

Inline-Ultraschallprüfung von extrudierten Produkten aus Kompositen

Torsten DIERKER, Lutz HAGNER
NetCo Professional Services GmbH, Blankenburg

Kontakt E-Mail: torsten.dierker@netco.de

Kurzfassung. Eine Möglichkeit zur Substitution tropischer Harthölzer, ist der alternative Einsatz von extrudierten Produkten aus einem Holz-Kunststoffgemisch. Neben einer mindestens vergleichbaren Haltbarkeit können diese Produkte in fast beliebigen Querschnitten gefertigt werden. Ausgangsstoffe für diese WPC-Produkte (wooden plastic composites) sind Sägespäne und ein Granulat aus Polypropylen sowie unterschiedliche Farbstoffe. Auf Grund schwankender Parameter der Ausgangsprodukte, insbesondere des Holzanteils (Temperatur, Feuchte, Dichte), bedarf es einer ausgeklügelten Prozesssteuer- und Regelungstechnik, um eine qualitativ hochwertige Produktion zu sichern. Problematisch ist insbesondere auch, dass sich einige Messgrößen, wie z.B. die Rohmassentemperatur praktisch kaum ermitteln lassen und damit wichtige Messgrößen im Regelkreis fehlen. Entsprechend Bedeutung gewinnt die Qualitätskontrolle, die auf Grund der starken Dynamik bei den Eingangsgrößen auch als zerstörungsfreie Prüfung unmittelbar nach der Extrusion erfolgt. Die Inspektion findet mittels luftgekoppeltem Ultraschall in Transmission statt. Die Messergebnisse für typische Produktfehler werden unter Berücksichtigung des Frequenzbereiches zwischen 50 und 300 kHz sowie verschiedener Sendesignalkodierungen vorgestellt. Als Referenz dienen jeweils computertomographische Untersuchungen. Die Weiterverarbeitung der Messdaten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Oberflächenprofile und spezieller, methodenbasierender Probleme (Luftkopplung) wird diskutiert. Schließlich wird als weiterer Schwerpunkt der komplizierte Weg zu einer stabilen und angemessenen Bewertung der Messergebnisse als Rückmeldung in die Produktion dargestellt. Es werden deterministisch arbeitende, schwellwertbasierende Verfahren mit solcher auf Basis künstlicher Intelligenz verglichen.

1. Immer schneller, immer mehr, immer besser

Es ist inzwischen eine weithin anerkannte Tatsache, dass Investitionen in die Produktqualität auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht ein probates Mittel zur Verbesserung der Wettbewerbsposition sind. Die erforderlichen Aufwendungen werden in Fehlerkosten, Fehlerverhütungskosten und Prüfkosten gegliedert. Die Prüfkosten werden oft als ungeliebte Notwendigkeit betrachtet, die in stabilen und beherrschten Prozessen nur in Form einer Stichprobenüberwachung vorkommen sollten. Nach Demmings 14 Schritten zur Qualitätsverbesserung soll man sich nicht von Vollkontrollen abhängig machen. „Qualität kann man nicht erprüft werden, sie muss erzeugt werden.“ [1] In Zeiten, in denen



Individualisierung, Funktionsintegration und ein sich verschärfender Wettbewerb insbesondere mit Fernost die Toleranzen bei gleichzeitigem Anstieg der Komplexität des Produktes und Prozesses schmelzen lässt, ist dieser Ansatz an so mancher Stelle nicht mehr umsetzbar.

Immer mehr Prozessparameter haben auch wegen kleiner werdenden Toleranzfenstern auf die Produktqualität Einfluss. Deren Zusammenhänge sind oft nicht genau bekannt, andere lassen sich nur bedingt erfassen. Stück für Stück finden immer mehr Sensoren ihren Weg in die Produktion und formen deren digitales Abbild (digitaler Schatten [2]). Von einem vollständigen Modell, wie es für die umfassende Anwendung von Industrie 4.0 erforderlich wäre, kann vielerorts noch keine Rede sein. Die schnelle Reaktion auf Abweichungen verlangt kurze Regelkreise. Der Weg dahin führt unweigerlich über eine erhöhte Anzahl von Stichproben bis hin zur 100 %-Prüfung in der Produktion [3]. Auf diese Weise können Prozesse in einen Bereich gefahren werden, der typisch nicht „beherrscht und fähig“ ist und das mit wirtschaftlichem Erfolg.

2. Produktionsprozess von WPC-Produkten

Die zu prüfenden WPC-Produkte werden in einem Extrusionsprozess gefertigt. Für die WPC-Produktion werden Naturfasern und Kunststoffe in einem Verhältnis von 75/25 eingesetzt.

