

## **Weiterverarbeitung von WPC für technische Anwendungen**

**Clauß, B., Dr.-Ing.; Gehde, M., Prof. Dr.-Ing.;**

**Nendel, K. Prof. Dr.-Ing.; Eichhorn, S. Dipl.-Ing.**

Technische Universität Chemnitz, Institut für Fördertechnik und Kunststofftechnik.,  
Reichenhainer Str. 70, D-09126 Chemnitz, GERMANY

### **1 Zusammenfassung**

Der Einsatz von WPC hat in den letzten Jahren starke Zunahmen erreicht, wobei sich die Hauptanwendungsgebiete auf den Garten- und Landschaftsbau und den Baubereich, sowohl für Innen- und Außeneinsatzbeispiele, beschränken. Umfassende Erkenntnisse zur Bauteilfertigung im Bereich des Spritzgießens, des Extrudierens und des Pressens liegen vor. Technische Anwendungen mit hohen Anforderungen an statische und dynamische Festigkeiten stellen ein weiteres attraktives Einsatzgebiet dar, welches jedoch aufgrund fehlender Erkenntnisse in der Veränderung der Eigenschaften in Abhängigkeit der Belastungsart und –dauer derzeit noch keine Praxisrelevanz zeigt. Die Erschließung technischer Anwendungen setzt neben der Untersuchung des Verhaltens von WPC-Bauteilen unter maschinenbautypischen Lastkollektiven ebenfalls entsprechende Fügeverfahren voraus, da die häufig preiswerten WPC-Bauteile als nicht sichtbare Trägerelemente mit einem Dekor überzogen oder mit anderen Materialien verbunden werden müssen.

Die im folgenden vorgestellten Arbeiten sollen zur Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von WPC-Bauteilen beitragen, wobei die Untersuchung möglicher Fügeverfahren und ein praxisnahes Anwendungsbeispiel die Schwerpunkte bilden.

Mittels Heizelement- und Vibrationsschweißens ist es gelungen, WPC-Bauteile sowohl mit gleichen Materialien als auch mit dem jeweiligen reinen Matrixmaterialien in Mischbauweisen zu verbinden. Deutlich werden hierbei verfahrensbedingte Einflüsse der Temperaturen bzw. des Energieeintrages, der Kräfteinleitung (Fügedruck) sowie rezepturbedingte Einflüsse des Anteiles von Haftvermittlern. Durch entsprechende Verfahrensführung können Festigkeiten der Schweißverbindung im Bereich der WPC-Grundmaterialfestigkeit erreicht werden. Da die Untersuchungen erst am Anfang stehen, müssen die Ergebnisse durch Dauerfestigkeitstests (Kriech- bzw. Zeitstandsversuche) ergänzt werden.

Ausschlaggebend für die Durchführung eines praxisnahen Tests der WPC-Werkstoffe war deren zu erwartender Vorteil im tribologischen Verhalten, d. h. indem der anfängliche Abrasivverschleiß der polymeren Komponente als Schmiermittel den Verschleiß und die Reibungszahl der stärker tragenden Holzkomponente verringert und damit auch die Temperaturentwicklung insgesamt senkt. Im Praxistest wurde das Dauerlaufverhalten eines Hybridprofils aus Aluminium und WPC in einem Hängeförderer-System unter dynamischen Belastungen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die WPC-Bauteile des Hybriden den unterschiedlichen Beanspruchungen und den daraus resultierenden Verformungen nach in Summe 3000 h Testbetrieb, ohne sichtbare Schäden standhielten. Weiterhin waren keine Nachteile bezüglich der Praxistauglichkeit im Vergleich zu dem Standardprofil aus Aluminium feststellbar.

### **2 Werkstoffe und Rezepturen**

Aus einer Auswahl von Matrix-, Füllstoff- und Zusatzmaterialien (Haftvermittlern) wurde eine Rezeptur entwickelt, die sich durch hohe Festigkeiten und Steifigkeiten auszeichnet. Als Matrixmaterial wurden Thermoplaste (PP/PE) mit höheren Festigkeitskennwerten gewählt, als Füllstoff feineres Weichholz (Mischung aus Fichte/ Tanne) mit einer mittleren Faserlänge von 75 µm.

Die Faserlänge und somit die Aufbereitungsart des Holzes hat einen signifikanten Einfluß auf die Festigkeit im Compound. Tendenziell liefern kleinere Holzpartikel höhere Festigkeiten und Steifigkeiten, unabhängig von der Holzart. Weiterhin steigt mit zunehmendem Holzanteil die Steifigkeit des Werkstoffes an, gleichzeitig nimmt die Sprödigkeit zu (Erhöhung des E-Moduls, Verringerung der Bruch-

dehnung, keine signifikante Änderung der Bruchspannung). Das Werkstoffverhalten ändert sich von zäh-elastisch (reines PP bzw. PE) zu spröd-elastisch (WPC mit höherem Füllgrad).

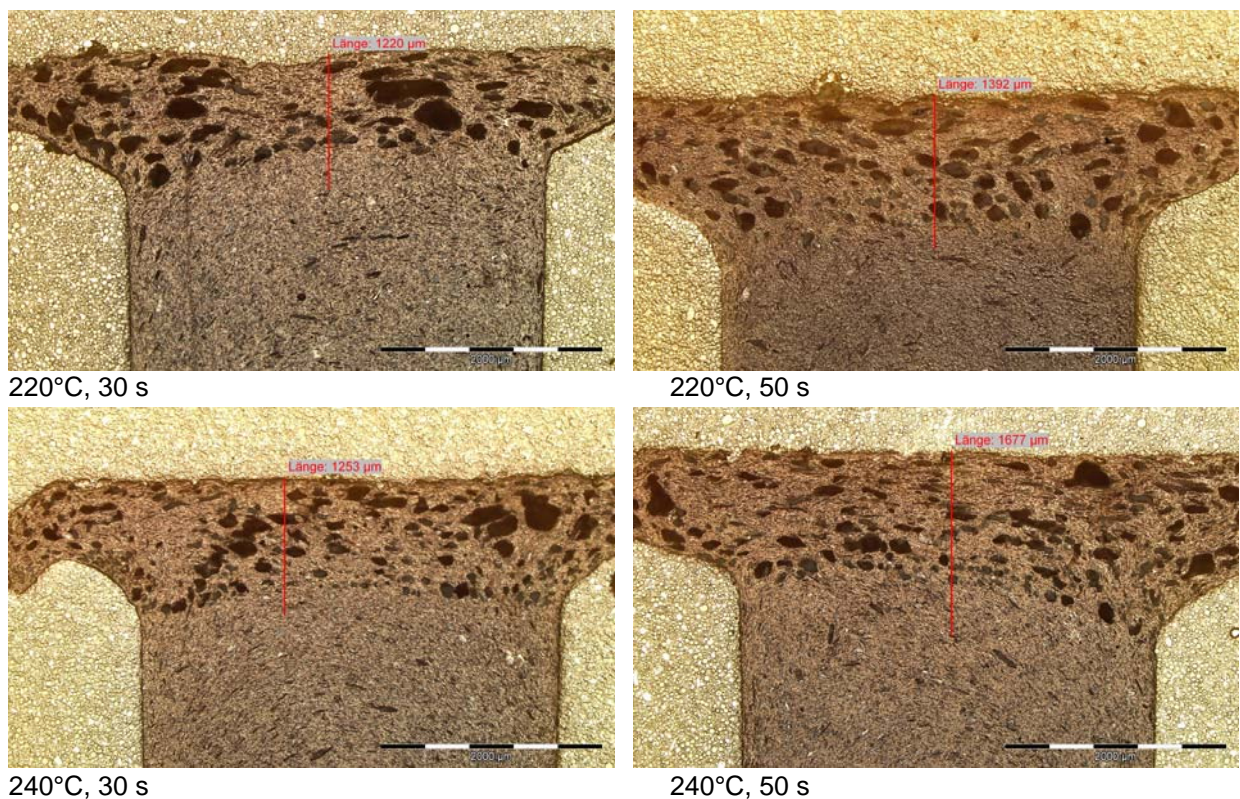
Mit gezielter Zugabe von Haftvermittlern wird das Werkstoffverhalten über zunehmende Festigkeiten, weit über Matrixfestigkeit, und zunehmende Bruchdehnungen verändert.

