

Schlussbericht INFOR-Projekt 212

Eignung von Holzstoff als Rohstoff für eine neuartige Linerqualität

Fachgebiet Papierfabrikation und Mechanische
Verfahrenstechnik (PMV)
Technische Universität Darmstadt

Projektbearbeiter:

M. Sc. Frederic Kreplin (PMV)

Dr.-Ing. Hans-Joachim Putz (PMV)

August 2020



Projektbegleiter:

Gerold Buck / Smurfit Kappa Hoya Papier und Karton, Hoya

Armin Vetter / Papierfabrik Schoellershammer, Düren

Christian Schürmann, Martin Kaltenegger / Leipa Georg Leinfelder, Schwedt

Johann Moser, Dominik Appel / Voith Paper, Heidenheim

Florian Schmid, Stephan Gruber / Papierfabrik Palm, Aalen

Markus Lechthaler / Mayr-Melnhof Karton, Frohnleiten

Philipp Katz / Papierfabrik Adolf Jass, Fulda

Wolfram Gerspach / DS Smith Deutschland, Aschaffenburg

Kontakt:

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Papierfabrikation und

Mechanische Verfahrenstechnik

Prof. Dr.-Ing. Samuel Schabel

Alexanderstr. 8

D-64283 Darmstadt

Telefon: +49 – 61 51 – 16 22 580

Fax: +49 – 61 51 – 16 22 581

E-Mail: schabel@papier.tu-darmstadt.de

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Ausgangssituation	6
2 Forschungsziel und Lösungsweg	7
2.1 Lösungsweg	7
2.1.1 Probenbeschaffung	7
2.1.2 Probenverarbeitung	7
2.1.3 Probenuntersuchung	9
2.1.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	9
3 Probenmaterial, Geräte und Prüfmethode(n)	10
3.1 Probenmaterial	10
3.1.1 Holzstoffe	10
3.1.2 Wellpappenrohapiere	11
3.1.3 Stärke	11
3.1.4 Calciumcarbonat	11
3.2 Geräte	11
3.3 Prüfmethode(n)	13
4 Versuchsdurchführung	14
5 Ergebnisse	18
5.1 Versuchsreihe 1: Holzstoffvariation	18
5.1.1 Suspensionsprüfung	19
5.1.2 Laborblattprüfung	21
5.2 Versuchsreihe 2: Leimpresse	28
5.3 Versuchsreihe 3: Reduzierte flächenbezogene Masse	31
5.4 Versuchsreihe 4: Kompensation der reduzierten Asche	36
5.5 Pilotversuche im Voith-Technikum	39
5.6 Wirtschaftlichkeit	48
Literaturverzeichnis	50

Zusammenfassung

Der Rückgang der Produktionsmengen für grafische Papiere der letzten Jahre bewirkt einen geringeren Eintrag von Frischfasern in den Altpapierkreislauf. Gleichzeitig wächst im Bereich der Verpackungspapiere der Altpapierbedarf. Ziel des Projektes ist es daher, im Labormaßstab zu prüfen, welche Qualitätseigenschaften altpapierhaltige Wellpappenrohapiere unter Zumischung von Holzstoff erreichen können. Dafür wurden insgesamt acht industriell hergestellte Holzstoffe zunächst beschafft, fasermorphologisch charakterisiert und anteilig in Altpapierstoff für Wellpappenrohapiere eingemischt. Als Altpapierstoff wurde ein Wellenstoff und ein Testliner 3 eingesetzt. Die verwendeten Holzstoffe unterscheiden sich im industriellen Aufschlussverfahren und im spezifischen Energieeintrag, sodass unterschiedliche Eigenschaften der Holzstoffe erzielt werden. Um das Potenzial der Beimischung von Holzstoff in Altpapierstoff vollumfänglich beschreiben zu können, wurden zusätzliche Parameter wie die Stärkeapplikation bei der Papierherstellung, Variation des Flächengewichtes und Kompensation des Ascheverlusts berücksichtigt. Abschließend wurden auf der Versuchspapiermaschine der Firma Voith Versuche unter industrienahen Bedingungen durchgeführt, um die Erkenntnisse der Laboruntersuchungen zu verifizieren und die Übertragbarkeit auf die industrielle Produktion zu prüfen. Mit Hilfe der Ergebnisse und den Hintergrundinformationen zur Herstellung der verwendeten Holzstoffe, konnte eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit durchgeführt werden.

Die Suspensionsprüfung des Wellpappenrohapiers und dessen Mischung mit unterschiedlichen Anteilen Holzstoff ergibt, dass das Entwässerungsverhalten der holzstoffhaltigen Papiere verschlechtert wird. Die Ergebnisse der Laborblattprüfung zeigen, dass der Aschegehalt im Papier durch die Zugabe von Holzstoff linear mit dem Holzstoffanteil reduziert wird. Der Holzstoff bewirkt eine Volumenzunahme der Laborblätter, sodass die Rohdichte des Papiers sinkt. Dies ist für Holzstoffe mit geringerem spezifischen Energieeintrag noch deutlicher zu beobachten. Für die Festigkeitseigenschaften zeigt sich, dass holzstoffhaltige Papiere, deren Holzstoffe einem hohen spezifischen Energieeintrag aufweisen, vergleichbare Werte erzielen können wie ein Testliner 3. Wird der Aschegehalt jedoch durch Mineralienzugabe wieder auf das Ausgangsniveau des Testliner 3 angehoben, schneiden die holzstoffhaltigen Papiere schlechter ab. Wie zu erwarten war, wird die Festigkeit durch die Applikation von Stärke durch eine Leimpresse gesteigert. Bei den holzstoffhaltigen Papieren wird beispielsweise die Bruchkraft um bis zu 30 %, bei Testliner 3 jedoch nur um 13 % gesteigert. Durch die Änderung der flächenbezogenen Masse kann die Festigkeit des Papiers linear skaliert werden.

Die Versuche auf der Versuchspapiermaschine bei der Firma Voith bestätigen die Laborergebnisse und zeigen die papiertechnologische Eignung eines holzstoffhaltigen Liners. Allerdings ist bei der Produktion das schlechtere Entwässerungsverhalten zu berücksichtigen.

Anhand der limitierten Angaben zu den Holzstoffen und der sehr individuellen Konfiguration jeder Holzstoffanlage, kann im Rahmen dieses Projektes nur eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Holzstoffliners erstellt werden. Die Abschätzung ergibt, dass Holzstoff unter den getroffenen Annahmen eine Rohstoffalternative zu Zellstoff sein kann. Aus papiertechnologischer Sicht kommen für eine holzstoffhaltige Linerqualität jedoch nur Holzstoffe in Frage, die auf hohe Festigkeit ausgerichtet sind, was wiederum mit einem hohen spezifischen Energieeintrag bei der Holzstoffproduktion und somit höheren Produktionskosten verbunden ist.

Abkürzungsverzeichnis

ATMP	Advanced Thermomechanical Pulp
BCTMP	Bleached Chemo-Thermomechanical Pulp
CTMP	Chemo-Thermomechanical Pulp
hb	High bulk
HS	Holzstoff
ht	High tensile
otro	Ofentrocken
RMP	Refiner Mechanical Pulp
SGW	Stone Groundwood
TL3	Testliner 3
TMP	Thermomechanical Pulp
WS	Wellenstoff
VPM	Versuchspapiermaschine
OCC	Old Corrugated Containers entspricht Altpapiersorte 1.04.00

1 Ausgangssituation

78 % der in Deutschland zu Wellpappe verarbeiteten Wellpappenrohapiere sind Recyclingpapiere in Form von Testliner und Wellenstoff. Nur rund 21 % der für die Wellpappenproduktion verwendeten Papiere sind als Kraftliner oder Halbzellstoffpapiere auf Frischfaserbasis hergestellt und werden vollständig aus dem Ausland importiert [1]. In Deutschland produzierte Wellpappenrohapiere basieren praktisch vollständig auf dem Rohstoff Altpapier. Ihre Altpapier-Einsatzquote liegt seit Jahren bei $107 \% \pm 2 \%$ [2]. Gleichzeitig verzeichnet die Papiersorten-Gruppe Wellpappenrohapiere innerhalb der deutschen Papierindustrie die höchsten Zuwachsraten und benötigt daher immer größere Altpapiermengen als Rohstoff [3].

Da Altpapier in Deutschland mit 75 % bereits jetzt der mit Abstand wichtigste Faserrohstoff für die Papiererzeugung darstellt und seine Bedeutung in den nächsten Jahren auf Grund des prognostizierten Produktionszuwachses im Bereich der Verpackungspapiere und Kartons weiter steigen wird, ist davon auszugehen, dass eine noch stärkere Schließung der Faserkreisläufe die Folge sein wird. Eine Konsequenz davon wird sein, dass bei gleichbleibender Altpapiererfassung und -sortierung mit zunehmenden Anteilen an Fremdstoffen im Altpapier zu rechnen ist. Diese sollen allerdings nicht Gegenstand der Betrachtung sein, sondern vielmehr die Tatsache, dass durch die stärker geschlossenen Recyclingkreisläufe die Fasern statistisch immer mehr Recyclingzyklen zu absolvieren haben. Dieser Trend verschärft sich durch die Tatsache der rückläufigen Produktionsmengen für grafische Papiere [3], wodurch im gemischten Altpapier für die Herstellung von Verpackungsprodukten weniger Frischfasern aus dem grafischen Bereich zur Verfügung stehen. Eine direkte Auffrischung mit Frischfasern im Kreislauf der Wellpappenrohapiere erfolgt überwiegend durch die 21 % Kraftliner und Halbzellstoffpapiere bei der Wellpappenherstellung. Frischfasern aus Karton und grafischen Papierprodukten übernehmen hingegen nur einen geringen Anteil.

Damit stellt sich die Frage, ob zukünftig für die Produktion von Wellpappenrohapiere auf Altpapierbasis die Verfügbarkeit und Sortenreinheit der erforderlichen Altpapiersorten gegeben sein wird und ob das geforderte Qualitätsniveau von Testliner und Wellenstoff gehalten werden kann. Daher soll erstmals der Einsatz von mechanisch aufgeschlossenen Primärfasern zum anteiligen Einsatz in Wellpappenrohapiere untersucht werden.

2 Forschungsziel und Lösungsweg

Ziel des Projektes ist im Labormaßstab zu prüfen, welche Qualitätseigenschaften altpapierhaltige Wellpappenrohpapiere unter Zumischung von Holzstoff erreichen können. Dafür wurden industriell hergestellte Holzstoffe zunächst beschafft, fasermorphologisch charakterisiert und anteilig in Altpapierstoff für Wellpappenrohpapiere eingemischt. Als Altpapierstoff wurde ein Wellenstoff (WS) und ein Testliner 3 (TL3) eingesetzt. Um das Potenzial der Beimischung von Holzstoff in Altpapierstoff vollumfänglich beschreiben zu können, wurden zusätzliche Parameter wie die Stärkeapplikation bei der Papierherstellung, Variation des Flächengewichtes und Kompensation des Ascheverlusts berücksichtigt. Von den verwendeten Holzstoffen wurden zusätzlich Hintergrundinformation zu ihrer Herstellung erhoben, so dass eine Wirtschaftlichkeitsabschätzung durchgeführt werden konnte.

2.1 Lösungsweg

Im Folgenden soll der Lösungsweg und die Vorgehensweise genauer beschrieben werden.

2.1.1 Probenbeschaffung

Zunächst werden von verschiedenen Produzenten Holzstoffproben beschafft. Diese Proben unterscheiden sich hinsichtlich des Aufschlussverfahrens, um ein möglichst breites Spektrum abzudecken. Innerhalb des Verfahrens können sich die jeweiligen Holzstoffe in ihrer Ausprägung unterscheiden. So kann ein Holzstoff, je nach vorgesehenem Anwendungsgebiet, speziell für ein hohes Volumen oder eine hohe Festigkeit hergestellt worden sein. Bei der Probenbeschaffung werden Fragebögen ausgefüllt, die Informationen zum eingesetzten Holzrohstoff und dem Verfahren liefern. Abgefragt werden dabei die Holzart und die Lieferform des Holzes (z. B. Hackschnitzel oder Rundholz), die Vorbehandlungsschritte, wie z. B. Entrindung oder Sortierung, der spezifische Energieeintrag bei der Holzstoffherstellung (ohne Energierückgewinnung) sowie die Ausbeute. Die Ausbeute stellt das Verhältnis von Fertigstoff zu Wareneingang dar. Die Ausbeute fällt somit bspw. bei Verfahren mit Entrindung grundsätzlich geringer aus, als bei Verfahren ohne Entrindung.

2.1.2 Probenverarbeitung

Insgesamt werden vier Versuchsreihen im Labor und ein Versuch auf der Versuchspapiermaschine der Firma Voith mit unterschiedlichen Zielstellungen durchgeführt. Der prinzipielle Ablauf der Laboruntersuchungen ist in Abbildung 2-1 dargestellt.

Versuchsreihe 1:

Für jeden Holzstoff werden entsprechend **Tabelle 2-1** Suspensionsmischungen mit unterschiedlichen Anteilen Holzstoff und Wellpappenrohpapier (Testliner 3 und Wellenstoff) erzeugt und zu Rapid-Köthen Laborblättern mit 120 g/m² verarbeitet. Neben den Mischungen 1 bis 7 (**Tabelle 2-1**) werden auch Laborblätter mit 120 g/m² aus den beiden verwendeten Wellpappenrohpapieren hergestellt, um vergleichbare Ausgangswerte zu erhalten. Ziel dieser Versuchsreihe ist, den Einfluss der verschiedenen Holzstoffe in unterschiedlichen Massenverhältnissen auf das Festigkeitsniveau eines holzstoffhaltigen Liners zu ermitteln.

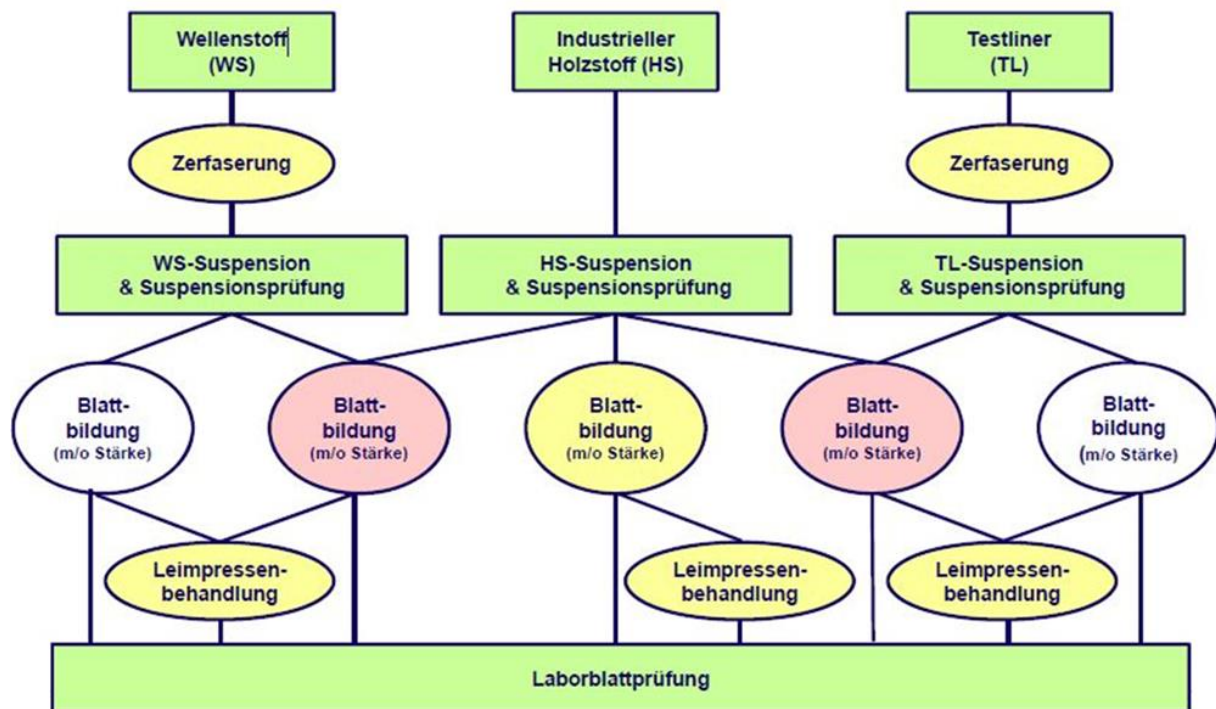


Abbildung 2-1: Versuchsübersicht

Tabelle 2-1: Massenanteile (otro) für Holzstoff (HS), Testliner 3 (TL3) und Wellenstoff (WS) für die Mischungen

Mischung	Anteil HS in %	Anteil TL3 in %	Anteil WS in %
1	100	-	-
2	60	40	-
3	60	-	40
4	30	70	-
5	30	-	70
6	10	90	-
7	10	-	90

Versuchsreihe 2:

Besonders aussichtsreiche Laborblätter aus Versuchsreihe 1 werden anschließend mit Hilfe der Einlehnner Laborleimpresse mit Stärke beschichtet, um das Potential der Festigkeitssteigerung durch die Stärkeapplikation abzuschätzen.

Versuchsreihe 3:

Um den Einfluss der flächenbezogenen Masse auf das Festigkeitsniveau abzuschätzen, wird eine weitere Versuchsreihe mit den Holzstoffen SGW (ht) und ATMP3 in der Mischung mit TL3 durchgeführt. Hierbei werden Rapid-Köthen Laborblätter mit 100 g/m² und einem HS-Anteil von 30 % otro sowie aus 100 % TL3 gebildet und anschließend geprüft. Die Festigkeitswerte können anschließend mit den Ergebnissen aus Versuchsreihe 1 verglichen werden.

Versuchsreihe 4:

In einer vierten Versuchsreihe wird der Einfluss der Aschereduktion untersucht. Durch das Mischen des Altpapiers mit Holzstoff sinkt mit höherem Holzstoffanteil der prozentuale Aschegehalt im Papier. Dieser Ascheverlust soll kompensiert werden, indem der Suspension bei der Blattbildung Calciumcarbonat zugefügt wird. Der Aschegehalt wird dabei wieder auf dem Ausgangsniveau des Testliners angehoben. Ziel ist es den Festigkeitsgewinn infolge des reduzierten Aschegehalts zu quantifizieren.

Technikumsversuche:

Die Technikumsversuche wurde nachträglich in das Projekt aufgenommen, um eine zusätzliche Verifizierung der Laborversuche zu ermöglichen. Auf der Versuchspapiermaschine (VPM) der Firma Voith wird die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus den Versuchsreihen 1 bis 4 auf den industriellen Maßstab geprüft. Ziel ist einerseits die Verarbeitbarkeit der Holzstoff-Altpapier-Mischung zu prüfen, andererseits die Auswirkung der industriellen Produktion auf die Papierfestigkeit zu quantifizieren. Zum Vergleich mit den Papierproben, werden aus Suspensionsproben Rapid-Köthen Laborblätter hergestellt. Diese sollen Rückschlüsse auf die Übertragbarkeit der Laborergebnisse auf den Pilotmaßstab ermöglichen.

2.1.3 Probenuntersuchung

Die Suspensionen der verschiedenen Proben werden auf den Schopper-Riegler Wert (SR) und das Wasserrückhaltevermögen (WRV) untersucht. Des Weiteren werden die Suspensionen fraktioniert sowie im FS5 Fiber Analyzer untersucht.

Die hergestellten Laborblätter werden verschiedenen mechanischen Prüfungen unterzogen. Neben einer Zugprüfung (Bruchkraft, Bruchdehnung, Reißlänge), werden Werte für Streifenstauch- (SCT), Flachstauch- (CMT), Ringstauchwiderstand (RCT), Streifenstauchwiderstand einer S-förmig eingespannten Probe (S-Test), Berstfestigkeit und Luftdurchlässigkeit nach Gurley erhoben.

Abschließend wird der Glührückstand (GR), oft auch Aschegehalt genannt, mit Hilfe eines Thermogravimetriemessgerätes (TGA) ermittelt.

2.1.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Messdaten der Suspensionsprüfung und der mechanischen Prüfung dienen später als Vergleichsgrößen und Bewertungsgrundlage für die Wirtschaftlichkeitsabschätzung. Weitere Aspekte für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fließen aus den Angaben der Fragebögen ein. Dazu zählt insbesondere der spezifische Energieeintrag und die Materialausbeute.

Aufgrund der individuellen Konfiguration jeder Holzstoffanlage und der angeschlossenen Anlagen und Systeme, bezieht sich die Betrachtung ausschließlich auf die Holzstoffproduktion, ohne Aspekte wie bspw. die Wärmerückgewinnung zu berücksichtigen.

3 Probenmaterial, Geräte und Prüfmethoden

Zur Bearbeitung dieses Projektes werden verschiedene Holzstoffe und Altpapierstoffe eingesetzt, die gemeinsam mit anderen Zusätzen in Kapitel 3.1 beschrieben werden.

3.1 Probenmaterial

Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt 8 verschiedene Holzstoffe untersucht und in verschiedenen Abstufungen entsprechend der Beschreibung in Kapitel 2.1.2 mit Wellenstoff und Testliner 3 gemischt.

3.1.1 Holzstoffe

Die untersuchten Holzstoffe unterscheiden sich insbesondere hinsichtlich des Holzrohstoffs, des Aufschlussverfahrens und im spezifischen Energieeintrag bei der Produktion. **Tabelle 3-1** gibt eine Übersicht über die untersuchten Holzstoffe. Anhand Tabelle 3-1 sind die eingesetzten Holzrohstoffe, die Holzvorbehandlungsschritte, der spezifische Energieeintrag bei der Holzstoffproduktion sowie die Holzstoffausbeute ersichtlich.

Tabelle 3-1: Übersicht der untersuchten Holzstoffe

<i>Probe</i>	<i>Holzart/ Lieferform</i>	<i>Holzvorbehandlung</i>	<i>Spezifischer Energieeintrag</i>	<i>Ausbeute</i>
ATMP	Fichte/ Hackschnitzel	Sortierung	~ 1850 kWh/t	~ 98 %
ATMP 2	Fichte/ Hackschnitzel	Hackgutsichter, Sortierung	~ 750 kWh/t	~ 98 %
ATMP 3	Fichte/ Hackschnitzel	Hackgutsichter, Sortierung	~ 1200 kWh/t	~ 98 %
BCTMP	Pappel, Birke/ Rundholz, Hackschnitzel	Entrindung, Hackgutsichter, Sortierung	~ 2100 kWh/t	~ 94 %
CTMP	Pappel, Birke/ Rundholz, Hackschnitzel	Entrinden (Trommel), Zerkleinern, Sortieren	~ 1950 kWh/t	~ 96 %
RMP	Fichte, Spuren von Lärche/ Hackschnitzel	Sortierung über Schwingsieb, Grobgut abgeschieden	~ 1000 kWh/t	~ 98 %
SGW (hb)	Fichte/ Rundholz	Entrindung, Ablängung auf 1 m	~ 650 kWh/t	~ 87 %
SGW (ht)	Fichte (88 %), Kiefer (2 %), Pappel (10 %)/ Rundholz	Ablängung auf 1m, Trockenentrindung (Trommel)	~ 1850 kWh/t	~ 86 %
TMP	Fichte/ Hackschnitzel, Rundholz	Rundholz zu Hackschnitzeln, Fraktionierung	~ 1900 kWh/t	~ 94 %

Die Holzstoffe wurden durch unterschiedliche Verfahren aufgeschlossen. Die Probenbezeichnung stellt das Kürzel für das Aufschlussverfahren dar:

TMP	Thermomechanical Pulp
ATMP	Advanced Thermomechanical Pulp
CTMP	Chemo-Thermomechanical Pulp
BCTMP	Bleached Chemo-Thermomechanical Pulp
RMP	Refiner Mechanical Pulp
SGW	Stone Groundwood

Im klassischen Holzschliff (SGW) werden verfahrensbedingt Rundhölzer eingesetzt, während das Holz vor dem Einsatz in den anderen Verfahren zerkleinert werden muss. Die beiden SGW-Proben unterscheiden sich in ihren Anforderungen. Die Variante SGW (ht) ist auf hohe Festigkeiten (high tensile – ht) ausgerichtet, was in der Produktion einen höheren spezifischen Energieeintrag nach sich zieht. Die Variante SGW (hb) ist hingegen auf ein großes Volumen (high bulk – hb) ausgerichtet. Diese Korrelation zwischen höherer Festigkeit und höherem spezifischem Energieeintrag trifft auch auf die anderen Holzstoffe zu.

3.1.2 Wellpappenrohapiere

Für die verschiedenen Mischungen des Holzstoffs mit Altpapierstoff wurde ein Testliner 3 (TL3) mit 90 g/m² sowie ein leichtgewichtiger Wellenstoff (WS) mit 80 g/m² verwendet. Für die Laboruntersuchungen wurden von Industriepartnern jeweils 30 kg der beiden Wellpappenrohapiere zur Verfügung gestellt.

3.1.3 Stärke

Die Stärke für den Einsatz in der Laborleimpresse (Versuchsreihe 2) wurde von der Firma Agrana Stärke zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um Collamidon 8403, eine oxidierte heißwasserlösliche Maisstärke.

3.1.4 Calciumcarbonat

Im Rahmen der Versuchsreihe 4 wird bei der Laborblattbildung Calciumcarbonat vom Typ Omycarb 2-GU der Firma Omya zugegeben.

3.2 Geräte

LC-Pulper und Standarddesintegrator

Die eingesetzten Wellpappenrohapiere werden 5 Minuten bei 4 % Stoffdichte im LC-Pulper zerkleinert (**Abbildung 3-1** links). Der Pulper hat ein maximales Fassungsvermögen von 8 Litern. Die Holzstoffe werden in der Regel als Krümelstoff oder in Suspension angeliefert. Feuchtes Material wird daher mit Wasser auf 2 % Stoffdichte verdünnt und im Standarddesintegrator MK IIIC für 10 Minuten bzw. 30 000 Umdrehungen aufgeschlagen (**Abbildung 3-1** rechts).



