



Entwicklung (und Erprobung) eines Klemmbretts (DIN A4) aus nachhaltigen Faserverbundwerkstoffen

Ein Projekt des Seminarkurses Bio-Chemie des Rückert-Gymnasiums
im Auftrag von Lab2Venture und dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und
Angewandte Materialforschung IFAM

Inhaltsverzeichnis

1. Nennung des Teams und des Auftraggebers	3
2. Danksagung	3
3. Zusammenfassung	4
4. Aufgabenstellung, Zielsetzung	5
5. Einführung ins Thema	5
6. Recherche und Rechercheergebnisse	6
7. Experimente aus dem Koffer	8
8. Eigene Experimente – Protokolle	9
9. Abschließende Auswertung der Experimente	26
10. Fazit und Reflexion	27
11. Ausblick bzw. Empfehlung für Weiterarbeit	28
12. Literatur, Quellen, Glossar	30
13. Anhang	

Nennung des Teams und des Auftraggebers

Das Team des Seminarkurses Bio- Chemie am Rückert-Gymnasium Berlin besteht aus:

- Frau Schmidt Lorenz (betreuende Lehrkraft)
- Dagmara Morczynski
- Rebecca Wagner
- Jakob Hinrichs
- Aysenur Midik
- Ana-Maria Chatzipapa
- Aliena Fuchs
- Sophie Bepalov
- Sarah Stach
- Lucy Genge
- Hannes Langhoff

Der Auftraggeber des Projekts ist das Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM im Rahmen eines Projekts von Lab2Venture.

Danksagung

An erster Stelle möchten wir unserer Betreuerin Frau Schmidt Lorenz danken, die uns richtungsweisend und mit viel Engagement während unserer Arbeit begleitet hat.

Außerdem bedanken wir uns herzlich bei Frau Immel, die im Hintergrund unser Projekt koordiniert hat.

Abschließend möchten wir uns herzlich bei Frau Brede und dem gesamten Team vom Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM für die Materialien, Tipps und Möglichkeiten, die sie uns mit diesem Projekt gegeben haben, bedanken.

Zusammenfassung

Dieses Projekt führen wir, der Seminarkurs am Rückert-Gymnasium, im Auftrag von Lab2Venture und dem Fraunhofer-Institut für chemische Technologie ICT aus. Es geht darum, ein nachhaltiges Klemmbrett zu erstellen, welches seinen Anforderungen gerecht wird. Mit dem Projekt soll eine nachhaltige Alternative zu industriellen Faserverbundwerkstoffen gesucht und getestet werden, um die fossilen Ressourcen zu schützen. Die Kriterien Wasserbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Belastbarkeit, Haltbarkeit und Nachhaltigkeit sind grundlegend für unsere Experimente, bei denen wir die von uns recherchierten Materialien testen und herstellen. Nach langer, ausführlicher Recherche und dem Einarbeiten in das Thema entschlossen wir uns für folgende Stoffe: Als Fasern einigten wir uns auf Flachfasern und Hanffasern und als Matrix fungieren Kaseinleim aus Milch und Quark und drei Varianten von Dextrinleim. Beide sind aus natürlichen Stoffen einfach herzustellen. Beide Leime sind leider mit unserem jetzigen Ergebnisstand nicht wasserbeständig. In allen anderen Punkten schneiden sie aber relativ gut ab. Sie halten niedrige und hohe Temperaturen aus, ohne ihre Klebkraft zu verlieren. Die Belastbarkeit ist unterschiedlich. Der Kaseinleim aus Quark klebt zwei Holzstücke gut aneinander, andere Leime nicht. In Verbindung mit Fasern bilden alle Leime komplexe Gebilde, die mehr oder weniger elastisch sind, jedoch ist es möglich, auf ihnen zu schreiben. Die Haltbarkeit der Leime ist getrocknet als Matrix unbedenklich. Zum biologischen Abbau lassen sich nur Vermutungen aufstellen. Da alle Stoffe in der Natur vorkommen, ist anzunehmen, dass sich das Produkt unter bestimmten Einwirkungen zersetzt.

Aufgabenstellung, Zielsetzung

Fossile Ressourcen werden immer knapper und dadurch besteht die zunehmende Notwendigkeit, nachwachsende Rohstoffe bei der Herstellung von Bauteilen und Produkten zu verwenden. In unserem Projekt versuchen wir ein neues, nachhaltiges Materialkonzept für das Produkt „Klemmbrett“ zu entwickeln. Das Ziel des Projekts ist es, biobasierte Stoffe statt primäre fossile Werkstoffe zu verwenden. Vorteilhaft wäre, wenn hierbei die Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen auch im Klemmbrett zu finden wären. Das Produkt „nachhaltiges Klemmbrett“ soll bestimmte Produkthanforderungen erfüllen, denn es dient als kleinere Versuchsanlage, um später nachhaltige Faserverbundwerkstoffe für den Maschinenbau verwenden zu können.

Einführung in die Projektarbeit

Mit dieser Projektarbeit haben wir uns auf den Weg gemacht, ein nachhaltiges Klemmbrett herzustellen. Zuerst haben wir uns die Frage gestellt, wie das normale Klemmbrett aufgebaut ist und welche Materialien darin vorhanden sind. Der Aufbau ist oft sehr ähnlich: Eine Matrix umgibt die Fasern. Matrixen dienen als Bindemittel und können aus ganz unterschiedlichen Materialien bestehen, wie zum Beispiel Epoxidharz oder Schellack. Die Fasern können als Gewebe oder Gelege genutzt werden. Bei einem Gewebe sind die Fasern wie der Name verrät, miteinander verwebt. Bei Gelegen unterscheidet man in unidirektionale Gelege, wo die Fasern nur in eine Richtung laufen, und in Biaxialgelege, welches ein Flächengebilde aus mehreren Schichten parallel laufender Fäden ist. Nachdem diese Frage geklärt und die Materialien aus dem Toolkit-Koffer recherchiert und präsentiert wurden, definierten wir uns den Begriff Nachhaltigkeit und recherchierten in diesem Zusammenhang nach möglichen Alternativen, bei denen wir zu unseren Leimen als Matrix stießen. Zwischendurch trafen wir uns mit unserer Auftraggeberin, Frau Brede, um ihr unsere Ergebnisse vorzustellen. Daraufhin führten wir die Experimente im Koffer durch, um uns einen groben Überblick über das Arbeiten mit Faser und Matrix zu verschaffen. Jedoch fingen wir schon bald darauf an,

uns eigene Experimente zu überlegen und durchzuführen. Diese Experimente dienten dazu, unsere selbst hergestellten Leime und unsere provisorischen Klemmbretter auf die von uns festgelegten Kriterien zu überprüfen. Wir einigten uns dafür auf die folgenden Kriterien: Belastbarkeit, Wasserbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Haltbarkeit und Nachhaltigkeit. Unsere Einigung auf genau diese Kriterien bezieht sich auf die Ansprüche, die an ein Klemmbrett gestellt werden und die unser wichtiges Ziel, nämlich die Nachhaltigkeit, umfassen.