Die entwickelten Rezepturen wurden zu spritzgegossenen Probekörpern (Zugstäbe, Platten unterschiedlicher Größe und Dicke) und zu extrudierten Profilen verarbeitet. An die Materialentwicklung schließen sich die Verarbeitung durch Schweißen sowie der Nachweis der Dauergebrauchsfähigkeit am Beispiel von WPC-Profilen in einem praxisnahen Test an.

### 3 Fügetechnik in Grundlagen

#### 3.1 Gleichmaterialverbindungen

Aus den Schweißversuchen im Heizelement- und im Vibrationsschweißen liegen erste Ergebnisse vor. Zunächst wurde im Heizelementschweißen bei unterschiedlichen Temperaturen und unterschiedlichen Kontaktzeiten das Aufschmelzverhalten der Fügezone untersucht, s. folgende Aufricht-Mikroskopieaufnahmen.



*Bild 1: Einfluß der Temperatur des Heizelementes und der Kontaktdauer auf die Schmelzbildung im WPC (PP mit Haftvermittler und 50% Holzanteil)*

Die Größe der aufgeschmolzenen Zone steigt mit Zunahme der Kontaktdauer und mit steigender Kontakttemperatur. Gleichzeitig bildet der Werkstoff aufgrund unterschiedlicher Viskositäten der Rezepturbestandteile Lunker und beginnende Orientierungen der Fasern quer zur Fügeebene. In weitergehenden Untersuchungen wurde mit einer Anwärmzeit von 50 s gearbeitet.

Im Ergebnis von Parameterstudien im Heizelementschweißen (Variation der Heizelementtemperatur und des Fügedruckes) zeigen naturfasergefüllte Thermoplaste ein völlig anderes Werkstoffverhalten im Gegensatz zu ungefüllten oder mit mineralischen Fasern gefüllten Thermoplasten.

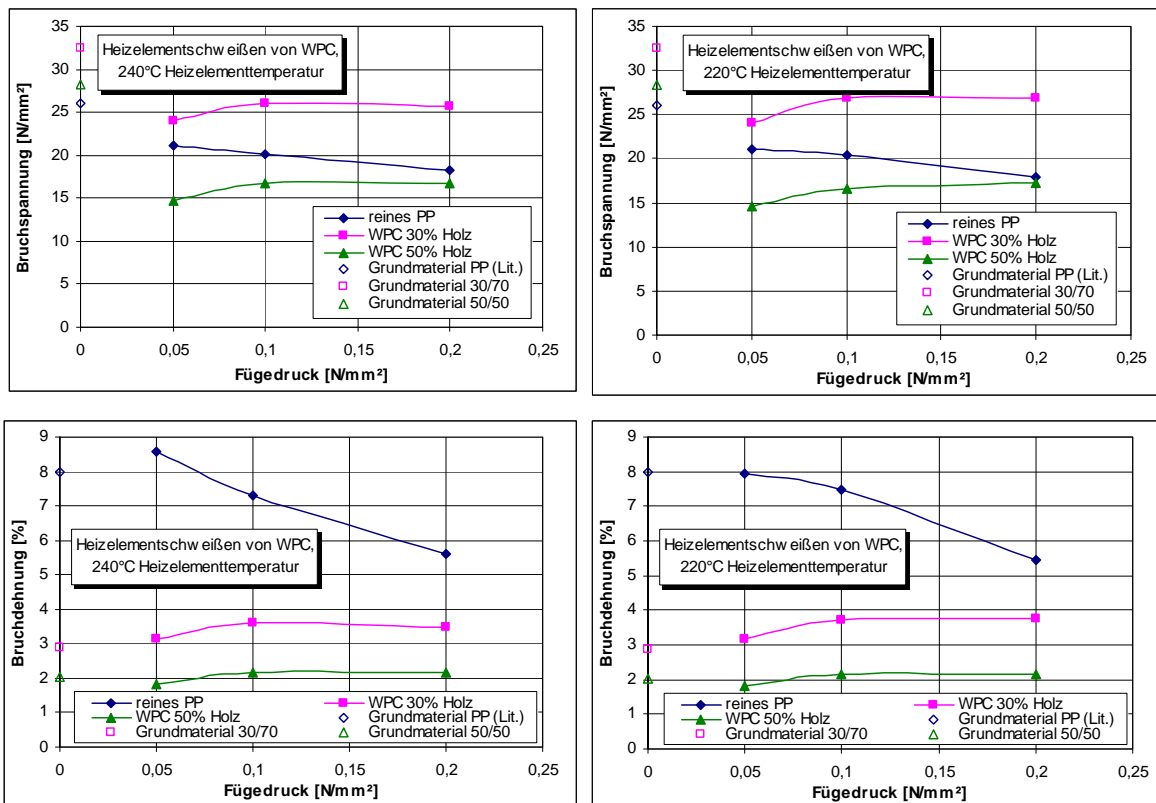


Bild 2: Parametervariation im Heizelementschweißen von WPC (Temperatur des Heizelementes, Fügedruck), Zugversuch DIN EN ISO 527

Schweißverbindungen erreichen eine geringere Festigkeit und eine höhere Dehnung im Vergleich zum ungeschweißten WPC-Grundmaterial. Ursachen hierfür sind in der Orientierung der Holzpartikel zu suchen, welche im Bereich der Fügezone eine fließbedingte Querorientierung zeigen. Im Gegensatz zum ungefüllten Matrixmaterial zeigen beim Heizelementschweißen die Eigenschaften der WPC-Proben eine geringere Abhängigkeit von den Verfahrensparametern, wie Fügedruck oder Heizelementtemperatur, Bild 3.