Abbildung 3-1: LC Pulper (links) und Standarddesintegrator (rechts)

Laborblattbildner

Zum Herstellen der Rapid-Köthen Laborblätter wird ein Laborblattbildner der Firma Xell verwendet.

Vorrichtung zum Stärkekochen

Die Stärke für die Leimpresse muss vor dem Gebrauch aufgekocht werden. Dies geschieht in einem Wasserbad bei 95 °C Wassertemperatur. Die Stärkelösung befindet sich dabei in 800 ml Bechergläsern, welche in einem Gestell in das Wasserbad eingelassen sind (**Abbildung 3-2**). Die Stärkelösung wird während des Kochvorgangs permanent durch Teflonrührer durchmischt.



Abbildung 3-2: Vorrichtung zum Kochen der Stärke für die Leimpresse [4]

Leimpresse

Die Versuche des Stärkeauftrags mittels Laborleimpresse (Versuchsreihe 2) werden mit der Laborleimpresse der Firma Einlehner durchgeführt (**Abbildung 3-3**). Da die im Blattbildner gebildeten Laborblätter für diese Presse zu groß sind, müssen alle Blätter in der Hälfte geteilt werden. Die Laborleimpresse hat verschiedene Einstellungsmöglichkeiten, dazu gehören die Walzengeschwindigkeit, der Anpressdruck und die Zulaufmenge des Stärkefilms. Eine gleichmäßige Temperatur der Stärke, die in einen Behälter gefüllt wird, wird durch einen Wassererhitzer gewährleistet. Dieser pumpt Wasser durch den Wärmetauscher im Boden des Stärkebehälters, sodass das Stärkebad gleichmäßig temperiert wird [4].

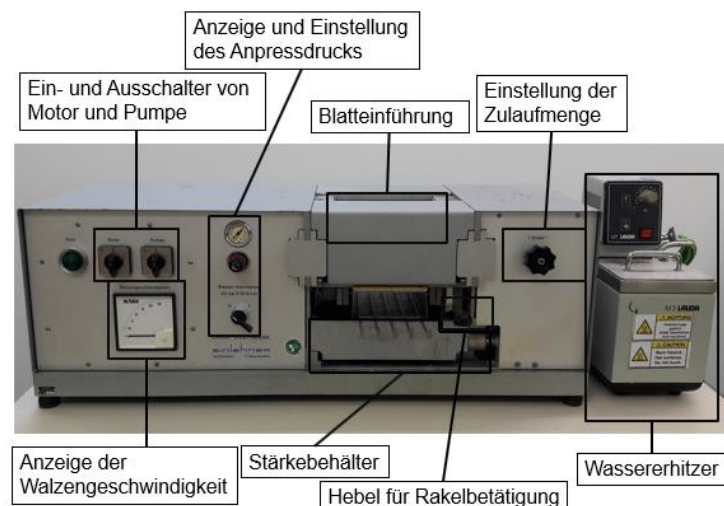


Abbildung 3-3: Einlehner Laborleimpresse

3.3 Prüfmethoden

Die Prüfung der Suspensionen und Laborblätter erfolgte nach den folgenden Normen (Tabelle 3-2):

Tabelle 3-2: Prüfmethoden der Suspensions- und Laborblattprüfung

Suspensionsprüfung	Norm
Schopper-Riegler Wert (SR)	DIN EN ISO 5267-1
Wasserrückhaltevermögen (WRV)	ISO 23714
FS5 Fiber Analyzer	ISO 16065-1
Fraktionierung nach Haindl McNett	Zellcheming Merkblatt V/1.4/86
Papierprüfung	Norm
Klimatisierung	DIN EN ISO 20187
Probendicke	DIN EN ISO 534
Flächenbezogene Masse	DIN EN ISO 536
Eigenschaften bei Zugbeanspruchung	DIN EN ISO 1924-2
Streifenstauchwiderstand (SCT)	DIN 54518
Ringstauchwiderstand (RCT)	DIN 53134
Flachstauchwiderstand (CMT)	DIN EN ISO 7263
Streifenstauchwiderstand einer S-förmig eingespannten Probe (S-Test)	DIN 5014
Berstfestigkeit	DIN EN ISO 2758
Luftdurchlässigkeit nach Gurley	ISO 5636-5
Glührückstand	DIN 54370

4 Versuchsdurchführung

Die Holzstoffproben wurden bei Ankunft am PMV direkt verarbeitet. Zunächst wurde der Trockengehalt des Holzstoffs (HS) bestimmt, um die o.ä. Mengen für die Mischungen mit Testliner 3 (TL3) und Wellenstoff (WS) zu bestimmen. Die benötigte Menge (o.ä.) Holzstoff wurde abgewogen, auf 2 % Stoffdichte verdünnt und im Standarddesintegrator aufgeschlagen. Nicht benötigter Holzstoff wurde eingefroren und für mögliche Nachuntersuchungen konserviert. Für die Mischungen wurden jeweils 250 g (o.ä.) TL3 und WS für 5 Minuten im LC-Pulper bei 4 % Stoffdichte zerfasert. Das Mischen der Komponenten erfolgt im Verteiler. Die Suspension wird vor der Verarbeitung zu Laborblättern für 10 Minuten homogenisiert.

Versuchsreihe 1: Holzstoffvariation

In der ersten Versuchsreihe wurden sieben Mischungen mit Holzstoff und TL3 oder WS erzeugt. Die Mischungsverhältnisse können **Tabelle 2-1** (s. Seite 8) entnommen werden. Die Mischungen mit TL3 wurden für alle Holzstoffe untersucht, die Mischungen für WS aber nur teilweise, da die Eigenschaften des untersuchten WS und TL3 zu ähnlich waren und die Ergebnisse für die jeweilige Mischung mit gleichem Mengenanteil nahezu identisch sind. Die WS-Mischungen wurden daher für die letzten untersuchten Holzstoffe (ATMP2, BCTMP, TMP) nicht angefertigt.

Die erzeugten Mischungen wurden für jeden Holzstoff zu Rapid-Köthen Laborblättern mit 120 g/m² verarbeitet. Kreislaufwasser wurde für die Blattbildung eingesetzt, um den Verlust von Fein- und Füllstoffen zu verringern. Mit den ersten fünf Laborblätter wurde das Kreislaufwasser jeder Mischung angereichert. Diese Blätter wurden nicht geprüft. Die Prüfung der Suspensionen und der Laborblätter erfolgte entsprechend der Prüfmethoden in Kapitel 3.3.

Versuchsreihe 2: Stärkeapplikation

Je Mischung und Holzstoff wurden in Versuchsreihe 1 zehn zusätzliche Laborblätter von ca. 117 g/m² für die Applikation von 3-4 g/m² Stärke mit einer Leimpresse gebildet. In Bechergläsern wurde zunächst eine Stärkelösung mit 12,5 % Collamidon angesetzt. Die Stärkelösung wurde anschließend im Wasserbad unter ständigem Rühren für 30 Minuten bei 85 °C gekocht. Das verdampfte Wasser wurde nach der Kochung wieder aufgefüllt, sodass die Ausgangskonzentration wieder erreicht wird. Die Stärkelösung hat bei 30 °C eine Viskosität von 40 mPas. Diese wurde mit einem Brookfield-Viskosimeter nach DIN 2555 bei n = 100 UpM unter Verwendung der Spindel Nr. 61 gemessen.

Die Stärkelösung wird in den Leimbehälter der Einlehn Laborleimpresse gefüllt und kühlt auf 30 °C ab. Das Thermostat wird so eingestellt, dass die Leimtemperatur auf 30 °C gehalten wird. Die Leimpresse wird mit einer Walzengeschwindigkeit von 10 m/min und 3 bar Anpressdruck betrieben. Da die Laborblätter zu groß für die Leimpresse sind, werden sie mittig mit der Schlagschere durchtrennt und anschließend in der Leimpresse mit Stärke beschichtet. Die zusammengehörigen Laborblatthälften werden anschließend für 3 Minuten zwischen zwei Silikonpapierblättern im Rapid-Köthen Blattbildner nachgetrocknet. Die beschichteten Laborblätter werden entsprechend Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** auf folgende Festigkeitskennwerte geprüft: Bruchkraft und -dehnung, Berstdruck, SCT und S-Test.

Die Werte der Suspensionsprüfung entsprechen den Werten aus Versuchsreihe 1, da die Stärke nach der Blattbildung aufgetragen wurde.

Folgende Proben (**Tabelle 4-1**) wurde der Stärkeapplikation unterzogen:

Tabelle 4-1: Probenübersicht für die Stärkeapplikation mittels Leimpresse

<i>Probe</i>	<i>Anteil HS in %</i>	<i>Anteil TL3 in %</i>
TL3	0	100
SGW (ht)	10	90
	30	70
CTMP	10	90
	30	70
BCTMP	10	90
	30	70

Versuchsreihe 3: Reduzierte flächenbezogene Masse

Analog zum Vorgehen in Versuchsreihe 1 werden Laborblätter mit Kreislaufwasser und einer verringerten flächenbezogenen Masse von 100 g/m² gebildet. Es werden dabei insgesamt drei Proben untersucht: 100 % TL3 und eine Mischung aus je 30 % SGW (ht) und ATMP mit 70 % TL3. Die Suspensions- und Laborblattprüfungen werden auf folgende Messwerte reduziert: SR, WRV, Bruchkraft und -dehnung, Berstdruck, SCT und S-Test.

Versuchsreihe 4: Aschekompensation

Die Versuchsreihe der Aschekompensation wurde mit Mischungen aus je 30 % der Holzstoffe ATMP, CTMP und SGW (ht) mit TL3 durchgeführt. Die Rapid-Köthen-Blattbildung erfolgt wie in Versuchsreihe 3 mit Kreislaufwasser und dem Ziel einer flächenbezogenen Masse von 100 g/m². Anhand der Laborblätter aus Versuchsreihe 3 wurden zunächst die Aschegehalte der Mischungslaborblätter ausgewertet, um einen Anhaltspunkt für die Retention der Asche zu erhalten und die Zugabemenge an Calciumcarbonat abzuschätzen. Die benötigte Asche- und Fasermenge konnte bereits zuvor bestimmt werden. In einem iterativen Prozess wurde die Zugabemenge des Calciumcarbonats angepasst, um die Zielgröße des Aschegehaltes des TL3 von 17 % zu erreichen. Das Calciumcarbonat wurde abgewogen und bei der Blattbildung in die Suspension gesiebt, um das Bilden von Klumpen zu vermeiden. Die Suspensions- und Laborblattprüfung erfolgte hinsichtlich der Kennwerte SR, WRV, Bruchkraft und -dehnung, SCT, S-Test und Berstdruck.

Pilotversuche im Voith-Technikum

Ziel der Technikumsversuche auf der Versuchspapiermaschine bei der Firma Voith in Heidenheim ist vorrangig die Verarbeitung einer Holzstoff-TL3-Mischung unter praxisnahen Bedingungen zu prüfen. An zwei Versuchstagen werden Versuche mit unterschiedlichen Einstellungen an der Versuchspapiermaschine durchgeführt (**Tabelle 4-2**). An Tag 1 wird die Holzstoff-OCC-Mischung untersucht, am Folgetag der reine OCC. Die Mischung besteht aus 30 % Holzstoff und 70 % OCC. Der Holzstoff wurde mit einer Stoffdichte von ca. 4 % angeliefert. Der OCC-Stoff wurde im Stoffaufbereitungstechnikum für die Versuche vorbereitet und mit dem Holzstoff gemischt. Der OCC-Stoff für den zweiten Tag wurde aus dem gleichen OCC-Ausgangsmaterial an Tag 2 frisch aufbereitet.

Die Versuchspunkte variieren das Flächengewicht und die Siebgeschwindigkeit (Versuchspunkte 3 bis 9 110 g/m² bzw. 10 bis 14 80 g/m²) Innerhalb dieser Variation wird zusätzlich die Strahl Sieb-Differenz verändert. Da die Siebgeschwindigkeit konstant bleibt, wird entsprechend

die Strömungsgeschwindigkeit der Suspension verändert. Die Strömungsgeschwindigkeit der Suspension wird über die Lippenöffnung eingestellt. Der Volumenstrom wird durch die maximal mögliche Entwässerung begrenzt. Mit den Versuchspunkten 9 und 14 wird ein gegenüber dem Maximum reduzierter Volumenstrom untersucht.

Tabelle 4-2: Versuchspunkte für die VPM bei Voith

Versuchspunkt	Flächengewicht	Siebgeschwindigkeit	Strahl-Sieb-Differenz	Breitenbezogener Volumenstrom Stoffauflauf	Material	
					Tag 1 (329)	Tag 2 (330)
	g/m ²	m/min	m/min	l/min/m		
3	110	1090	30	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
4	110	1090	45	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
5	110	1090	60	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
6	110	1090	75	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
7	110	1090	90	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
8	110	1090	30	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
9	110	1090	30	Maximum -1500	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
10	80	1300	90	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
11	80	1300	60	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
12	80	1300	45	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
13	80	1300	30	Maximum	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC
14	80	1300	30	Maximum - 2000	70 % OCC, 30 % HS	100 % OCC

Abbildung 4-1 zeigt den schematischen Aufbau der Voith-Versuchspapiermaschine (VPM). Die VPM ist als vertikaler Gap-Former konfiguriert. Der Verlauf der Papierbahn ist in Rot hervorgehoben. Die VPM endet nach der Pressenpartie, sodass für die Probenentnahme vor der

letzten Presswalze ein Trägerkarton eingebracht wird, der nach der Presse aufgefangen wird. Die Trocknung der Proben erfolgt im Trommeltrockner und im Rapid-Köthen Blattrockner. Zwecks der besseren Vergleichbarkeit mit den Nachstellversuchen werden nur die Rapid-Köthen getrockneten Proben untersucht und die auf dem Trommeltrockner getrockneten Proben als Rückstellmuster aufbewahrt.

Während der Versuche werden flächenbezogene Masse (110 und 80 g/m^2), Siebgeschwindigkeit (1090 und 1300 m/min), Strahl-Sieb-Geschwindigkeitsdifferenz ($30, 45, 60, 75$ und 90 m/min) sowie der Volumenstrom des Stoffauflaufs variiert. Die 12 Versuchspunkte werden jeweils für die Holzstoff-OCC-Mischung und OCC angefahren (**Tabelle 4-2**).

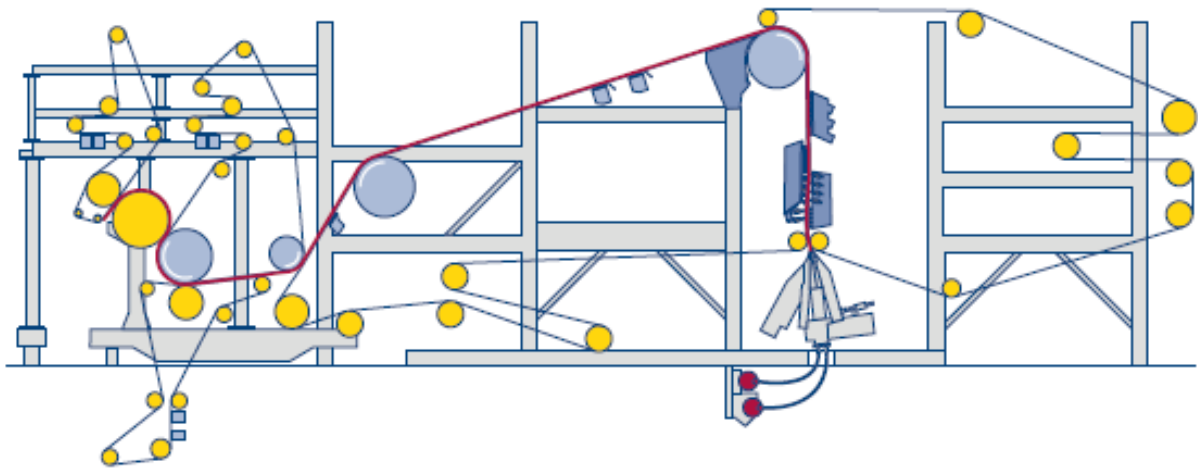


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung der Voith Versuchspapiermaschine als vertikaler Gap-Former [5]

Anhand von Suspensionsproben der Mischung, des Holzstoffs und OCC werden die Versuche an der VPM im Labor des PMV nachgestellt. Die Nachstellversuche werden analog zu Versuchsreihe 1 durchgeführt, um die Übertragbarkeit der vorherigen Laboruntersuchungen zu ermöglichen. Da das Probenmaterial für die Nachstellversuche jeweils am Ende des Produktionstages auf der VPM entnommen wurden, sind auch in der Suspension der Nachstellversuche die eingesetzten Retentionsmittel enthalten.

5 Ergebnisse

Im Verlauf des Ergebniskapitels werden die Ergebnisse der einzelnen Versuchsreihen vorgestellt und diskutiert. Der Erkenntnisse fließen abschließend in eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines holzstoffhaltigen Liners ein.

5.1 Versuchsreihe 1: Holzstoffvariation

Die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe werden im Folgenden zusammengetragen und diskutiert. In dieser Versuchsreihe wurden neun unterschiedliche Holzstoffe untersucht. Die Holzstoffe unterscheiden sich hinsichtlich des Aufschlussverfahrens und des spezifischen Energieeintrags.

Insgesamt wurden drei verschiedene ATMP-Proben untersucht. ATMP-1 ist ein Fertigstoff mit dem höchsten spezifischen Energieeintrag (1800 kWh/t) der drei ATMP-Holzstoffe. Das Material wird in der gelieferten Form für verschiedene Anwendungen verwendet. **Abbildung 5-1** zeigt exemplarisch verwendbare Laborblätter mit verschiedenen Mengenanteilen ATMP-1 in der Mischung mit TL3. ATMP-2 wurde sehr früh im Aufbereitungsprozess entnommen, sodass noch sehr lange Holzfasern im Bereich 1-4 cm vorhanden sind. Dieses Material weist einen sehr geringen spezifischen Energieeintrag von 750 kWh/t auf. Wie in **Abbildung 5-2** zu sehen ist, sind die Fasern sehr inhomogen verteilt, sodass keine sinnvolle Prüfung der Laborblätter oder Suspension möglich ist. Die Untersuchungen an ATMP-2 wurden daher nicht fortgeführt. ATMP-3 ist, wie die übrigen Holzstoffe auch, ein Fertigstoff, allerdings mit einem deutlich geringeren spezifischen Energieeintrag von 1200 kWh/t im Vergleich zu ATMP-1.

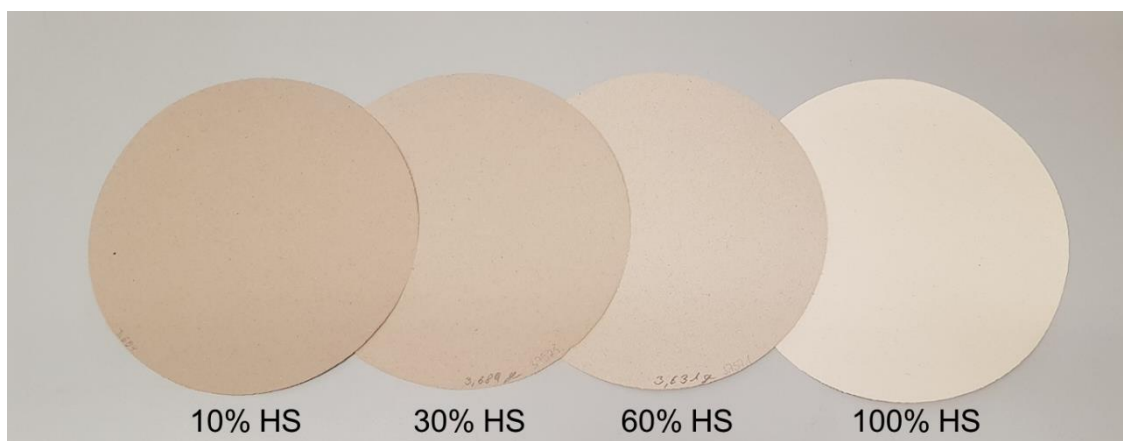


Abbildung 5-1: Laborblätter unterschiedlicher ATMP-1-Anteile in der Mischung mit TL3

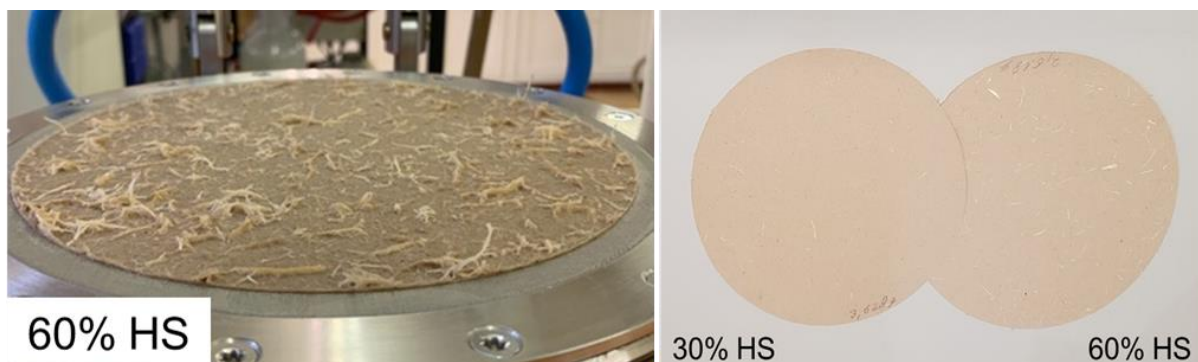


Abbildung 5-2: Laborblätter aus ATMP-2 vor (links) und nach der Trocknung (rechts)

5.1.1 Suspensionsprüfung

Die Ergebnisse der Suspensionsprüfungen der acht untersuchten Suspensionen werden im Folgenden betrachtet. **Abbildung 5-3** zeigt die Veränderung des SR-Wertes bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe. In dieser, wie in den folgenden Abbildungen, sind Aufschlussverfahren farblich gegliedert. Holzschliff ist rot dargestellt (SGW), thermo-mechanische Verfahren schwarz (TMP und ATMP), chemo-thermomechanische Verfahren grün (CTMP und BCTMP) und Refiner-Verfahren (RMP) blau.

Am rechten Rand der Abbildung sind die SR-Werte der reinen Holzstoffe aufgetragen. Fünf der Holzstoffe liegen im Bereich von 40-50 SR, was vergleichbar zum SR-Wert von 43 des reinen TL3 am linken Rand der Abbildung ist. Der SGW (ht) weist mit 81 SR den höchsten SR-Wert auf, ATMP-3 mit 17 den geringsten SR-Wert. Der BCTMP weist trotz der Ausrichtung auf höhere Festigkeiten (ht) mit 32 SR einen deutlich geringeren Wert als der ebenso auf höhere Festigkeiten ausgerichtete SGW (ht) auf.

Insbesondere für die beiden Extrema hinsichtlich der SR-Werte reiner Holzstoffe (SGW (ht) und ATMP-3) zeigt sich eine nichtlineare Veränderung des SR-Wertes in Bezug auf die Mischungsmenge mit TL3. Kleine Mengen dieser beiden Holzstoffe bewirken bereits einen starken Anstieg bzw. Abfall der SR-Werte in der Mischung.

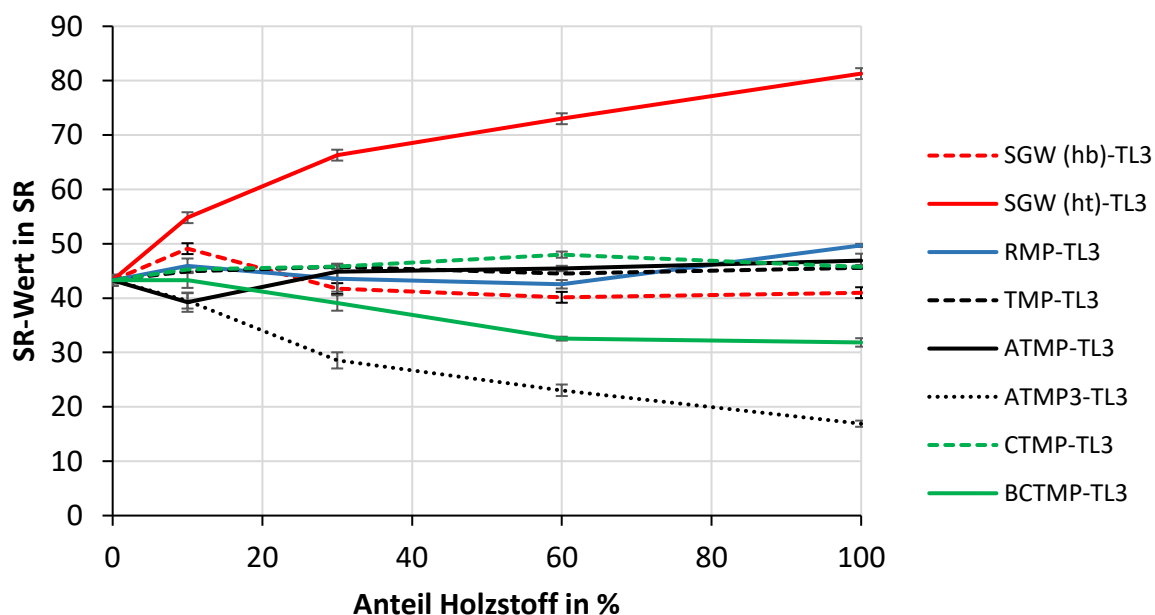


Abbildung 5-3: Veränderung des SR-Wertes bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

Das Wasserrückhaltevermögen (WRV) der reinen Holzstoffe RMP und SGW (hb) ist im Vergleich zu TL3 (95 %) identisch (**Abbildung 5-4**). Dies sind auch die beiden Holzstoffe mit dem geringsten spezifischen Energieeintrag. Der Holzstoff SGW (ht) hat mit 133 % den höchsten WRV-Wert. Die anderen Holzstoffe weisen einen im Vergleich zu TL3 erhöhten WRV-Wert im Bereich von 109 % bis 117 % auf. Die Werte entwickeln sich in den verschiedenen Mischungen teilweise sehr volatil. Dennoch deutet sich ein linearer Trend in der Zunahme des WRV-Wertes mit zunehmendem Holzstoffanteil an.

