



Integrative Ski Building Workshop 2020

Den Integrative Ski Design and Fabrication Workshop gibt es nun schon seit 2016 am EDAC und seitdem haben Studierende 52 einzigartige Paar Ski und Snowboards entwickelt und gebaut. Mit viel Einfallsreichtum, Durchhaltevermögen und Kreativität sind von steifen Carving Ski über leichte Tourenski bis hin zu flexiblen Splitboards und Freestyle Snowboards alle Arten von Wintersportgeräten entstanden. Dieses Jahr war aufgrund der Corona Krise besonders herausfordernd für die Studierenden und die Leiter. Deshalb freut es uns besonders, dass alle Studierenden fertig geworden sind und die zwei Snowboards und die sechs Paar Ski von dieser Session präsentiert werden können.

Ein besonderer Dank geht an die Firmen Oxess GmbH und Kündig AG, die uns sowohl fachlich als auch handwerklich beim Kernes Schleifen unterstützt haben. Wir bedanken uns auch bei der ETH und beim EDAC, dass wir diesen Kurs bis zum Ende durchführen konnten.

Nach unzähligen Stunden des Kantenbiegens, Sägens, Schleifens und Polierens in unserer Werkstatt sind die Studierenden nun stolz, ihre Ergebnisse aus dem Herbstsemester 2020 präsentieren zu dürfen. Dabei beschreiben sie zunächst alle Schritte des Fertigungsprozesses, um danach die Ziele, die Motivation und das individuelle Design für jeden Ski und jedes Snowboard einzeln vorzustellen.

Enjoy the ride!

Assistants: Cosima du Pasquier, Joël Chapuis, Thomas Lumpe

Editors: Bettina Melberg, Cosima du Pasquier, Jung-Chew Tse, Elliott Birner

Professor: Kristina Shea

VISUAL DESIGN

Teil des Selbstmachens eines Skis ist neben der Fertigung und dem «technischen Design» natürlich auch die optische Gestaltung. Während wir für die eigentliche Herstellung des Skis ziemlich klare Vorgaben und Anleitungen hatten, war uns das Gestalterische grösstenteils selbst überlassen. Bei Ski und Snowboard gleichermaßen, bestand das Design primär aus zwei Teilen, der Oberseite und der Unterseite – dem Belag.

Optische Materialauswahl

In den ersten Wochen wurde die grobe Richtung des Designs mit der Materialwahl festgelegt. Die Wenigsten von uns hatten zu diesem Zeitpunkt bereits eine konkrete Vorstellung ihres Designs, weshalb das Auswählen eher schwierig war.

- Für den Belag standen schwarz, transparent und einige Farben zur Auswahl.
- Für die Oberseite hatten wir die Wahl zwischen Holzfurnieren und einem durchsichtigen Topsheet. Unter dem Topsheet konnte eine farbig gedruckte Grafik aufgebracht werden.
- Ausserdem gab es für die Seitenwangen Holz oder bunten ABS Kunststoff.

Realisieren des Designs

Nach der anfänglichen Materialwahl rückte bei den Meisten das Design etwas in den Hintergrund, denn wir arbeiteten zuerst intensiv an den vorgegebenen Komponenten. Nach und nach entstanden dann erst konkrete Designideen:

- Oberseite: hier entschieden sich alle für Holzfurniere. Hölzerne Ski heben sich verständlicherweise von den Fabrikski ab. Ausserdem konnte das Furnier beliebig zugeschnitten werden – von Hand oder mit dem Lasercutter.

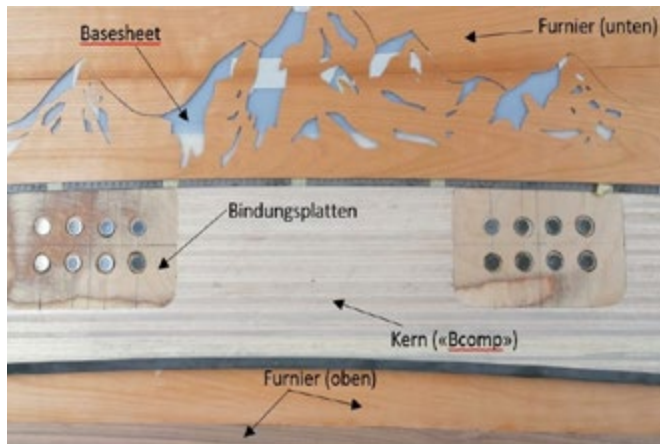


- Unterseite: einige entschieden sich für den durchgehend schwarzen Belag, während andere zusätzliche «Inlays» anfertigten. Dabei werden farbige Stücke in den Belag eingeklebt, was ziemlich zeitintensiv ist.