Um das Werkstoffverhalten in der Fügezone besser zu verstehen, wurden unterschiedliche mikroskopische Analysen (Auflicht/ Durchlicht mit Polarisationsoptik) durchgeführt. Deutlich zu erkennen sind Fließlinien/ Ausrichtungen der Partikel. Schwierigkeiten entstehen in der Unterscheidung von Holzpartikeln und Fehlstellen (Lunker). Erst durch die 2. Aufnahme Bild 4 ist deutlich zu erkennen, dass in der Fügezone vorwiegend quer orientierte Füllstoffe und im Schweißwulst überwiegend Lunker zu finden sind.



Bild 3: WPC 50% PP, 50% Holz ( $T_{HE}$  240°C,  $p_F$  0,1 N/mm²), Auflichtmikroskopie einer Schliifprobe 2,5 fach





Bild 4: WPC 50% PP, 50% Holz ( $T_{HE}$  240°C,  $p_F$  0,1 N/mm<sup>2</sup>) Durchlichtmikroskopie einer Dünnschnittprobe, 2,5 fach

Weiterhin wird die entsprechende Festigkeit erst durch die Zugabe eines Haftvermittlers erreicht. WPC-Proben, die ohne Haftvermittler hergestellt waren, zeigen deutlich geringere Festigkeiten. Einflüsse in der Verarbeitung von offenen (mechanisch bearbeiteten) und unbearbeiteten Kanten (mit Spritzhaut) sind erkennbar, jedoch nicht sehr deutlich.

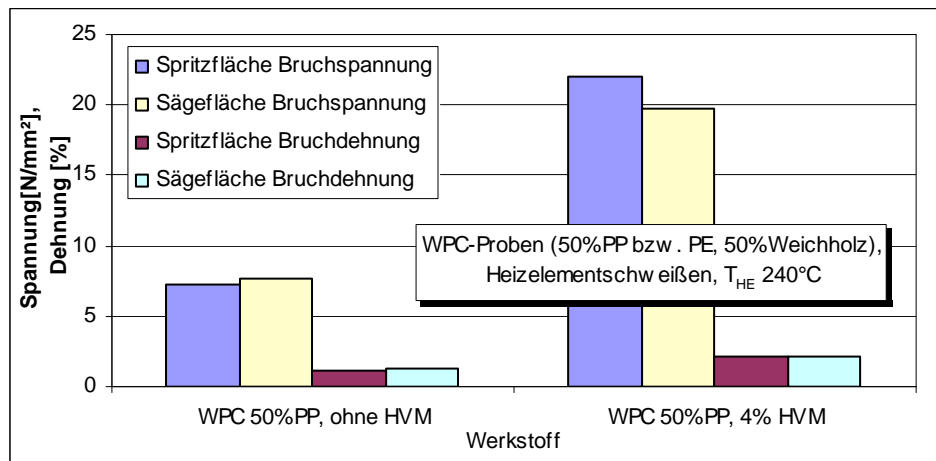


Bild 5: Einfluß der Haftvermittlerzugabe im Heizelementschweißen von WPC, Zugversuch DIN EN ISO 527

Ähnliche Strukturen treten ebenfalls bei vibrationsgeschweißten Proben auf.



PP mit Haftvermittler und 50% Holz



PP mit Haftvermittler und 30% Holz

Bild 6: Proben, mit dem Vibrationsschweißen hergestellt, unterschiedliche Füllgrade

Beim Vibrationsschweißen zeigten sich Probleme durch den Verzug der spritzgegossenen Platten. Da bei diesem Verfahren kein Angleichen möglich ist, musste der Fügweg erhöht werden, um den Verzug auszugleichen und die Plattenprobekörper über die gesamte Fügefläche verschweißen zu können. Allerdings ergaben sich unterschiedliche Schmelzeschichtdicken, die wiederum zu unterschiedlichen Festigkeiten innerhalb der verschweißten Platten führten.

### 3.2 Mischmaterialverbindungen

Die Herstellung einer Schweißverbindung bestehend aus einem WPC mit einem Thermoplast anderer Eigenschaft (ungefüllt/ mit anderen Fasern gefüllt) setzt den Ausgleich der unterschiedlichen Werkstoffstrukturen über die Einstellung der Prozessparameter (kraft-, zeit- und temperaturabhängig) voraus. So ist beim Vorhandensein eines gefüllten und eines ungefüllten Fügepartners von zwei Werkstoffen mit unterschiedlichen Viskositäten und unterschiedlichen Wärmekapazitäten auszugehen. Werden diese unterschiedlichen Fügepartner in gleichen Zeiten und bei gleichen Temperaturen erwärmt, so ist die Schmelzeschichtdicke der Fügepartner sehr unterschiedlich.

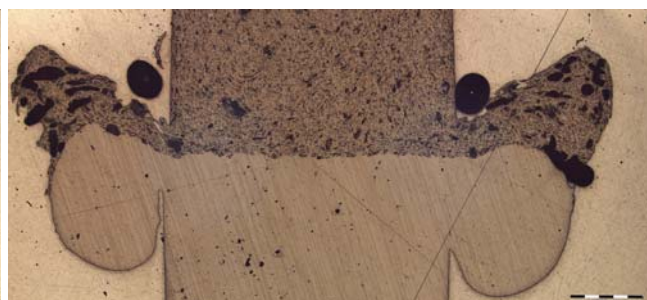
Da auf Erfahrungen in der Schweißung von WPC's mit anderen Werkstoffen nicht zurückgegriffen werden kann, wurde in der Literatur nach Analogien gesucht. In der Literatur [3] gibt es Ansätze, durch unterschiedliche Temperaturen auf den Seiten des Heizelements (sog. unsymmetrische Erwärmquelle durch zwei gegeneinander isolierte, getrennt regelbare Heizelemente mit eigener Zeitsteuerung pro Seite) eine Angleichung der Viskositäten der Werkstoffe und somit ein homogenes Fließen in der Fügezone zu erhalten. Mischmaterialschweißungen sind nach [4] dann möglich, wenn die Oberflächenenergien der Fügepartner ähnlich sind und annähernd gleiches Fließverhalten besitzen, wobei letzteres durch die Temperatur beeinflusst werden kann.

Neben der Angleichung der Viskositäten über die Temperatur kann auch eine Anpassung über die Fügewege erfolgen [5]. Das Zusammenwirken der einzelnen Parameter kann nur durch die nähere Betrachtung der thermischen, rheologischen und mechanischen Eigenschaften der Kunststoffe aufgeklärt und so Schlussfolgerungen für die angestrebten Nahtfestigkeit gegeben werden.