Recherche und Rechercheergebnisse

Klemmbretter bestehen heutzutage aus Kohlenstofffasern, bestanden früher aus Holz und es gibt Klemmbretter, die aus Materialien, wie Kunststoff oder Pappe bestehen. Zusätzlich haben wir bei unseren Recherchen gefunden, dass es professionelle Klemmbretter gibt, die aus Aluminium bestehen. Dann gibt es noch Klemmbretter, die aus PVC bestehen also aus durch Polymerisation von Vinylchlorid hergestellten, thermoplastischen Kunststoffen. Da es unser Ziel ist, ein nachhaltiges Klemmbrett herzustellen, haben wir erst einmal recherchiert, welche nachhaltigen Klemmbretter es schon gibt. Bei unseren Recherchen sind wir auf Klemmbretter aus Recyclingkarton, aus Hartpappe und auf welche aus Kork gestoßen. Wir haben uns dafür entschieden, uns an dem Klemmbrett aus Kork zu orientieren und das als Basis zu nehmen, jedoch wollten wir dieses noch modifizieren. Wir mussten jedoch für uns selbst erst definieren, was für uns nachhaltig bedeutet. Für uns bedeutet Nachhaltigkeit etwas nicht mehr zu verbrauchen als es nachwachsen, regenerieren oder wieder bereitgestellt werden kann. Zudem sollte es eine längere Haltbarkeit haben. Das Klemmbrett muss eine leichte Fertigung und Entsorgung haben und biologisch abbaubar sein. Außerdem sollte es eine geringe Komplexität besitzen und leicht zu reparieren sein. Die Herstellung sollte auch noch sozial und fair für alle sein. Daraufhin haben wir mit der Recherche begonnen, wie wir die in den normalen Klemmbrettern vorhandenen Stoffe mit nachhaltigen Stoffen ersetzen können. Bei unseren Recherchen sind wir auf Schellack, Dextrinleim, Hanf-/Flachsfaser und Kaseinleim gestoßen. Hanf- und die Flachfasern sind Naturfasern und deshalb nachhaltig. Als Matrix verfolgten wir Dextrinleim, Kaseinleim, Polybutylensuccinat (PBS), Polylactide (PLA) und den aus dem Koffer stammenden Schellack weiter. Zuerst haben

wir uns mit dem Schellack beschäftigt. Schellack ist eine harzartige Substanz, die aus den Ausscheidungen der Lackschildlaus *Kerria Lacca* nach ihrem Saugen an bestimmten Pflanzen gewonnen wird. Das rein natürliche Granulat ist biologisch abbaubar und für die Nachhaltigkeit unbedenklich. Mit dem uns zur Verfügung gestelltem Schellack haben wir Experimente durchgeführt. Jedoch wurde uns in der Zwischenzeit von Frau Brede erklärt, dass ihr Institut schon diverse Experimente mit Schellack durchgeführt, aber keine zufriedenstellende Ergebnisse erhalten hatte. Aus diesem Grund haben wir uns auf andere mögliche Matrixen konzentriert. PLA, die Polylactide, und die PBS-Folie, das Polybutylensuccinat, verwarfen wir aufgrund nicht genügender Nachhaltigkeit, da sie nur in speziellen Recyclinganlagen in einem großen Zeitraum biologisch abbaubar sind. Daraufhin haben wir uns wieder in die Recherche begeben, welche nachhaltigen Matrixen es gibt, um die Fasern zu verbinden und sind dabei auf Kaseinleim und Dextrinleim gestoßen. Der Dextrinleim ist ein aus Stärke modifizierter Klebstoff. Da Dextrine biologisch abbaubar sind, ist dieser Leim eine sehr gute nachhaltige Alternative zu den lösemittelhaltigen Klebstoffen. Bei der Herstellung wird das Dextrin mit Glucose, Glycerin und Wasser bzw. mit verdünnter Essigsäure, Spiritus und Wasser vermischt. Kasein ist ein Milcheiweiß, das nicht in die Molke gelangt und ist somit ein Naturprodukt. Das Kasein hat eine bindende Eigenschaft und ist deshalb als Klebstoff eine gute, natürliche Alternative. Mit diesem erlangten Wissen betrieben wir schließlich Nachforschungen zur Herstellung bzw. Beschaffung von unseren „Kandidaten“, um die Eigenschaften dieser experimentell zu ermitteln und zu schauen, ob sie den gestellten Anforderungen standhalten.

Experimente aus dem Koffer

Uns wurde vom Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM ein großer Koffer mit verschiedenen Materialien und Experimenten zugeschickt. Im Koffer waren Schellack, Flachfasern, Gewichte, Glasfasern, ... vorhanden. Bei den Experimenten handelte es sich um die Untersuchung der Eigenschaften von Schellack, dazu gehören der Einfluss von Wasser, Schmelzpunkt, Steifigkeit und Löslichkeit. Der Schellack hat sich erst bei 65 ° C eindrücken lassen und bei 85° C war er komplett geschmolzen. Dies hatten wir in einem anderen Experiment genutzt, um faserverstärkten Schellack herzustellen. Das Schmelzen erwies sich als einfach, jedoch haben wir nicht mehr herausfinden können, wie sich die Faserverbundstoffe mit dem Schellack verhalten. Generell ist Schellack ein brüchiges Material, welches aber einfach in eine Platte geschmolzen werden kann. Beim Experiment zur Löslichkeit, konnte man erkennen, dass Schellack unter Einfluss von Ethanol etwas erweicht, sich aber bei Zugabe von Wasser und Aceton nichts verändert. Zur Wasserbeständigkeit des Schellacks kann man sagen, dass es sich im Wasser nicht löst, auch nach mehreren Tagen nicht, sondern seine Form, Farbe und Festigkeit beibehält.

Eigene Experimente – Protokolle

Herstellung von Kaseinleim aus Milch

Ziel des Versuchs:

Herstellung eines natürlichen Klebstoffs aus Milch.

Geräte/Chemikalien:

- 480ml Milch
- ein Topf
- ein Herd
- Zwei Esslöffel Essig
- ein Sieb
- 200ml Wasser
- Zwei Esslöffel Backpulver
- ein Messzylinder

Durchführung:

1. 480ml Milch in einem Topf erwärmen, aber nicht zum Kochen bringen.
2. Zwei Esslöffel Essig in den Topf geben und umrühren.
3. Die Mischung durch ein Sieb gießen und die gesamte Flüssigkeit aus dem Klumpen drücken.
4. Den Klumpen mit 200ml Wasser und zwei Esslöffeln Backpulver im Topf vermischen.