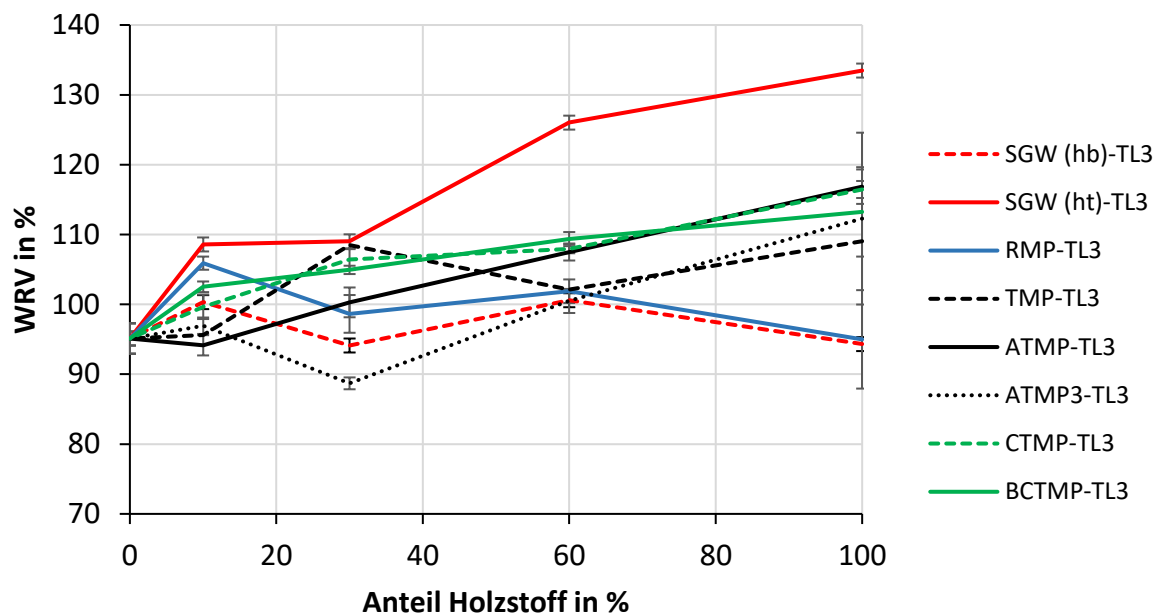


Abbildung 5-4: Veränderung des WRV bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

Die folgenden **Abbildungen 5-5 bis 5-7** zeigen Ergebnisse der Fiberlab-Messungen für die Faserlänge und -breite sowie die Fibrillierung der Fasern für die verschiedenen Holzstoffe bei den untersuchten Mengenanteilen.

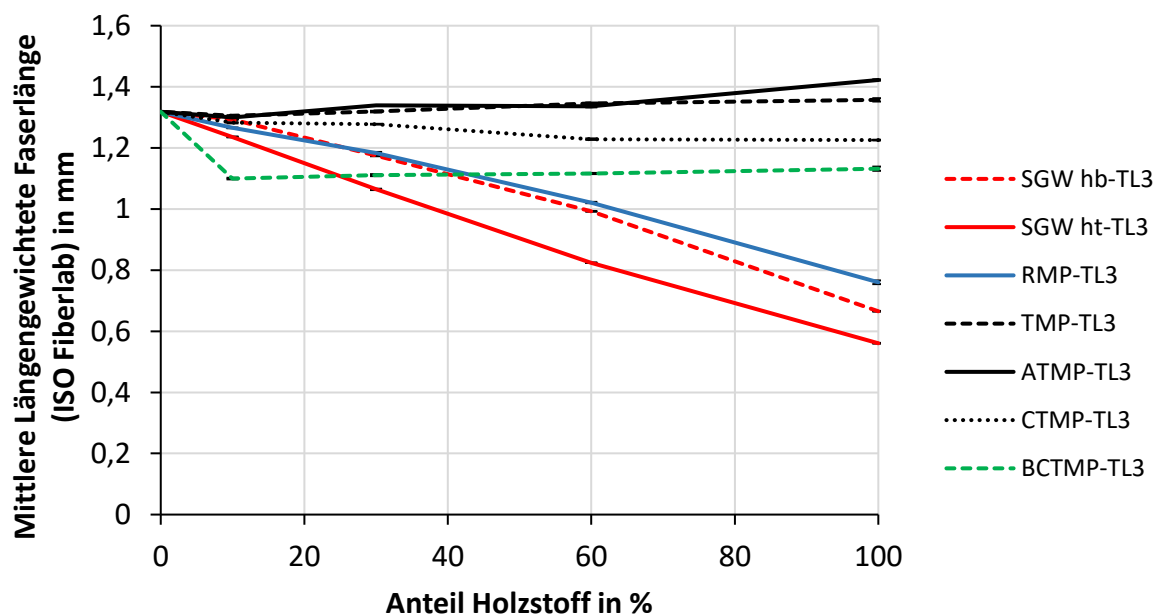


Abbildung 5-5: Veränderung der mittleren längengewichteten Faserlänge (Fiberlab) in mm bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

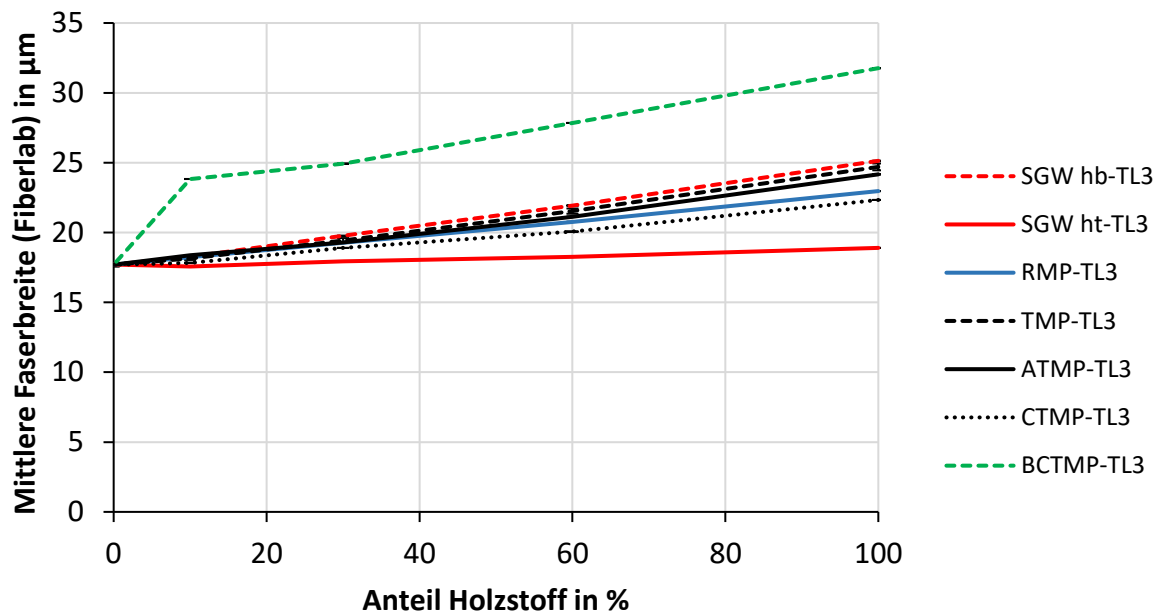


Abbildung 5-6: Veränderung der mittleren Faserbreite (Fiberlab) in μm bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

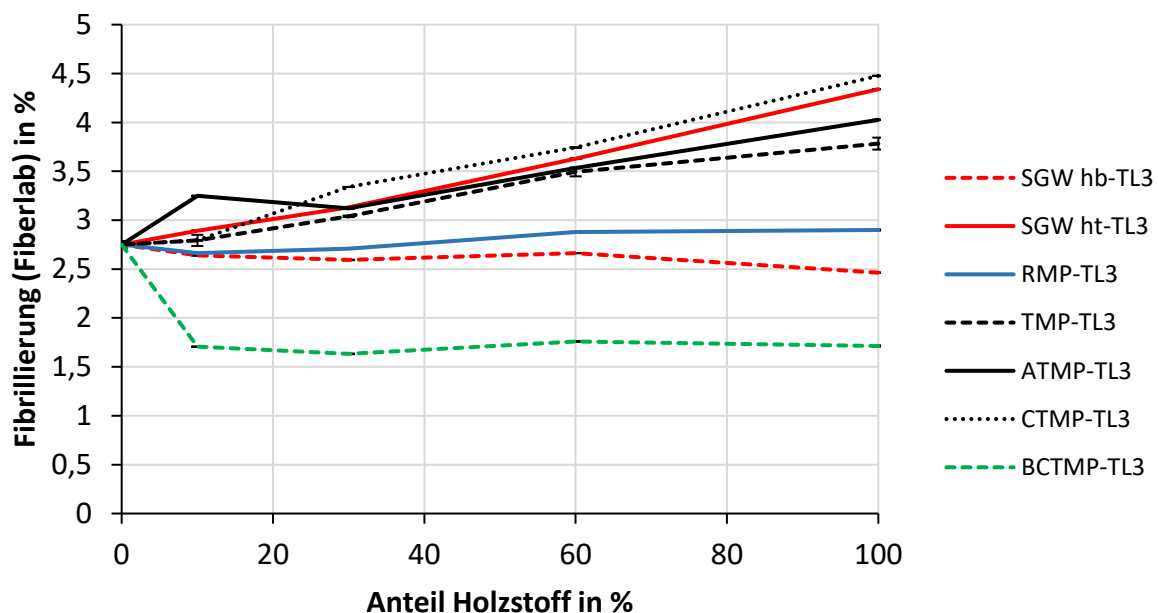


Abbildung 5-7: Veränderung der Fibrillierung (Fiberlab) in % bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

5.1.2 Laborblattprüfung

Zunächst wurden für die weiteren Prüfungen der Laborblätter flächenbezogene Masse und Blattdicke bestimmt. Es wurden nur Laborblätter mit einer flächenbezogenen Masse von $120 \pm 2 \text{ g/m}^2$ untersucht. Die Ergebnisse der Dickenmessung sind in **Abbildung 5-8** aufgetragen. Aus diesen Werten lässt sich die Rohdichte berechnen. Die Veränderung der Rohdichte in g/cm^3 ist in **Abbildung 5-9** dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Rohdichte für steigende Mengenanteile aller Holzstoffe abnimmt. Die Rohdichte sinkt, da die Blattdicke bei gleicher flächen-

bezogener Masse zunimmt, die Blätter als voluminöser werden. Dieser Unterschied wird insbesondere bei den SGW-Holzstoffen deutlich. Es besteht bei allen untersuchten Holzstoffe außer ATMP-3 ein linearer Zusammenhang zwischen Holzstoffmenge und Blattdicke bzw. Rohdichte.

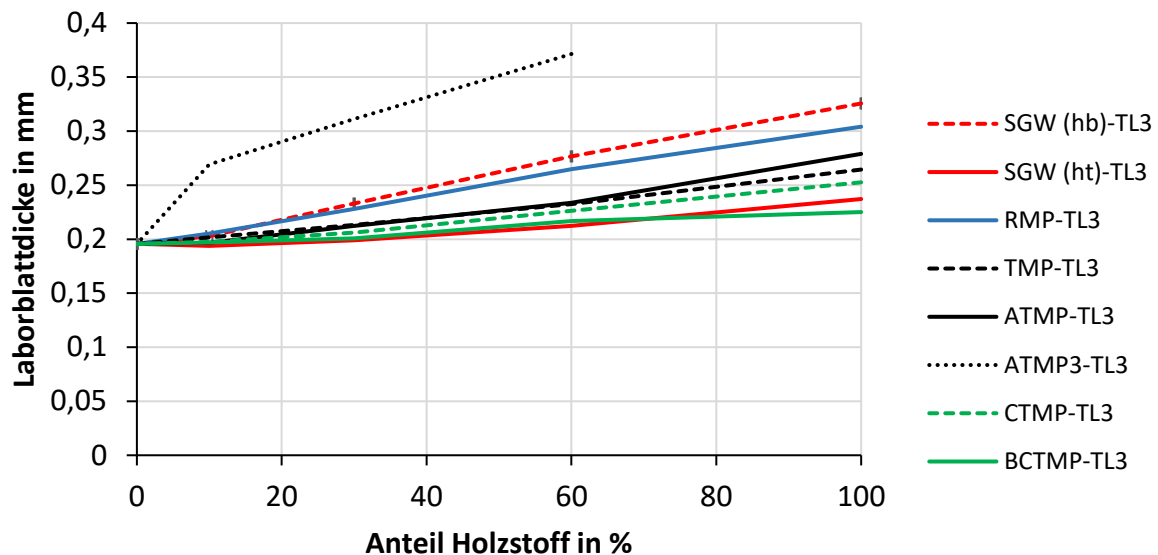


Abbildung 5-8: Veränderung der Laborblattdicke in mm bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

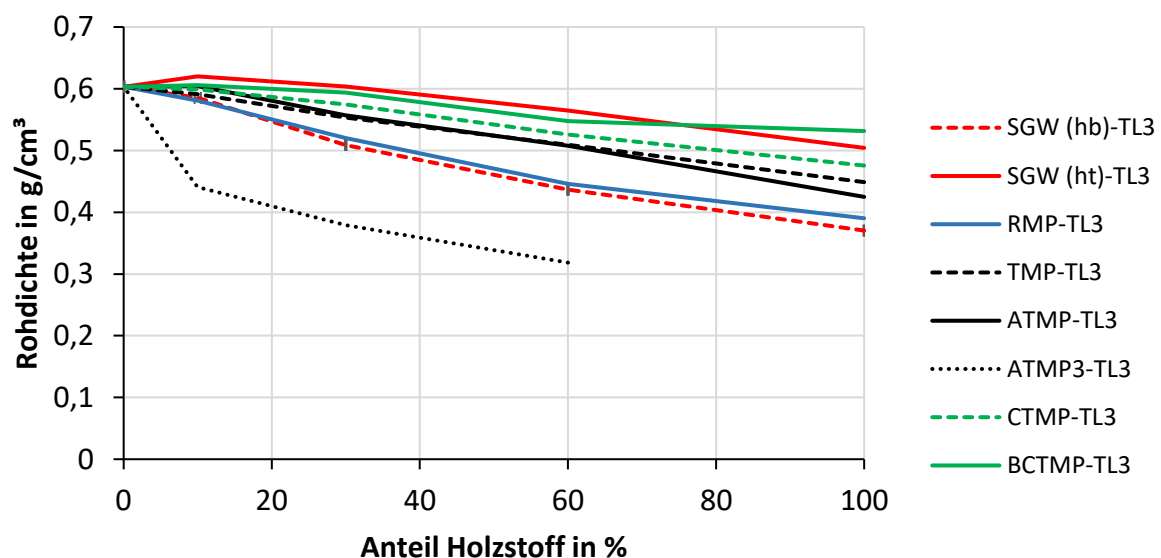


Abbildung 5-9: Veränderung der Rohdichte in g/m^3 bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

Die breitenbezogene Bruchkraft ist in **Abbildung 5-10** dargestellt. **Abbildung 5-11** zeigt den Verlauf der Bruchspannung bei verschiedenen Holzstoffmengen. Die Bruchspannung wurde aus der breitenbezogenen Bruchkraft durch dividieren durch die Blattdicke berechnet. Insbesondere die Holzstoffe mit geringem spezifischen Energieeintrag weisen eine geringe Bruchkraft und -spannung auf. Holzstoffe mit höherem spezifischen Energieeintrag haben eine geringere Bruchkraft bzw. -spannung als der reine TL3 (4754 N/m bzw. 24,3 N/mm²), liegen aber in

einem vergleichbaren Bereich von 4364 bis 3747 N/m bzw. 19,4 bis 14,0 N/mm². Alle Holzstoffe liegen aber auf einem geringeren Niveau als der TL3. Der Unterschied im spezifischen Energieeintrag wird bereits bei geringen Holzstoffmengen von 10 % deutlich. Sollen vergleichbare Bruchspannungen wie bei einem TL3 erzielt werden, sollten Holzstoffe mit einem höheren spezifischen Energieeintrag verwendet werden, die auf hohe Festigkeitswerte ausgerichtet sind.

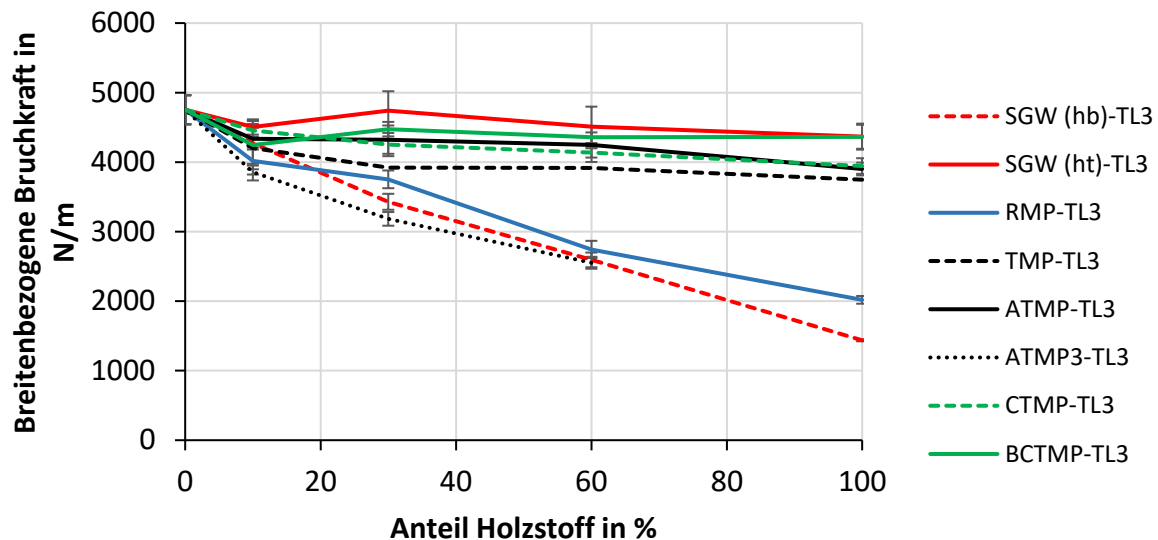


Abbildung 5-10: Veränderung der breitenbezogenen Bruchkraft in N/m bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

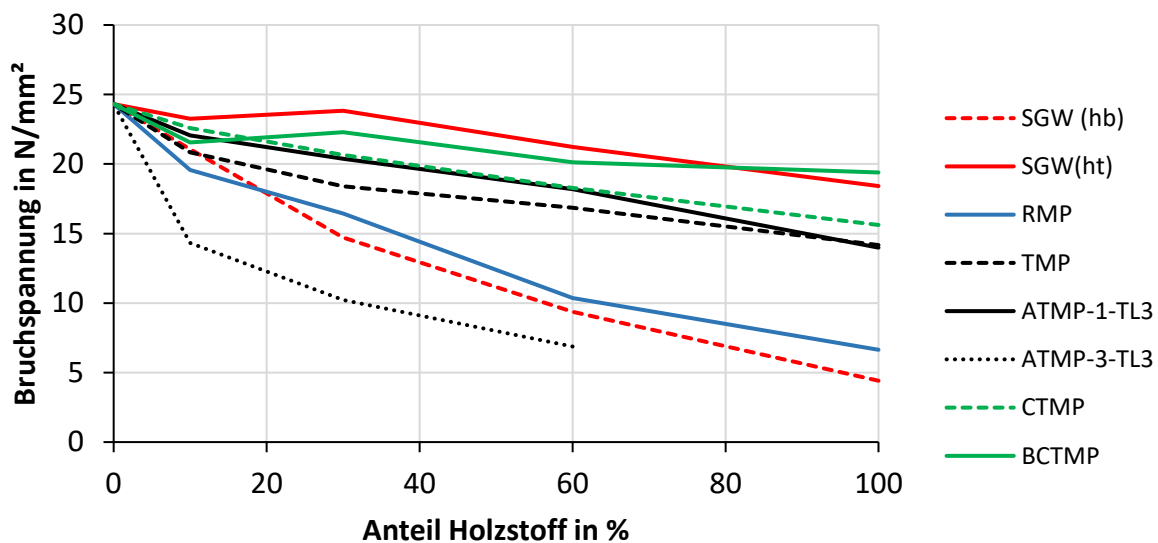


Abbildung 5-11: Veränderung der Bruchspannung in N/mm² bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

Analoge Veränderungen sind bei der Bruchdehnung zu beobachten (**Abbildung 5-12**). Holzstoffe mit geringem spezifischen Energieeintrag weisen eine deutlich geringere Bruchdehnung von 0,92 % bzw. 1,33 % auf als Holzstoffe mit einem höheren Energieeintrag (2,24 bis 1,93 % Bruchdehnung). Wie bei der Bruchspannung befinden sich die Werte der Bruchdehnung der Holzstoffe mit höherem Energieeintrag auf oder leicht unter dem Niveau des TL3 (2,23 %).

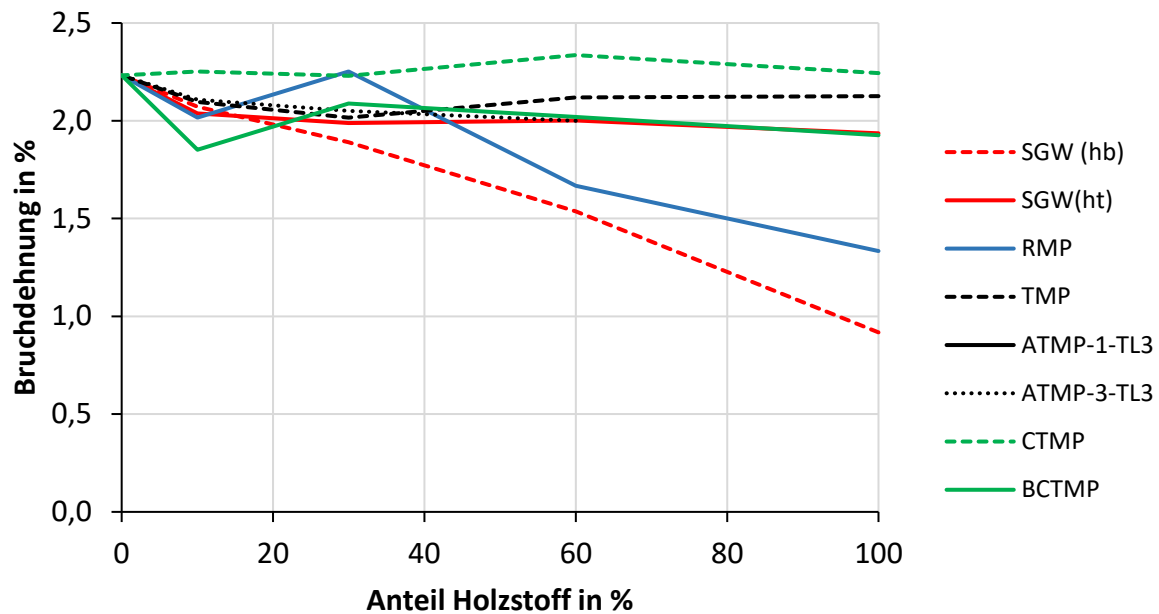


Abbildung 5-12: Veränderung der Bruchdehnung in % bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

Der bisherige Trend, dass Holzstoffe mit höherem spezifischem Energieeintrag auch höhere Festigkeitskennwerte aufzeigen, bestätigt sich auch an den folgenden **Abbildungen 5-13 bis 5-17** für den SCT, RCT, CMT, S-Test und Berstdruck.