Eine weitere Variante besteht in der Nutzung einer herkömmlichen symmetrischen Erwärmquelle beim Heizelementschweißen und dem Ausgleich der Fließeigenschaften des Materials sowie der unterschiedlichen Wärmeabsorption über unterschiedliche Anwärmzeiten. Dieses Vorgehen stellt eine besondere Anforderung an die Maschinensteuerung dar, da alle klassischen Verfahren von einer symmetrischen Wärmeverteilung und demnach gleichen Erwärmungszeiten beider Fügepartner ausgehen.

Die ersten eigenen Untersuchungen wurden zur Darstellung der grundsätzlichen Möglichkeit einer Schweißverbindung von WPC mit den reinen Matrixmaterialien durchgeführt, hierbei wurden die gleichen Parameter verwendet, wie zur Herstellung der Gleichmaterialverbindungen. Die o. g. Anregungen aus der Literatur sollen auf ihre Übertragbarkeit in weiterfolgenden Untersuchungen getestet werden.

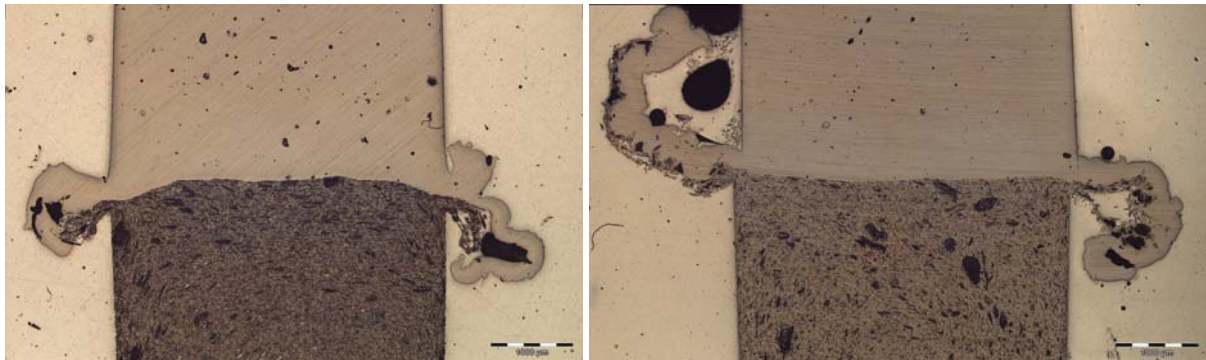
Im folgenden sind Auflichtproben der Schweißverbindungen aus mit unterschiedlichen Holzanteilen gefülltem PP und reinem PP dargestellt.



WPC (50% Holzanteil) + PP

WPC (30% Holzanteil) + PP

Bild 7: Heizelementschweißen von WPC mit PP, ( $T_{HE} 240^{\circ}C$ ,  $p_F 0,1 N/mm^2$ ),

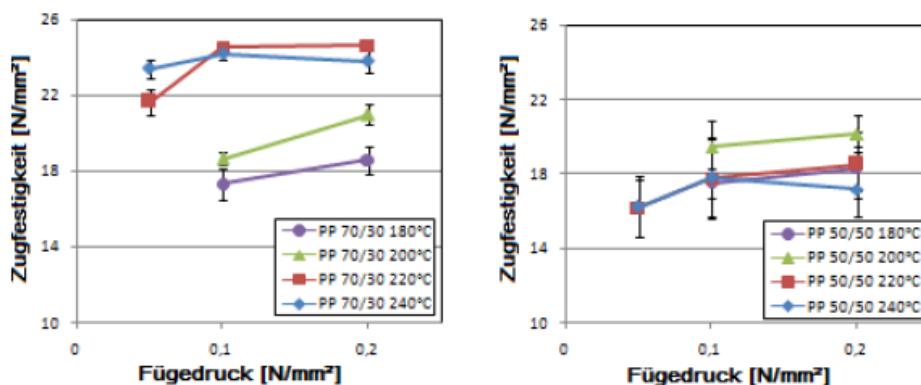


WPC (50% Holzanteil) + PP

WPC (30% Holzanteil) + PP

Bild 8: Vibrationsschweißen von WPC mit PP

Die im Zugversuch ermittelten Festigkeitswerte der Mischverbindungen liegen im Bereich der WPC-Gleichmaterialverbindungen. Je geringer der Holzanteil im WPC-Fügepartner, umso höhere Festigkeiten können erreicht werden. Ebenfalls werden Einflüsse durch die Heizelementtemperatur und den Fügedruck deutlich.



WPC (30% Holzanteil) + PP

WPC (50% Holzanteil) + PP

Bild 9: Parametervariation im Heizelementschweißen von WPC (30% bzw. 50% Holzanteil) mit PP (Temperatur des Heizelementes, Fügedruck), Zugversuch DIN EN ISO 527

#### 4 Praxisnahe Untersuchungen zum Dauerlaufverhalten eines Hybridprofils aus WPC und Aluminium in einem Hängefördersystem

##### 4.1 Ausgangssituation – Versuchsaufbau – Methode

Mit einem Hängerfördersystem werden Stückgüter flurfrei innerhalb des innerbetrieblichen Materialflusses transportiert. Bei der verwendeten Testanlage sind die Aufnehmer mit Tragrollen versehen zu Segmenten (Förderzügen) verknüpft und in einem Schienensystem (Tragprofil) geführt. Der Antrieb erfolgt per Reibrad am Aufnehmer.

Ziel der Untersuchungen ist es, die Unterschiede im Dauerlaufverhalten des bestehenden Tragprofils aus Aluminium im Vergleich zu denen eines Hybridprofils (Bild 10) aus Holzkunststoffverbund (WPC) und Aluminium zu charakterisieren. Darauf aufbauend soll die Haltbarkeit der Hybridbauweise bei Raumtemperatur und ca. 50% relativer Luftfeuchtigkeit über einen längeren Versuchszeitraum und verschiedenen Belastungen betrachtet werden. Der Compositeteil des Hybridprofils besteht aus WPC mit 70% Weichholz und 30% Polypropylen (PP).

Als Messmethode wird eine Kombination aus optischer Begutachtung und periodische Erfassung der auftretenden Schwingungen im Fördersystem (Körperschall) gewählt. Schäden oder Veränderungen an den Komponenten des Fördersystems sollen dabei als visuelle feststellbare Veränderungen und/oder als Unterschied im charakteristischen Schwingungsbild detektiert werden. Weiterhin erlaubt

die Kenntnis der Schwingungsamplituden Aussagen über die Belastung des Fördergutes durch die vorhandenen Beschleunigungen im Transportprozess.

