

„GUMMIHOLZ“

Chemisch-physikalische Herstellung von „Gummiholz“ aus Balsaholz, Untersuchung von dessen Eigenschaften und Erforschen von möglichen Anwendungsgebieten

Bewerbung für die „JUST! Zeppelin Jugendstiftung“

Themengebiet: Leichtbau

Adrew Volle (10.Klasse, KMG)

Adrian Haupt (10.Klasse, KMG)

Betreuer:

OStR Michael Merkle

KMG, SFZ FN



Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Zusammenfassung.....	2
Das „Gummiholz“ – Theorie zum Projekt	3
Herstellung des elastischen Holzes.....	5
1. Herstellung der alkalischen „Kochlösung“ und anschließender „Kochprozess“.....	5
a) Herstellung der alkalischen „Kochlösung“	5
b) Der „Kochprozess“	5
2. Der „Waschprozess“ – Entnahme der Balsaholzproben und Neutralisation der Holzstücke.....	7
3. Gefrier- und Trocknungsprozess.....	9
Deutung der bisherigen Versuchsergebnisse	11
Ausblick und weitere Forschungsideen	12
Bewerbung bei „JUST-Zeppelinstiftung“ im Bereich „Leichtbau“	13
Literaturverzeichnis	14

Vorwort und Zusammenfassung

In der ARD-Quizsendung „Wer weiß denn sowas?“ wurden wir auf ein besonderes Holz aufmerksam. Es war elastisch wie ein Gummiball! Das Holz wurde von einem Forscherteam chemisch und physikalisch so behandelte, dass es diese neuen Eigenschaften erhielt.

Wir fragten unseren Lehrer, ob wir so ein Holz auch im Labor herstellen könnten. Über den Herstellungsprozess konnten wir sowohl in der Quizsendung als auch im Internet nichts Näheres erfahren. Daher bestellten wir folgenden wissenschaftlichen Text bei „ACS Publications“ inklusive Versuchsvorschrift und Auswertungen:

Chaoji Chen, Jianwei Song, Jian Cheng, Zhenqian Pang, Wentao Gan, Gegu Chen, Yudi Kuang, Hao Huang, Upamanyu Ray, Teng Li, and Liangbing Hu : **"Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity"**, ACS Nano 2020, 14, 16723–16734

Finanziell werden wir von „PotzBlitz“¹ unterstützt.

Zusammenfassung:

Unser Herstellungs- und aktueller Forschungsprozess wird in dieser Arbeit dargestellt.

Zu Beginn dieser Ausarbeitung im Kapitel „Das „Gummiholz“ – Theorie zum Projekt“ erfahren Sie, welche Einflüsse unsere chemische und physikalische Behandlung auf das Holz haben sollen. Im Kapitel „Herstellung des elastischen Holzes“ beschreiben wir den Herstellungsprozess und unsere Versuchsbeobachtungen. Darauf folgt das Kapitel „Deutung der bisherigen Versuchsergebnisse“.

Im Kapitel „Ausblick und weitere Forschungsideen“ wagen wir einen Blick in die Zukunft. Wir formulieren unsere weiteren Forschungsfragen und Ideen. Eine kurze Begründung, warum wir uns damit bei Ihnen in der Sparte „Leichtbau“ bewerben, finden Sie im Kapitel „Bewerbung bei der „JUST-Zeppelinstiftung“.

¹ <https://www.friedrichshafen.de/buerger-stadt/bildung-betreuung/potzblitz/> (letzter Zugriff: 25.12.2021)

Das „Gummiholz“ – Theorie zum Projekt

Der Prozess zum Herstellen des Gummiholzes besteht aus zwei hauptsächlichen Schritten. Der erste Schritt ist ein „Kochprozess“, bei dem das Holz in einer Lösung aus Natriumsulfit und Natronlauge über mehrere Stunden erhitzt wird. Diese Lösung ist stark alkalisch. Dadurch werden das Lignin, welches unter anderem dem Holz Stabilität verleiht, und die Hemicellulose, welche die Zellwände stärkt, teilweise bis ganz entfernt (siehe Abbildung 1 und 2). Ein Teil der Zellwände teilen sich dadurch in einzelne Cellulosefibrillen auf.