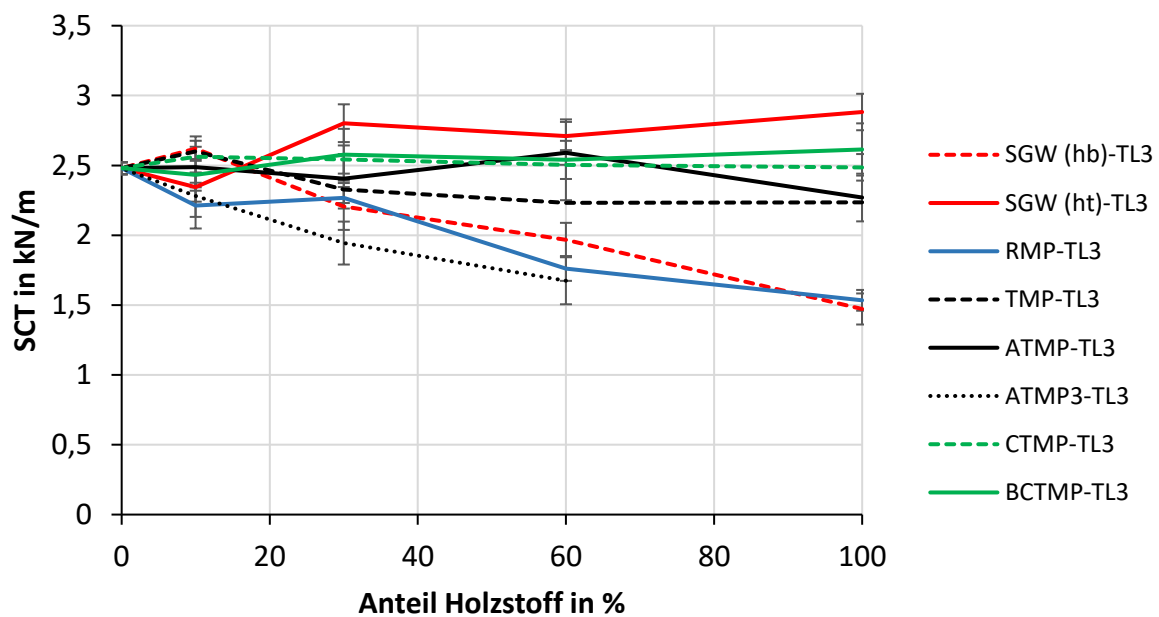


Abbildung 5-13: Veränderung des SCT in kN/m bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

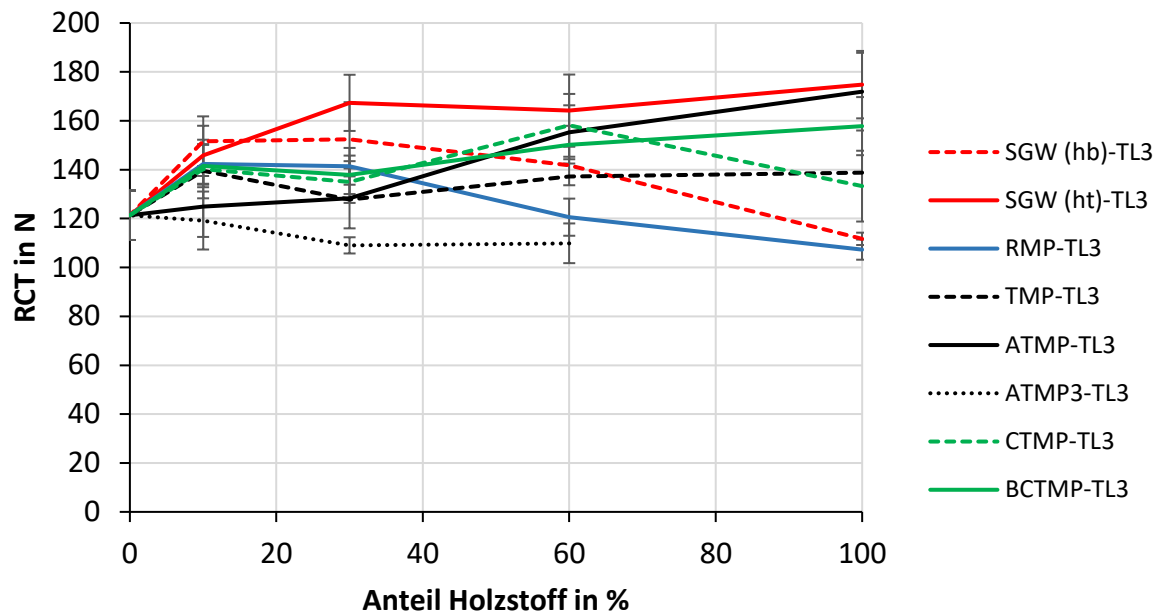


Abbildung 5-14: Veränderung der RCT in N bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

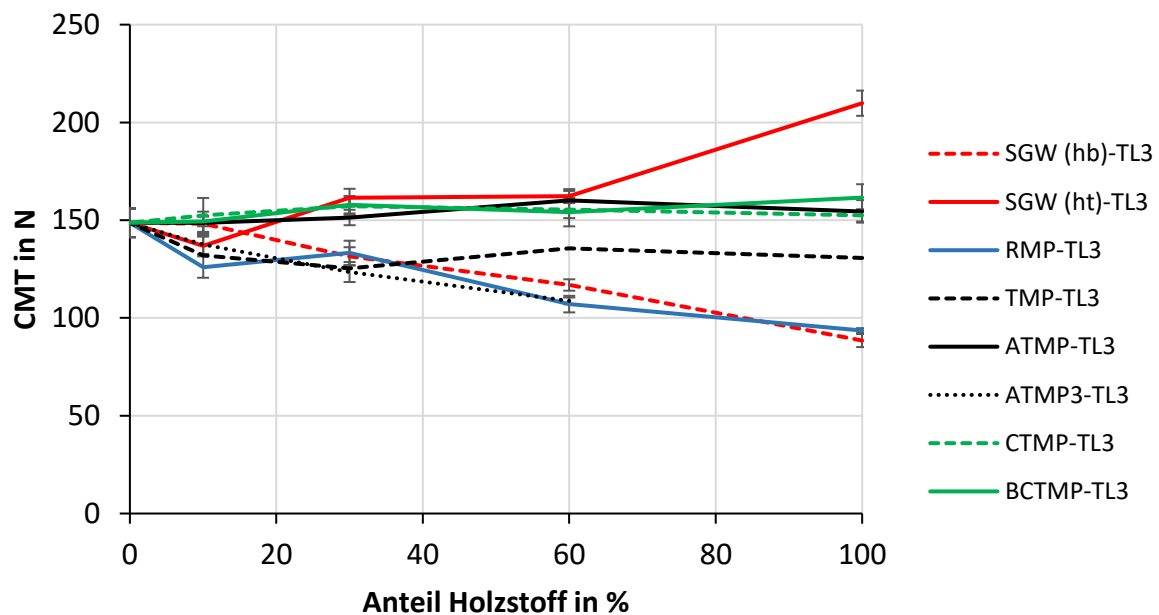


Abbildung 5-15: Veränderung des CMT in N bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

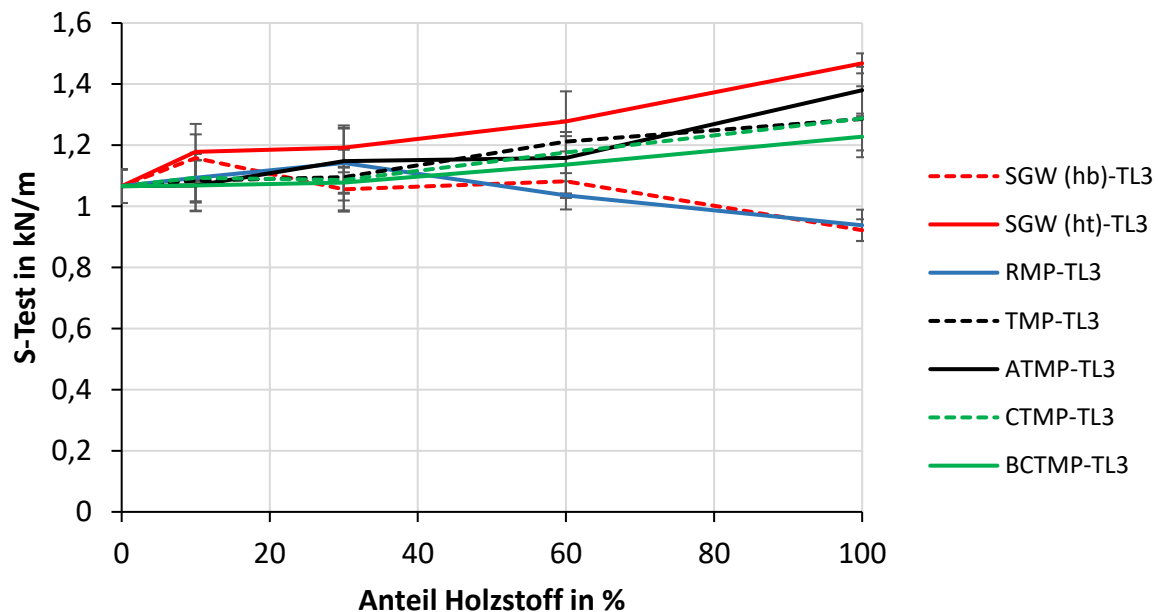


Abbildung 5-16: Veränderung des S-Test in kN/m bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

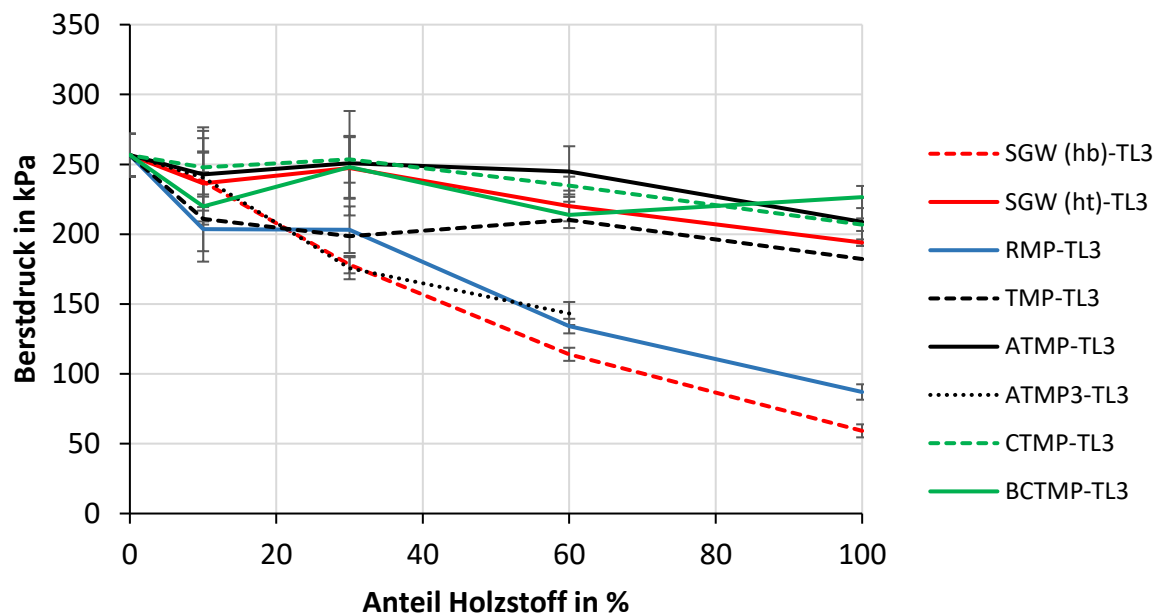


Abbildung 5-17: Veränderung des Berstdruck in kPa bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

Neben den bisher beschriebenen Festigkeitskennwerten, wurde auch die Luftdurchlässigkeit nach Gurley (**Abbildung 5-18**) bestimmt, um einen Kennwert für die Verarbeitung eines Holzstoffliners zu erhalten. Die Luftdurchlässigkeit ist ein interessanter Wert, wenn bspw. Vakuumgreifer verwendet werden, um Wellpappe zu stapeln oder Verarbeitungsanlagen zu beschicken.

Der Ausgangswert des TL3 beträgt 35 s. Holzstoffe mit geringem Energieeintrag haben eine deutlich höhere Porosität (6 bis 10 s), während sich die Porosität für Holzstoffe mit höherem Energieeintrag im Bereich von 32 bis 43 s befinden. Einzig der SGW (ht) weist eine deutlich niedrigere Porosität auf als alle anderen Proben. Die Luftdurchlässigkeit nach Gurley ist ein

Indiz für die Porosität der Proben. Je geringer die Zeitdauer ist, desto größer ist die Porosität der Probe. Aus Sicht der Papierverarbeitung mit Vakuumgreifern sind also zu hohe Porositäten bei der Luftdurchlässigkeit zu vermeiden, da ggf. kein ausreichend großer Unterdruck erzeugt werden kann, um das Papier sicher anzusaugen.

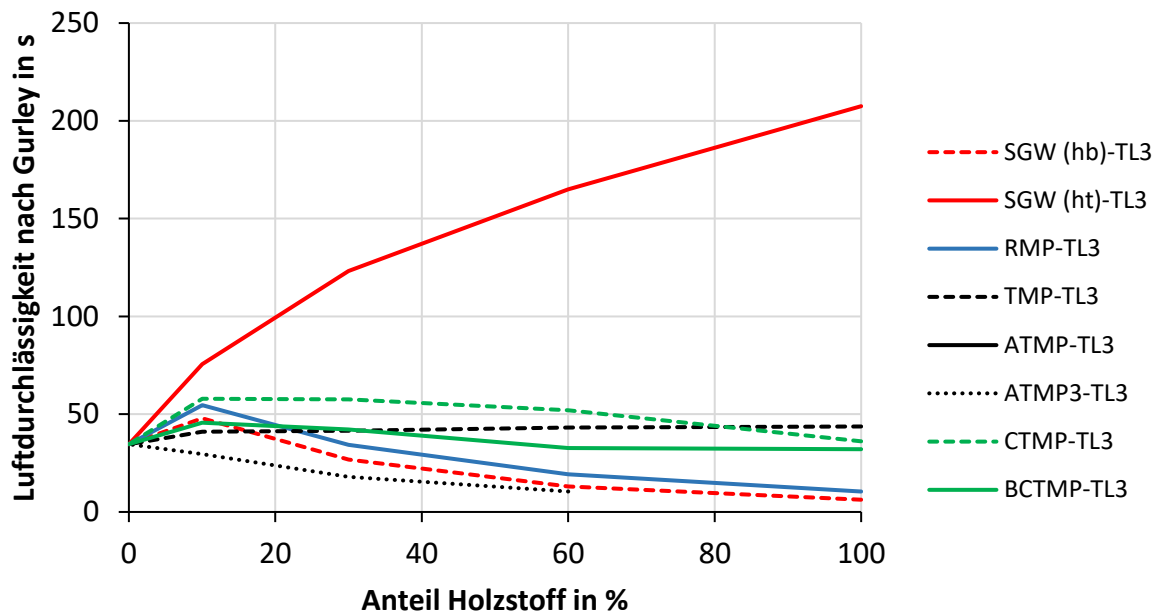


Abbildung 5-18: Veränderung der Luftdurchlässigkeit nach Gurley in s bei verschiedenen Mengenanteilen unterschiedlicher Holzstoffe

Abbildung 5-19 zeigt exemplarisch den Glührückstand des SGW (hb) bei der Verbrennung der Laborblätter bei 525 °C im TGA. Die Werte der reinen Holzstoffe sind in der Tabelle am Rand der Abbildung dargestellt. Auf Grund der Massenbilanz muss ein linearer Zusammenhang zwischen Glührückstand und Holzstoffmenge in der Mischung mit TL3 bestehen. Entsprechend senkt eine steigende Holzstoffmenge den Glührückstand. Dies hat wiederum Auswirkungen auf Festigkeitskennwerte. Der Einfluss soll aber in Versuchsreihe 4 genauer betrachtet werden.

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass das Aufschlussverfahren der Holzstoffe nur eine untergeordnete Rolle für papiertechnologische Kennwerte in den Mischungen eines Holzstoffs mit einem Testliner oder Wellenstoff spielt. Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Holzstoffe mit einem hohen spezifischen Energieeintrag vergleichbare Kennwerte wie ein Testliner 3 oder Wellenstoff erzielen können. Insbesondere wenn die Holzstoffe bereits für höhere Festigkeiten aufbereitet sind. Die Zugabe von Holzstoff in einen Testliner senkt jedoch den Glührückstand merklich, was bekanntermaßen einen positiven Einfluss auf die Festigkeitskennwerte ausübt. Wie groß dieser Einfluss ist, wird in Versuchsreihe 4 genauer untersucht.

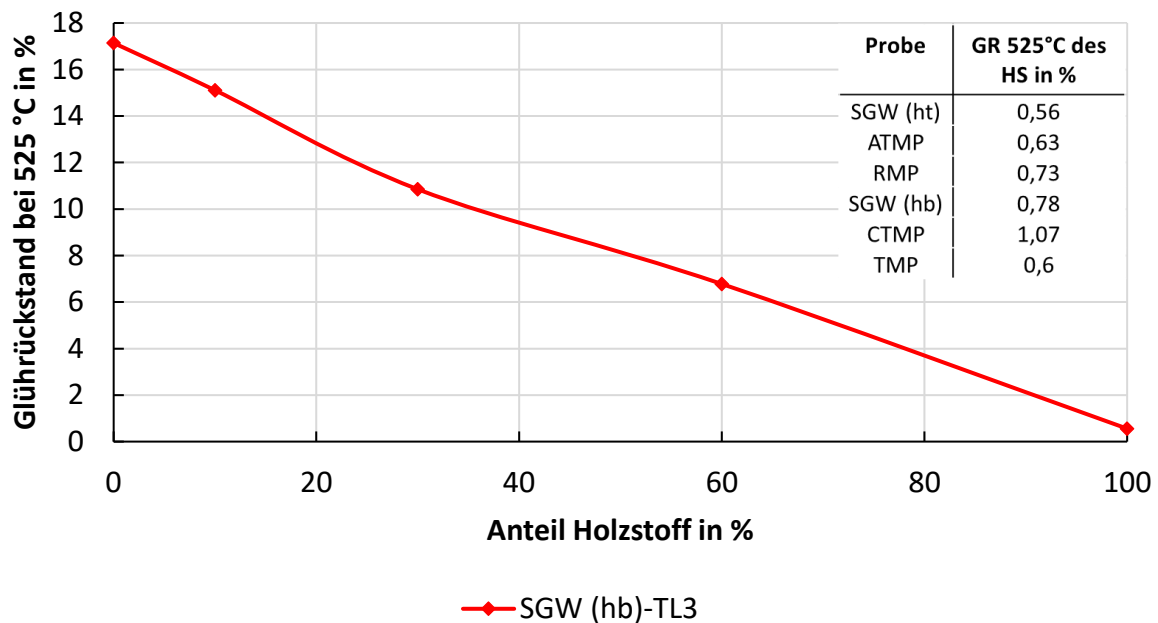


Abbildung 5-19: Glührückstand bei 525 °C für SGW (hb) in verschiedenen Mengenanteilen in der Mischung mit TL3 und Vergleichswerte der reinen Holzstoffe

5.2 Versuchsreihe 2: Leimpresse

In dieser Versuchsreihe wurden ausgewählte Laborblätter aus Versuchsreihe 1 von 117 g/m² mit 3-4 g/m² Stärkeleim in der Einlehnner Laborleimpresse beschichtet. Die genaue Versuchsdurchführung ist in Kapitel 4 beschrieben. Die Anzahl der Prüfmethode wurde für diese und die folgenden Versuchsreihen reduziert, da die grundlegenden Erkenntnisse bereits in Versuchsreihe 1 beschrieben wurden. Die Suspensionsprüfung entfällt für diese Versuchsreihe, da die Blätter in Versuchsreihe 1 gebildet wurden und somit darin enthalten sind. Die Ergebnisse der mechanischen Laborblattprüfung sollen nun beschrieben werden. Die Diagramme zeigen in Gelb die mit Stärke beschichteten Proben und in Blau die Vergleichswerte aus Versuchsreihe 1 ohne Stärkebeschichtung.

Die Ergebnisse für die breitenbezogene Bruchkraft (**Abbildung 5-20**) und Bruchdehnung (**Abbildung 5-21**) sind im Folgenden dargestellt. Wie erwartet steigert die Stärkeapplikation die Papierfestigkeit. Der Vergleichswert des TL3 konnte durch die Stärkeapplikation um 13 % von 4757 N/m auf 5377 N/m gesteigert werden. Die Werte der breitenbezogenen Bruchkraft des BCTM konnten um 28 % und die Werte des CTMP um 23 % gesteigert werden. Die Stärkeapplikation scheint sich bei diesen beiden Holzstoffen besonders positiv auszuwirken. Der dritte untersuchte Holzstoff (SGW (ht)), kann in der Mischung mit 10 % Holzstoffanteil eine Zunahme der Bruchkraft von 12 % aufweisen, während die Bruchkraft bei einem Holzstoffanteil von 30 % einen Festigkeitsverlust von 6 % nach der Stärkeapplikation aufweist.

Die Bruchdehnung der Proben BCTMP und CTMP kann durch die Stärkeapplikation deutlich gesteigert werden. Die Steigerung beträgt für BCTMP 32 %, für CTMP 23 %. Die Probe SGW (ht) weist ebenso eine leicht gesteigerte Bruchdehnung von 5 % auf.

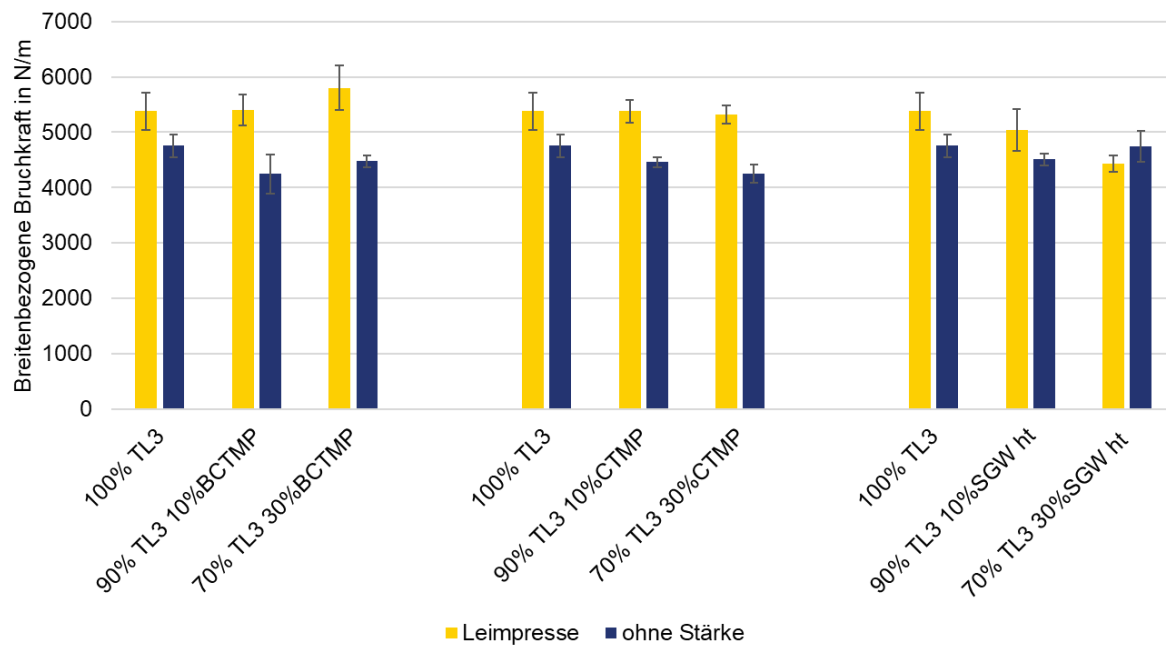


Abbildung 5-20: Vergleich der breitenbezogenen Bruchkraft in N/m für drei Holzstoffe in zwei unterschiedlichen Mischungen mit TL3

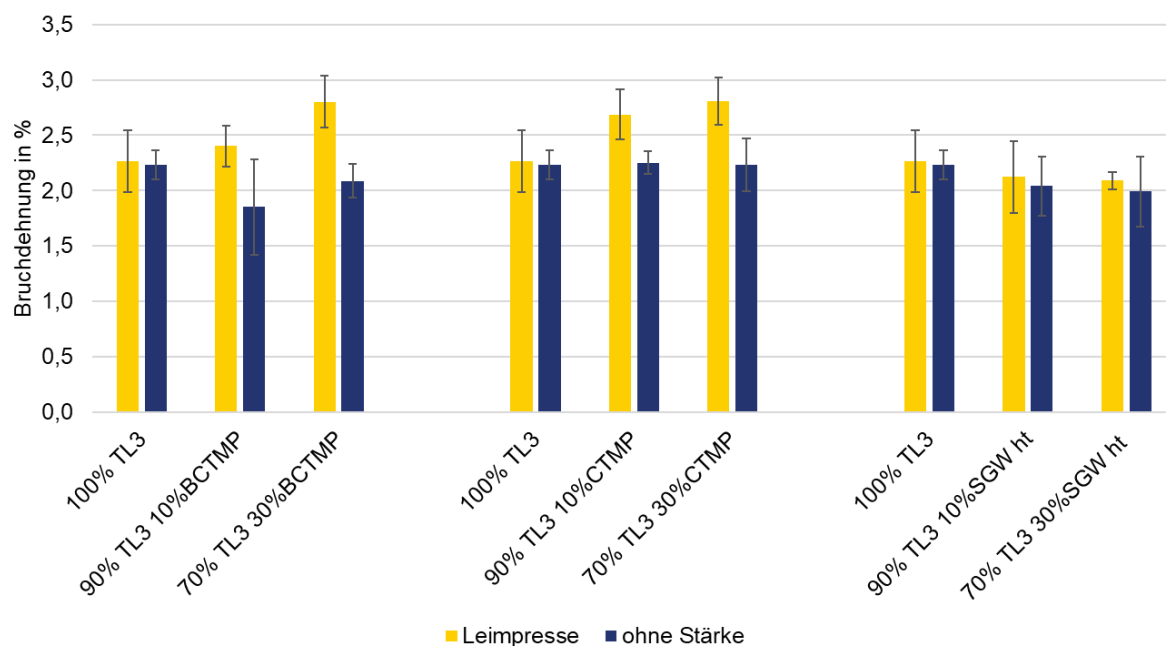


Abbildung 5-21: Vergleich der breitenbezogenen Bruchdehnung in % für drei Holzstoffe in zwei unterschiedlichen Mischungen mit TL3

Neben der Zugprüfung wurden die beschichteten Blätter auf Werte der Berstfestigkeit, des SCT und des S-Test geprüft (**Abbildungen 5-22 bis 5-24**). Der Berstdruck des TL3 nimmt durch die Stärkeapplikation um 13 % zu. Die Berstfestigkeit der BCTM-Proben kann um 38 % gesteigert werden und die Werte der CTMP-Proben um 22 %. Bei geringen Anteilen von 10 % weist der SGW (ht) eine Steigerung des Berstdruck 26 % auf, während bei 30 % Holzstoffanteil die Berstfestigkeit um 5 % sinkt.