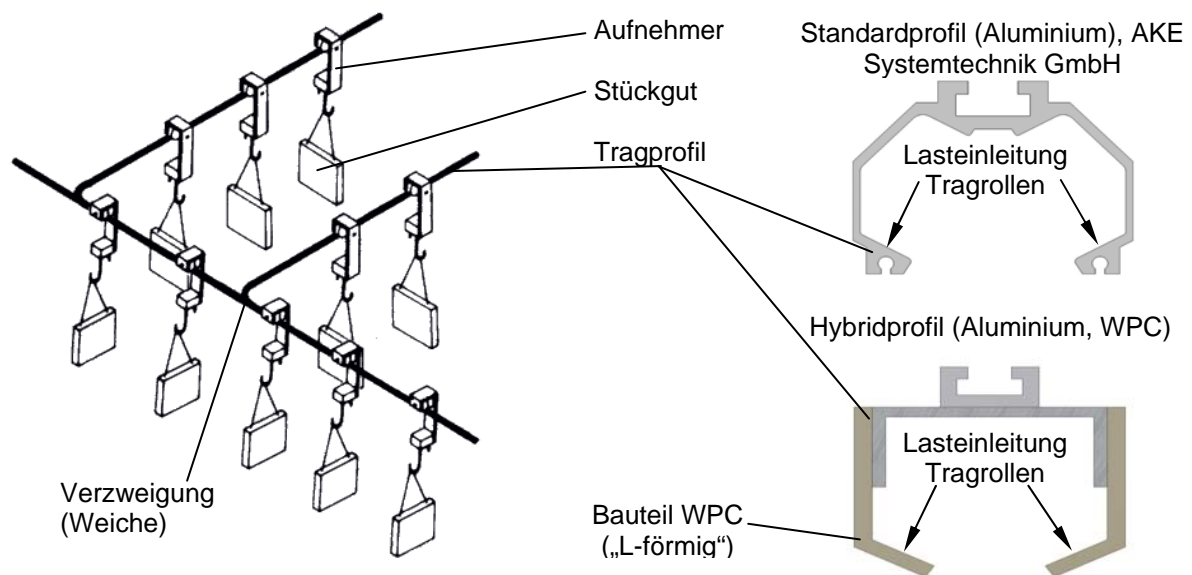


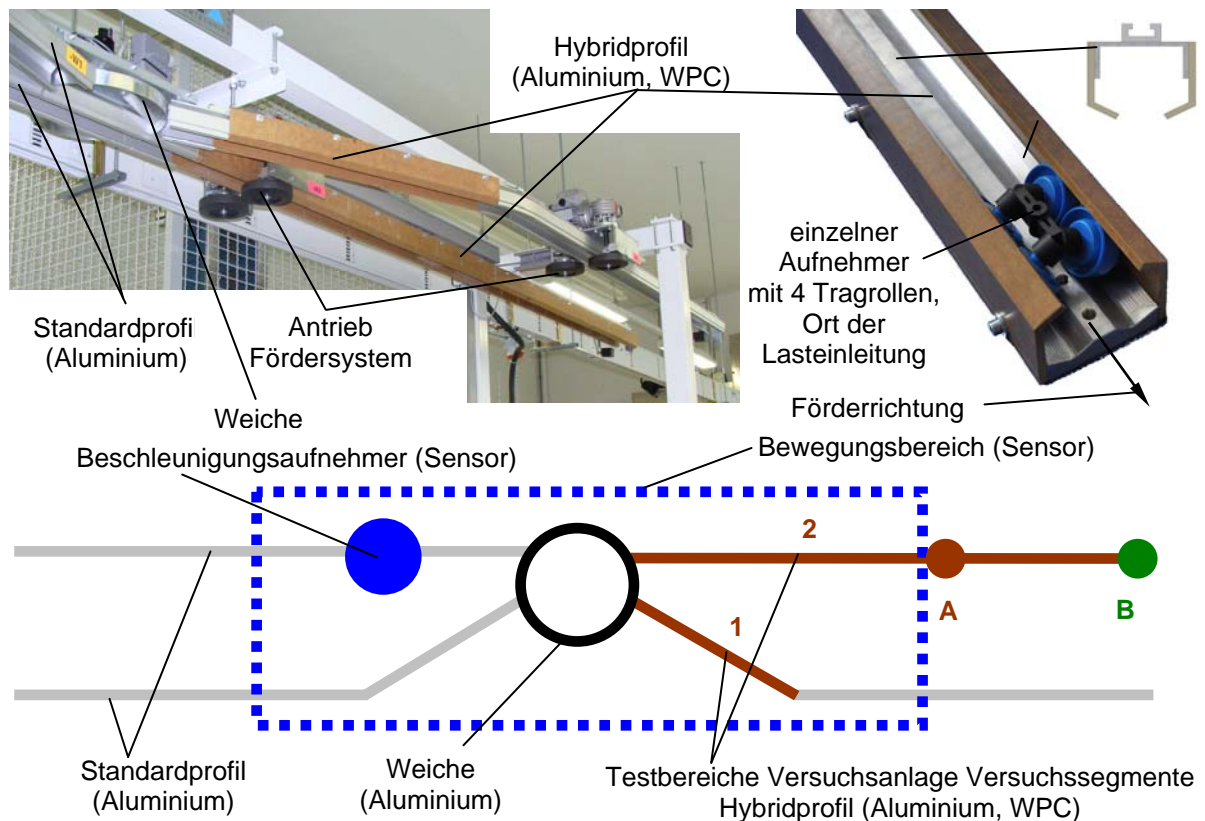
Bild 10: Schematische Abbildung Hängeförderer [1] mit Profilquerschnitten

Auf das Tragprofil in der Testanlage wirken tribologische (tribomechanische) und mechanische Belastungen. Die tribologischen Belastungen treten durch Berührung der Aufnehmer an den Stoß- und Verzweigungsstellen des Profils als Gleitreibung sowie durch Rollreibung an den Kontaktpunkten der Tragrollen zum Tragelement auf.

Nach einer Charakterisierung des Reibungs- und Verschleißverhalten von WPC bei Gleitreibungsbelastung [2] wurde deutlich, dass WPC unter bestimmten Randbedingungen den tribologischen Anforderungen in einem Fördersystem gewachsen ist. Neben der Tauglichkeit des WPC für weitere Untersuchungen in einem Hängefördersystem ließ sich aus den Ergebnissen ableiten, dass die tribologischen Belastung aus Rollreibung eine untergeordnete Bedeutung in der gewählten Testanordnung besitzt.