Als Naturfasern können Abfälle der Holzverarbeitenden Industrie genauso verwendet werden wie Reis/Stroh oder Dinkelspelzen. Die Naturfasern werden als grobes Mehl verarbeitet. Für die Rohstoffgewinnung muss kein Baum gefällt, es werden nur Reste verarbeitet. Die Ausgangsstoffe werden über einen Walzenmischer vermengt und dabei temperiert. In dieser Phase werden den Rohstoffen Feuchtigkeit und ätherische Öle entzogen.

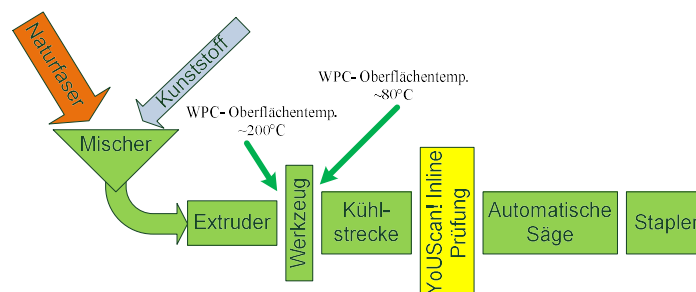


Abbildung 1: Produktionstrecke WPC

Das temperierte Gemisch wird einem Extruder zugeführt. Über die Extruderschnecke wird das Gemisch aus Naturfasern und Kunststoffen verdichtet und durch ein Werkzeug gedrückt. Bei der Verdichtung entsteht zusätzliche Wärme, welche über die Umdrehung der Extruderschnecke reguliert werden kann.

Problematisch bei diesem Extrusionsprozess sind die unterschiedlichen Inhaltsstoffe bzw. deren Konzentration in den verwendeten Naturfasern. Diese Inhaltsstoffe bewirken Temperaturschwankungen im Extruder, die die Qualität der extrudierten Masse beeinflussen. Da die Quantität der Inhaltsstoffe nicht einfach über Standardverfahren im Produktionsprozess lückenlos erfasst werden kann, werden die Extruder manuell bedient. Des Weiteren nehmen die Naturfasern und Kunststoffe Feuchtigkeit aus der Umwelt auf, diese Aufnahme ist abhängig von der Tages-/Jahreszeit und im allgemeinen vom Wetter.

Um eine bestmögliche Qualität und Auslastung der Extruder zu erreichen, werden die Systeme so gefahren, dass die Temperatur der Masse in der Nähe des Flammpunktes von Holz liegt.

Nach dem Extruder passiert die Masse ein Werkzeug, welches die Form des Produktes bestimmt. Es werden Werkzeuge mit mindestens zwei Öffnungen eingesetzt, dadurch entstehen auch zwei zu prüfende Endlosprodukte.

Dem Werkzeug nachgelagert ist eine Kühlstrecke, über die das WPC von einer Materialtemperatur von ~200 °C auf eine maximale Oberflächentemperatur von 80 °C an der Prüfstrecke abkühlt.

Nach der Kühlstrecke erfolgt die Qualitätsbewertung bevor es dann per Säge auf Verkaufslänge gebracht wird.

Die Qualitätsprobleme bei der Produktion von WPC-Massivprodukten entstehen durch falsche Temperatur und falschen Vorschub. Bei falscher Produktionstemperatur entstehen Poren und bei falschem Vorschub entstehen Risse. In beiden Fällen kann in diesen Holräumen Wasser eingelagert werden. Ab einem bestimmten Fehlervolumen oder Häufung kann diese Wassereinlagerung im Winter zu einer Spaltung des Materials führen.

Die Vorteile des WPC-Produktes liegen in der hohen Lebenserwartung bei gleichzeitigem geringen Pflegeaufwand. Des Weiteren besitzt das WPC eine hohe Farbstabilität gegenüber Sonneneinstrahlung und hat als Barfussdiele noch dazu rutschhemmende Eigenschaften.

3. Ultraschallprüfsystem mit Luftkoppelung

3.1. Scanner 2.0 Ultraschallscanner der zweiten Generation

Entsprechend den Vorgaben durch die Produktion wurde ein WPC-Scanner zur gleichzeitigen Ultraschallbewertung von zwei WPC-Produkten entwickelt (siehe Abbildung 2).

