin ein sich positiv auf die Produktkosten auswirkender reduzierter Harzeinsatz [SOIN86, S.375]. Zusätzlich konnte durch die optimierte Dickentoleranz kontinuierlicher Prozesse der Abschleiß gegenüber Taktpressen halbiert und gegenüber Mehretagenpressen sogar auf ein Drittel reduziert werden [SAND09, S.12]. In Summe zeichnen sich die kontinuierlichen Anlagen so durch einen um mehr als 12–15 % verringerten Materialaufwand aus, und dies bei durch die reduzierte Dichte und gleichbleibenden mechanischen Eigenschaften gesteigerter Produktqualität [PANK97, S.32] [SIEM14, S.12]. Dadurch lassen sich auch Anlagenkosten in der Größenordnung von 300.000 € je Meter Pressenlänge bei Anlagenlängen von über sechzig Metern wirtschaftlich abbilden [MEYE07, S.2].

Bei der kontinuierlichen Herstellung von faserverstärkten Kunststoffen und speziell Organoblechen hingegen bleibt, wie bei statischen Prozessen, die Herstellung eines porenfreien Laminats das oberste Ziel, weshalb, anders als bei der Spanplattenherstellung, keine verringerten Materialaufwände über die Dichte und Abschleißrate realisierbar sind. Eine gesteigerte Materialeffizienz kann zwar ebenfalls über reduzierten Randverschnitt erzielt werden, der Einsparungseffekt fällt jedoch deutlich geringer aus. Hauptargument für den Einsatz kontinuierlicher Anlagen im Bereich thermoplastischer FVK ist daher ihre hohe Produktivität. Vor dem Hintergrund noch immer unsicherer Absatzmärkte und damit Maschinenauslastungen stellt die hohe Investitionssumme der Anlagen jedoch eine nicht unerhebliche Hürde für viele Unternehmen dar [EGGE17, S.4]. Neben der Bereitstellung von effizienten Herstellungsprozessen gilt es daher darüber hinaus, durch kostengünstige und skalierbare Anlagenkonzepte die Einstiegshürde produzierender Unternehmen in die Herstellung flächiger Halbzeuge zu reduzieren.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wird eine am Aachener Zentrum für integrativen Leichtbau (AZL) entwickelte Doppelbandpresse untersucht, welche in Hinblick auf eine hohe Energieeffizienz, niedrige Investitionskosten und eine gute Skalierbarkeit entworfen wurde. Als Heizmechanismus kommt dabei die elektromagnetische Induktion in Querfeldanordnung zum Einsatz, die Druckapplikation erfolgt durch seriell angeordnete elastische Walzenpaare.

## Introduction

Advancing globalization combined with increasing worldwide scarcity of resources has brought energy-efficient mobility more and more into the focus of social and economic interest. Especially the emerging species of electric vehicles is dependent on a certain minimum range to achieve market acceptance, which is why for an increased energy efficiency, a weight reduction of the vehicle in general, and of the structural components in particular, is essential. A promising means of fulfilling the ecological and political requirements is structural lightweight construction, and in particular lightweight materials technology. In this area, fiber reinforced plastics (FRP) have been able to establish themselves on the market in recent years due to their comparatively high weight-specific stiffness and strength. Thermoplastic fiber reinforced plastics (TP-FRP) – compared to thermoset FRP – can be re-melted almost indefinitely, and thus can be formed, welded and recycled several times. In addition, the re-meltability enables a spatial and temporal separation of the complex manufacturing process of the semi-finished FRP products and the subsequent component manufacture. This makes TP-FRP all the more interesting for high-volume applications.

Laminates have established themselves as semi-finished products of TP-FRP, whose layer structure is assembled with regard to the fiber orientation according to the load in the component. Unidirectional (UD) layers, bi- or multidirectional fabrics or other textile structures are used for this purpose. These layers are impregnated with the thermoplastic polymer – the so-called matrix – under pressure and temperature and consolidated to form a composite. If the impregnation and consolidation is already fully completed and without pores during the production of semi-finished products, they are referred to as organic sheets.

For the final component manufacture, the semi-finished products are cut to size according to the component contour and, after being heated above melting temperature, are brought into the component geometry in a thermoforming process. This step takes place either in a separate thermoforming unit or in an injection molding machine. Here, other functional elements such as ribs or clips are injected in parallel. This functionalization is an important argument for the use of continuous fiber-reinforced TP-FRP as a competing technology to conventional metallic materials. In addition, the high cost pressure generated by conventional materials is an important criterion in many large-volume applications, such as in automotive engineering, since acceptance of the costs arising from lightweight construction measures is relatively low at 5 € additional cost per kilogram of mass saved [FRIE17, S.51]. To increase the availability of cost-effective continuous fiber-reinforced TP-FRP, it is therefore crucial to provide efficient manufacturing processes.

In this context, the use of machines and processes employing a continuous principle has proven its worth – double belt presses in particular. These systems originate in the woodworking industry, where they have owed their success since the 1980s primarily not to their higher material throughput. Instead, significant material savings have been the decisive argument for their introduction. For example, a 5 – 10 % reduction in raw material density in a continuous process led to material properties of the final product comparable to those of statically produced boards with regard to bending and transverse tensile strength [SAND09, S.9] [SOIN86, S.372–373]. This was due to the dynamics of the pressing process, which prevented the formation of strength-reducing steam nests due to better evaporation in the press inlet area. This also resulted in reduced resin consumption, which had a further positive effect on product costs [SOIN86, S.375]. In addition, due to the optimized thickness tolerance of continuous processes, the surface sanding could be halved compared to cycle presses and even reduced to a third compared to multi-daylight presses [SAND09, S.12]. All in all, the continuous plants are characterized by more than 12 – 15 % lower material costs, and this with increased product quality due to the reduced density and constant mechanical properties [PANK97, S.32] [SIEM14, S.12]. As a result, plant costs in the order of 300,000 € per meter of press length (at plant lengths of more than sixty meters) can be implemented economically [MEYE07, S.2].

In the continuous production of fiber-reinforced plastics and especially organic sheets, however, the production of a non-porous laminate remains the primary objective, as in static processes. Therefore, differing from the wood panel production, no material savings by a reduced density or sanding can be achieved. Although an increased material efficiency can be attained by a reduced edge trim, the savings effect is much smaller. The main argument for the use of continuous lines in the field of TP-FRP is therefore their high productivity. However, given the fact that the sales markets are still very uncertain, and thus an uncertain capacity utilization of the machines, the high investment costs of the plants represent a considerable hurdle for many companies [EGGE17, S.4]. In addition to the provision of efficient manufacturing processes, it is therefore essential to reduce the entry hurdle for manufacturers to produce TP-FRP laminates by supplying cost-effective and scalable plant concepts.

The dissertation at hand examines a double belt press developed at the Aachen Center for Lightweight Production (AZL), which was designed with regard to high energy efficiency, low investment costs and good scalability. The heating mechanism is based on electromagnetic induction in a transverse field arrangement, the pressure application is carried out by serially arranged elastic roller pairs.