Der beschriebene Dauerversuch (Bild 11) rückt die Eignung und das Verhalten von WPC in einem Fördersystem unter dynamischen mechanischen Belastungen in den Vordergrund der Betrachtungen. Das Hybridprofil wurde gezielt an zwei Bereichen in die Versuchsanlage eingesetzt. Die Frequenz der dynamischen Belastungen ist durch den Bewegungszyklus des Förderzuges in der Anlage bei einer Gesamtdauer von ca. 104 Sekunden festgelegt. Das während des Betriebes der Anlage durch kleine Stöße erzeugte charakteristische Schwingungsspektrum wird in Form von Körperschall in der Struktur weitergeleitet, durch einen mobilen Beschleunigungsaufnehmer für die vorhandenen Vertikalbeschleunigungen gemessen und nachfolgend in die verschiedenen Zyklusteilen (1-6, vgl. Bild 12 bis Bild 14) zerlegt. Der Sensor ist mittig im Förderzug auf einem Aufnehmer platziert. Die Messung erfolgte somit an einem definierten Punkt, welcher sich in einem fixen Bereich der Anlage bewegt. Sie beinhaltet dabei das gesamte Schwingungsspektrum, welches durch die Bewegung des Förderzuges und den Betrieb der Anlage (z.B. Weichenstellung) entsteht. Ereignisse, die örtlich näher am Sensor auftreten, besitzen mehr Einfluss und erzeugen größere Amplituden.





Belastung	Belastungscharakteristik, gleichmäßige Flächenlast	Last/m [kg/m]	Gesamtlast Förderzug [kg]	Durchbiegung Punkt B [mm]
I	symmetrisch zum Sensor, ca. 50% des Förderzuges belegt	28,9	37,2	4
II	symmetrisch zum Sensor, Förderzug komplett belegt	28,9	70,2	11
III	Förderzug komplett belegt	42,0	102,0	18

Bild 11: Versuchstand mit Hybridprofil – Versuchslayout – Belastungen

Die Testbereiche des Hybridprofils sind direkt an die Weiche angekoppelt. Im Bereich 1 wurde das Profil mit kurzer Stützweite eingebaut (Länge 770 mm). Bereich 2 beinhaltet ein längeres Stück Profil (Gesamtlänge 2845 mm), welches sich bei gleichen Einbaubedingungen aufgrund der veränderten Stützweite und größeren Flächenlast stärker verformen kann (Weiche bis Punkt A, Länge 1690 mm). Der Bereich ab Punkt A (Länge 1155 mm) wurde als „Kragarm“ ausgeführt. Er erlaubt große Verformungen des Hybridprofils im Punkt B. Die Belastungen und die daraus resultierende Durchbiegung am Ende des Kragarmes (Punkt B) sind in (Bild 11) dargestellt. Die WPC-Komponenten im Hybridprofil werden durch mehrachsige schwellige Biegung mit kombinierter Zugbelastung beansprucht. Die Mehrachsigkeit resultiert aus der Belastung des Profils um die Achse 90° zur Förderrichtung sowie der Aufweitung der L-förmigen WPC-Anteile (Biegung um die Achse in Förderrichtung). Die Zugbelastung wird durch die vertikale Kraftkomponente, welche auf die L-förmigen WPC-Bauteile wirkt, bestimmt. Alle Belastungen wurden stufenweise mittels Gewichten, hängend an den einzelnen Aufnehmern des Förderzuges, aufgebracht.

#### 4.2 Ergebnisse

Die Darstellungen der Ergebnisse beinhalten jeweils einen charakteristischen Gesamtzyklus zu Versuchsbeginn und nach 1000 h Dauerlauf. Beide Zyklen wurden in ihre Zykusteile (1-6) unterteilt. Die einzelnen Ereignisse im Zyklus bzw. Aufenthaltsorte des Sensors sind farblich dargestellt. Grün ist der Weichenaktivität und dem Stillstand des Förderzuges, grau der Fahrt über das Standardprofil (Aluminium), schwarz der Überfahrt der Weiche (Standardprofil), braun den Testbereichen 1 und 2 und blau dem Richtungswechsel des Förderzuges zugeordnet.



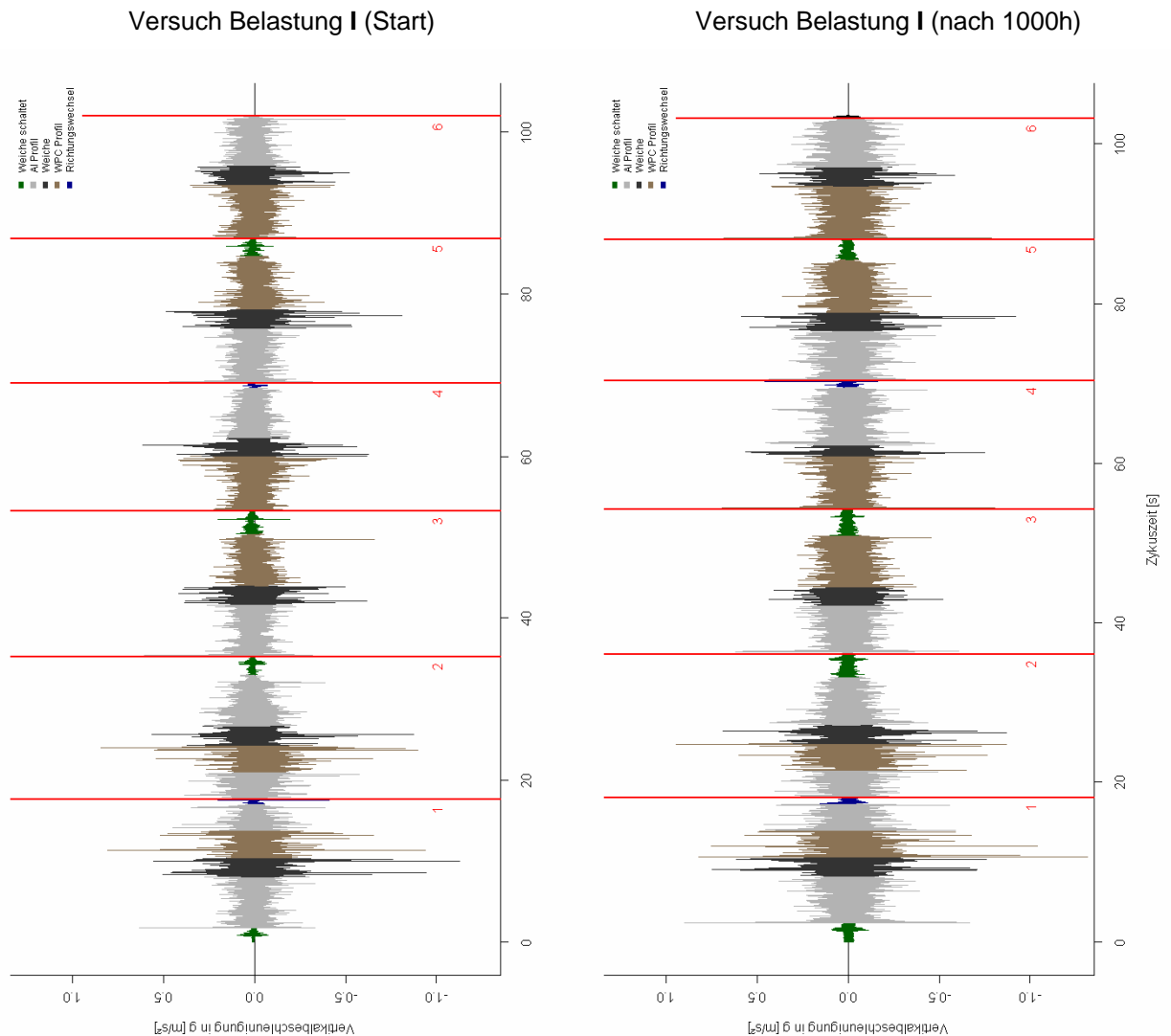


Bild 12: Amplituden Vertikalbeschleunigung über Zykluszeit (Belastung I Start, nach 1000h)