Beobachtung:

Durch das Hinzufügen von Essig zur Milch bilden sich kleine Kaseinklumpchen an der Oberfläche. Nachdem man zum Kaseinklumpen Wasser und Backpulver hinzugibt, fängt das Gemisch an, Bläschen zu bilden, die sich nach ca. 10min zurückbilden.

Auswertung:

Der Leim hat eine sehr flüssige Konsistenz für einen Kleber, doch er fängt schon leicht an zu kleben, wenn man ihn zwischen seinen Fingern zerreibt. Die Herstellung des Leims ist relativ einfach und schnell durchzuführen.

Herstellung von Kaseinleim aus Quark

Ziel des Versuchs:

Ziel ist es, Kaseinleim aus magerem Quark statt aus Milch herzustellen.

Materialien:

- 250g Magerquark
- 112.5g CaCO_3 (Kalk)
- Becherglas
- Marmeladenglas
- eine Waage

Durchführung:

Der Quark wird in das Becherglas gegeben. Nach und nach wird der Kalk untergerührt. Anschließend wird der Leim für 5 Minuten stehen gelassen, bevor er genutzt wird. Um den Kaseinleim zu lagern, wird er in ein luftdicht verschlossenes Marmeladenglas gefüllt.

Beobachtung:

Beim Mischen von Quark und Kalk ist eine sehr zähe Masse entstanden, die sich nur sehr schwer umrühren lässt. Der Leim riecht stark nach Quark oder Joghurt. Nach fünf Tagen ist der Leim leicht bröselig aber immer noch feucht. Der Leim ist klebrig und weist nachdem er ausgehärtet ist, eine gewisse Festigkeit auf.

Auswertung:

Der Kaseinleim klebt und kann auch zwei Gelege oder zwei Holzstücke stark aneinander halten. Er ist für den einfachen Gebrauch als Kleber geeignet, jedoch ist er nicht wasserfest. Aufgrund des Quarks ist es möglich, dass der Leim nach einiger Zeit anfängt zu schimmeln.

Herstellung von Dextrinleim

Ziel des Versuchs:

Herstellung eines natürlichen Klebstoffs aus Dextrin.

Geräte/Chemikalien:

60 g Dextrin (hergestellt aus Speisestärke), 120 ml Wasser, 1 Tupperdose (luftdicht verschließbares Gefäß), 4g Glycerin, 2g Glucose, Topf mit Wasser, 1 Teelöffel, eine Waage, ein Messzylinder

Durchführung:

Das Dextrin wird teelöffelweise in die mit Wasser gefüllte Dose gegeben und klümpchenfrei gelöst. Anschließend werden die Glucose und das Glycerin der Mischung hinzugegeben und eingerührt. Dann wird der Topf mit Wasser erwärmt (ca. 90°; nicht kochen), die Dose in das Wasserbad gestellt und das Gemisch eingedickt. Nun wird der fertige Leim luftdicht verschlossen.

Beobachtung:

Das Einrühren des Dextrins braucht einige Zeit. Dabei wird die Masse merklich zähflüssiger und verändert die Farbe zu bernsteinfarben. Das Zugeben der „Zusatzstoffe“ funktioniert problemlos. Beim Eindicken des Klebers ist die Viskosität schwer einzuschätzen. Dextrin und der Dextrinleim (ungetrocknet) haben relativ starken Eigengeruch (vermutlich durch das Rösten).

Auswertung:

Der Leim lässt sich (mit gewissem Zeitaufwand) gut herstellen. Das Produkt klebte in einem ersten Mini-Versuch mit Papier nach dem Trocknen gut. Die Herstellung selbst kann noch verbessert werden (z. B. bessere Waage, Erfahrungswerte). Auch wichtig ist, dass die Herstellung des Dextrins ebenfalls viel Zeit beansprucht (60 Minuten im Ofen bei 180 °C – 200 °C).



Schaubild 1: fertiger Dextrinleim

Hinweise: Bei der Herstellung gibt es noch viele Stellschrauben:

- die zusätzlichen Stoffe (hier Glycerin, Glucose)
- die Stärke des Eindickens
- die gesamten Mischverhältnisse

Herstellung von Dextrinleim (1.Variation)

Ziel des Versuchs:

Das Ziel hierbei ist es, den Dextrinleim für unsere Bedürfnisse zu verbessern und seine Viskosität im Gegensatz zum erstmals hergestellten Dextrinleims zu ändern, sodass er besser haftet.

Geräte/Chemikalien:

60g Dextrin, 140 ml Wasser, 4g Glycerin, 4g Glucose, Topf mit Wasser, 1 Esslöffel, ein verschließbares Gefäß, sechs kleine Flachfaser-Vierecke

Durchführung:

Das Dextrin wird in dem mit 140 ml Wasser gefülltem Gefäß klümpchenfrei gelöst. Glucose und Glycerin werden hinzugegeben und eingerührt. Der Topf mit Wasser wird erwärmt (nicht kochend), das Gefäß ins Wasserbad gestellt und eingedickt. Den Leim dann luftdicht verschließen. Nach Abkühlung mit dem Esslöffel etwas Leim auf einem Flachfaser-Viereck verteilen, ein zweites darauf legen und trocknen lassen. Diesen Vorgang mit den vier übrigen wiederholen, so dass jeweils abwechselnd vier Schichten Dextrinleim und Flachfaser entstehen. Ebenfalls trocknen lassen.

Beobachtung:

Das Dextrin in Wasser zu lösen ist schwer und dauert lange. Die Lösung verändert dabei die Farbe zu dunkelbraun und bleibt auch nach Zugabe von Glycerin und Glucose gleich. Dieser Leim ist eher flüssig und lässt sich gut auf Flachfasern verteilen. Die Fasern sind hell/beige und werden nach Zugabe von Dextrinleim bernsteinfarben, da sie sich mit ihm vollsaugen. Direkt nach dem Auftragen sind die Fasern klebrig, können aber noch voneinander gelöst werden.

Auswertung:

Dieser Leim lässt sich gut verteilen, da er mit mehr Wasser hergestellt wurde und deshalb flüssiger ist. Dadurch wird er im Gefäß auch nicht so schnell fest und man kann ihn über einen längeren Zeitraum benutzen.