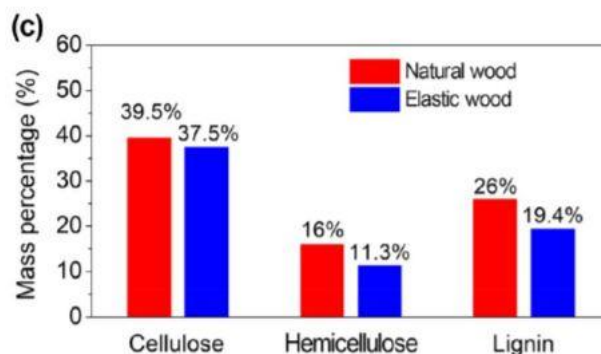


Abbildung 1 Anteil von Hemicellulose und Lignin in Balsaholz und "Gummiholz"²

Der zweite Schritt ist nach dem gründlichen Waschen der Holzstücke mit destilliertem Wasser ein sog. Gefriertrocknungsprozess. Beim Gefriertrocknen passiert das sogenannte „freeze-casting“, wobei sich durch das Gefrieren des Wassers im Holz die Cellulosefibrillen miteinander verbinden und wabenförmige Strukturen ausbilden (siehe Abbildungen 2 und 3).

Diese Struktur ist für die meisten besonderen Eigenschaften des Gummiholzes verantwortlich. Die Cellulosefibrillen haben eine viel größere Oberfläche als die vorherigen Zellwände. Auf diesen Oberflächen sind unter anderem Hydroxyl-Gruppen, welche Wasserstoffbrückenbindungen mit Wasser bilden. Da sich im Holz eine größere Fläche mit Hydroxyl-Gruppen befindet, kann das Gummiholz auch viel mehr Wasser aufnehmen. Es bildet dadurch eine Art inneres Gel. Dies und die schwächeren Zellwände sorgen für die Elastizität des Gummiholzes.

Auch die hohe Kompressibilität des Gummiholzes beruht auf dessen innerer Struktur. Im Vergleich zu normalem Holz, dessen Zellwände sehr stark sind und durch hohen Druck kaputt gehen, kann man das Gummiholz komprimieren und wieder expandieren (siehe Abbildung 2).

Auch kann sich Wasser innerhalb der Struktur frei bewegen. Bei der Ausübung von Druck auf das Holz kann das Wasser wegfließen (= Komprimierung). Lässt der Druck nach, kann das Wasser zurückfließen und dem Gummiholz seine Form zurückgeben (= Expandierung“).

² Chaoji Chen, Jianwei Song, Jian Cheng, Zhenqian Pang, Wentao Gan, Gegu Chen, Yudi Kuang, Hao Huang, Upamanyu Ray, Teng Li, and Liangbing Hu : **"Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity"**, ACS Nano 2020, 14, 16723–16734