Die Maximalwerte der Beschleunigungen in Zyklusteil 1, 2 und bei Überfahrt der Weiche sind bei allen Diagrammen (Bild 12 bis Bild 14) neben Problemstellen in der Weiche einem Montageabsatz (ca. 1,5 mm) zwischen Weiche und Testbereich 1 zuzuordnen. Schläge auf die überfahrenden Tragrollen sind durch diesen Absatz besonders ausgeprägt. Im Bereich 5 und 6 (Testbereich 2) ist dieser Effekt nur in der Weiche zu beobachten, im Vorfeld und im Anschluss (Entfernung zum Sensor) ist er nicht in vergleichbarer Form ausgeprägt.

Bild 12 zeigt die Beschleunigungscharakteristik eines Förderzyklus bei Belastungsstufe I. Nach 1000 h ist keine grundlegende Änderung des charakteristischen Beschleunigungsprofils messbar. Die tendenzielle Erhöhung der Beschleunigungswerte über dem Standard- und dem Hybridprofil wird auf ein „Einlaufverhalten“ des Versuchsstandes und dem beginnenden Verschleiß am Antrieb mit resultierendem Stick-Slip-Effekt zurückgeführt. Es wird deutlich, dass die Einflüsse aus Systembestandteilen (Weiche, Montagestoß), welche nicht mit dem Werkstoff WPC im Hybridprofil in Verbindung gebracht werden können, überwiegen.

Bild 13 zeigt die Messungen bei Belastungsstufe II. Gegenüber Belastungsstufe I sind sowohl beim Start als auch nach 1000 h Versuchszeit längere Schaltzeiten der Weiche und Pausen beim Richtungswechsel feststellbar, die vor allem nach 1000 h einem weiter steigenden Verschleiß am Antrieb entsprechen. Zudem sind bei der Weiche (Zyklusteil 5, 6) veränderte Beschleunigungsamplituden feststellbar, welche mit einem optischen und akustisch (deutlicher Schlag bei der Überfahrt) wahrnehmbaren Verschleiß des Bauteils korrelieren. Das Hybridprofil bleibt funktionsfähig, es sind keine Schäden feststellbar.

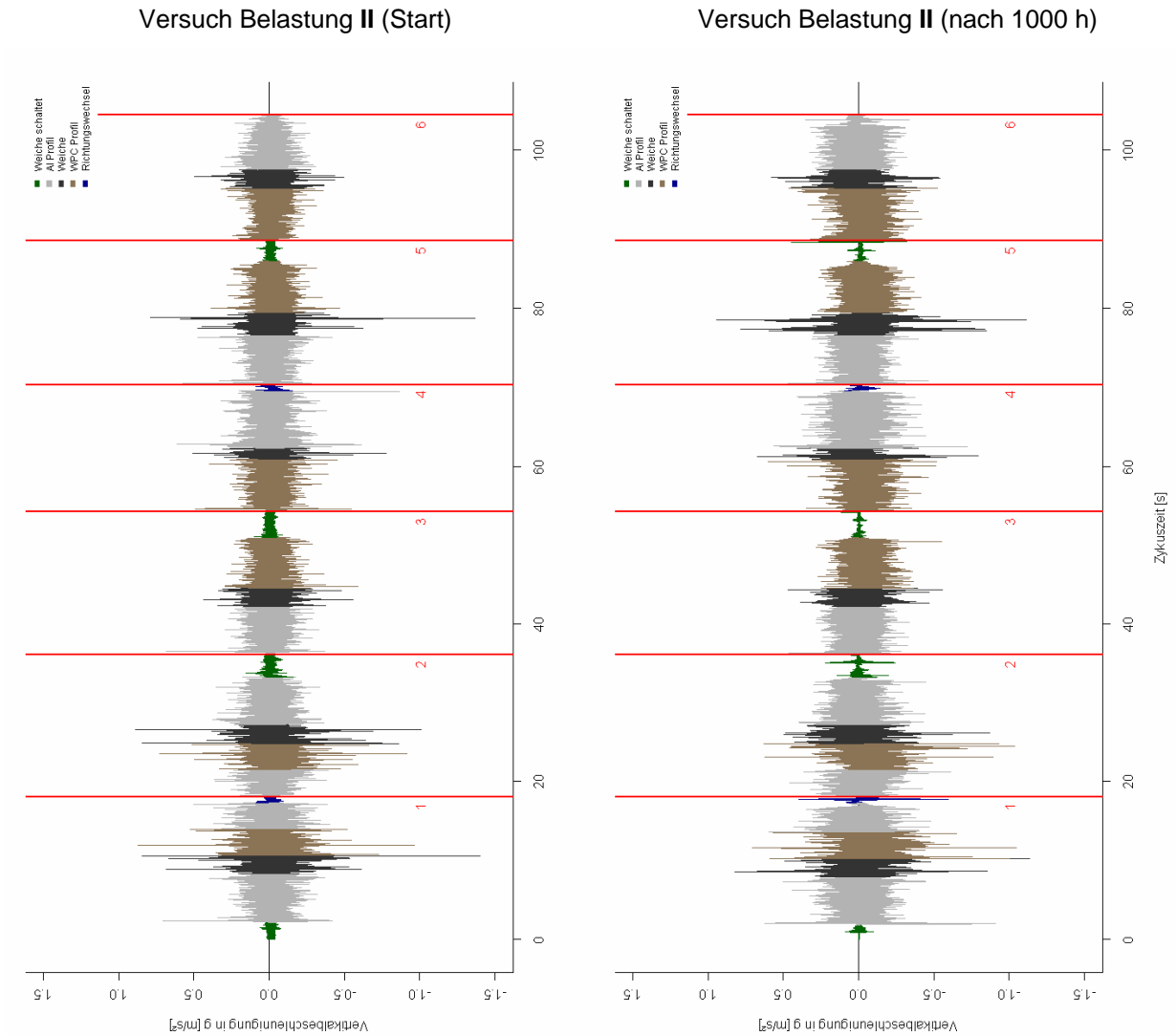


Bild 13: Amplituden Vertikalbeschleunigung über Zykluszeit (Belastung II Start, nach 1000 h)

Bild 14 zeigt die Veränderung der Beschleunigungscharakteristik bei Belastungsstufe III. Die höhere Belastung reduziert die messbaren Amplituden zu Versuchsbeginn im Vergleich zu Belastung II bei der Weichenüberfahrt. Die Schalt- und Richtungswechselzeiten verlängern sich durch steigenden Verschleiß am Antrieb nach 1000h weiter. Die Aussagen aus Belastung I und II bleiben bestehen, aus den Messungen sind keine Schäden am Hybridprofil ableitbar.