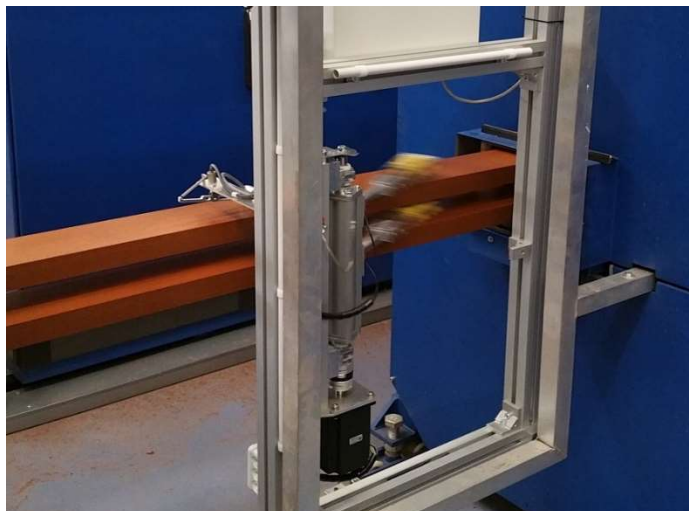


Abbildung 2: WPC- Scanner 2.0 im Testlauf an eine Konstruktionsbohle

Hierbei wurde ein Schwenkmechanismus eingesetzt, welcher die Prüfköpfe in einer $\frac{1}{4}$ Kreisbahn über den Prüfling führt. Dabei wird eine prüfbare Breite von 160 mm erreicht. Der Schwenkradius des Arms beträgt dabei 355 mm.

Durch Wegaufnehmer wird der Vorschub erfasst und die Schwenkgeschwindigkeit so angepasst, dass bis zu einer Geschwindigkeit von 0,8 m/min ein Messpunktraster von 6 mm eingehalten werden kann.

Um den unterschiedlichen Produkten gerecht zu werden (ca. 80 verschiedene Formen) wird die Prüflingsbreite einmalig automatisch erfasst. Die Lage des Prüflings wird während der Prüfung nachgeführt. Um die baulichen Gegebenheiten optimal auszunutzen, wurden eigene Prüfköpfe auf Basis von handelsüblichen Schallwandlern entwickelt (siehe Abbildung 4).

Der Bauraum zwischen den zu prüfenden Produkten beträgt maximal 45 mm. Damit kann kein Standardprüfkopf senkrecht verbaut werden. In Versuchen wurde herausgearbeitet, dass es möglich ist, den Schall über Winkel umzuleiten, ohne dabei einen deutlichen Energieverlust zu verursachen. Im Weiteren wurde statt des abgebildeten (siehe Abbildung 3) einfachen Reflektors ein V eingesetzt, um den Schall von zwei Seiten auf einen Empfangskopf zu leiten.



Abbildung 3: Prüfarme mit Winkel-spiegel für Test an Konstruktionsbohle

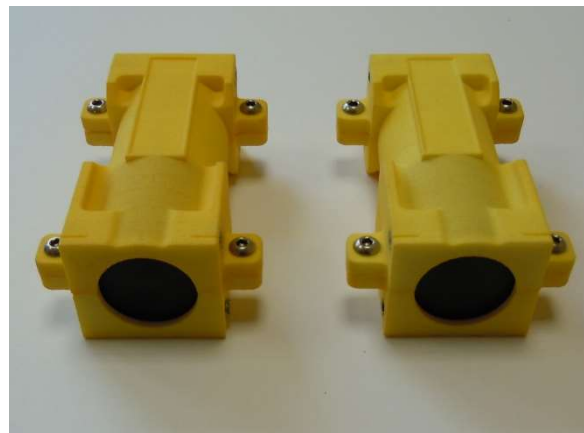


Abbildung 4: Prüfköpfe mit Anpass-elektronik und speziellen Gehäusen

Mit dieser Anordnung ist es möglich, zeitlich versetzt eine Prüfung des oberen und unteren Produktes vorzunehmen. Die Unterscheidung bzw. die Zuordnung der Messimpulse zu der entsprechenden Prüfstrecke erfolgt per Embedded - Messelektronik in Echtzeit.

Um während einer Prüfung, welche bis zu 7 Tage ohne Produktwechsel andauern kann, ein konstant bewertbares Messergebnis zu erhalten, wird die Prüfung für Testmessungen der Ultraschallwandler regelmäßig unterbrochen. Hierbei wird die Qualität der Wandler anhand einer „Luftmessung“ ohne Prüfling ermittelt. Diese Messung wird nur einmal pro Schicht durchgeführt, und während der Prüfung werden nur wenige Zentimeter des Produktes nicht geprüft. Dieses Vorgehen ist akzeptabel, da die zu erkennenden Fehler immer in Gruppen bzw. über einen größeren Abschnitt auftreten und trotz Unterbrechung angezeigt werden können.

Da die Qualität des Ultraschallsignals nicht nur von Poren und Rissen bestimmt wird, sondern auch von der Temperatur des Prüflings, welche wiederum vom Vorschub abhängig ist, muss während der Messung eine Angleichung des Signals durchgeführt werden. Dabei ist zu beachten, dass keine Rekalibrierung des Ultraschallsignals auf einer Fehlerstelle durchgeführt wird.

Die Abbildung 5 zeigt ein klassisches C-Bild einer WPC-Diele welches als Rohbild der Bewertung zugeführt wird.