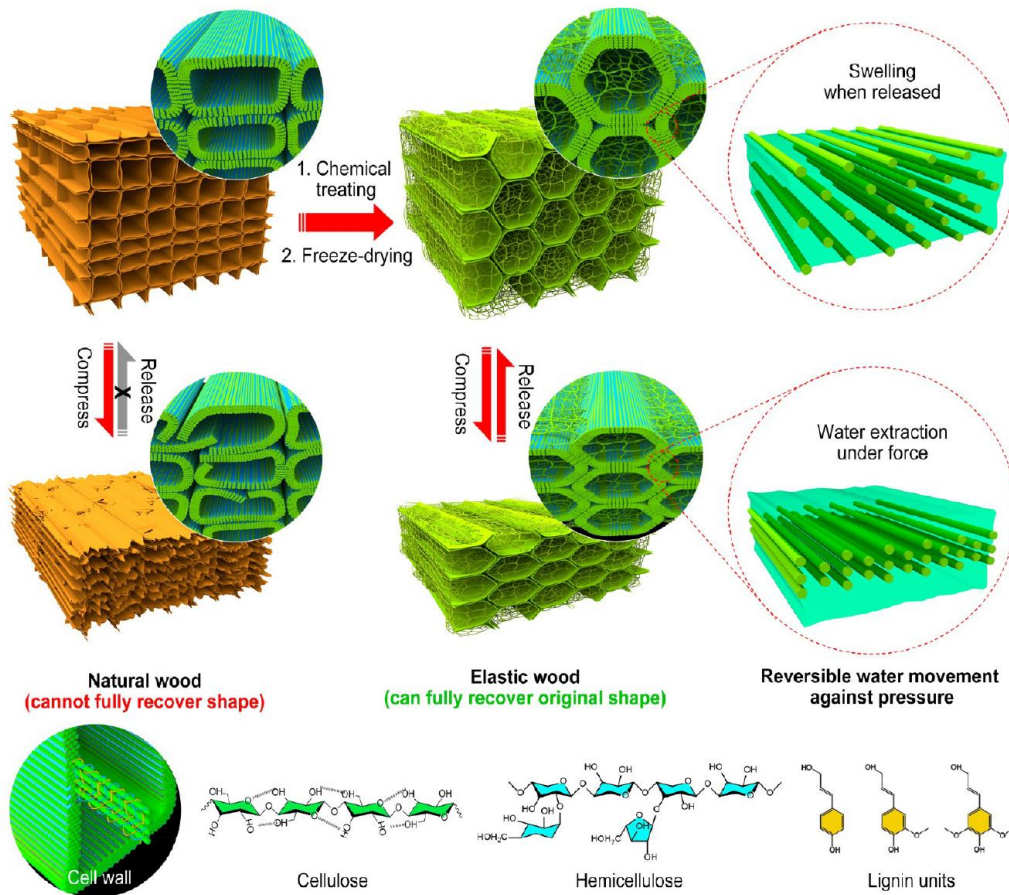


Figure 1. Graphical illustration of the comparison between natural wood and elastic wood. Natural wood can be compressed to a large strain (e.g., 70%) due to its high porosity, yet is easy to fracture and cannot fully recover to its original state. By contrast, the elastic wood can fully recover to its original state even when compressed by a large strain (e.g., 70%), potentially due to the reversible water movement between the hydrophilic cellulose fibril-based cell walls and the internal gel inside the lumina.

Abbildung 2 Vergleich von Balsaholz und "Gummiholz"¹³

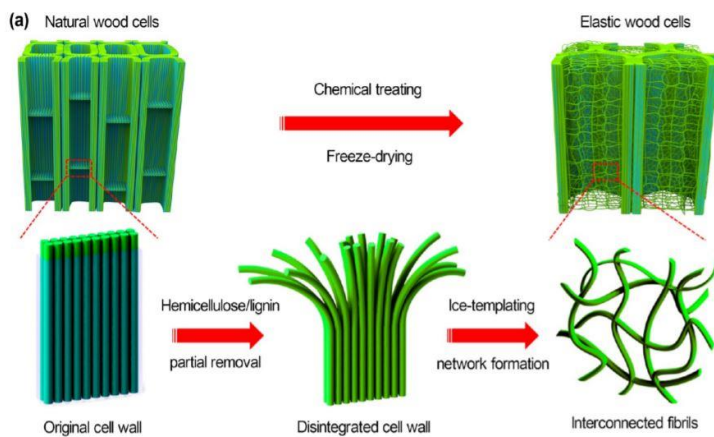


Abbildung 3 Vergleich der Zellstrukturen in Balsaholz und "Gummiholz"¹³

³ Chaoji Chen, Jianwei Song, Jian Cheng, Zhenqian Pang, Wentao Gan, Gegu Chen, Yudi Kuang, Hao Huang, Upamanyu Ray, Teng Li, and Liangbing Hu : **"Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity"**, ACS Nano 2020, 14, 16723–16734

Herstellung des elastischen Holzes

1. Herstellung der alkalischen „Kochlösung“ und anschließender „Kochprozess“

Materialien:

Glaskolben 500ml, Rückflusskühler inklusive Schlauchanschlüsse, Heizpilz, Stativ, Stativklammern, Muffen, Siedesteinchen, Bechergläser, Waage, Spatellöffel, Magnetrührer, Rührfischchen

Chemikalien:

Natriumsulfit ($c(\text{Natriumsulfit}) = 0,4 \text{ mol/L}$), Natronlauge ($c(\text{Natronlauge}) = 2,5 \text{ mol/L}$), destilliertes Wasser, Balsaholz ($2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$, $2 \times 2 \times 4 \text{ cm}^3$, $2 \times 2 \times 5 \text{ cm}^3$)

a) Herstellung der alkalischen „Kochlösung“

Versuchsdurchführung:

- Herstellung der Natronlauge: 33,3g Natriumhydroxid wurden vorsichtig unter ständigem Rühren in 300ml destilliertem Wasser aufgelöst.
- Natriumsulfitlösung: 16,8g Natriumsulfit wurden vorsichtig unter ständigem Rühren in 300ml destilliertem Wasser aufgelöst.

b) Der „Kochprozess“

Versuchsaufbau:



Rückflusskühler

Kolben gefüllt mit den Balsaholzstücken, der „Kochlösung“ und Siedesteinchen

Heizpilz

Versuchsdurchführung:

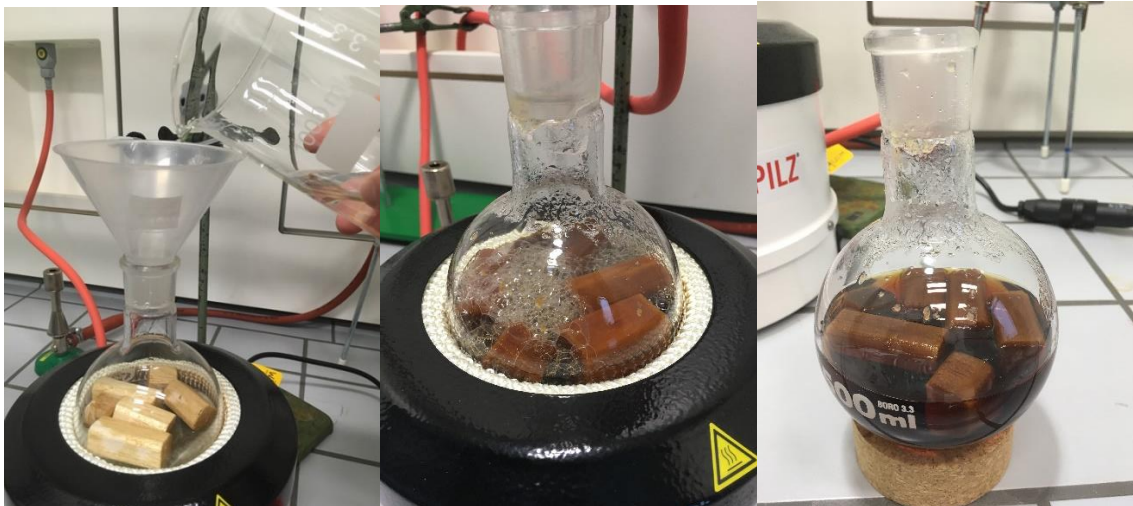
Zusammen mit ein paar Siedesteinchen gaben wir die Balsaholzstücke in den Glaskolben. Mithilfe eines Trichters füllten wir vorsichtig jeweils 200ml der Natronlauge und Natriumsulfitlösung in den Kolben.

Das Gemisch wurde sechs Stunden mithilfe eines Heizpilzes unter Rückflusskühlung erhitzt.

Beobachtungen:

- Das Gemisch schäumte auf.
- Während des Kochvorgangs wurde die anfangs klare Lösung braun.
- Die Balsahölzer selbst wurden auch dunkelbraun.
- Die Balsahölzer schwammen nach dem Kochvorgang nicht mehr an der Wasseroberfläche.