Im Gesamtergebnis der Untersuchungen wird deutlich, dass das Hybridprofil aus Aluminium und WPC nach 3000 h Dauerbetrieb bei verschiedenen hohen dynamischen Belastungen und den daraus resultierenden Verformungen voll funktionsfähig blieb und keine sichtbaren Schäden aufwies. Im Fördersystem selbst war über die Zeit des Testbetriebes ein fortschreitender Verschleiß am Antrieb und in der Weiche feststellbar. Die gemessenen Vertikalbeschleunigungsverläufe zeigen im Transportprozess zudem kein nachteiliges Verhalten des hybriden Tragelementes (WPC, Aluminium) im Vergleich zum Standardprofil (Aluminium).

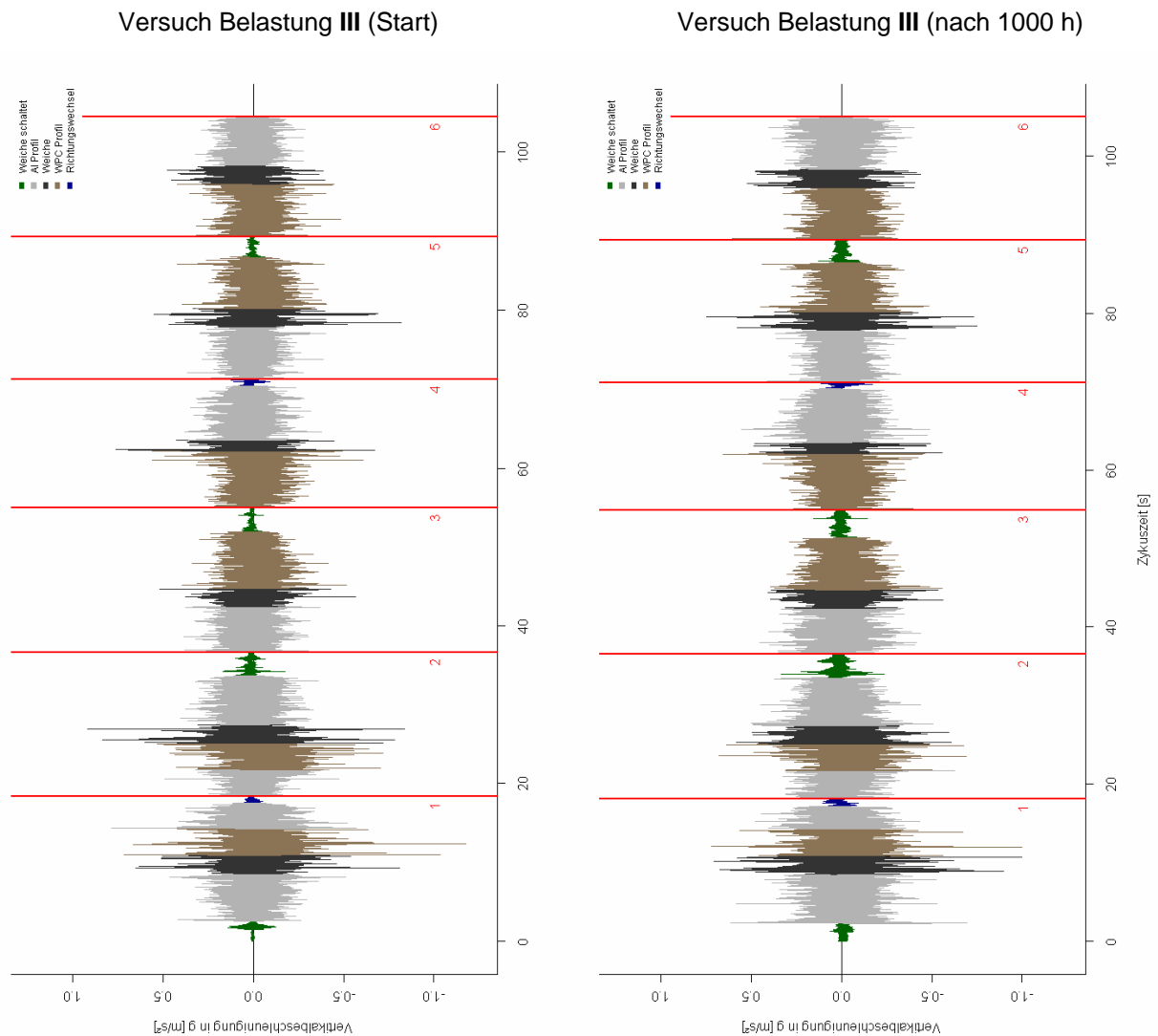


Bild 14: Amplituden Vertikalbeschleunigung über Zykluszeit (Belastung III Start, nach 1000 h)

Aus dem Vergleich der Amplituden des Hybridprofils (Versuchsbeginn – 1000 h) und den parallel auftretenden Veränderungen dieser beim Aluminiumprofil wird abgeleitet, dass im WPC-Teil des Hybriden keine kritischen Schäden vorliegen. Die Veränderungen an Komponenten (Antrieb, Weiche), Montagestöße bzw. das „Einlaufverhalten“ besitzen einen größeren Einfluss auf die Funktionalität der Anlage und die Ausprägung der Messwerte. Weitere Untersuchungen sollen diese These belegen.

## 5 Quellen/Literatur

- [1] Nendel, K.: Vorlesungsskript zur Lehrveranstaltung „Fördertechnik“ Teil 1, 10/2008 S 76
- [2] Eichhorn, S.; Clauß, B.; Nendel, K.: „Charakterisierende Untersuchungen zum Reibungs – und Verschleißverhalten von WPC (Characterising studies of WPC behaviour focusing friction and wear)“, 21. Technomer - Fachtagung über die Verarbeitung und Anwendung von Polymeren, 12. bis 14. November 2009. - Chemnitz : TU, Hausdruckerei, 2009, Seite 57. (<http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2009/0184/index.html>) ISBN 978-3-939382-09-6
- [3] Michel, P.: Parameteroptimierung beim Heizelementschweißen am Beispiel von HDPE, Dissertation an der Universität Paderborn, 1989
- [4] Michel, P.: Werkstoffkundliche Grundlagen. Kunststoffschweißen in der Serienfertigung, Fachtagung, Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg, 21.-22.2.1990 (1990), Seite 33-52
- [5] Potente, H.: Fügen von Kunststoffen – Grundlagen, Verfahren, Anwendung. Hanser Verlag München 2004