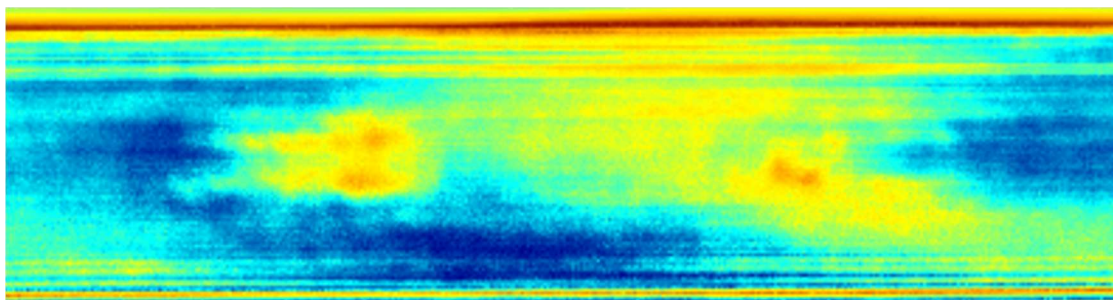


Abbildung 5: Rohbild der Ultraschallmessung

Die gelben und roten Bereiche im C-Bild zeigen einen Riss, die blauen und türkisen Bereiche sind fehlerfrei. Um die Fehlergrößen zu quantisieren, wurden im ersten Schritt solche Bereiche offline bewertet.

Die Abbildung 6 zeigt eine CT-Aufnahme des obigen Fehlers als Referenz.

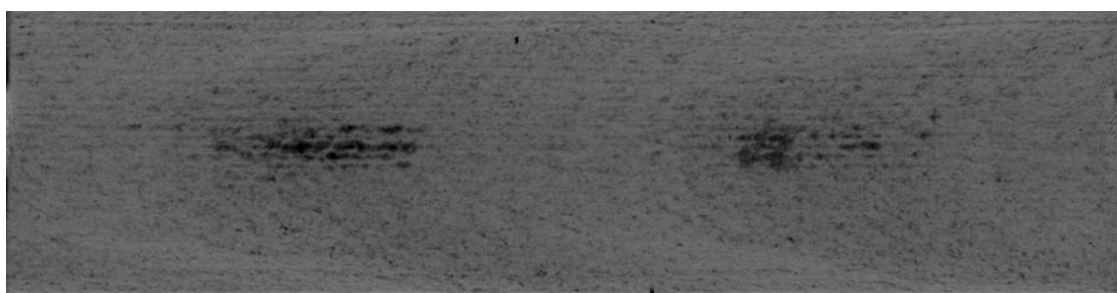


Abbildung 6: Referenz zum Ultraschall- CT- Messung desselben Bereiches

Deutlich sind in der CT-Aufnahme die beiden Risse zu erkennen. Anhand dieser Vergleiche von CT- und Ultraschallmessung wurde eine automatische Fehlerbewertung eingerichtet.

Die Ultraschallrohdaten werden normiert und mit Zeit/Positionsinformationen zum Manufacturing Executing System (MES) übertragen. Dort werden die Daten ausgewertet und das Ergebnis einschließlich Positionsinformationen zum Scanner zurückgesendet. Die bewertete Information wird vom Scanner zum „richtigen Zeitpunkt“ über eine Ampel (grün/ gelb/ rot) angezeigt. Die Anzeige bezieht sich jeweils auf eine bestimmte Position entlang der Vorschubrichtung, so dass die Fehlerposition durch das Bedienpersonal eindeutig erkannt wird. Zur Weitergabe entsprechender Signale an nachgelagerte Produktionsstufen stehen am WPC-Scanner digitale Ausgangssignale zur Verfügung.

Die Qualitätsinformation wird über die Ampel mit rot/ NIO und grün/ IO am WPC- Scanner dargestellt. Die Farbe Gelb in Kombination mit Rot und Grün sind für Betriebsmodi des Scanners vorbehalten.

3.1.1. MES- Einbindung

Um die verteilt erfassten Ultraschallmessdaten einer einheitlichen und zentralen Bewertung zuzuführen, wurde das hauseigene MES angepasst.

Im MES laufen alle Ultraschallrohdaten zusammen. Entsprechend dem zu bewertenden Produkt wird hier auf Basis der aktuell gültigen Bewertungsvorschrift eine IO/NIO Bewertung vorgenommen. Diese IO/NIO Information wird dem entsprechenden WPC-Scanner übertragen und zur Anzeige gebracht. Parallel zur Informationsanzeige am WPC-Scanner kann der interessierte Nutzer eine Web-Darstellung mit weiteren Informationen ansehen (siehe Abbildung 7). In der Web-Darstellung können alle betriebsrelevanten Parameter der Scanner eingesehen und wenn notwendig auch beeinflusst werden. Des Weiteren erfolgt über die Web-Darstellung die vereinfachte C-Bilddarstellung der

Ultraschallmessdaten. Auf Basis dieser Darstellung kann der Maschinenführer rechtzeitig eingreifen, bevor es zu einer fehlerhaften Produktion kommt.