Bilder der Versuchsdurchführung:



Abbildungen: Der „Kochprozess“ der Balsahölzer in der alkalischen Lösung

2. Der „Waschprozess“ – Entnahme der Balsaholzproben und Neutralisation der Holzstücke

Materialien:

4 Bechergläser (V=500 – 800mL), Erlenmeyerkolben (V=1L), Trichter, Pinzette, Nitril-Handschuhe, Tiegelzange, Universalindikatorpapier

Chemikalien:

Basosorb, destilliertes Wasser

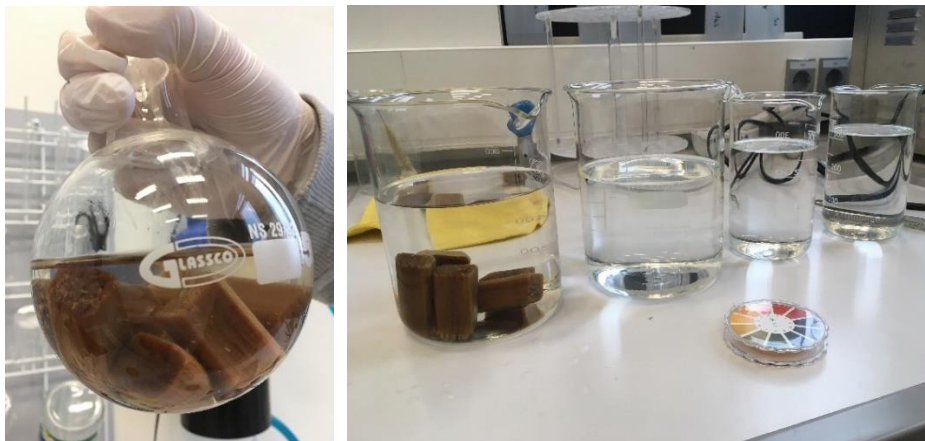
Versuchsdurchführung:

Zur Entfernung der Chemikalien am und im Holz gingen wir folgendermaßen vor:

- Die alkalische „Kochlösung“ aus Versuch 1) wurde vorsichtig dekantiert.
- Die Balsaholzstücke wurden mit destilliertem Wasser im Kolben gewaschen. Mithilfe des Universalindikatorpapiers wurde der pH-Wert der Lösung ständig überprüft. Dieser Waschvorgang wird mehrmals wiederholt.
- Die Balsaholzstücke wurden dann aus dem Kolben entnommen und noch einmal mehrmals in destilliertem Wasser gewaschen. Der pH-Wert des destillierten Wassers und die Oberfläche wurden weiterhin ständig mit dem Universalindikatorpapier geprüft.
- Die anfallenden alkalischen Lösungen wurden von unserem Lehrer mithilfe von Basosorb neutralisiert. Die neutralen Waschlösungen konnten dann im Abguss entsorgt werden.

Beobachtungen:

- Auch noch nach sehr vielen Waschvorgängen färbten die Waschlösungen das pH-Papier blau. Auch die Oberfläche der Balsaholzstücke war alkalisch.
- Die Balsaholzstücke waren nach dem Versuch weitaus schwerer als die frischen Balsaholzstücke zu Beginn des Kochvorgangs. Sie gingen in destilliertem Wasser unter.



Abbildungen: Reinigen der Balsahölzer in destilliertem Wasser

Da die Holzstücke auch noch nach sehr vielen Waschvorgängen alkalisch waren, wurden sie zur Aufbewahrung in den Gefrierschrank bei -10 bis -20°C gelagert. Nach 5 Tagen setzen wir den Waschvorgang fort. Aber auch nach etlichen Waschvorgängen waren die Holzstückchen noch alkalisch.



Abbildung: Prüfung des pH-Werts der Holzoberfläche

Daher entschieden wir uns dafür, 2 Holzstücke mit Basosorb zu behandeln. Ein Holzstück wurde in einer Lösung mit dem pH-Wert von ungefähr 1, das anderen in eine Lösung einem pH-Wert von ungefähr 3 für 3 Tage aufbewahrt.

Beobachtungen:

- Das Holz in der stark konzentrierten Lösung ist neutralisiert worden, die Lösung färbte sich gelb.
- Das Holz in der schwächer konzentrierten Lösung ist noch alkalisch, die Lösung färbte sich braun.

3. Gefrier- und Trocknungsprozess

In der Originalvorschrift⁴ werden die behandelten Balsaholzstücke für einen Tag gefriergetrocknet, d.h. die Proben werden bei niedrigem Druck und Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt gelagert.