Nach dem Trocknen ist das Viereck mit den zwei Schichten leicht stabil und lässt sich nur in eine Richtung verbiegen. Das liegt daran, dass es sich bei diesen Flachfasern um ein unidirektionales Gelege handelt und beide Schichten in die gleiche Richtung zusammengeklebt wurden. Das Viereck mit vier Faser-Schichten ist weitaus stabiler, da das Gelege nicht in dieselbe Richtung zusammengeklebt wurde und sich hinten aus Versehen etwas Zeitungspapier dazugeklebt hat. Man kann also vermuten, dass auch Papier die Stabilität unseres ‚Mini-Klemmbretts‘ stark verbessert und außerdem eine glatte Oberschicht bildet, auf der man sogar schon schreiben könnte.

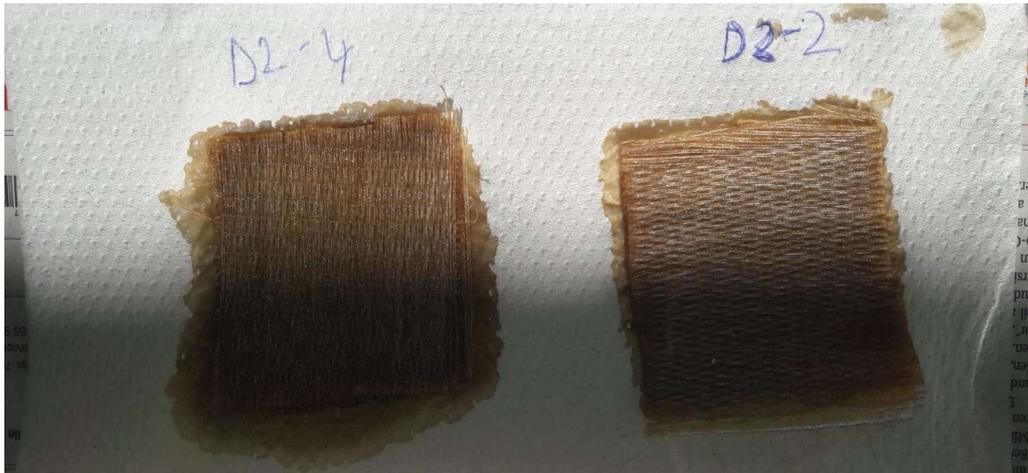


Schaubild 2: Links bei D2-4 sind es vier Schichten Flachsfasern, rechts bei D2-2 sind es zwei (ungetrocknet)



Schaubild 3: Links wieder vier Schichten (mit etwas Zeitungspapier), rechts zwei (getrocknet)

Herstellung von Dextrinleim (2. Variation)

Ziel des Versuchs:

Ziel ist es, Dextrinleim mit Spiritus und verdünnter Essigsäure statt mit Glucose und Glycerin herzustellen und zu schauen, inwiefern der Leim sich dadurch verändert.

Hypothesen:

- er wird flüssiger, da Essigsäure und Spiritus in flüssiger Form hinzugegeben werden
- er ist länger haltbar, da die Chemikalien konservieren

Geräte und Chemikalien:

Geräte: 1 Feinwaage, mehrere kleine Bechergläser, 1 Löffel, 1 verschließbares Marmeladenglas

Chemikalien für 250 g Dextrinleim:

- 56,25 g Dextrin
- 27,5 g Brennspritus
- 138,75 g Wasser
- 27,5 g verdünnte Essigsäure

Durchführung:

1. 20,625 g Wasser mit 6,875 g 25%-er Essigsäure vermischen, um sie zu verdünnen
2. 138,75 g Wasser in das Marmeladenglas geben
3. 27,5 g verdünnte Essigsäure zu dem Wasser hinzugeben, mit dem Löffel verrühren
4. 27,5 g Brennspritus hinzugeben, wieder mit dem Löffel vermischen
5. 56,25 g Dextrin hinzugeben
6. Das Gemisch so lange rühren, bis die Klumpen verschwunden sind

Beobachtung:

Es ist zu beobachten, dass nach Hinzugabe des Dextrins, dieses sich erst in Klumpen ansammelt (→ Schaubild 4). Es dauert einige Zeit, bis sie sich auflösen. Man muss sehr lange rühren. Als das Glas mit dem Dextrinleim luftdicht verschlossen wurde, waren noch Klumpen vorhanden. Nach 5 Tagen Wartezeit sind aber alle verschwunden. Es ist eine dunkelbraune, etwas dickflüssige Mischung entstanden (→ Schaubild 5). Der Eigengeruch ist relativ stark. Nach einem Monat befindet sich der Leim noch im selben Zustand.

Auswertung:

Im Gegensatz zum Dextrinleim, der mit Glucose und Glycerin hergestellt wurde, ist dieser deutlich flüssiger und somit besser zum Auftragen (z. B. mit einem Pinsel) geeignet. Er ist relativ lange haltbar, da er nach einem Monat immer noch flüssig ist und noch nicht schimmelt, was vorteilhaft ist. Der Eigengeruch ist zwar stark, verschwindet aber fast ganz, wenn der Leim trocknet.



Schaubild 4



Schaubild 5

Belastungstest Dextrinleim

Ziel des Versuchs:

Ziel des Experiments ist es, die Belastbarkeit und Klebkraft des hergestellten Dextrinleims zu testen und zu erkennen, ob er unseren Anforderungen als Matrix entspricht.

Geräte und Chemikalien:

2 Holzblöcke (geschätzt 7cm*3cm*10cm), Spatel, 2 Klemmen, Dextrinleim

Zeichnung des Aufbaus:



Holzblöcke (oben und unten), Dextrinleim, 2 Klemmen

Durchführung:

Zuerst werden die Holzblöcke mit dem Dextrinleim eingestrichen und aufeinander gelegt. Sie werden während des Trocknens mit den Klemmen zusammengedrückt. Nach dem Trocknen wird untersucht, wie leicht sich die beiden Holzblöcke voneinander trennen lassen.

Beobachtungen:

Der Dextrinleim lässt sich sehr leicht gleichmäßig auf den Holzblöcken verteilen. Da dieser beim Zusammenführen der Blöcke noch feucht ist, rutschen diese hin und her. Die Klemmen werden genutzt, um die Blöcke beim Trocknen fest übereinander zu halten. Dabei wird auch der überschüssige Dextrinleim hinausgedrückt.

Nach drei Tagen ist der Leim getrocknet. Der Dextrinleim war zuvor gelartig und hellbraun, nach der Trocknung spröde, brüchig und mit vielen kleinen eingeschlossenen Luftblasen. Die Holzblöcke brachen schon bei geringem Kraftaufwand auseinander. Außerdem kann man erkennen, dass durch den Druck der Klemmen, kaum Leim auf den Innenflächen der Holzblöcke vorhanden ist, sondern nur an den Rändern.