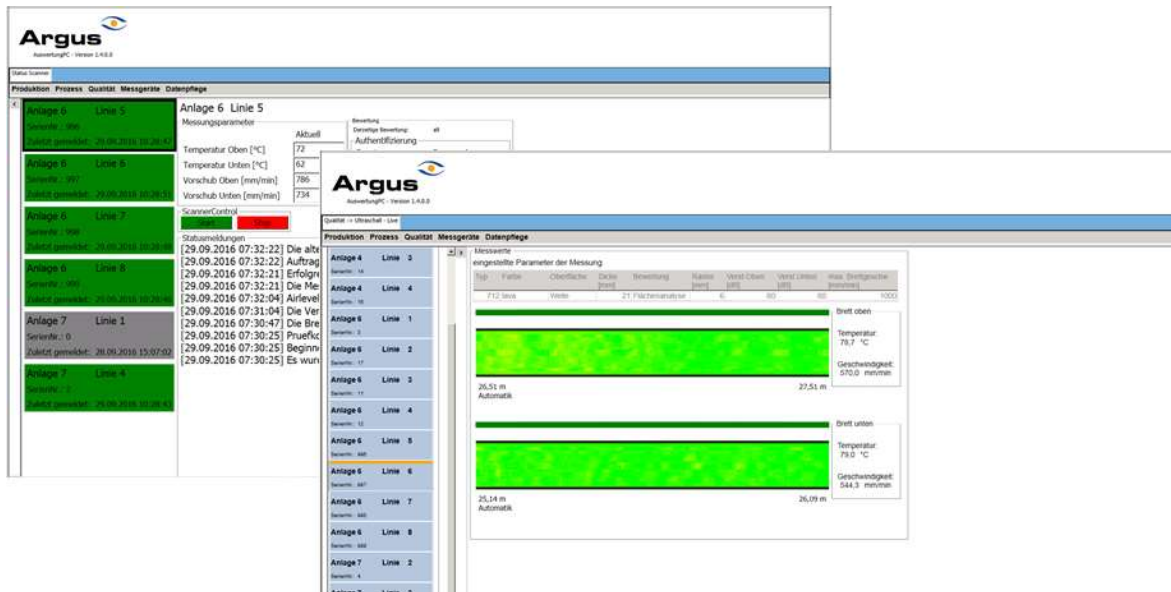


Abbildung 7: Ansicht MES mit WPC- Scanner Status & Live- Bewertung

Alle Roh- und bewerteten Daten werden in einer Produktionsdatenbank archiviert. Darüber hinaus steht eine Archivfunktion zur Verfügung, die es erlaubt, die aufgezeichneten Produktionsdaten im Nachgang einzusehen. Die Daten sind nach Produktionslinie und mit Datum/Uhrzeit aufrufbar. Um die Handhabung zu erleichtern, kann innerhalb des Messdatensatzes direkt zu Fehlstellen gesprungen werden. Neben dem C-Bild werden die jeweilige Bewertung und alle relevanten Prozessinformationen (z.B. Vorschubgeschwindigkeit) angezeigt.

3.1.2. Bewertungskonzept

Alle Bemühungen um ein gutes Messergebnis sind nur Vorarbeit für den sich nun anschließenden Bewertungsprozess. Ziel der Bewertung ist es, zunächst Produkte unzureichender Qualität auszuschleusen. Gleichzeitig soll Feedback an vorgelagerte Prozessschritte gegeben werden, insbesondere um die Produktionsgeschwindigkeit optimal zu gestalten.

Eine automatische Bewertung von Messergebnissen ist stets eine anspruchsvolle Aufgabe. Einerseits sollen keine fehlerhaften Produkte „durchrutschen“ (falsch negativ), andererseits darf es nicht zu Ausschuss auf Grund von fälschlich fehlerhaft bewerteten Produkten kommen (falsch positiv). Erschwerend kommt hinzu, dass nicht jeder Produktfehler auch Relevanz für die Bewertung besitzt. Fehlerdichte, Fehlerausprägung, Fehlergröße müssen ebenfalls beachtet werden. Zudem gibt es häufig keinen klar definierten, vollständigen Fehlerkatalog. Die Bewertung ist oft subjektiv und in der Erfahrung der Qualitätsverantwortlichen begründet.