Da wir aber keine Apparatur zur Gefriertrocknung besitzen und eine Anschaffung viel zu teuer ist, gingen wir hier nicht nach Originalversuchsvorschrift vor. Dagegen kühlten wir unsere Proben mithilfe von Trockeneis weit unter den Gefrierpunkt. Zur Trocknung der Proben lagerten wir die Proben im Exsikkator über Silicagel-Kugeln für mehrere Tage.

Materialien:

Schutzkleidung und Kryo- Handschuhe, Styroporbehälter, Pinzette, Tiegelfzange, Hammer, Meißel,

Exsikkator, Petrischale, Wasserstrahlpumpe

Chemikalien:

behandeltes Balsaholz, Trockeneis (ca. 2kg), Silica Gel Rot/Gelb

Versuchsdurchführung:

- Vorsichtige Zerkleinerung des Trockeneisblocks im Styroporbehälter mithilfe von Hammer und Meißel
- Überschichtung der Balsaholzstücke mit Trockeneisstücken.
- Lagerung der Balsaholzstücke im Styroporbehälter mit Trockeneis im Gefrierfach für a) eine Stunde bzw. b) 6 Tage
- Überführung der Balsaholzstücke in den Exsikkator und Trocknung unter Vakuum über Silica Gel Rot/Gelb für 6 Tage bei Raumtemperatur.

⁴ Chaoji Chen, Jianwei Song, Jian Cheng, Zhenqian Pang, Wentao Gan, Gegu Chen, Yudi Kuang, Hao Huang, Upamanyu Ray, Teng Li, and Liangbing Hu : "**Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity**", ACS Nano 2020, 14, 16723–16734



Abbildungen: Einfrieren der Holzstücke in Trockeneis und Trocknungsprozess im Exsikkator

Beobachtungen:

- Die Holzstücke sind schon innerhalb der ersten Stunde im Trockeneis und Gefrierschrank komplett durchgefroren.
- Nach 6 Tagen im Exsikkator sahen die Holzstücke trocken aus. Die Silicakugeln änderten ihre Farbe von violett zu gelb-orange.
- Die Holzstücke sind in etwa um die Hälfte in der Größe geschrumpft.



Abbildung:
Trocknung der Holzstücke, Ergebnis nach 6 Tagen im Exsikkator



Abbildung:
Größenvergleich der behandelten Holzstücke:
hinten: vor dem Trocknungsprozess in gefrorenem Zustand
vorne: nach 6 Tagen Trocknung im Exsikkator

Deutung der bisherigen Versuchsergebnisse

Die bisherigen Ergebnisse stimmen uns sehr positiv. Sie decken sich mit den Beschreibungen in der Forschungsarbeit "*Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity*"⁵.

Unser Gummiholz ist im Vergleich zum Ausgangsmaterial komprimierter und kleiner. Das spricht dafür, dass die Gerüst- und Stützstrukturen Lignin und Hemicellulose teilweise entfernt wurden. Somit sind hoffentlich die Voraussetzungen geschaffen, unser Holz mit Wasser „aufzuladen“ und es elastisch zu machen.

Aus zeitlichen Gründen sind wir zu diesem Schritt noch nicht gekommen, wollen Sie aber weiterhin über den Stand der Ergebnisse informieren.

⁵ Chaoji Chen, Jianwei Song, Jian Cheng, Zhenqian Pang, Wentao Gan, Gegu Chen, Yudi Kuang, Hao Huang, Upamanyu Ray, Teng Li, and Liangbing Hu : "***Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity***", ACS Nano 2020, 14, 16723–16734

Ausblick und weitere Forschungsideen

Mit unserem Forschungsprojekt „Gummiholz“ stehen wir somit noch ganz am Anfang. Die Planungen für das Projekt, die Klärung der Finanzierung („PötzBlitz“) und die Bestellung der Materialien und Chemikalien führten dazu, dass wir im Labor leider erst im Dezember beginnen konnten.

Der nächste Schritt ist es, unser Holz mit Wasser „aufladen“. Die trockenen Hölzer sollen dafür in Wasser gelagert werden. Dadurch sollen sich die zellulären Zwischenräume mit Wasser füllen und erst dadurch sollen die elastischen Eigenschaften des „Gummiholzes“ entstehen. Erst dann sehen wir, ob unsere bisherige Arbeit im Labor erfolgreich war.