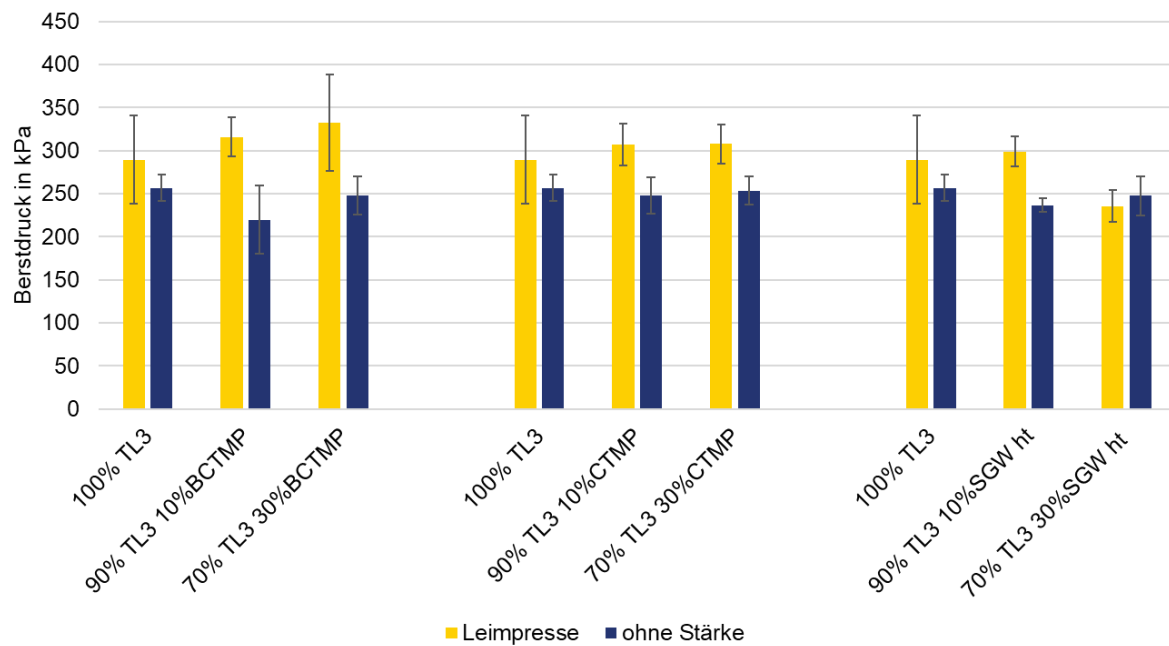


Abbildung 5-22: Vergleich des Berstdruck in kPa für drei Holzstoffe in zwei unterschiedlichen Mischungen mit TL3

Ein ähnliches Ergebnis ist für die Werte der SCT-Prüfung zu sehen. Die Festigkeitssteigerung nimmt hierbei jedoch mit ansteigendem Holzstoffanteil ab. Im Fall des SGW (ht) fällt die Festigkeit bei 30 % Holzstoffanteil unter den Vergleichswert ohne Stärkeauftrag mit der Leimpresse. Die Stärkeapplikation hat absolut einen positiven Einfluss auf die SCT-Werte im Vergleich zu den Proben ohne Stärkeapplikation. Jedoch zeigt sich bei steigendem Holzstoffanteil im Vergleich zu TL3 kein Festigkeitsanstieg.

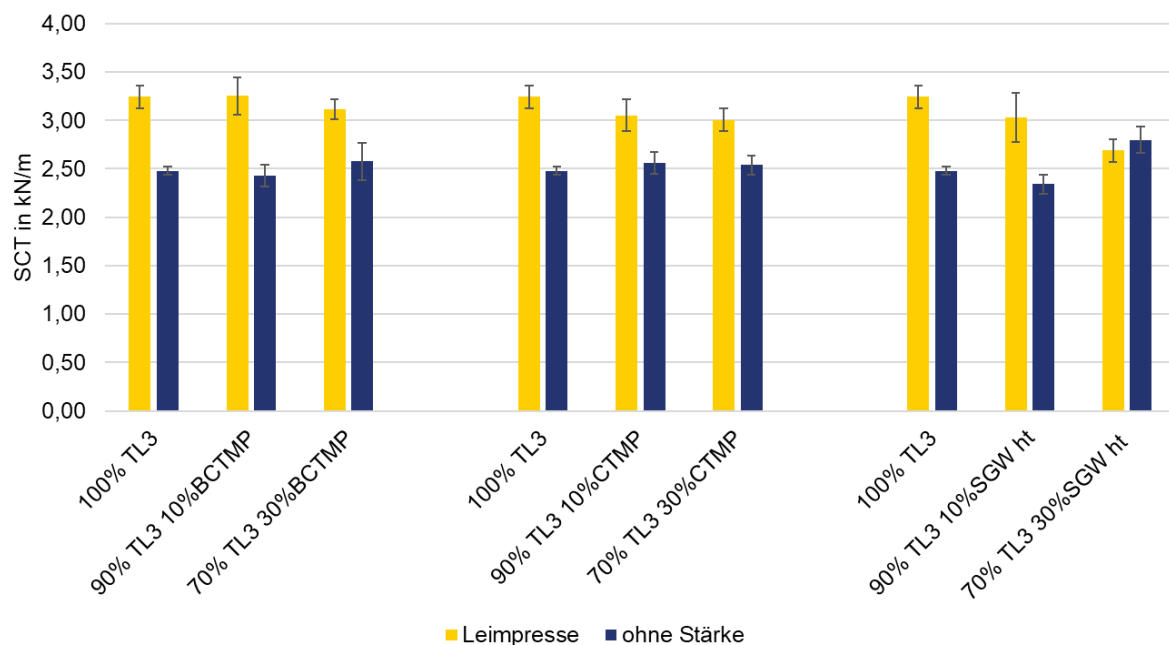


Abbildung 5-23: Vergleich des SCT in kN/m für drei Holzstoffe in zwei unterschiedlichen Mischungen mit TL3

Für den S-Test zeigt sich bei den drei Holzstoffen eine konstante Steigerung der Werte durch die Stärkeapplikation. Die Steigerung beträgt sowohl für den reinen TL3 als auch für die Mischungen mit verschiedenen Holzstoffanteilen 15 bis 20 %.

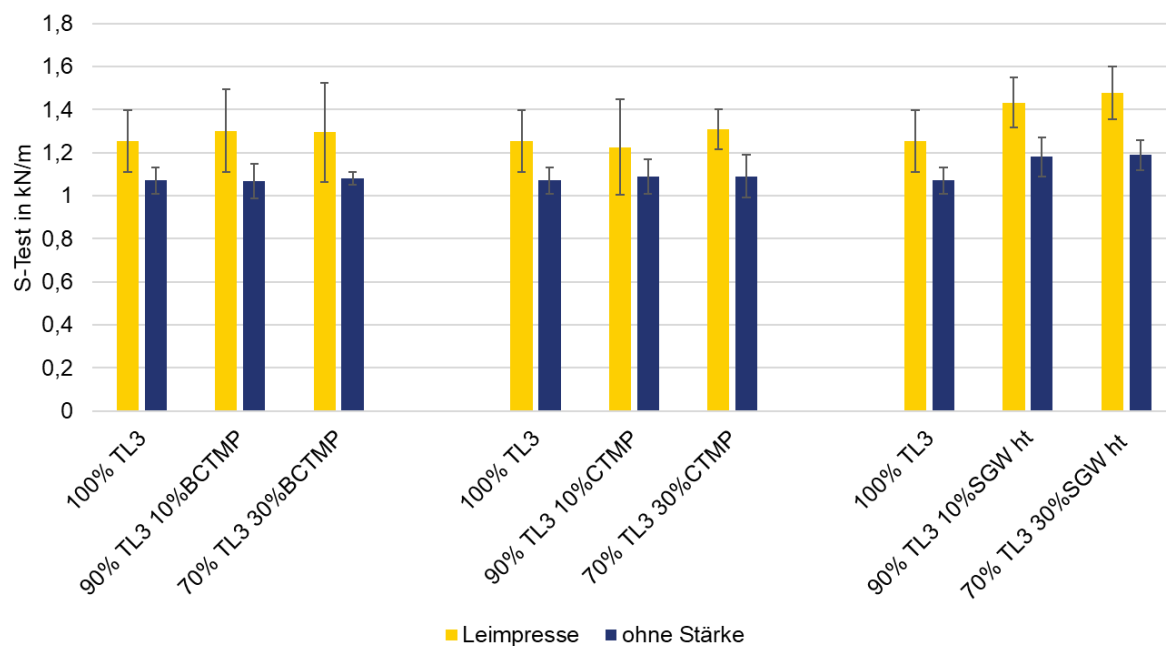


Abbildung 5-24: Vergleich des S-Test in kN/m für drei Holzstoffe in zwei unterschiedlichen Mischungen mit TL3

Anhand der beschriebenen Ergebnisse zeigt sich das Potential der Festigkeitssteigerung durch die Stärkeapplikation mittels Leimpresse. Für die beiden Holzstoffe BCTMP und CTMP zeigt sich durchweg ein positiver Einfluss auf die untersuchten Festigkeitskennwerte durch die Stärkeapplikation. Für den Holzstoff SGW (ht) ist das Bild jedoch nicht so eindeutig. Die Kennwerte deuten überwiegend einen negativen Trend an. Tendenziell nehmen die Kennwerte durch die Stärkeapplikation bei einem steigenden Holzstoffanteil ab und unterschreiten teilweise bei einem Holzstoffanteil von 30 % sogar die Ausgangswerte ohne Stärkeapplikation.

5.3 Versuchsreihe 3: Reduzierte flächenbezogene Masse

Ziel dieser Versuchsreihe ist unter anderem zu untersuchen, ob sich Festigkeitskennwerte linear mit der flächenbezogenen Masse skalieren lassen. Da die Holzstoffproben vor der Verarbeitung zu Laborblättern mit 100 g/m² eingefroren waren, wurde der SR-Wert und das Wasserrückhaltevermögen erneut untersucht, um auszuschließen, dass das Einfrieren Einfluss auf die Messwerte nimmt. Der TL3, der für die Mischung eingesetzt wurde, war nicht eingefroren und wurde jeweils frisch aufgeschlagen. **Abbildung 5-25** und **Abbildung 5-26** zeigen die Ergebnisse der Suspensionsprüfung. Das Einfrieren hat keinen Einfluss auf die untersuchten Suspensionseigenschaften genommen.

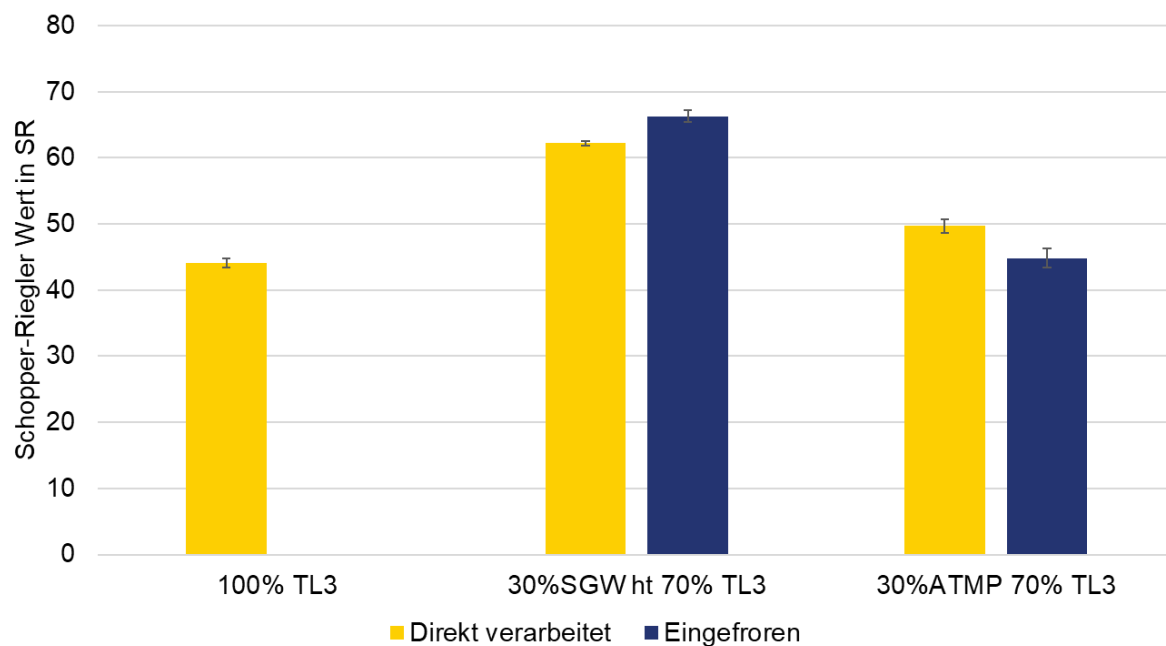


Abbildung 5-25: Vergleich der SR-Werte von Mischungen verschiedener Holzstoffe mit und ohne Einfrieren mit TL3

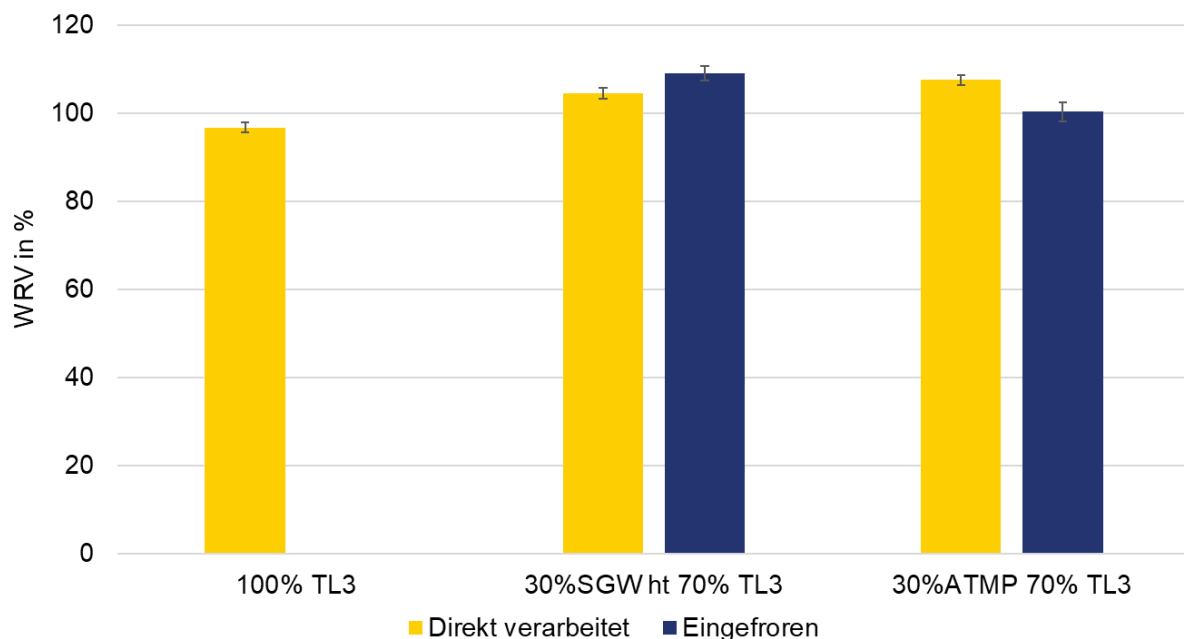


Abbildung 5-26: Vergleich der WRV-Werte von Mischungen verschiedener Holzstoffe mit und ohne Einfrieren mit TL3

Die Ergebnisse der Zugprüfung sind für die breitenbezogene Bruchkraft in **Abbildung 5-27**, für die Bruchspannung in **Abbildung 5-28** und die Bruchdehnung in **Abbildung 5-29** dargestellt. Für die Werte breitenbezogene Bruchkraft zeigt sich deutlich der Einfluss der reduzierten flächenbezogenen Masse. Im Vergleich der Bruchspannungen und Bruchdehnung der unterschiedlichen Proben zeigt sich jedoch kein Unterschied, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Bruchkraft linear mit der flächenbezogenen Masse skaliert werden kann.

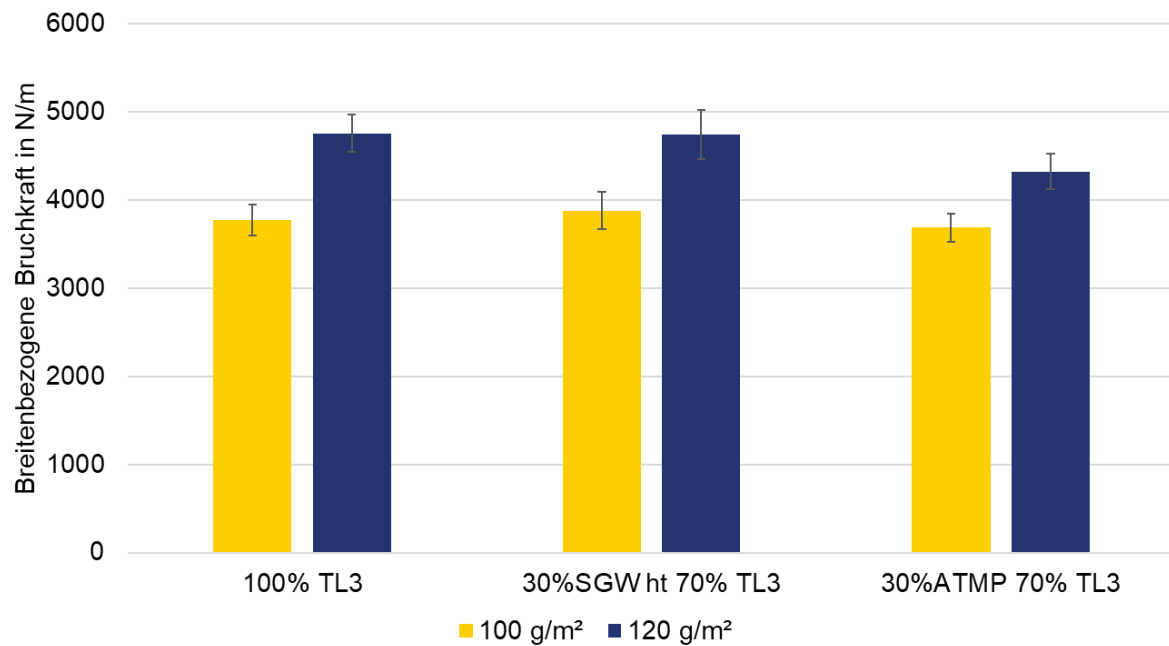


Abbildung 5-27: Vergleich der breitenbezogenen Bruchkraft in N/m von Mischungen verschiedener Holzstoffe mit TL3 für unterschiedliche flächenbezogene Massen

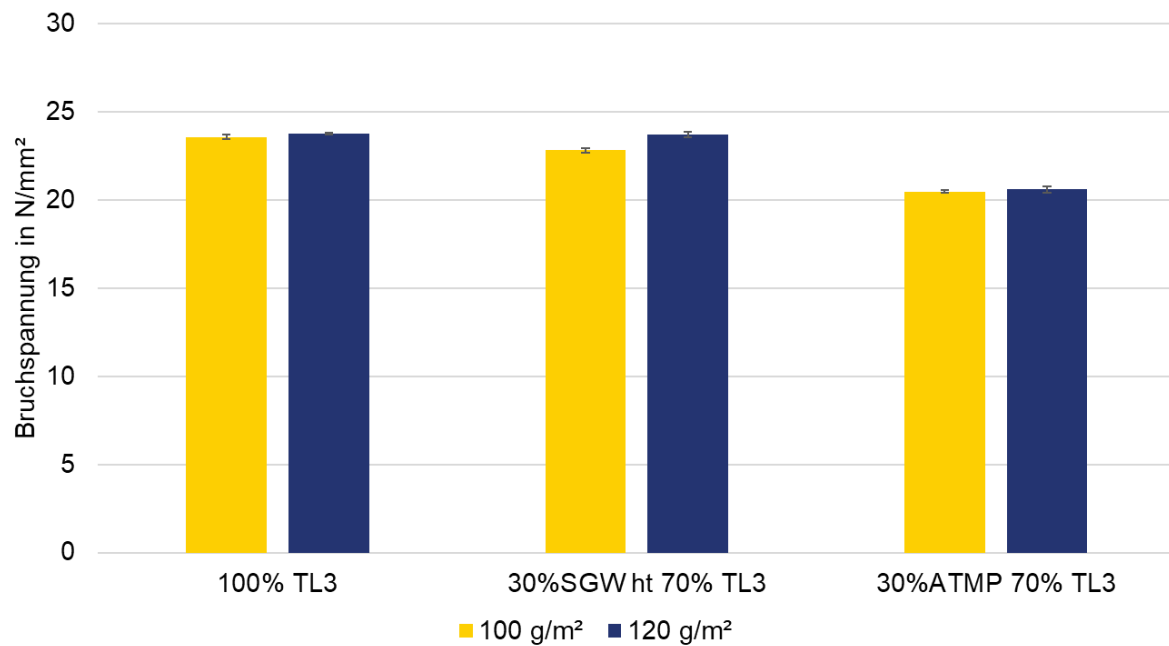


Abbildung 5-28: Vergleich der Bruchspannung in N/mm² von Mischungen verschiedener Holzstoffe mit TL3 für unterschiedliche flächenbezogene Massen

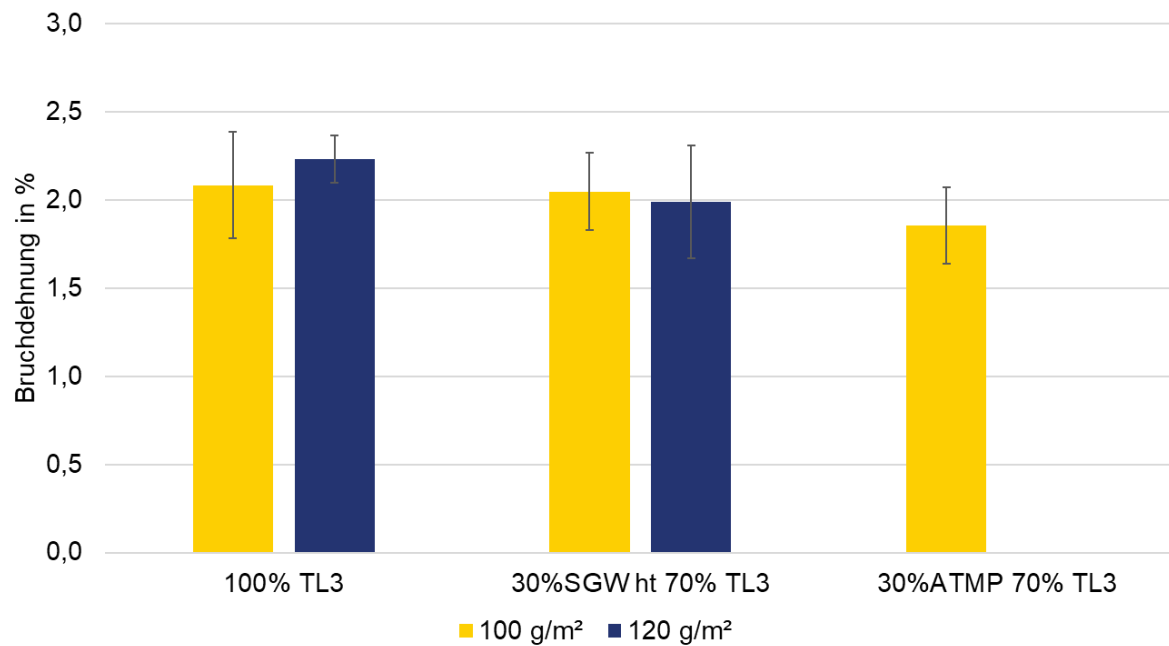


Abbildung 5-29: Vergleich der Bruchdehnung in % von Mischungen verschiedener Holzstoffe mit TL3 für unterschiedliche flächenbezogene Massen

Auch die Werte des SCT, S-Test und des Berstdruck (**Abbildungen 5-30 bis 5-32**) sinken bei verringerter flächenbezogener Masse. Im Rahmen der Schwankungsbreiten lassen sich auch diese Kennwerte linear mit der flächenbezogenen Masse skalieren. Bei höheren Grammaturen könnten allerdings Effekte auftreten, die in diesen Untersuchungen nicht abgebildet wurden.