Auswertung:

Daraus kann man schließen, dass der Leim auf glatten Oberflächen nach dem Trocknen sehr spröde und brüchig ist, da es viele Lufteinschlüsse gibt. Außerdem hat der Druck der Klemme den Leim an vielen Stellen entfernt, weshalb die Belastbarkeit stark beeinträchtigt war. Das bedeutet, dass der Leim in Verbindung mit Holz nicht vorteilhaft ist. Dies lässt sich bei anderen Materialien aber nicht sagen.

Belastungstest Kaseinleim

Ziel des Versuchs:

Der Versuch hatte die Testung des Kaseinleims im getrockneten Zustand bezüglich der Klebkraft als Ziel.

Chemikalien / Geräte:

Für den Versuch werden zwei Schraubklemmen, Stativmaterial, zwei Holzstücke, Kaseinleim, Gewichte und ein Spatel benötigt.

Durchführung:

Zunächst werden die Holzstücke mittels Spatel aneinander geleimt und unter Einsatz der Schraubklemmen trocknen gelassen (→ Schaubild 1). Die verleimten Holzstücke werden dann am Stativmaterial waagrecht am oberen Holzstück befestigt. Nun werden am unteren Holzstück über eine Schraubklemme Gewichte befestigt und schrittweise erhöht.

Beobachtung:

Bevor der tatsächliche Belastungstest durchgeführt werden konnte, fielen die Holzstücke beim Anheben auseinander (→ Schaubild 2)

Auswertung:

Die geringe Stabilität ist vermutlich auf die hohe Viskosität des Leims sowie auf das in diesem Zusammenhang stehende Herausfließen des Leims zwischen den Holzstücken, mitverursacht durch den ausgeübten Druck der Schraubklemmen, zurückzuführen. Dies wird dadurch gestützt, dass das Papier, das als Unterlage fungierte, am unteren Holzstück festklebte.



Schaubild 6: Aufbau



Schaubild 7: Ergebnis

Wasserbeständigkeit von Dextrin- und Kaseinleim

Ziel des Versuchs:

Das Ziel ist es, herauszufinden, wie lange unser selbst hergestellter Dextrin- beziehungsweise Kaseinleim unter Einfluss von Wasser seine Klebkraft beibehält.

Geräte/ Chemikalien:

- Dextrinkleber; mit Glycerin und Glucose (hergestellt von Jakob)
- Kaseinkleber; sowohl auf Milch-, als auch auf Quarkbasis
- Wasser
- 8 Petrischalen
- Uhr
- Glasfasergelege (unidirektional)
- Flachsfasergelege (unidirektional)

Durchführung und Aufbau:

Mit dem Dextrinkleber und dem Kaseinkleber auf Milchbasis wird jeweils eine Probe mit dem Glasfasergelege angefertigt, indem zwei kleine Teile des Geleges aneinander geklebt werden.

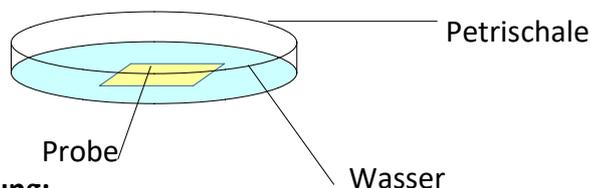
Dann werden jeweils drei Proben mit den Kaseinklebern auf die gleiche Art angefertigt, diesmal in Kombination mit Flachsfaser. Die drei Proben unterscheiden sich in der Menge des aufgetragenen Klebers, wobei 1 die geringste und 3 die größte Menge ist.

Vor der Fortführung des Versuchs ist es wichtig die Proben vollständig aushärten zu lassen. Nun werden alle Petrischalen mit so viel Wasser gefüllt, dass der Boden gleichmäßig bedeckt ist.

In jede Schale gibt man nun jeweils eine der vorher angefertigten Proben.

Bei der Beobachtung ist es wichtig die Zeit zu messen. Wenn die Proben aufweichen, wird durch leichtes Ziehen untersucht, ob die zusammengeklebten Gelege noch aneinander haften oder ob die Klebkraft des Klebers verloren gegangen ist.

Aufbau Skizze:



Beobachtung:

Zuerst weichten sowohl die Glasfasern, als auch die Flachsfasern auf.

Der Kaseinkleber auf Milchbasis in Kombination mit Flachsfaser und mit der geringsten Menge an Kleber (1) verlor bereits nach vier Minuten allmählich seine Klebkraft und nach fünf Minuten konnte man die beiden Flachsfasergelege sehr leicht auseinanderziehen. Die

beiden Proben mit den höheren Mengen (2 und 3) lösten sich nach zehn Minuten voneinander.

Der Kaseinkleber auf Quarkbasis in Kombination mit Flachsfaser verhielt sich ähnlich. Die Proben mit der geringsten und der mittleren Menge (1 und 2) ließen sich nach sechs Minuten mit sehr geringer Krafteinwirkung voneinander trennen. Die Probe mit der höchsten Menge (3) löste sich nach acht Minuten, allerdings mit einem etwas höherem Kraftaufwand.

Die beiden Proben von Dextrin und Kasein auf Milchbasis in Kombination mit Glasfaser hielten jeweils zehn Minuten.

Flachsfasergelege:

Kasein (Milchbasis):

Menge 	1	4 min: almählicher Verlust der Klebkraft; 5 min: Kleber vollständig gelöst
	2	10 min: Kleber vollständig gelöst
	3	10 min: Kleber vollständig gelöst

Kasein (Quarkbasis):

Menge 	1	6 min: Verlust der Klebkraft
	2	6 min: Verlust der Klebkraft
	3	8 min: almählicher Verlust der Klebkraft, lösbar durch leichte Krafteinwirkung

Glasfasergelege:

Kasein (Milchbasis):

10 min: vollständiger Verlust der Klebkraft

Dextrin (mit Glycerin und Glucose):

10 min: vollständiger Verlust der Klebkraft

Auswertung:

Insgesamt haben die Proben mit dem Glasfasergelege ein wenig länger gehalten, als die Proben mit dem Flachsfasergelege. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Flachsfaser mehr Wasser aufsaugt und der Kleber dadurch schneller in Kontakt mit dem Wasser kommt. Doch auch das Glasfasergelege nahm Wasser auf. Abschließend lässt sich sagen, dass keiner der untersuchten Kleber widerstandsfähig gegen Wasser ist und lange mit diesem in Berührung sein kann, ohne die Klebkraft vollständig zu verlieren.

Bilder zum Versuch:



Schaubild 8: Kaseinleim auf Milchbasis in Verbindung mit Glasfasergelege; Nach dem Verlust der Klebkraft sind die Gelege nicht mehr miteinander verbunden.