In einer ersten Variante wurden die entlang eines Kreissegments erfassten Ultraschallamplituden einer gleitenden Mittelwertbildung unterzogen. Dieser Mittelwert wurde mit einem Schwellwert verglichen, der nach einer Reihe von Praxistests definiert worden ist. Dieses Verfahren hat sich jedoch sehr schnell als ungeeignet herausgestellt, da auch auf Grund der Bewegungsform des Sensors zunächst keine Aussage zur Größe des Fehlers möglich war. In einer ersten Konsequenz wurden deshalb die Messwerte in einer Matrix angeordnet, die einem rechteckigen Flächenelement des endlosen Prüfobjektes entsprach. Diese Flächenelemente wurden überlappend definiert, um auch Fehlstellen im

Randbereich exakt charakterisieren zu können. In der Auswertung werden die Ultraschallmesswerte dieses Flächenelementes als „normal verteilt“ angenommen. Dementsprechend können Mittelwert und Standardabweichung berechnet werden.

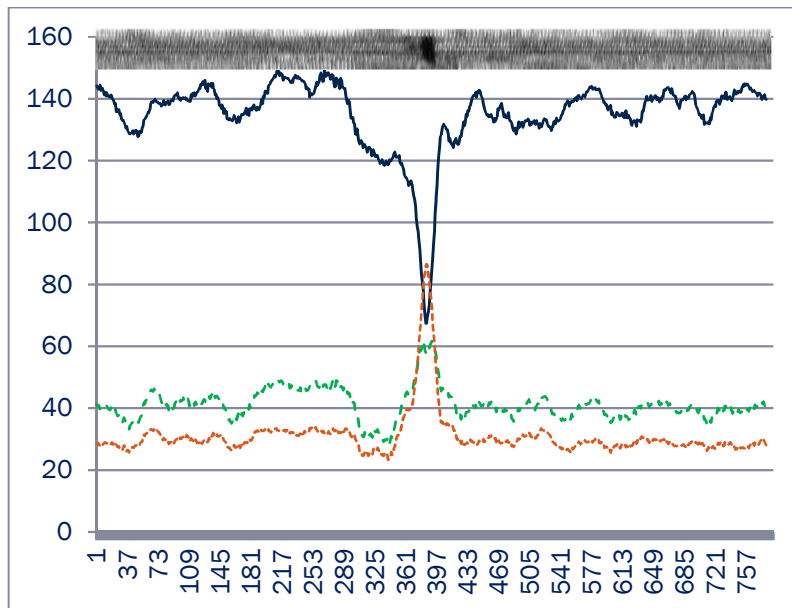


Abbildung 8: Auswertung von Flächenelementen hinsichtlich Mittelwert (dunkelblau), Standardabweichung (braun) und Variationskoeffizient (grün). Dazu passen oben: ungefilterte Ultraschallmesswerte entlang eines Brettabschnittes mit Fehlstelle

Beide Größen für sich bieten auf Grund unterschiedlicher Prozessgeschwindigkeiten und Rohmassenrezepturen noch keine ausreichende Aussage. Allerdings kann mit Hilfe des Variationskoeffizienten als Quotient von Standardabweichung und Mittelwert eine bestimmte Klasse von Fehlern bereits gut erkannt werden (siehe Abbildung 8).

Um die Aussagen des Variationskoeffizienten abzusichern, wurde zusätzlich ein Chi-Quadrat-Test implementiert, der die Messwerte jedes einzelnen Flächenelements auf Normalverteilung untersucht. Bei einem negativen Testergebnis handelt es sich in der Regel um ein fehlerbehaftetes Flächenelement.

Großflächige Fehler wurden so jedoch nicht erkannt, weil hier zwar kleine Mittelwerte typisch sind, die jedoch auch wenig schwanken, was in diesem Fall einen homogen schlechten Brettabschnitt charakterisiert. Aus diesem Grund wurde in einem nächsten Schritt eine Segmentierung des Flächenelements nach Ultraschallamplituden vorgenommen. Auf diese Weise werden zusätzlich große geschlossene Flächen mit geringen Amplituden gegenüber einer durchschnittlichen Amplitude der letzten Flächenelemente erkannt und als Fehler angezeigt.

Mittels dieser 3 Methoden konnten alle für die Anwendung relevanten Fehler mit hoher Sicherheit erkannt werden. Im Ergebnis war es möglich, die Prozessgeschwindigkeit wunschgemäß erheblich zu erhöhen. Die Anschaffungskosten für das Prüfsystem und die ohnehin geringen Wartungskosten sind damit mehr als gerechtfertigt worden.