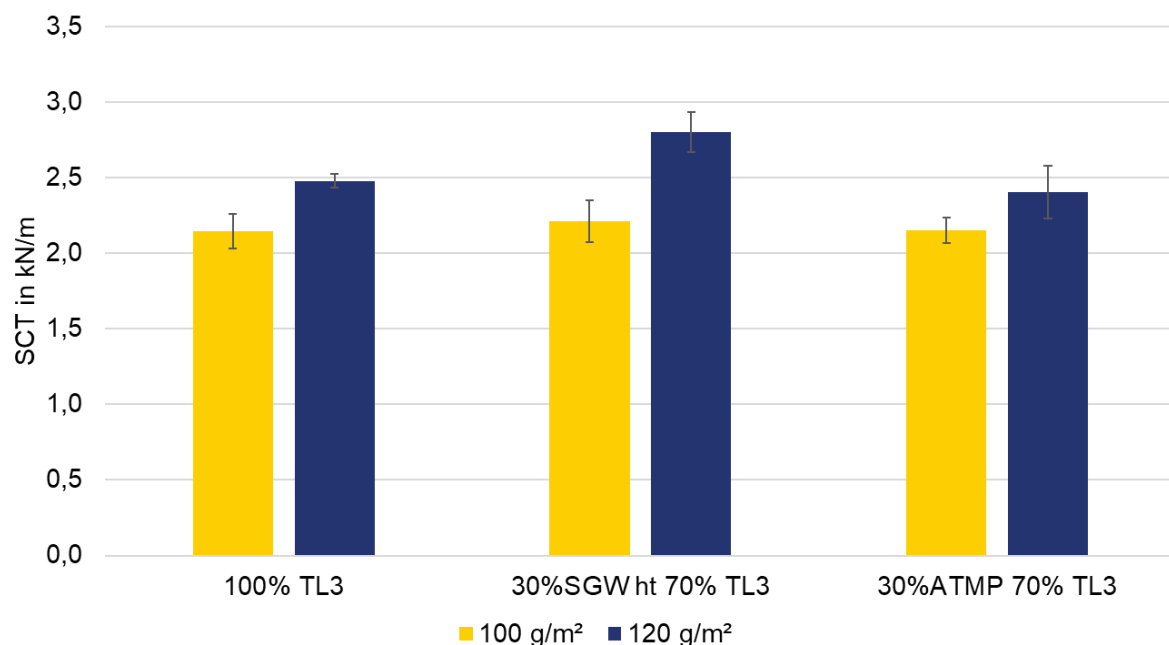


Abbildung 5-30: Vergleich der SCT-Werte in kN/m von Mischungen verschiedener Holzstoffe mit TL3 für unterschiedliche flächenbezogene Massen

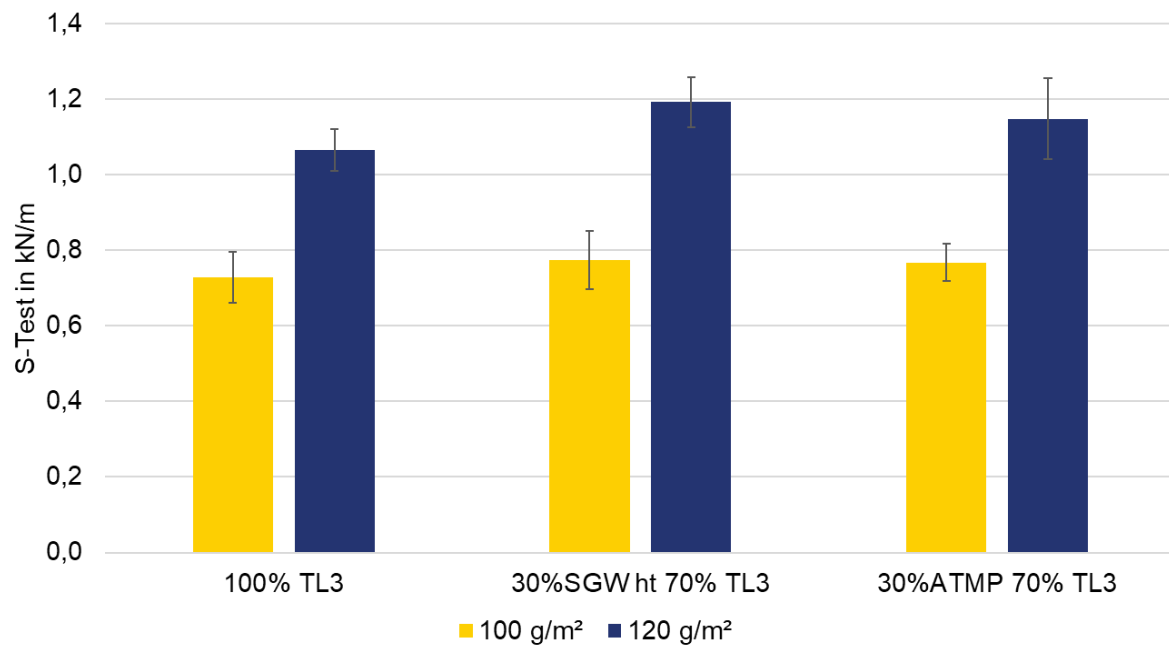


Abbildung 5-31: Vergleich der S-Test-Werte in kN/m von Mischungen verschiedener Holzstoffe mit TL3 für unterschiedliche flächenbezogene Massen

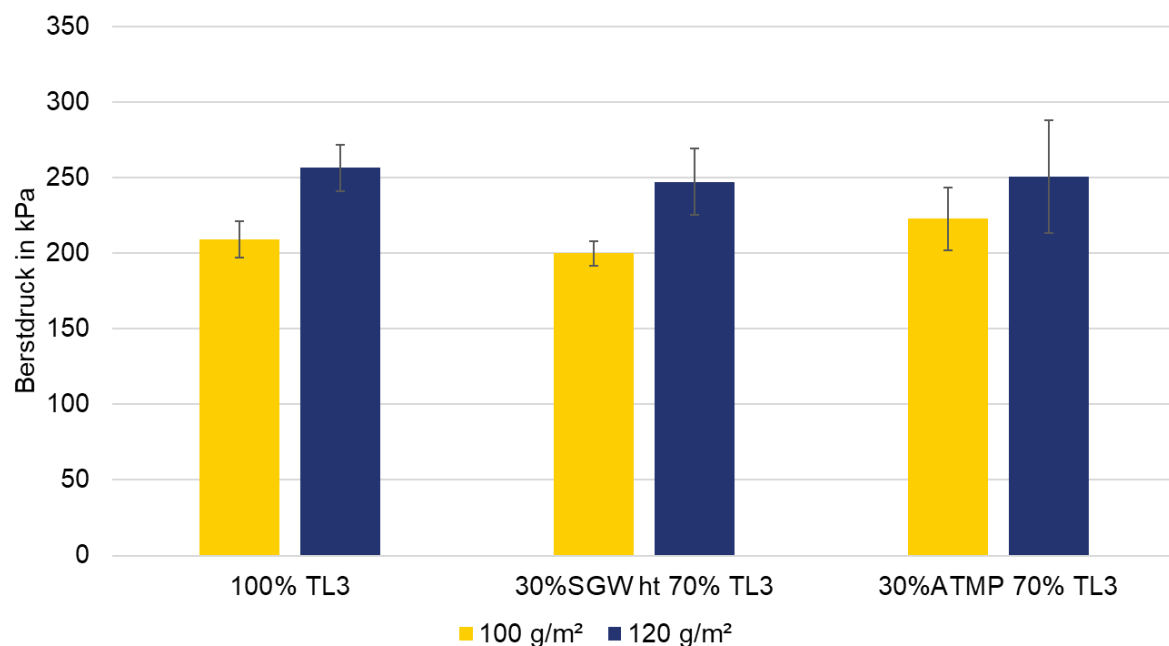


Abbildung 5-32: Vergleich der Berstdruck-Werte in kPa von Mischungen verschiedener Holzstoffe mit TL3 für unterschiedliche flächenbezogene Massen

Wie erwartet wurden die untersuchten Festigkeitskennwerte durch die Reduktion der flächenbezogenen Masse gesenkt. Die Ergebnisse zeigen aber konstante Bruchspannungen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass Festigkeitskennwerte in dem untersuchten Flächenmassenbereich in erster Näherung linear mit der flächenbezogenen Masse skaliert werden können.

5.4 Versuchsreihe 4: Kompensation der reduzierten Asche

In Versuchsreihe 4 wurden Blätter mit 100 g/m² aus TL3 mit 30 % Mengenanteil der Holzstoffe ATMP, CTMP und SGW (ht) gebildet. Bei der Blattbildung wurde Calciumcarbonat zugegeben, um den Glührückstand auf das Ausgangsniveau der Laborblätter aus TL3 (17 %) anzuheben. Aufgrund der unterschiedlichen Retention der Füllstoffe musste unterschiedlich viel Calciumcarbonat zugesetzt werden. Retentionsmittel wurden nicht eingesetzt. Die jeweilige Zugabemengen sind in **Tabelle 5-1** zusammengetragen.

Tabelle 5-1: Glührückstand (525 °C) der Mischungen aus 30 % der Holzstoffe SGW (ht), ATMP und TMP mit 70 % TL3 mit und ohne Zugabe von Calciumcarbonat und Zugabemenge, um ca. 17 % Glührückstand zu erzielen

<i>Holzstoff</i>	<i>Glührückstand ohne Zugabe (525 °C)</i>	<i>Zugabemenge Calciumcarbonat</i>	<i>Glührückstand nach Zugabe (525 °C)</i>
30 % SGW ht, 70 % TL3	11,1 %	0,40 g	17,1 %
30 % ATMP, 70 % TL3	10,6 %	0,55 g	16,8 %
30 % CTMP, 70 % TL3	9,8 %	0,67 g	16,8 %

Im folgenden Verlauf zeigen die **Abbildung 5-33** bis **Abbildung 5-37** den Vergleich der Holzstoffe mit und ohne Zugabe von Calciumcarbonat für die verschiedenen Laborblattprüfungen. Als Referenzwert sind die jeweiligen Werte des TL3 angegeben. Wie erwartet sinken die Festigkeitskennwerte bei steigendem Füllstoffgehalt. Der S-Test ergibt, dass die Laborblätter mit einem Glührückstand von ca. 17 % auf dem gleichen oder sogar höheren Niveau sind, als der reine TL3. Im Gegensatz dazu fallen bei einem vergleichbaren Glührückstand von 17 % (525 °C) alle anderen Messwerte unter das Niveau des TL3.

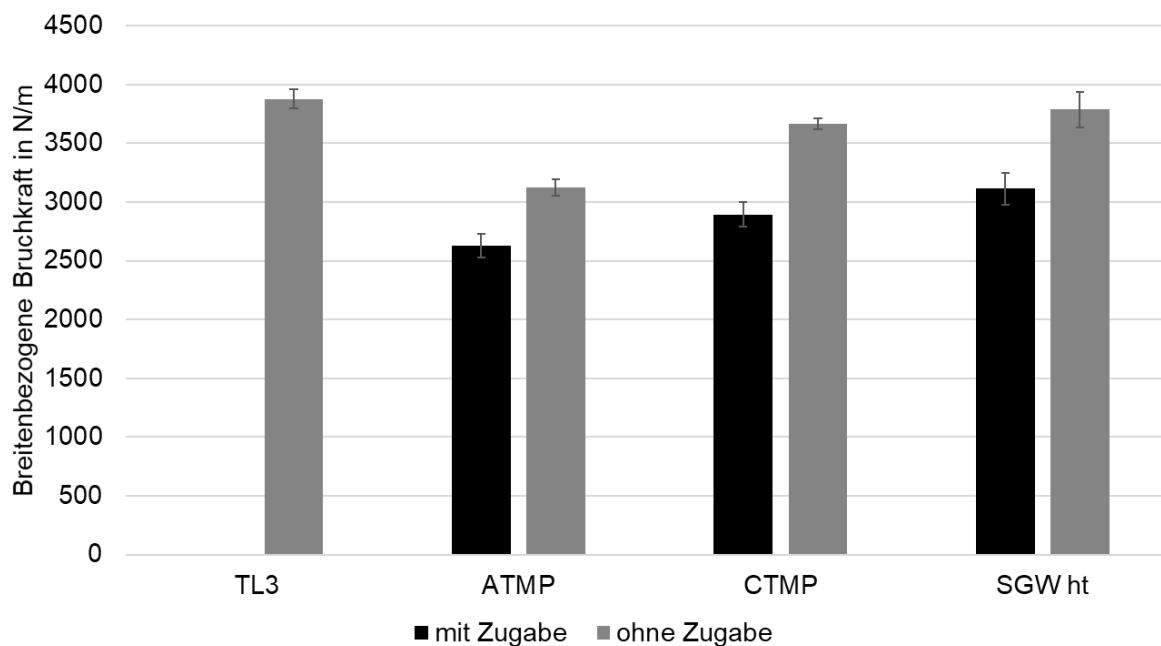


Abbildung 5-33: Vergleich der breitenbezogenen Bruchkraft in N/m verschiedener Holzstoffe mit und ohne Zugabe von Calciumcarbonat bei 100 g/m² und 30 % Holzstoffanteil

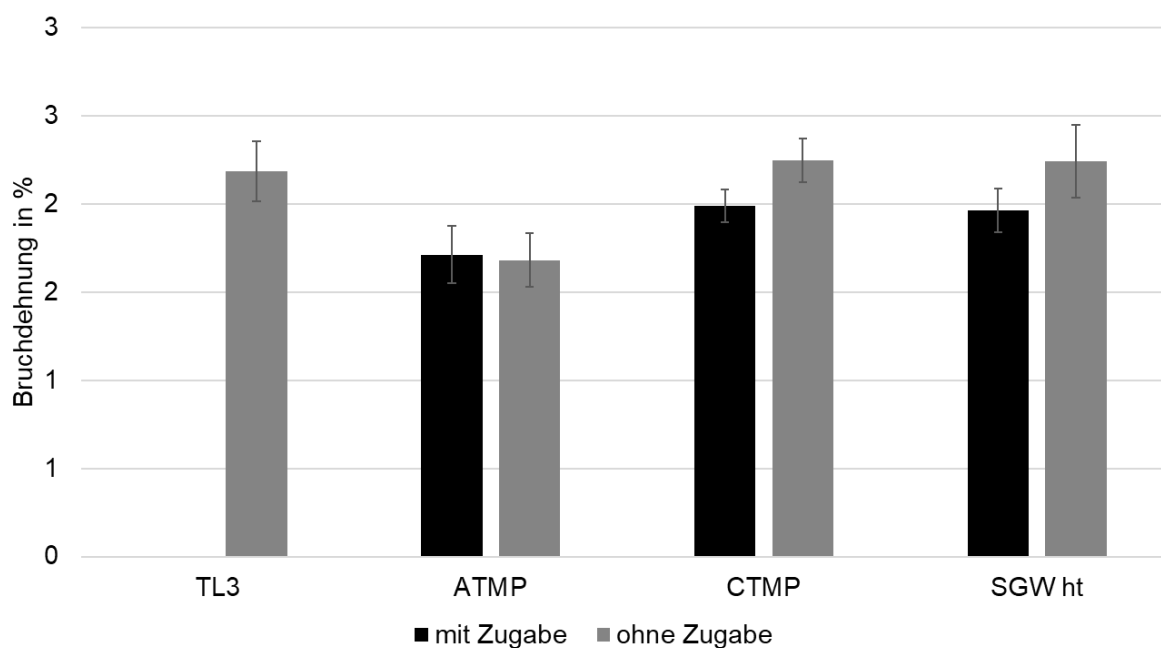


Abbildung 5-34: Vergleich der Bruchdehnung in % verschiedener Holzstoffe mit und ohne Zugabe von Calciumcarbonat bei 100 g/m² und 30 % Holzstoffanteil

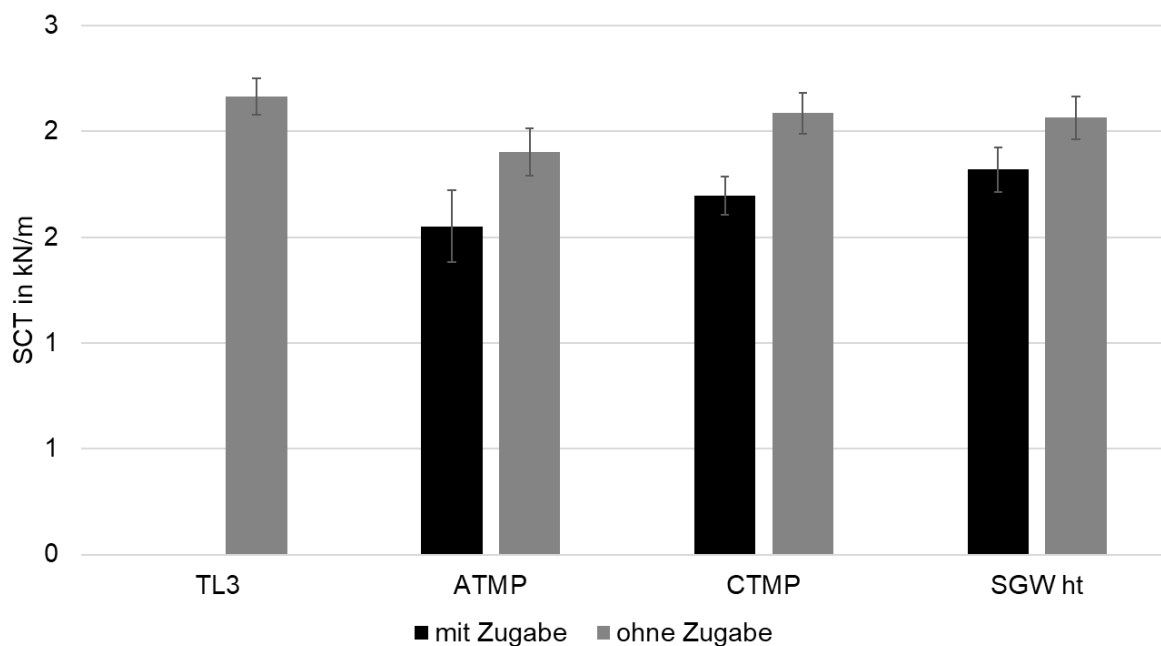


Abbildung 5-35: Vergleich der SCT-Werte verschiedener Holzstoffe mit und ohne Zugabe von Calciumcarbonat bei 100 g/m² und 30 % Holzstoffanteil

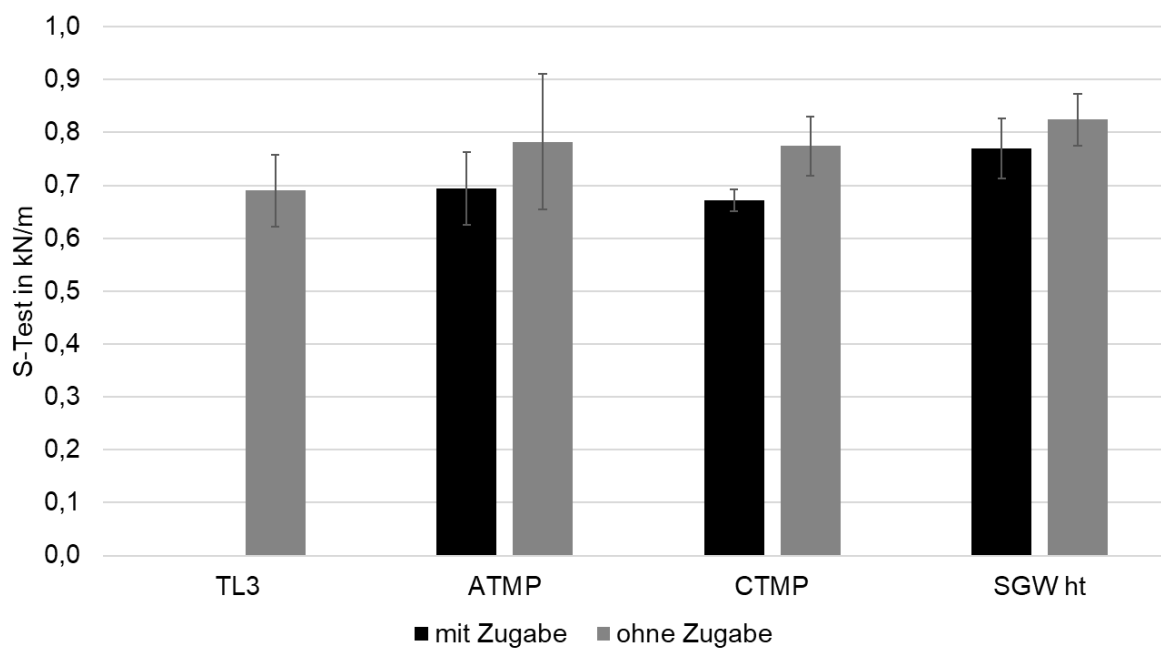


Abbildung 5-36: Vergleich der S-Test-Werte verschiedener Holzstoffe mit und ohne Zugabe von Calciumcarbonat bei 100 g/m² und 30 % Holzstoffanteil

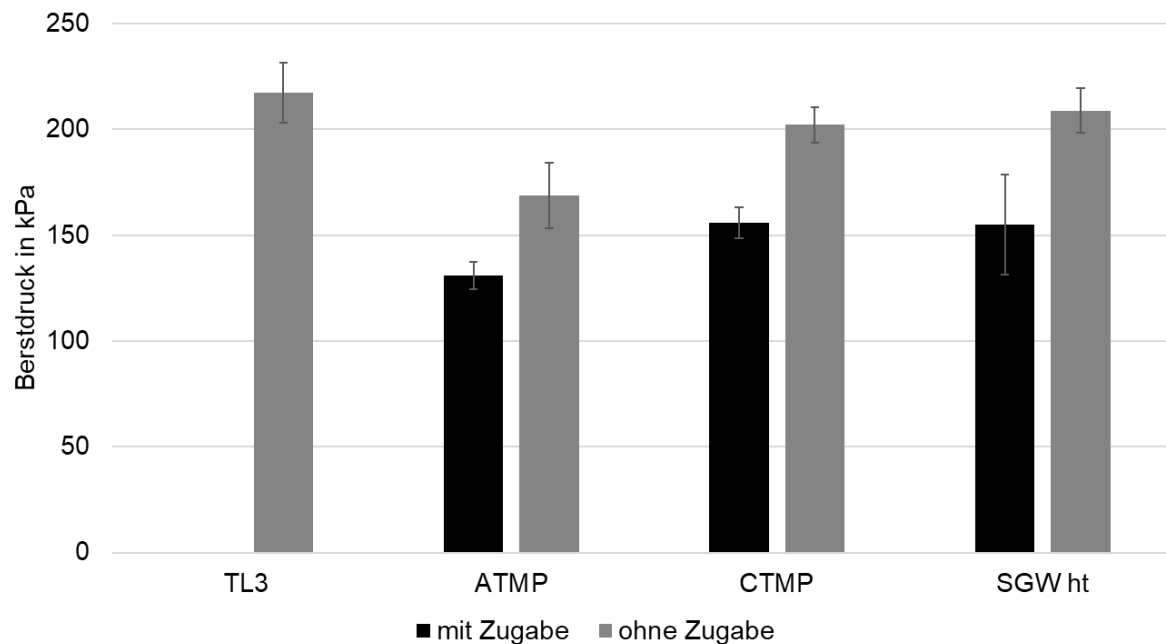


Abbildung 5-37: Vergleich der Berstdruck-Werte verschiedener Holzstoffe mit und ohne Zugabe von Calciumcarbonat bei 100 g/m² und 30 % Holzstoffanteil

Eine aktive Zugabe von Füllstoffen ist hinsichtlich der Festigkeitskennwerte kontraproduktiv. Im direkten Vergleich der Papiere mit einem Glührückstand von ca. 17 % zeigt sich, dass die Mischung von Holzstoff und TL3 deutlich schlechtere Festigkeitskennwerte aufweisen als der reine TL3 bei gleichem Glührückstand. Daher sollte der Holzstoff vielmehr zu Altpapier zugegeben werden, um den globalen Glührückstand im Altpapier zu reduzieren.

5.5 Pilotversuche im Voith-Technikum

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Versuche auf der Versuchspapiermaschine (VPM) bei Voith und die Nachstellversuche im Labor des PMV mit dem gleichen Ausgangsmaterial. Die Nachstellversuche wurden analog zu Versuchsreihe 1 durchgeführt. Die Mischungen aus OCC mit verschiedenen Massenanteilen Holzstoff wurden zunächst auf Suspensionseigenschaften untersucht. Nach der Rapid-Köthen Blattbildung der Nachstellversuche mit 120 g/m² folgte die Laborblattprüfung. In den Pilotversuchen auf der VPM wurden für beide Versuchstage die gleichen Mengen Retentionsmittel zugegeben. Da für die Nachstellversuche die Suspensionsproben am Ende des jeweiligen Versuchstages entnommen wurden, sind entsprechende Retentionsmittel auch in den Nachstellversuchen enthalten.

Die Ergebnisse der Suspensionsprüfung sind in **Abbildung 5-38** und **Abbildung 5-39** dargestellt. Für den Schopper-Riegler Wert besteht eine Differenz von 7 SR für den OCC-Stoff (100 % TL 3), die WRV-Werte stimmen sehr gut überein. Somit kann davon ausgegangen werden, dass sich die Suspensionseigenschaften durch den Transport ans PMV nicht signifikant verändert haben.

Der höhere Entwässerungswiderstand der holzstoffhaltigen Suspension bewirkt einen geringeren maximalen Volumenstrom im Stoffauflauf der VPM. Entsprechend musste die Stoffdichte erhöht bzw. die Lippenöffnung verringert werden, um bei gleicher Entwässerungskonfiguration zu produzieren. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse

und unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Strahl-Sieb-Geschwindigkeitsdifferenzen der einzelnen Versuchspunkte (siehe Tabelle 4-2) berücksichtigt werden.

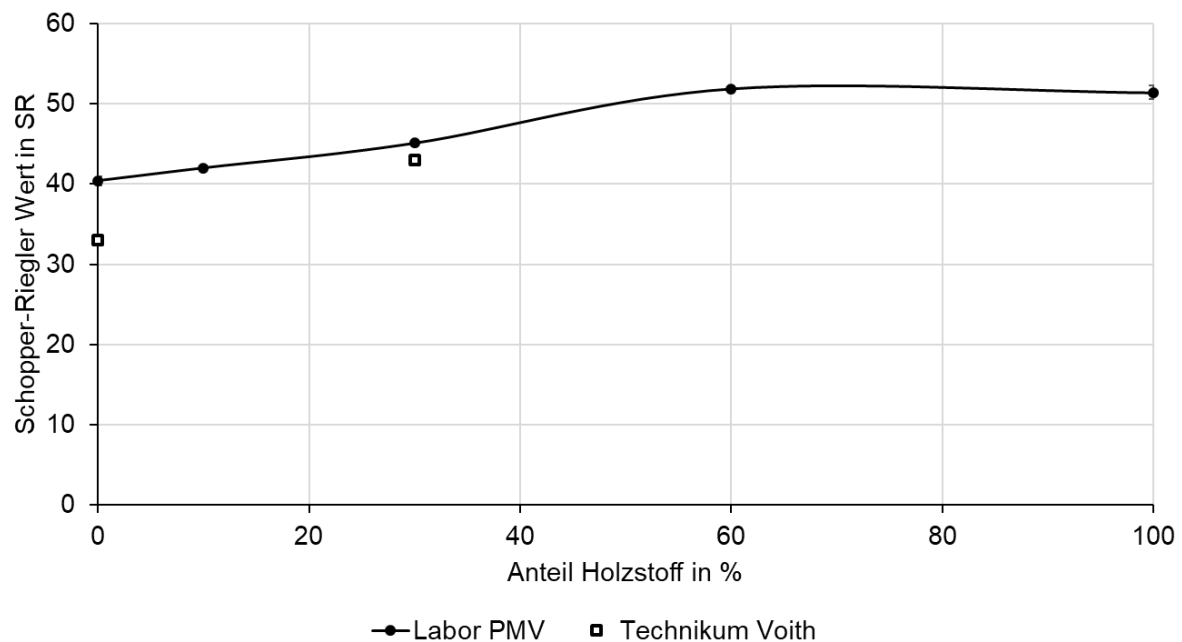


Abbildung 5-38: Schopper-Riegler Werte der Voith- und Nachstellversuche

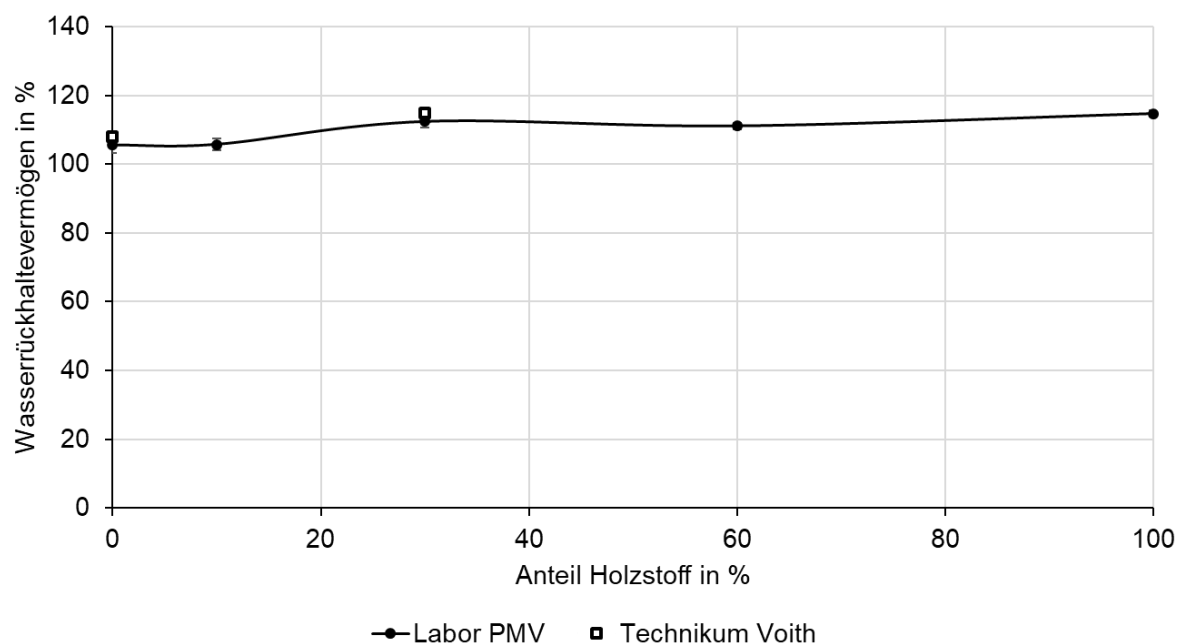


Abbildung 5-39: WRV-Werte der Voith- und Nachstellversuche

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Papierprüfung vorgestellt. Die Ergebnisse der Nachstellversuche im Labor des PMV werden für die jeweilige Prüfung vor den Ergebnissen der Pilot-Versuche vorgestellt. In den folgenden Abbildungen sind die Nachstellversuche am PMV in Schwarz, die Voith-Versuche für OCC in Blautönen und für die OCC-HS-Mischung in Gelbtönen dargestellt. Ergebnisse für 110 g/m² sind mit durchgezogenen Linien dargestellt, Ergebnisse für 80 g/m² mit gestrichelten Linien. Bei den Versuchspunkten 3 bis 9 wurde die Strahl-Sieb-Differenz bei konstanter Siebgeschwindigkeit von 30 auf 45, 60, 75, 90, 30 m/min, wobei

für den letzten Versuchspunkt zusätzlich der Volumenstrom des Stoffauflaufs reduziert wurde. Von den Versuchspunkten 10 zu 14 wurde die Geschwindigkeitsdifferenz von 90 zu 60, 45, 30, 30 (bei reduziertem Volumenstrom) m/min verändert (siehe Tabelle 4-2).