Schaubild 9: Kaseinleim auf Milchbasis in Verbindung mit Flachsfasergelege; Zu Beginn des Versuchs sind die Gelege noch miteinander verbunden.



Schaubild 10: Kaseinleim auf Milchbasis in Verbindung mit Flachsfasergelege; Nach dem Verlust der Klebkraft lösen sich die Gelege voneinander.

Protokoll Temperaturbeständigkeit

Ziel des Versuchs:

Das Ziel des Versuchs ist es, herauszufinden, wie Dextrin- und Kaseinleim den Temperaturen im hohen und im niedrigen Bereich standhalten.

Geräte und Chemikalien:

1. 2 kleine Bechergläser, eine Heizplatte, Glasstab, Dextrinleim, Kaseinleim
2. 2 kleine Bechergläser, Glasstab, großes Becherglas, Eiswürfel, Dextrinleim, Kaseinleim

Durchführung:

1. Die Heizplatte anschließen und sie etwas warm werden lassen. Ein wenig Dextrinleim in ein kleines Becherglas und ein wenig Kaseinleim in das andere geben. Anschließend die Bechergläser auf die Heizplatte stellen und etwas warten. Hin und wieder sollte man die Konsistenzen mit dem Glasstab überprüfen.
2. Die Eiswürfel in das große Becherglas geben, etwas Dextrinkleber in ein kleines Becherglas und ein wenig Kaseinleim in das andere geben. Dann die beiden Bechergläser in das große Becherglas stellen. In beiden Bechergläsern sollte gelegentlich mit dem Glasstab zur Überprüfung der Konsistenz umgerührt werden.

Beobachtung:

1. Zu beobachten war, dass die Konsistenz des Dextrinklebers sich leicht veränderte, aber so, dass es immer noch leicht klebt. Im Gegensatz dazu veränderte sich die Konsistenz des Kaseinleims gar nicht.
2. Man konnte beobachten, dass der Kaseinleim sich gar nicht verändert hatte und seine ursprüngliche Konsistenz behielt. Der Dextrinkleber hingegen konnte eine sehr kleine Veränderung aufweisen. Er schien sich etwas zu erhärten, dennoch machte ihn das auf bestimmte Weise noch klebriger.

Auswertung:

1. Auswertend kann man sagen, dass Kaseinleim den heißen Temperaturen standhalten kann, also hitzebeständig ist. Im Gegensatz dazu veränderte sich die Konsistenz des Dextrinklebers nur ganz leicht. (Das heißt, dass Dextrinkleber dennoch hitzebeständig ist, nur nicht so stark wie Kaseinleim.)
2. Auswertend kann man sagen, dass der Kaseinleim als auch der Dextrinkleber, kältebeständig sind mit dem einzigen Unterschied, dass der Kaseinleim seine Konsistenz nicht änderte. Dennoch behielten beide Leime ihre Klebfähigkeit.

Flachsfasergelege mit Kaseinleim (1)

Ziel des Versuchs:

Zusammenführung von Flachsfasergelegen und Kaseinleim.

Materialien:

Flachsfasergewebe, Kaseinleim, Spatel und eine Schere

Durchführung:

Als erstes wird das Flachsfasergewebe in kleine Stücke zurecht geschnitten. Daraufhin verstreicht man erst eine kleine Menge vom Kaseinleim auf das Flachsfasergewebe und legt ein weiteres Flachsfasergewebe oben drauf und verklebt diese miteinander. Nun wird der gleiche Versuch bei zwei neuen Flachsfasergeweben nochmal durchgeführt, aber mit etwas mehr Kaseinleim. Daraufhin wird der Versuch nochmal mit neuen Flachsfasergeweben durchgeführt aber mit viel Kaseinleim.

Bei einem weiteren Versuch werden drei Flachfasergewebe mit jeweils wenig Kaseinleim, bei einem weiteren Versuch mit mittel viel Kaseinleim und beim letzten Versuch mit viel Kaseinleim geklebt. Bei einem weiteren Versuch wurden fünf Schichten Flachsfasergewebe mit wenig Kaseinleim zusammengeklebt.

Beobachtung:

Man hat durch die unterschiedlichen Versuche, mit jeweils mehr Kaseinleim oder mehr Flachsfasergewebe gesehen, dass der Versuch mit drei Schichten Flachsfasergewebe mit viel Kaseinleim und der Versuch mit fünf Schichten Flachsfasergewebe und wenig Kaseinleim am stärksten miteinander verklebt waren.

Auswertung:

Durch die Versuche sind wir zu dem Entschluss gekommen, dass viel Kaseinleim mit drei Schichten Flachsfasergewebe und mehr Schichten Flachsfasergewebe mit wenig Kaseinleim die stärkste Bindekraft hatte, im Vergleich zu den anderen Versuchen. Mehr Schichten erhöhen demnach die Stabilität.

Flachsfasergelege mit Kaseinleim (2)

Ziel des Versuchs:

Zusammenführung von Flachsfasergelegen und Kaseinleim.

Geräte/Chemikalien:

- 12 Flachsfaserstücke
- Backpapier
- Spatel
- Kaseinleim aus Milch
- Kaseinleim aus Quark
- zwei Holzstücke
- eine Schraubzwinge

Durchführung:

1. Man beschichtet jeweils 3 Flachsfaserstücke leicht, mittel und stark mit Kaseinleim aus Quark und aus Milch.
2. Auf jedes Flachsfaserstück wird ein zweites hinauf gelegt.
3. Die Flachsfaserstücke werden zwischen Backpapier und zwei Holzstücken mit einer Schraubzwinge verklemmt und getrocknet.

Beobachtung:

Der Kaseinleim aus Milch geht mit dem Flachs eine eher elastische Bindung ein, wohingegen der Kaseinleim aus Quark eine sehr feste und steife Bindung eingeht.

Auswertung:

Der Versuch zeigt, dass Kaseinleim durch verschiedene Herstellungsverfahren verschiedene Bindungseigenschaften besitzen kann. Man könnte also für ein eher weiches Klemmbrett Kaseinleim aus Milch als Bindemittel verwenden, wohingegen man bei einem etwas steiferen Klemmbrett einen Kaseinleim aus Quark verwenden könnte.

Flachsfasergelege mit Dextrinleim

Ziel des Versuchs:

Ziel ist die Zusammenführung von Flachsfasergelegen mit Dextrinleim, um die Festigkeit zu überprüfen mit der der Leim die Gelege zusammenhält.