3.2. Neue Anforderungen, neues Prüfsystem- Scanner 3.0

Durch die Zunahme an zu prüfenden Produkten und der stetigen Steigerung der Produktionsmenge, die nicht zuletzt durch den Einsatz der Scanner-Generation 2.0 ermöglicht wurde, ergaben sich auch neue Anforderungen und Erwartungen an das

Prüfsystem. Insbesondere durch die Erweiterung des Portfolios um Produkte mit einem größeren Prüfvolumen, musste der bisherige Scanner grundlegend neu aufgebaut werden. Im Vergleich zum bisherigen Scanner wurde die Scanbreite von 160 auf 320 mm und die maximale Produktdicke von 21 mm auf 42 mm angehoben. Des Weiteren wurde der Produktions-Vorschub von maximal 0,8 m/min auf 1,2 m/min erhöht.



Abbildung 9: Prüfarme WPC- Scanner 3.0

Um aber trotzdem bei einem Messraster von 6mm zu bleiben, muss die Schwenkgeschwindigkeit des Prüfkopfes angepasst werden. Durch die Verdopplung der Prüfdicke musste auch eine Anpassung der Schallleistung erfolgen.

All diese veränderten Anforderungen führen zu einem um das Vierfache größeren Messdatenaufkommen bei ebenfalls erhöhten Anforderungen an die Dauerfestigkeit der Schallwandler.

Um die größeren Flächen mit gleichem Messraster erfassen zu können wurden neue Prüfarme entwickelt, die zum einen länger sind und zum anderen leichter. Die bisherigen Prüfarme waren eine Mischung aus Aluminium und 3D-Druckgehäuse. Bei der neuen Generation wurde aus Gewichtsgründen und wegen einer besseren Masseverteilung auf Carbon-Rohre mit einem im 3D-Druck hergestellten Gehäuse für die Schallwandler umgestellt.

Die Carbon-Rohre dienen nicht nur zur Befestigung der Ultraschallwandler, sondern auch als „Gehäuse“ der Anpasselektronik für die Wandler.

Damit wurde die „Kopfmasse“ reduziert, da die Elektronik in der Nähe des Drehpunktes platziert werden konnte.

Durch diese Massereduzierung konnte ein Prüfarm mit 2 Ultraschallsendern konstruiert werden, der bei hohen Messgeschwindigkeiten eine gleichmäßige Bewegung ermöglicht (siehe Abbildung 9, unterer Prüfarm). Damit kann gegenüber dem Scanner 2.0 die Messgeschwindigkeit verdoppelt werden.

Um eine hohe Verfügbarkeit des Systems zu gewährleisten, wurde die Schallfrequenz reduziert. Damit konnten Wandler mit mehr Schalldruck eingesetzt werden. Die höhere Schallleistung wird notwendig für die Produkte mit einer Dicke größer 21 mm. Bei Dicken kleiner 21 mm kann mit einer deutlich reduzierten Anregung geprüft werden, was der Lebensdauer zugute kommt.

Um die hohe Messdatenrate in Echtzeit verarbeiten zu können, wurde eine Datenvorverarbeitung in einem FPGA eingeführt. Hier werden die Ultraschallmessdaten mit einfachen Filtern beaufschlagt, mit Position, Zeit und weiteren Prozessinformationen

kombiniert und zur weiteren Verarbeitung einem Embeded-PC zugesandt. Jeder Scanner verfügt damit über eine digitale Signalverarbeitung, die in Echtzeit große Datenmengen verarbeitet.

Durch den Einsatz der digitalen Signalverarbeitung besteht nun die Möglichkeit, unter anderem live auf eine Laufzeitänderung des Ultraschallsignals, hervorgerufen durch Material/Lufttemperaturänderung, zu reagieren und damit das Bewertungsfenster adaptiv nachzuführen. Des Weiteren wurden Bildfilter eingeführt, die störende, von der strukturierten Oberfläche hervorgerufene regelmäßige Störungen (siehe Abbildung 5) reduzieren.

Um die Auswertung bei der Fehlerklassifizierung zu unterstützen, werden zusätzliche produktionsrelevante Daten erfasst und übertragen.

Die Einbindung in das MES hat sich gegenüber der Version 2.0 nicht geändert. Die Anzeige der NIO/IO-Bereiche über die Ampel wurden ebenso übernommen, wie die Möglichkeit, die Fehlerbereiche einer externen Steuerung zu signalisieren.

3.2.1. Bewertung auf KI Basis

Neben den oben geschilderten prinzipiellen Algorithmen enthielt die Bewertungslösung für den Scanner der zweiten Generation eine Reihe von Elementen für das Feintuning. Bei Einführung neuer Produkte musste regelmäßig an diesen Stellschrauben nicht ohne Aufwand justiert werden, wobei die Stabilität der Gesamtlösung zu beachten war.

Aus diesem Grund wurde auch das Bewertungskonzept auf den Prüfstand gestellt. Mit der Begründung, dass beim vorliegenden Prozess eine Reihe von Einflussgrößen in teilweise unbekannter Art und Weise miteinander interagieren, fiel die Wahl auf eine Lösung mit Klassifikation. Wegen der großen Fortschritte, die in jüngster Zeit gerade auf dem Gebiet der neuronalen Netze erreicht worden sind und einer Reihe von Voruntersuchungen zur Eignung verschiedener Klassifikatoren, qualifizierte sich schließlich diese Methode.