Wie anhand der vorherigen Ergebnisse zu erwarten war, nimmt die Rohdichte bei steigendem Holzstoffanteil in der Mischung ab (**Abbildung 5-40**). Dies bestätigt sich auch für die Pilotversuche (**Abbildung 5-41**). Die Mischung aus OCC und Holzstoff hat bei gleicher flächenbezogener Masse die geringere Rohdichte als das Papier aus OCC und entsprechend eine höhere Papierdicke.

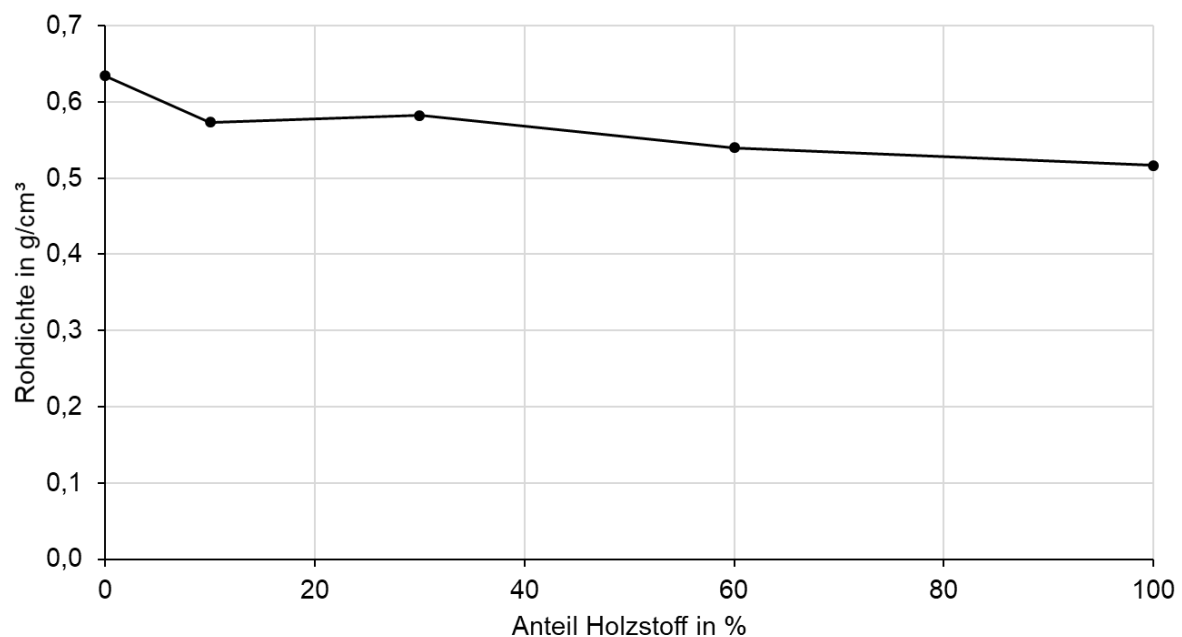


Abbildung 5-40: Abnahme der Rohdichte bei steigendem Holzstoffanteil im PMV-Nachstellversuch

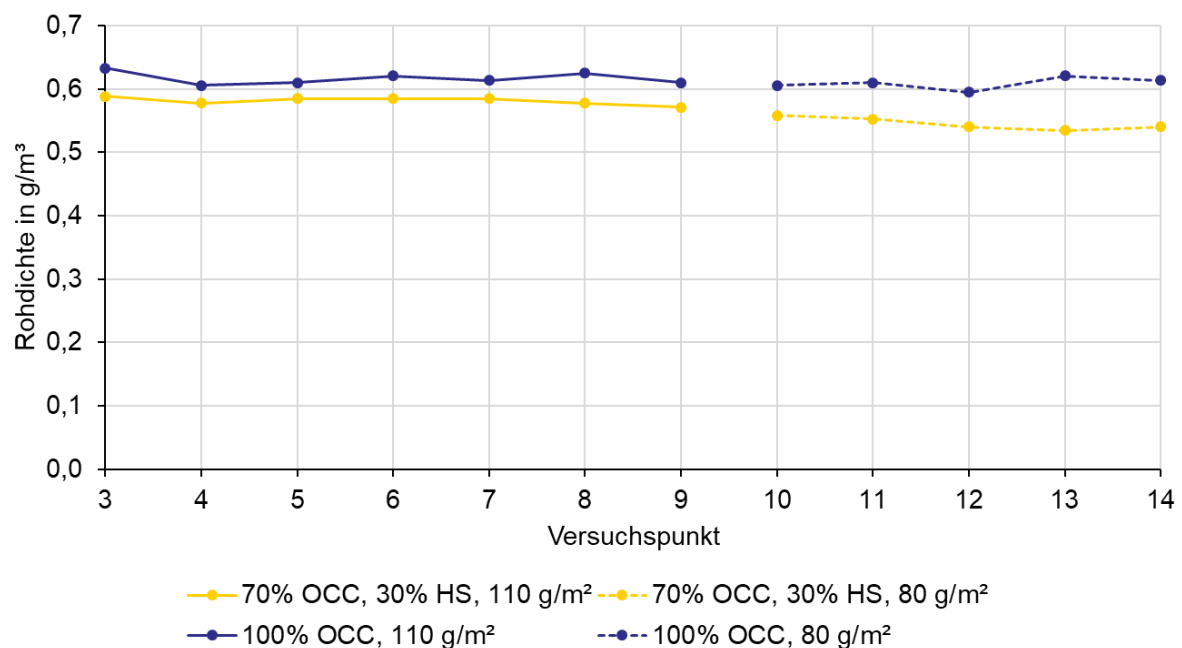


Abbildung 5-41: Veränderung der Rohdichte bei verschiedenen VPM-Versuchspunkten

In den Nachstellversuchen bestätigt sich der lineare Zusammenhang zwischen Glührückstand und Holzstoffanteil in der Mischung mit OCC (**Abbildung 5-42**). Für die Versuche auf der VPM (**Abbildung 5-43**) ist ein deutlicher Unterschied der Ascheretention in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse zu sehen. Bei geringerem Flächengewicht (Versuchspunkte 10-14) sinkt insbesondere für den OCC-Stoff die Ascheretention. Die Ascheretention für den holzstoffhaltigen Liner sinkt ebenfalls bei geringerem Flächengewicht, jedoch nicht so deutlich. Da gleiche Mengen Retentionsmittel zugegeben wurden, ist davon auszugehen, dass die Ascheretention geringfügig erhöht wird.

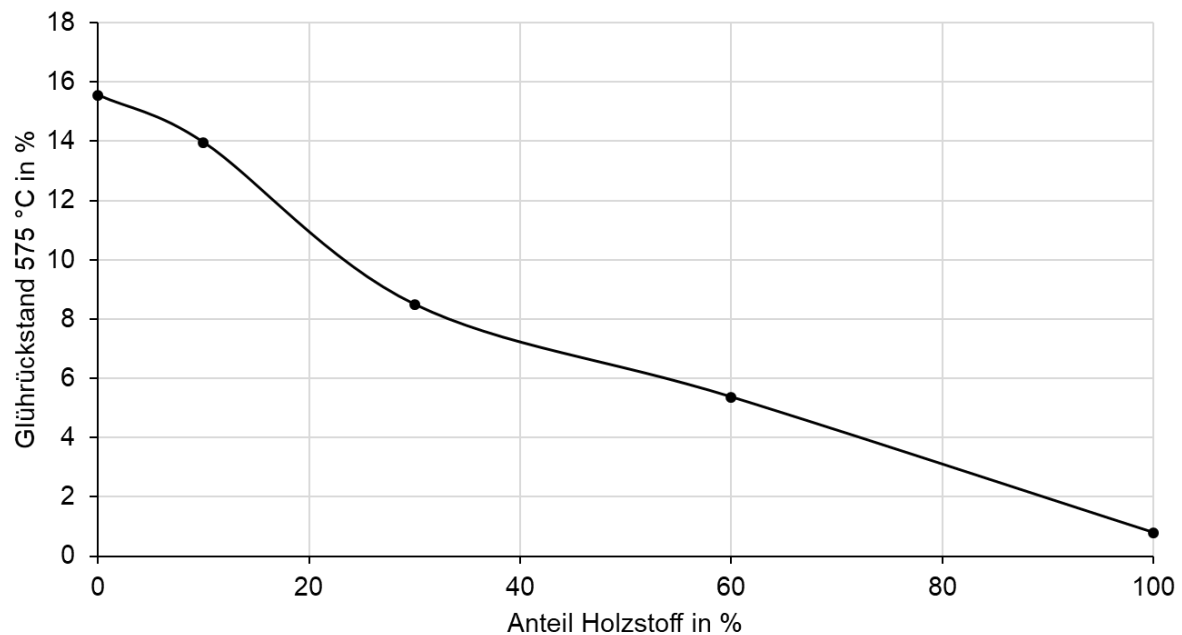


Abbildung 5-42: Glührückstand bei 575 °C der Nachstellversuche

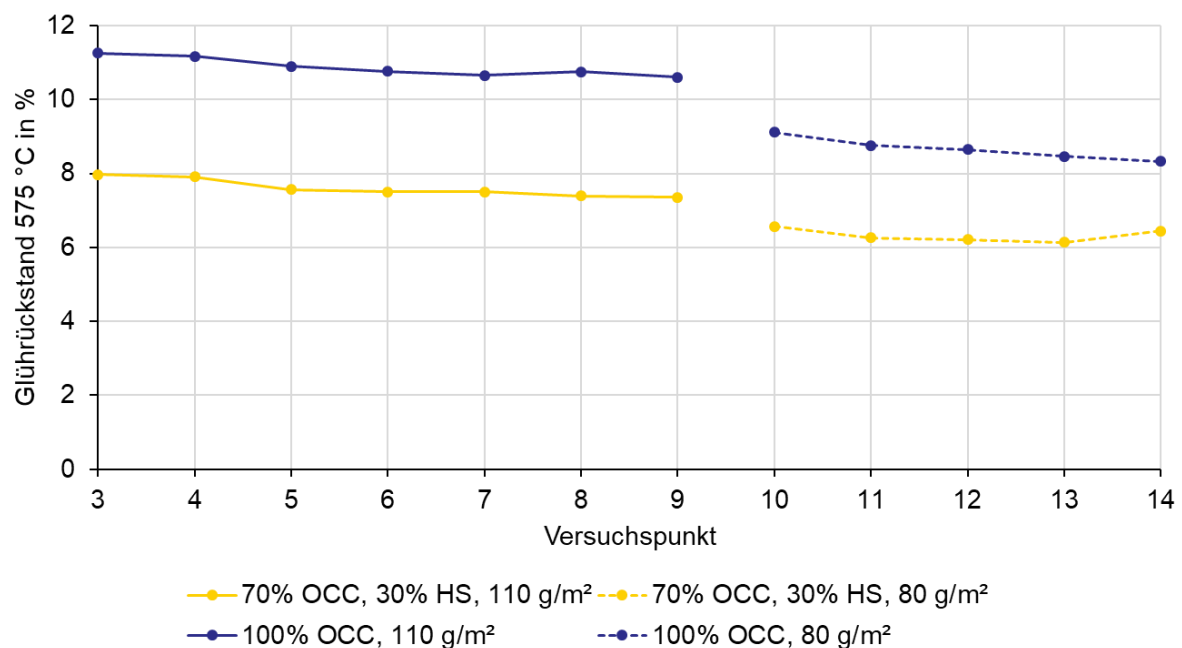


Abbildung 5-43: Veränderung des Glührückstands bei 575 °C für verschiedene VPM-Versuchspunkten

Die Bruchkraft nimmt in den Nachstellversuchen bei steigendem Holzstoffanteil ab (**Abbildung 5-44**). Dies bestätigen auch die Versuche auf der VPM (**Abbildung 5-45**). Die Bruchkraft des OCC-Papiers (blau) ist in MD und CD trotz des höheren Aschegehaltes stets höher als die Bruchkraft der OCC-HS-Mischung (gelb). Der Verlauf der Kurven für die verschiedenen Versuchspunkte ist nahezu parallel, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich die Papiereigenschaften des Holzstoffliners ähnlich beeinflussen lassen wie bei holzstofffreien Papieren.

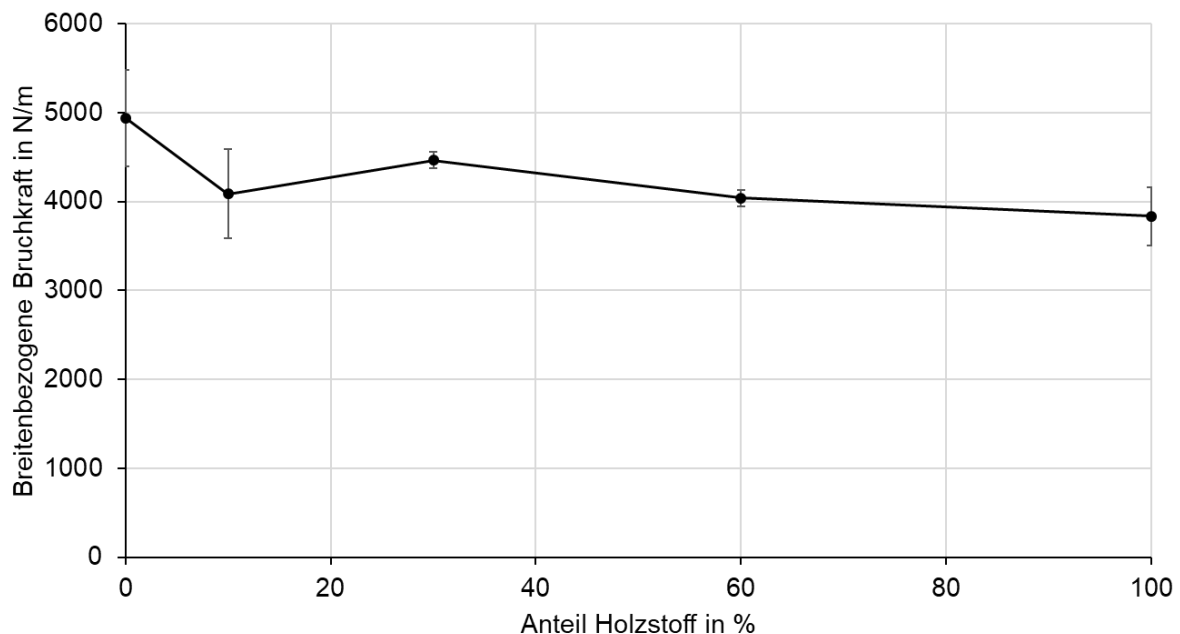


Abbildung 5-44: Abnahme der breitenbezogenen Bruchkraft bei steigendem Holzstoffanteil im Nachstellversuch

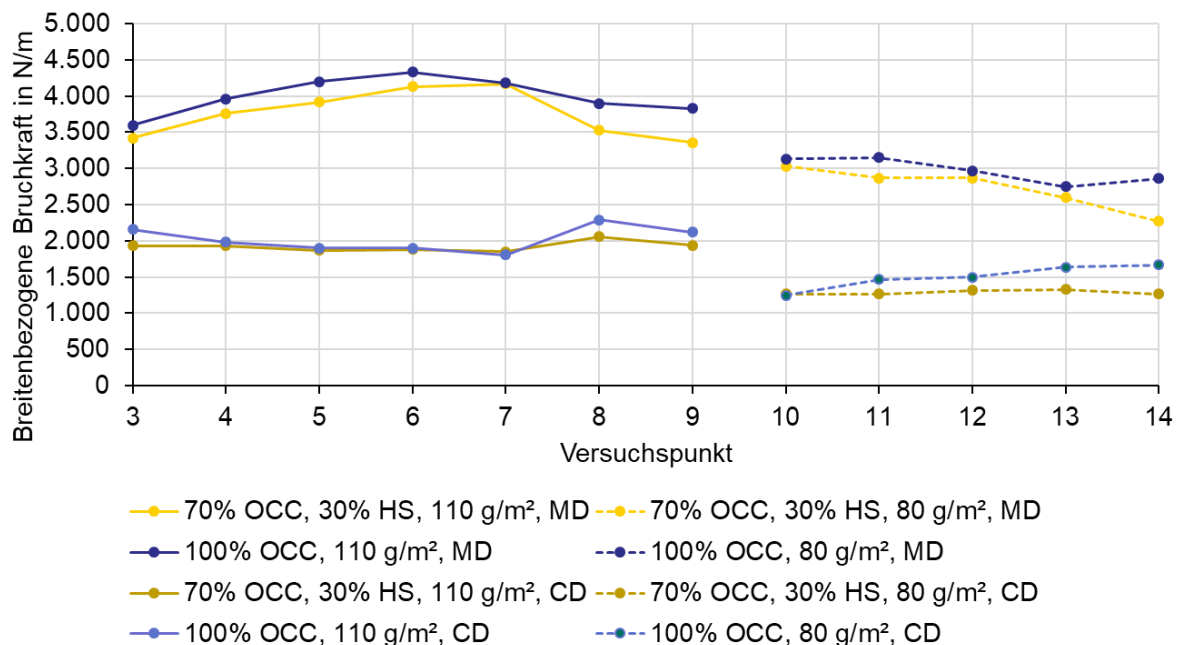


Abbildung 5-45: Veränderung der breitenbezogenen Bruchkraft bei verschiedenen VPM-Versuchspunkten

Die Bruchdehnung entwickelt sich analog zur Bruchkraft. In den Nachstellversuchen sinkt die Bruchdehnung bei ansteigendem Holzstoffanteil (**Abbildung 5-46**). Die Versuche auf der VPM

(Abbildung 5-45) ergeben für das OCC-Papier in MD und CD höhere Dehnbarkeiten als die Mischung aus OCC und Holzstoff. Des Weiteren zeigt sich für die Mischung eine stärkere Abhängigkeit der Bruchdehnung von der Strahl-Sieb-Differenz. Dies kann auf die leicht veränderten Einstellungen am Stoffauflauf zurückgeführt werden.

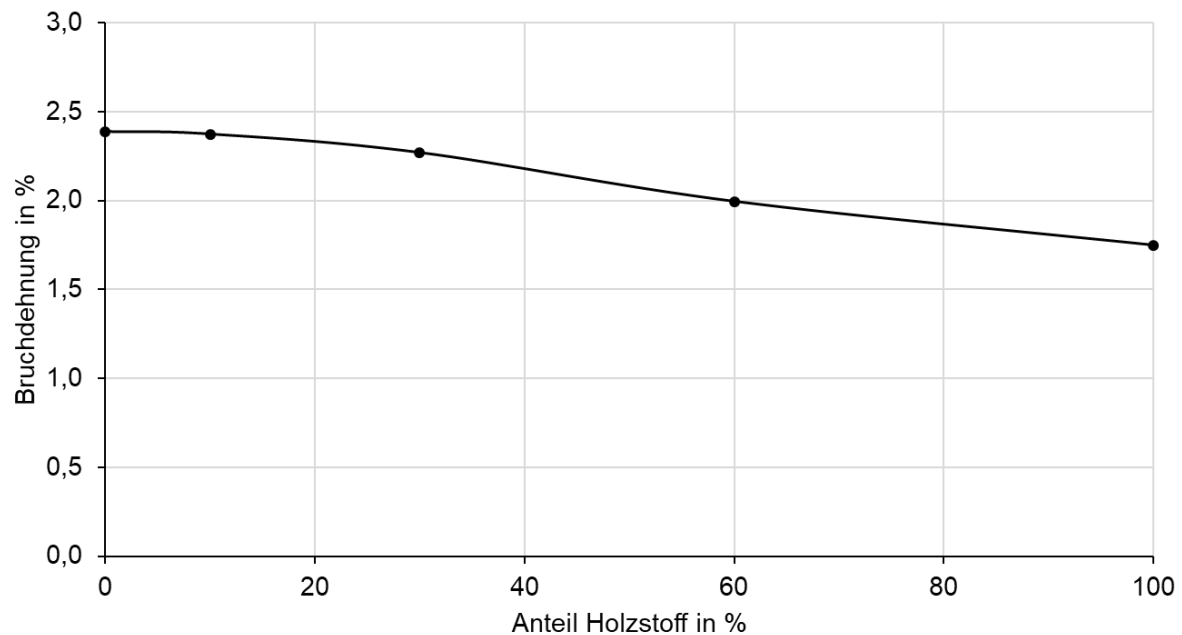


Abbildung 5-46: Abnahme der Bruchdehnung bei steigendem Holzstoffanteil im Nachstellversuch

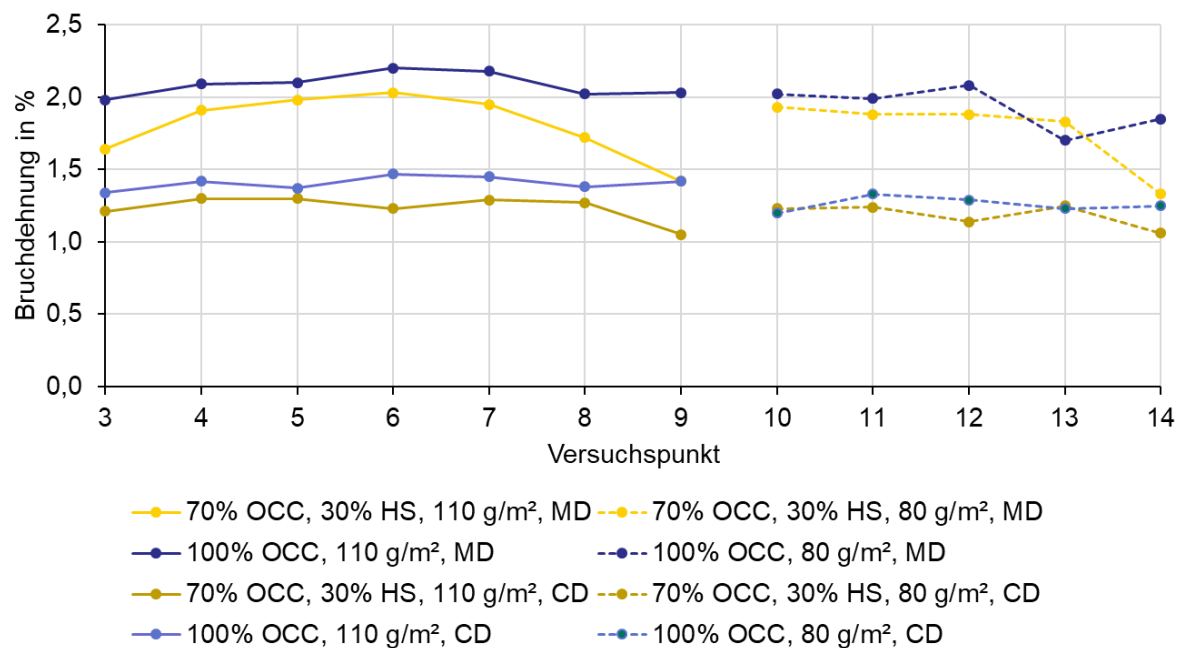


Abbildung 5-47: Veränderung der Bruchdehnung bei verschiedenen VPM-Versuchspunkten

Der Berstdruck der Nachstellversuche sinkt bei ansteigendem Holzstoffanteil (**Abbildung 5-48**). Ebenso ist der Berstdruck der OCC-HS-Mischung bei allen Versuchspunkten der VPM geringer als bei den OCC Papieren (**Abbildung 5-49**). Der Unterschied gestaltet sich bei geringeren Flächengewichten (Versuchspunkte 10 bis 14, 80 g/m²) deutlicher.