Unserer weiteren Forschungsfragen sind:

- Funktioniert dieser letzte Schritt mit unserem Holz?
- Welche Eigenschaften hat unser „Gummiholz“?
- Wie verhält sich das „Gummiholz“, wenn das Holz wieder trocknet?
- Welche Hölzer eignen sich für die Herstellung?
- Könnte man dieses „Gummiholz“ als Baustoff nutzen?
- Wie lange ist dieses „Gummiholz“ haltbar? (Kann man es evtl. durch Imprägnierung länger haltbar machen, ohne dessen Eigenschaften zu ändern?)
- Könnte dieses „Gummiholz“ (nachwachsender Rohstoff) als Ersatz für elastische Kunststoffe eingesetzt werden?
- Welche weiteren Anwendungsgebiete ergeben sich? (auch als Faserverbundwerkstoff?)
-

Balsaholz wird jetzt schon als leichtes und leicht zu verarbeitendes Material im Modellbau, v.a. bei Modellflugzeugen, eingesetzt. Als Faserverbundwerkstoff wird es auch im Boots- und Kleinflugzeugbau eingesetzt.

Die Eigenschaftsänderung hin zum elastischen „Gummiholz“ könnte dazu führen, dass die Anwendungsgebiete größer werden. Eventuell könnten auch andere Hölzer eingesetzt werden. Hieran wollen wir aber noch forschen.

Bewerbung bei „JUST-Zeppelinstiftung“ im Bereich „Leichtbau“ (<https://www.just-zeppelin.com/awards/>)

Die Forscher um Chaoji Chen ("*Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity*"⁶) haben dieses "Gummiholz" schon erfolgreich hergestellt. Ihre Herstellungsmethode ist, wie in der Arbeit beschrieben, nicht komplett auf ein Schullabor übertragbar. Somit ist zum einen schon die Herstellung im Schullabor ein sehr interessantes Forschungsprojekt für uns Schüler. Zum anderen werden zwar in dem Fachartikel die Eigenschaften des Holzes beschrieben und erklärt, aber keine Anwendungsgebiete für das "Gummiholz" genannt.

Die Eigenschaften des Gummiholzes sind aber so vielversprechend, dass wir dieses Produkt also auch hinsichtlich der Fragestellung der Anwendungsgebiete näher unter die Lupe nehmen wollen. Und dieser Forschungsbereich könnte genau zu ihrem ausgeschriebenen Thema "Leichtbau" passen.

Wir stehen bei diesem Projekt ganz am Anfang. Da wir aber so viele Forschungsfragen haben, ist dieses Projekt sicher auch ein Projekt, bei dem auch andere Schüler in den nächsten Jahren dazukommen und weiterforschen können.

⁶ Chaoji Chen, Jianwei Song, Jian Cheng, Zhenqian Pang, Wentao Gan, Gegu Chen, Yudi Kuang, Hao Huang, Upamanyu Ray, Teng Li, and Liangbing Hu : "*Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity*", ACS Nano 2020, 14, 16723–16734

Literaturverzeichnis

Wissenschaftlicher Artikel:

Chaoji Chen, Jianwei Song, Jian Cheng, Zhenqian Pang, Wentao Gan, Gegu Chen, Yudi Kuang, Hao Huang, Upamanyu Ray, Teng Li, and Liangbing Hu : **"Highly Elastic Hydrated Cellulosic Materials with Durable Compressibility and Tunable Conductivity"**, ACS Nano 2020, 14, 16723–16734

Internetquellen: (letzter Zugriff: 30.12.2021)

Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

<https://www.lwf.bayern.de/wissenstransfer/forstcastnet/232375/index.php>

Spektrum der Wissenschaft Lexikon

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/hemicellulosen/31249>

Exilva Blog:

<https://www.exilva.com/blog/why-microfibrillated-cellulose-is-a-completely-new-cellulose-product>

<https://www.exilva.com/blog/water-holding-capacity-how-microfibrillated-cellulose-does-it>