Es wurde eine einfache Netzvariante als Multilayer Perzeptron mit nur einem hidden Layer realisiert. Das Netzwerk wird mit 72 Eingangsvariablen gespeist. Auf Grund der großen Anzahl von Messwerten, werden nicht die Ultraschallmesswerte selbst übergeben. Stattdessen wird eine Clusterung der Messwerte nach Amplitudenstufen vorgenommen. Dem neuronalen Netz wird dann die Anzahl der Messwerte pro Cluster sowie ein Aussage zur Nachbarschaft von Messwerten innerhalb eines Clusters zugeführt. Außerdem liegen folgende Parameter am Eingang an:

- Anregungsspannung der Ultraschallsender
- Verstärkung des Empfangskanals
- Vorschubgeschwindigkeit des Brettes
- Brettoberflächentemperatur
- Mittelwert und Standardabweichung der Messwerte eines Flächenelements
- Informationen zum Bretttyp und dessen Oberfläche

Für die Lernphase des Netzes wurden Scanner der 3. Generation an der Fertigungslinie rein zur automatischen Erfassung von Messdaten angebracht. Die Messdaten wurden jeweils mit den Bewertungen der noch arbeitenden Scanner der Generation 2 kombiniert. Auf diese Weise wurden relativ schnell sehr viele Lern- und Testdaten, jeweils nach IO und NIO separiert, erzeugt. Mit Hilfe des Backpropagation Algorithmus wurden die Daten dem neuronalen Netz zugeführt. Das Bewertungsergebnis wurde automatisch mit der Scanner-2.0-Referenz verglichen. Nach 10.000 Iterationen wurde ein Fehler von $< 10^{-8}$ erreicht. Anschließend wurde die Qualität des neuronalen Netzes mit Testdaten überprüft.

Im Ergebnis stand ein sehr robustes Bewertungsverfahren zur Verfügung, das mit den verschiedenen Prozesszuständen auf hervorragende Weise zurechtkommt. Allerdings stellte sich heraus, dass nicht, wie ursprünglich beabsichtigt, alle Bretttypen mit einem einzigen Netz bewertet werden können. Eine vom Bretttyp abhängige Lernphase machte sich erforderlich, um eine ausreichend hohe Erkennungsrate ($> 99\%$) zu erreichen. Da auf den 16 Produktionslinien in der Regel unterschiedliche Produkte hergestellt werden, steigen die Anforderungen an die Rechenleistung des Auswerterechners, auf dem theoretisch bis zu 16 Klassifikatoren gleichzeitig aktiv sind, deutlich an

4. Zusammenfassung

Der Einsatz von Prüfsystemen auf der Basis von luftgekoppeltem Ultraschall hat sich bei der Herstellung von WPC-Dielen bewährt. Relevante Fehlstellen im Material werden sicher erkannt. Mit entsprechend leistungsfähigen Elektronikbaugruppen und Auswerteverfahren in der Signalverarbeitung lassen sich selbst 50 mm starke Konstruktionsbalken in Transmission untersuchen. Die Prüfsysteme erlauben durch ihre sichere Bewertung der Produktqualität in Echtzeit ein schnelles Feedback zur Korrektur von unerwünschten Schwankungen im Prozess und haben zu einer deutlichen Senkung der Ausschussquote geführt. Gleichzeitig stieg die durchschnittliche Produktionsgeschwindigkeit auf das 4fache an.

Eine weitere Reduzierung der Ausschussquote kann dadurch gelingen, dass die Inspektionssysteme mit der im Prozess nachfolgenden Säge gekoppelt werden. Dadurch werden die auszusortierenden Bretter auf Längen deutlich unterhalb der Verkaufslänge ($\geq 2\text{m}$) reduziert. Zukünftige Herausforderungen ergeben sich auch durch neue Oberflächenstrukturen, die die Führung der Ultraschallköpfe entlang komplizierterer Trajektorien erfordern.

Referenzen

- [1] Dr. Deming's 14 Points for Management. <https://deming.org/management-system/fourteenpoints>. Letzter Besuch 30.3.2017
- [2] W. Volk, et.al. Trends und Herausforderungen für die deutsche Gießerei- Industrie aus Sicht der akademischen Forschung. Giesserei Special 01/2016 S.22-29
- [3] Lutz Hagner, Franz Mnich, Bert Reimann: Poren in Bearbeitungsflächen- Prüfung mittels Inline CT und die Auswirkungen auf die Qualitätskosten. Leichtbau im Guss Tagung 10/2013 Saarbrücken