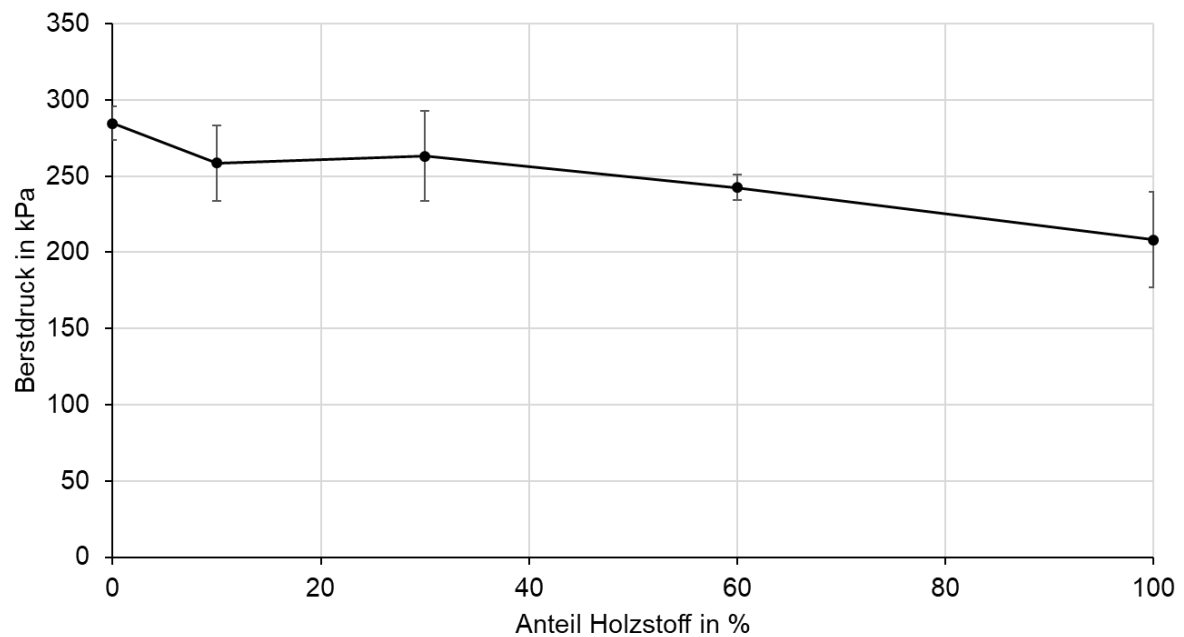


Abbildung 5-48: Abfallender Berstdruck bei ansteigendem Holzstoffanteil der Nachstellversuche

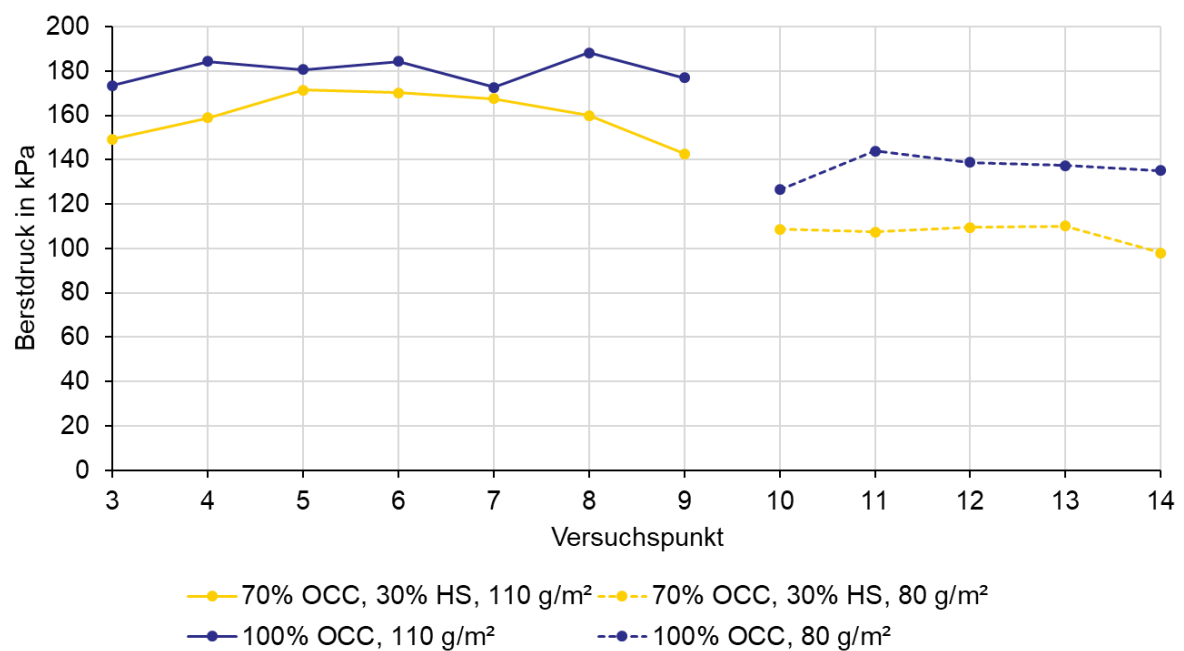


Abbildung 5-49: Veränderung des Berstdrucks bei verschiedenen VPM-Versuchspunkten

Die Werte der SCT-Prüfung der Nachstellversuche sinken bei steigendem Holzstoffanteil marginal (**Abbildung 5-50**). Dies zeigt sich auch bei den Pilotversuchen (**Abbildung 5-51**). Die Differenz zwischen OCC-Papier und Papier aus der OCC-HS-Mischung sind vernachlässigbar.

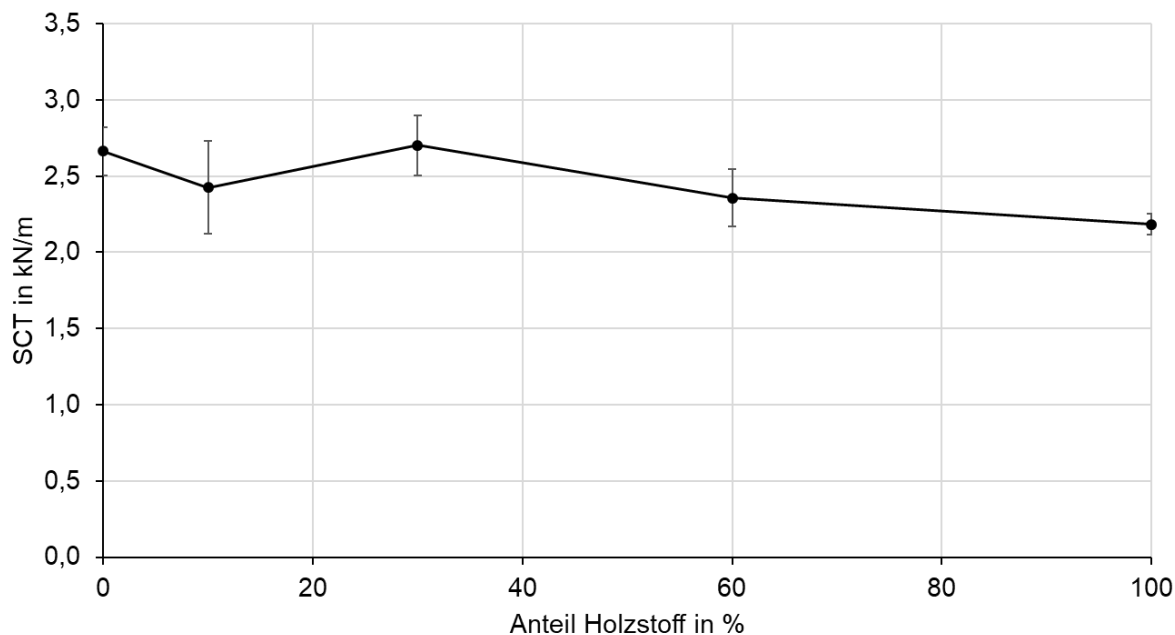


Abbildung 5-50: Abfallende SCT-Werte bei ansteigendem Holzstoffanteil der Nachstellversuche

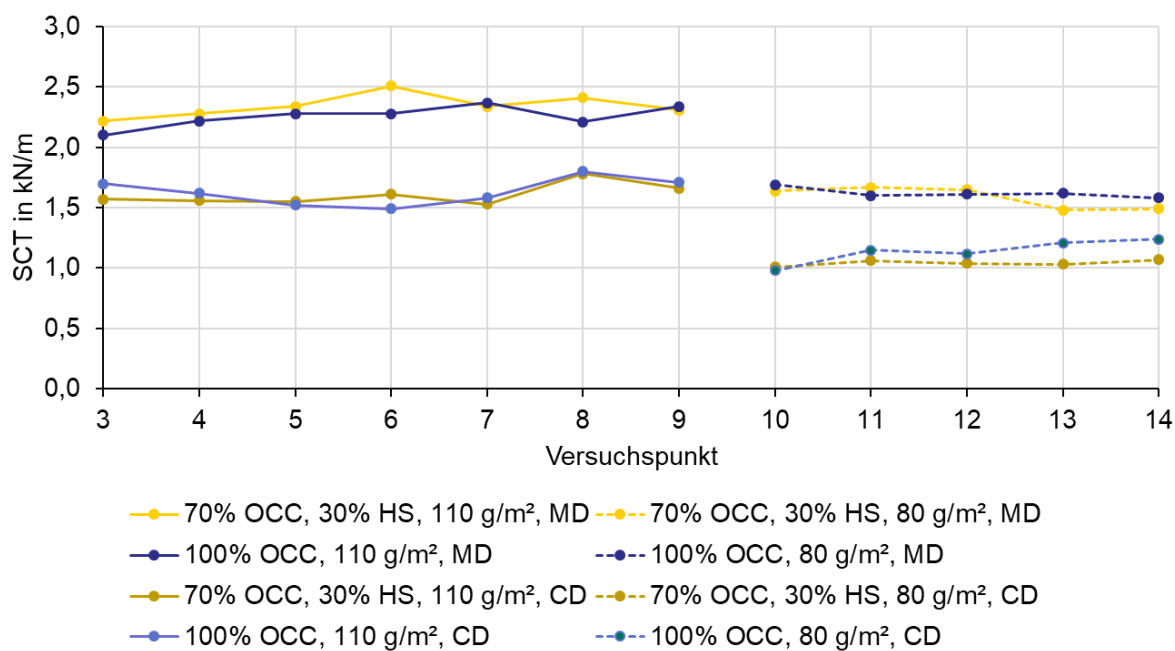


Abbildung 5-51: Veränderung der SCT-Werte bei verschiedenen VPM-Versuchspunkten

Die gemessene Zeitdauer bei der Luftdurchlässigkeit nach Gurley steigt mit ansteigendem Holzstoffanteil (**Abbildung 5-52**). Für die Pilotversuche auf der VPM (**Abbildung 5-53**) zeigt sich bei höheren Flächengewichten (Versuchspunkt 3 bis 9, 110 g/m²) eine deutliche Differenz in der Luftdurchlässigkeit. Diese Differenz tritt bei 80 g/m² (Versuchspunkt 10 bis 14) nicht auf.

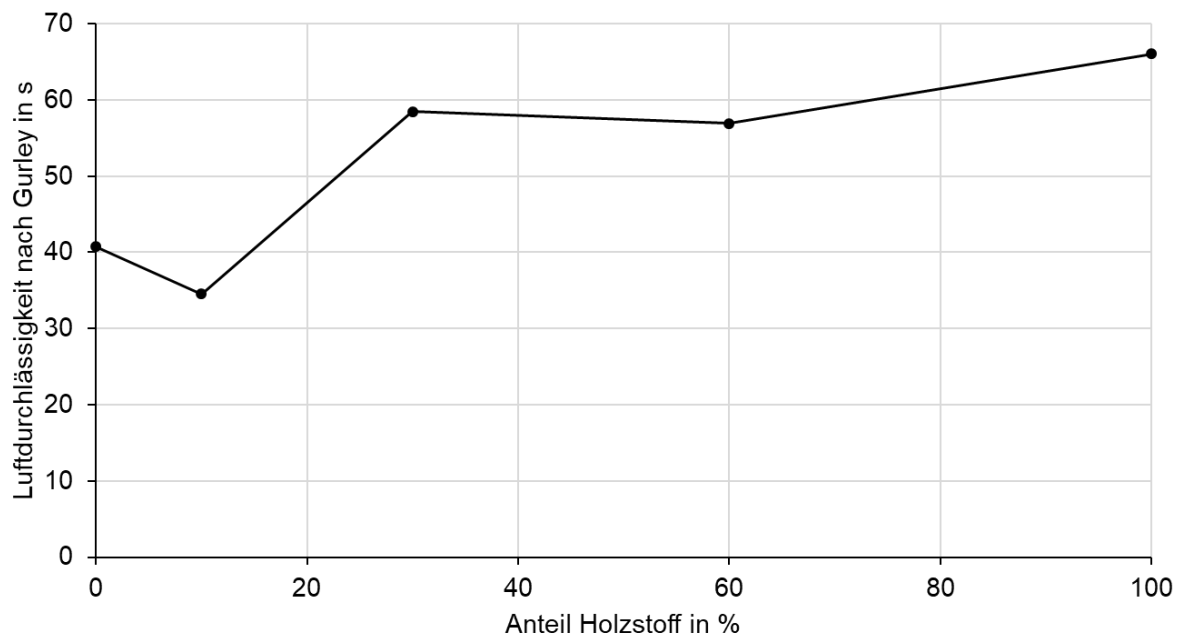


Abbildung 5-52: Anstieg der Zeitdauer für die Luftdurchlässigkeit nach Gurley bei ansteigendem Holzstoffanteil

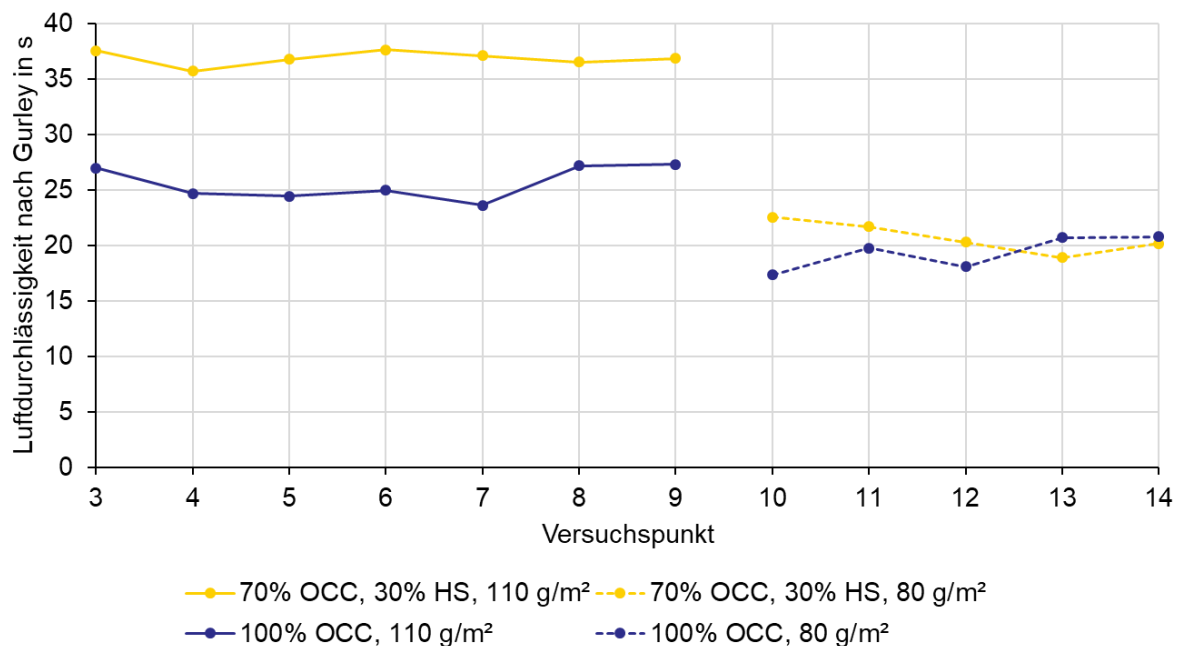


Abbildung 5-53: Werte der Luftdurchlässigkeit nach Gurley für verschiedenen VPM-Versuchspunkten

Die Versuche auf der VPM von Voith bestätigen die Erkenntnisse der Laboruntersuchungen, dass Holzstoff zur Herstellung von Wellpappenrohpaper geeignet ist. Die Papiereigenschaften werden durch den Einsatz von Holzstoff, mit Ausnahme des Berstdrucks, nicht verschlechtert. Durch den Holzstoff wird der Aschegehalt des Papiers verringert. Ein holzstofffreies Papier mit geringerem Aschegehalt würde jedoch höhere Festigkeitswerte aufweisen. Holzstoff kann somit aus papiertechnologischer Sicht eine alternative Rohstoffquelle bei der Produktion von Wellpappenrohpapieren sein.

5.6 Wirtschaftlichkeit

Die Ergebnisse der papiertechnologischen Laboruntersuchungen der Versuchsreihen 1 bis 4 zeigen insbesondere für Holzstoffe mit einem hohen spezifischen Energieeintrag und einer entsprechenden Ausrichtung auf höhere Festigkeitskennwerte eine Eignung als Rohstoffalternative zu Altpapier. Da die Eigenschaften des geeigneten holzstoffhaltigen Liners die Eigenschaften des Testliners jedoch meist nur geringfügig überschreiten liegt ein besonderes Augenmerk auf der Wirtschaftlichkeit einer solchen Rohstoffalternative.

Die folgende Abschätzung ist stark vereinfacht, da eine umfassende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Rahmen dieses Projektes auf Grund der Komplexität jeder individuellen Holzstoffanlage nicht zu leisten ist. Die Abschätzung beschränkt sich daher auf die Kosten des Rohstoffs und der benötigten Energie sowie die Ausbeute der Verfahren. Anhand der Angaben aus den Fragebögen kann somit eine vergleichende Größenordnung für Teilkosten der Holzstoffproduktionskosten in €/t (otro) angegeben werden. Außer Acht bleiben dabei Anlagenkosten (abschreibungen), Lohnkosten, Kosten für Betriebsstoffe, Aspekte der Wärmerückgewinnung, Verschaltung der Holzstoffanlage mit anderen Anlagen im Verbund sowie die (thermische) Verwertung von Rinde und Ausschussmaterial.

Anhand der Fragebogenangaben kann mit folgender Formel Teilkosten je Tonne (otro) Holzstoff ermittelt werden:

$$\frac{\text{Holzkosten [€/t(otro)]} + \text{Stromkosten [€/t(otro)]}}{\text{Ausbeute}} = \text{Teilkosten [€/t(otro)]}$$

Dabei werden folgende Annahmen für die Kosten von Holz und Strom getroffen:

Rundholz (waldfrisch) wird im Mittel mit 39,5 €/fm gehandelt (Stand Juni 2020) [6]. Es wird angenommen, dass das waldfrische Rundholz mit einer Restfeuchte von 50 % und einer Dichte von 800 kg/fm vorliegt. Umgerechnet auf otro-Werte ergeben sich 400 kg (otro)/fm und entsprechende Holzkosten von knapp 98,75 €/t (otro).

Für Hackschnitzel sind die Kosten in der Regel um ca. 20 % geringer als die Kosten für Rundholz, sodass für die weiteren Berechnungen ein Preis von 79 €/t (otro) für Hackschnitzel angenommen wird.

Die Kosten für elektrische Energie werden mit 70 €/MWh angenommen. Mit den Angaben des spezifischen Energieeintrags der Fragebögen ergeben sich die Stromkosten pro Tonne (otro) Holzstoff.

Den Verfassern des Schlussberichts ist bewusst, dass in der derzeitigen Corona-Krisensituation insbesondere die Preissituation für Holz außergewöhnlich ist. Mit den momentanen Preisen sind die Kosten zur Herstellung von Holzstoff nicht repräsentativ, da sie geringer als das Jahresmittel sind. Langfristig werden die Preise für Industrieholz aber sicher wieder anziehen, zumal der Wettbewerb mit der Zellstoff- und Energieindustrie (Holzpellets gelten als nachwachsende Energiequelle), den Sägewerken und den Spanplattenherstellern bestehen bleibt. Darüber hinaus unterliegen Holzpreise immer saisonalen, regionalen sowie internationalen Schwankungen. Daher wurden Preisannahmen getroffen, wie sie etwa im II. Quartal 2020 vorlagen.

Mit diesen Annahmen und der angeführten Gleichung ergeben sich die in **Tabelle 5-2** angegebenen Werte für Holzstoffteilkosten (otro) die untersuchten Holzstoffe. Die Annahmen sind auf den mitteleuropäischen Markt, insbesondere Deutschland bezogen und können dabei saisonal, national wie regional abweichen. Auf Grund der papiertechnischen Eigenschaften, kommen für eine konkurrenzfähige Linerqualität mit Holzstoff nur die untersuchten Holzstoffe mit einem hohen spezifischen Energieeintrag (SGW (ht), TMP, ATMP, CTMP und BCTMP) in Frage. Die vereinfacht berechneten Teilkosten dieser Holzstoffe liegen zwischen 213 und 265 €/t (otro). Der Produktionsschritt des Bleichens für den BCTMP könnte für ein Verpackungspapier gegebenenfalls auch entfallen. Holzstoffe mit einem geringeren spezifischen Energieeintrag (ATMP 3, RMP, SGW (hb)) haben entsprechend auch geringere Produktionskosten (162 bis 166 €/t (otro)), sind jedoch mit deutlichen Einbußen im Bereich der Papierfestigkeit verbunden.

Tabelle 5-2: Abschätzung der Holzstoffkosten anhand des Holzrohstoff, des spezifischen Energieeintrags und der Ausbeute

<i>Probe</i>	<i>Zusammensetzung</i>	<i>Holzkosten €/t (otro)</i>	<i>Spez. Energieeintrag</i>	<i>Stromkosten €/t (otro)</i>	<i>Ausbeute</i>	<i>Holzstoffteilkosten €/t (otro)</i>
ATMP	100 % Hack-schnitzel	79 €/t (otro)	1850 kWh/t	129,50 €/t	~ 98 %	~ 213 €/t (otro)
ATMP 3	100 % Hack-schnitzel	79 €/t (otro)	1200 kWh/t	84,00 €/t	~ 98 %	~ 166 €/t (otro)
BCTMP	90% Rundholz, 10% Hack-schnitzel	97 €/t (otro)	2100 kWh/t	147,00 €/t	~ 92 %	~ 265 €/t (otro)
CTMP	15 % Rundholz, 85 % Hack-schnitzel	82 €/t (otro)	1950 kWh/t	136,50 €/t	~ 96 %	~ 228 €/t (otro)
RMP	100 % Hack-schnitzel	79 €/t (otro)	1000 kWh/t	70,00 €/t	~ 98 %	~ 162 €/t (otro)
SGW (hb)	100 % Rundholz	99 €/t (otro)	650 kWh/t	45,50 €/t	~ 87 %	~ 166 €/t (otro)
SGW (ht)	100 % Rundholz	99 €/t (otro)	1850 kWh/t	129,50 €/t	~ 86 %	~ 265 €/t (otro)
TMP	90 % Hack-schnitzel, 10 % Rundholz	81 €/t (otro)	1900 kWh/t	133,00 €/t	~ 94 %	~ 234 €/t (otro)

Die ermittelten Produktionsteilkosten können mit Preisen für Holzstoff-Handelsware in Form von Ballen verglichen werden (Stand Oktober 2019). Die Handelsware wurde entsprechend in weiteren Prozessschritten für den Transport in Ballen gepresst und getrocknet. Es ist davon auszugehen, dass die Vollkosten der Holzstoffe (inkl. Personal, Verschleiß, Abschreibung, Wartung und Betrieb) um etwa 40 bis 60 % höher sind als die angegebenen Teilkosten. Die folgenden Preisbereiche stammen aus Angaben der Projektbegleiter aus der Sitzung im Oktober 2019.

Marktholzstoff (Ballen – lufttrocken)	500 €/t (lutro)
Aufbereitetes Altpapier für Verpackungszwecke	100-180 €/t (otro)

Unter diesen vereinfachten Bedingungen der Wirtschaftlichkeit kann Holzstoff auch bei steigenden Altpapierpreisen eine interessante Rohstoffalternative darstellen. Insbesondere im Verbund einer bereits existierenden Holzstoffanlage mit einer Papiermaschine, können energetische Symbiosen den Einsatz von Holzstoff noch interessanter machen. Dies könnte besonders dann eine überlegenswerte Variante darstellen, wenn eine Papiermaschine zur Herstellung holzhaltiger grafischer Papiere auf Wellpappenrohpaper umgestellt werden soll und in dem entsprechenden Betrieb eine Holzstofferzeugungsanlage integriert ist.

Literaturverzeichnis

1. **VDW - Verband der Wellpappenindustrie e.V.:** Zahlen und Fakten - Daten für die Wellpappenindustrie. - Darmstadt, 2019. - 2 S.
2. **VDP - Verband Deutscher Papierfabriken e.V.:** Papier Kompass 2019. - Bonn, 2019. - 2 S.
3. **VDP - Verband Deutscher Papierfabriken e.V.:** Kennzahlen Zellstoff- und Papierfabriken in Deutschland. - Bonn, 2020. - 2 S.
4. **Werner, C.:** Untersuchung des Einflusses der Stärkeapplikation auf das Mehrfachrecycling von Wellpappenrohpaper. - 73 S. - Darmstadt, Technische Universität, FG Papierfabrikation u. Mech. Verfahrenstechnik, Bachelor, 2019. - (Stand: eingereicht: 13.08.2019)
5. **J.M. Voith SE & Co. KG:** Push your Project forward - Voith Paper Technology Center Heidenheim. - Heidenheim, 2019. - 20 S.
6. Landwirtschaftskammer Steiermark: Holzpreise Steiermark Juni 2020. - URL: <https://stmk.lko.at/holzpreise-steiermark-juni-2020+2500+1738557> - (Stand: 22.07.2020)