Materialien / Chemikalien:

5 Flachsfasergelege-Vierecke, Dextrinleim (2. Variation), ein Löffel

Durchführung:

Für den ersten Versuchsansatz streicht man ein Flachsfasergelege-Viereck mit Dextrinleim ein, sodass dieses mit Dextrinleim durchtränkt ist. Für den zweiten geht man wie folgt vor: Ein Flachsfaserstück wird mit Dextrinleim bestrichen. Darauf wird ein zweites Flachsfaserstück gelegt. Dies wird noch zweimal wiederholt, sodass man am Ende vier Schichten Flachsfasergelege-Vierecke und 4 Schichten Dextrinleim hat. Die letzte Schicht Dextrinleim dient als Schutzschicht. Außerdem sollten die Flachsfaserstücke immer um 90° gedreht werden, damit die Stabilität erhöht wird (es handelt sich um ein unidirektionales Gelege).

Aufbau:

Versuchansatz 1



Versuchansatz 2



Dextrinleim 

Flachsafergelege-Viereck 

Beobachtung:

Beim ersten Versuchsansatz lässt sich das Flachsfaserstück in eine Richtung dynamisch biegen, ohne dass der Leim brüchig wird. Bei der anderen Richtung bricht der Leim an der Knickstelle. Die Oberfläche glänzt leicht. Der zweite Versuchsansatz ist relativ stabil und lässt sich in beide Richtungen biegen. Der Leim bricht nicht, man hört ihn nur ein bisschen knistern. Der Eigengeruch des Dextrinleims ist kaum mehr wahrzunehmen.

Auswertung:

Mehrere Schichten Dextrinleim und Flachfaserstücke bilden ein festes, stabiles, dynamisch biegsames Gebilde. Durch die Drehung der unidirektionalen Gelege ist es in alle Richtungen biegsam. Im Gegensatz dazu, ist der erste Versuchsansatz nur in eine Richtung biegsam. Es ist schon möglich auf den Gebilden zu schreiben. Weitere Kriterien, wie Wasserbeständigkeit und Temperaturbeständigkeit, müssen noch untersucht werden.



Schaubild 11: 8 Schichten insgesamt



Schaubild 12: 2 Schichten insgesamt

Abschließende Auswertung der Experimente

Die Herstellung von Kaseinleim kann man sowohl mit Milch, als auch mit Quark machen. Der Kaseinleim mit Milch ist sehr flüssig und lässt sich dementsprechend gut auf die Gelege auftragen. Im Gegensatz dazu, ist der mit Quark und Kalk hergestellte Leim sehr fest und lässt sich nicht so leicht verteilen. Verbindet man den Kaseinleim mit Flachsfasern, so ist das Endprodukt bei dem mit Quark hergestelltem Leim eine feste und steife Platte auf der das Schreiben wahrscheinlich möglich ist. Verbindet man den mit Milch hergestellten Leim mit den Flachsfasern, so hat man ein eher elastisches Endprodukt.

Stellt man Dextrinleim her, gibt es auch hier mehrere Möglichkeiten. Die erste ist die Herstellung mit Glucose und Glycerin. Der Leim ist geleeartig und bernsteinfarben bis braun. Nimmt man nun bei der Herstellung mehr Wasser als zuvor, so bleibt die Farbe erhalten, allerdings verändert sich die Konsistenz. Der Dextrinleim ist nicht mehr geleeartig sondern flüssig. Das trägt dazu bei, dass man ihn gut auf die Gelege auftragen kann, er gleichzeitig aber auch länger braucht, um zu trocknen. Benutzt man statt Glucose und Glycerin, Spiritus und verdünnte Essigsäure, so ist der Leim nach circa fünf Tagen einsatzbereit, weil sich die Klumpen, die sich zu Beginn gebildet haben dann gelöst haben und der Leim komplett flüssig geworden ist. Eine gewisse Festigkeit weist der Dextrinleim zusammen mit Flachsfasern auf. Dabei gilt: Je mehr Schichten Flachsfasergelege und Dextrinleim, desto stärker das Gebilde. Das hängt auch mit der Richtung des unidirektionalen Geleges zusammen.

Eine Wasserbeständigkeit ist bei keinem der Leime gegeben. Nach spätestens zehn Minuten haben sich die Gelege voneinander gelöst, die vorher zusammengeklebt wurden.

Der Belastungstest fällt, je nach Art des Klebers, unterschiedlich aus. Bei dem Kaseinleim aus Milch, konnte der Test gar nicht erst durchgeführt werden, weil sich die Holzblöcke bereits nach einem leichten Anheben voneinander gelöst haben. Das gilt allerdings nicht für den, der aus Quark hergestellt wurde. Er hält einer stark ziehenden Kraft stand. Im Gegensatz dazu, reicht ein leichtes Kraftausüben bereits, damit die mit Dextrinleim geklebten Holzblöcke auseinander brechen. Allerdings soll das Klemmbrett auch keine schweren Dinge tragen, sondern ist lediglich als Schreibunterlage gedacht. Des Weiteren bezieht sich diese Beobachtung lediglich auf relativ glatte Oberflächen wie Holz. Fasern werden mit den Leimen durchtränkt und bildet einen festen Komplex miteinander.

Der Kaseinleim ist komplett temperaturbeständig und verändert seine Struktur in keiner Weise im Gegensatz zum Dextrinleim, welcher bei Hitze leicht die Form verändert aber seine Klebrigkeit nicht verliert. Bei Kälte härtet der Leim aus, verliert aber wieder nicht an Klebkraft.

Sollten keine neue Leim- oder Kleberarten getestet werden, so haben wir mit dem aus Quark hergestellten Kaseinleim und den flüssigen Dextrinleimen die besten Chancen das Klemmbrett herzustellen. Der Kaseinleim hat die Kriterien der Temperaturbeständigkeit und der Stabilität erfüllt. Außerdem braucht man außer Kalk und Quark keine weiteren Materialien, um den Leim herzustellen und ist nach dem Herstellen direkt einsatzbereit. Die Dextrinleime der 1. und 2. Variation haben eine hohe Viskosität, lassen sich gut verteilen bzw. durchtränken die Fasern und verhelfen somit zu deren Stabilität. Sie sind mindestens einen Monat in einem verschließbaren Gefäß haltbar. Die Kriterien Temperaturbeständigkeit und Wasserbeständigkeit müssten aber mit diesen Leimen weiterhin durchgeführt werden. Andererseits muss man bei den Kaseinleimen darauf achten, dass sie sehr leicht anfangen zu schimmeln, da sie aus leicht verderblichen Lebensmitteln wie Quark oder Milch bestehen. Wir konnten jedoch beobachten, dass die Leime bei Aufbewahrung in verschließbaren Gefäßen eher schimmeln, als wenn sie als Matrix fungieren.