Der transparente Belag liess hier unerwartet viel Spielraum. Es konnte die innere Faserkonstruktion sichtbar gemacht werden oder bearbeitetes Holzfurnier hineingelegt werden. Alternativ war es auch hier möglich, gedruckte Grafiken unter den durchsichtigen Belag zu kleben.



ANALYSE, MATERIALIEN & CAD

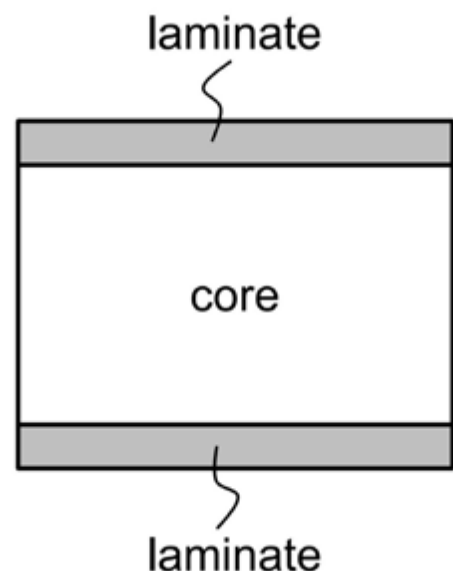


Alle hatten zu Beginn des Kurses eigene Ideen, welche Ski respektive Snowboards man gestalten möchte. Um sich ein möglichst gutes Bild von den Dimensionen zu machen, haben wir Ski oder Snowboards mitgebracht, welche den individuellen Wünschen am ehesten entsprachen. Anschliessend haben wir die Bretter ausgemessen und deren Biegesteifigkeit mit einem Drei-Punkt-

Biegeversuch bestimmt. Man entschied sich nach Rücksprache mit den Assistenten auf die wichtigsten Masse wie die Kontaktlänge oder die Kerndicke.

Um eine geeignete Materialwahl für den Kern und das Laminat zu treffen, waren Anhaltspunkte wie die Biegesteifigkeit und die Torsionssteifigkeit von großer Bedeutung. Mit Hilfe eines zur Verfügung gestellten Matlab- und Mathematica Codes war es möglich, erste Abschätzungen der Biegesteifigkeit zu treffen. Diese verglich man dann mit dem Wert der selbst mitgebrachten Ski oder einer Excel-Tabelle, welche die Biegesteifigkeiten von professionell hergestellten Ski und Snowboards der letzten Jahre aufgelistet hat. Durch Verändern der Kerndicke oder der Laminatschichten passte man die Biegesteifigkeit an, bis sie ungefähr dem gewünschten Wert entsprach.

Zudem haben die Studenten die Torsionssteifigkeit eines Sandwichbalkens und die erste Eigenfrequenz der Bretter anhand der Balkentheorie von Hand berechnet. Wie im Leichtbau üblich nutzten wir eine Sandwichkonstruktion mit mindestens zwei Laminatschichten und einem hölzernen Kernmaterial. Der Kern wird während des Fahrens nicht stark belastet, deshalb verwendet man leichtes und biegsames Holz, um Gewicht zu sparen. Er dient hauptsächlich zur Dämpfung von Vibrationen. Auf den Laminatschichten jedoch liegt die grösste Belastung. Möchte man einen biegsamen Ski, so wählt man ein Laminat mit geringer Biegesteifigkeit. Uns standen je drei verschiedene Kernmaterialien und sechs verschiedene Variationen von Laminaten zur Verfügung, welche in Abbildung 3 ersichtlich sind. Das am häufigsten verwendete Laminat war das Triax-Gewebe, da es hohe Steifigkeiten in alle Richtungen aufweist und somit die Dicke, beziehungsweise das Gewicht minimiert werden kann.



Die Berechnungen wurden mit starken Vereinfachungen durchgeführt. In einem zusätzlichen Gespräch mit den erfahrenen Assistenten einigte man sich auf eine passende Kernhöhe, ausserdem wurde das Material für den Kern und das Laminat festgelegt.