Fazit und Reflexion

Unsere Gruppenarbeit verlief sehr entspannt und dynamisch. Dadurch, dass wir nur eine kleine Gruppe sind, konnte sich jeder einbringen, mit seinem Wissen und seinen Stärken, somit standen wir uns nicht gegenseitig im Weg. Jeder wurde von den anderen Gruppenmitgliedern berücksichtigt und keiner ist untergegangen. Die Aufgaben waren immer fair verteilt, sodass keiner mehr leisten musste als der Rest der Gruppe. Die Rechercheergebnisse waren bis auf wenige Ausnahmen von allen immer pünktlich abgegeben worden und haben sich gegenseitig ergänzt. Auf die Gruppenmitglieder war Verlass. Wenn man nicht ganz verstanden hatte, worum es gerade ging, wurde weitergeholfen und alles detailliert erklärt. Unsere Diskussionen verliefen gänzlich ohne Streit und jede Idee wurde ausgiebig diskutiert. Wir haben keine Idee von vornherein

verworfen, sondern immer erst einmal als Möglichkeit oder Alternative angesehen. Der freundliche Umgang innerhalb der Gruppe sorgte für ein sehr gutes Gruppenklima und erleichterte das Erarbeiten von Ergebnissen.

Falls wir uns entschließen sollten, weiterzuarbeiten, müssen noch sehr viele Versuchsreihen durchgeführt werden, die die Belastbarkeit und die Anwendungsmöglichkeiten unserer Klebstoffe und Fasern testen. Zudem sollten mehrere Prototypen des Klemmbretts erstellt werden, an denen die Anforderungen des Alltags getestet werden.

Die Fortführung des Projekts hängt auch von der gegebenen Situation ab. Da wir aufgrund des Coronavirus uns nicht mehr so häufig gesehen haben und auch die Durchführung der Versuche erschwert wurde, ist es nicht klar, ob eine Weiterführung des Projekts momentan sinnvoll umsetzbar ist.

Zusammenfassend kann man sagen, dass wir als Gruppe sehr gut zusammengearbeitet haben und zu einem Team geworden sind. Wir haben viel über Faserverbundstoffe und Nachhaltigkeit gelernt, außerdem war es interessant die Strukturen einer solchen Teamarbeit kennenzulernen. So konnten wir uns alle sehr gut vorstellen, wie in der späteren Arbeitswelt eine Projektarbeit funktionieren wird und ob wir daran interessiert sind, einmal auf diese Weise zu arbeiten und zu forschen.

Ausblick und Empfehlung für Weiterarbeit

Zum Anschluss an unsere Projektarbeit könnte man weitere Experimente mit dem Dextrinleim durchführen und mit den Zutaten variieren, so dass die Viskosität, Festigkeit und Qualität des Klebers verbessert werden könnte. Dasselbe sollte man beim Kaseinleim tun, den wir zweimal hergestellt hatten, einmal mit Magermilch und einmal mit Magerquark. Daraus resultierten dann zwei sehr unterschiedliche Leime. Denn der aus Magermilch bestehende war sehr flüssig und der andere fest und bröselig. Beide Leime haben relativ gut die Flachfasern zusammengeklebt, aber auch hier wären zum Beispiel andere Herstellungsmethoden oder Zutaten durchaus eine Möglichkeit, den Kaseinleim für unsere Anforderungen anzupassen. Es besteht auch die Möglichkeit andere natürliche Klebstoffe zu nutzen oder gar einen neuen zu erfinden.

Bisher hatten wir aufgrund der jetzigen Situation und des dadurch resultierenden Zeitmangels, keine Möglichkeit, diese Klebstoffe auf Hanffasern zu testen, sondern nur auf Flachfasern. Diese waren als unidirektionales Gelege vorhanden und man konnte erkennen, dass mehr Schichten die Stabilität der Konstruktion erhöhen und dass man auf einigen sogar darauf schreiben könnte. Alle Leime waren nach dem Trocknen in der Lage, die Gelege zusammenzuhalten, aber die die uns am meisten überzeugt hatten, waren der veränderte Dextrinleim der ersten und zweiten Variation und der Kaseinleim aus Quark. Darauf aufbauend, sollte man verschiedene Prototypen von Klemmbrettern der Größe DIN A4 erstellen und ihre Funktionalität als Klemmbrett an den festgelegten Kriterien testen. Des Weiteren sollte man, um die Nachhaltigkeit des Klemmbretts zu gewährleisten, das spätere Zurückführen des ausgedienten Klemmbretts in den Energie- oder Stoffkreislauf skizzieren.

Literatur und Quellen

Quellen themenorientiert:

PLA:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Polylactide>

<https://www.chemie.de/lexikon/Polylactid.html>

<https://www.chemie.de/lexikon/Milchs%C3%A4ure.html>

<https://www.chemie.de/lexikon/Fermentation.html>

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/chemie/artikel/polymerisation>

<https://www.filamentworld.de/3d-druck-wissen/was-ist-pla/>

<https://www.kunststoffe.de/themen/basics/biokunststoffe/biobasierte-kunststoffe/artikel/polylactid-pla-2822577.html>

Dextrinleim:

<https://www.chemie.de/lexikon/Dextrin.html>

<https://silo.tips/download/3-werk-und-hilfsstoffe-druckweiterverarbeitung-33-klebstoffe>

<https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Dextrin>

<https://www.transgen.de/datenbank/zutaten/2026.dextrine.html>

Stärkeleim:

<https://www.chemie.de/>

<https://flexikon.doccheck.com/de/Spezial:Mainpage>

<https://www.ib-rauch.de/>

<https://www.chemieunterricht.de/dc2/>

http://www.bs-wiki.de/mediawiki/index.php?title=Willkommen_beim_Projekt_BS-Wiki_-_Wissen_teilen

Hanffaser:

<https://www.hanfmuseum.de/herkunft-und-verbretung-des-hanfs>

<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Hanffaser>

Flachfaser:

<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Flachsfaser>

<http://blog.vossberg.de/lexikon/herkunft-der-leinenfaser/>

<https://lexikon.wohnen.de/flachs/>

Schellack:

<http://www.parmentier.de/gpfneu/deutsch/shellac.php>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Schellack>

Kaseinleim:

<https://www.velomobilforum.de/wiki/doku.php?id=holzbau:kaseinleim>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Holzleim#Kaseinleim>

<https://www.seilnacht.com/Lexikon/Casein.htm#gewinnung>

<https://de.wikihow.com/Kleber-aus-Milch-herstellen> (10.05.2020 19:35Uhr)

https://www.unimuenster.de/imperia/md/content/didaktik_der_chemie/seminarfriesemilch.pdf

Klemmbrett:

<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Klemmbrett>