Base Material Properties



Fibers (lamina):

	Glas 0/90 (Gewebe)	Basalt 0/90 (Gewebe)	Basalt 0° (UD)	Flax 0/90 (Gewebe)	Carbon 0° (UD)	Basalt 0/±45 (triax Gewebe)
E11 [MPa]	21000	23100	31800	11880	92500	26097
E22 [MPa]	21000	23100	10100	11880	6300	18716
G12 [MPa]	4000	4400	10780	3960	5700	9742
v12 [-]	0.1	0.1	0.3	0.1	0.33	0.1
Layer thickness [mm]	0.24	0.24	0.32	0.7	0.28	0.55

Mithilfe von Siemens NX konnten wir die Ski und Snowboards technisch zeichnen. Dazu benutzten wir ein vorgefertigtes CAD-Modell, welches basierend auf den Erfahrungswerten der letzten Jahre bereits eine Grundform besass. Sämtliche Grund-Dimensionen wie die Höhe von Tip und Tail oder die Länge des gesamten Skis/Snowboards wurden von einem verknüpften Excel-Sheet abgerufen und so mussten nur noch diese Werte an die individuellen Vorstellungen angepasst werden. Das klingt allerdings einfacher als es tatsächlich ist. Viele von uns mussten erst noch ein paar alte Sportgeräte ausmessen oder gingen mit Massband, Papier und Stift in ein Sportgeschäft, um die benötigten Messwerte zu erhalten.

Dann wurde auch noch das gewünschte Design des Kerns direkt in das CAD-Modell eingegeben. Der Core sollte so verändert werden, dass die Tip und Tail-Höhen stimmen und der Camber eingehalten werden kann.

General Parameters

inp_L_overall	1480	mm
inp_L_tip	200	mm
inp_L_tail	200	mm

Outline Parameters

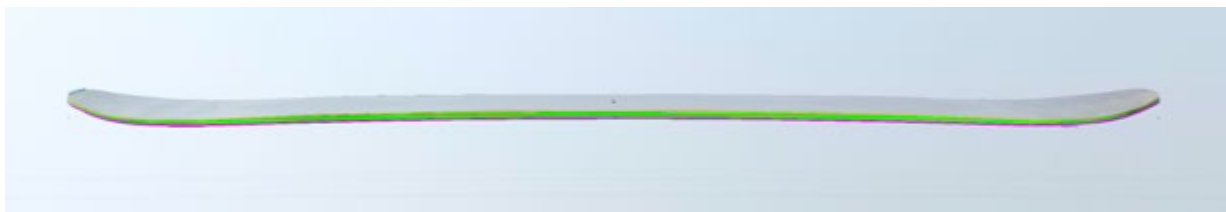
inp_W_tip	279	mm
inp_W_middle	238	mm
inp_W_tail	279	mm
inp_WidestPointAhead_tip	40	mm
inp_WidestPointBehind_tail	40	mm
inp_Edge_Back_Around_toggle	WAHR	[-]
inp_Edge_Front_Around_toggle	WAHR	[-]
inp_TailProtector_toggle	FALSCH	[-]

Camber Profile Parameters

inp_H_Tip	52	mm
inp_H_Camber	10	mm
inp_H_Tail	52	mm

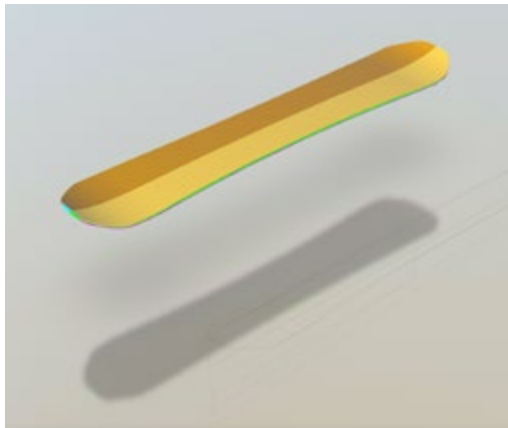
Core Parameters

inp_Core_L_Binding	800	mm
inp_Core_t_end	3	mm
inp_Core_t_middle	8	mm
inp_C_offset_tip	200	mm
inp_C_offset_tail	200	mm
inp_MountingPoint_perc	50	%
inp_t_sidewalls	9	mm
inp_ReinforcementPlate_toggle	FALSCH	[-]



Mehr Zeit wurde auch beim Design der generellen Form des Boards bzw. der Ski investiert. Vor allem vorne und hinten - also Tip und Tail - wurden den wildesten Fantasien freien Lauf gelassen! So kann das Brett gegen hinten rund verlaufen, eckig oder auch spitz. Aber auch speziellere Formen wie zum Beispiel ein Fishtail kann durch Anpassen der Kurven im Modell erreicht werden. Nur an den Kontaktpunkten mit dem Boden musste auf einen kontinuierlichen Krümmungsverlauf geachtet werden, um zu vermeiden, dass Tip- und Tail-Geometrie den Wenderadius beeinflussen.

Da alle Maschinenbau-Studierende bereits im ersten Jahr die Vorlesung und Übungen «CAD und technischem Zeichnen» absolvieren, war die reine Umsetzung des Designs keine grosse Schwierigkeit für die meisten. Ausserdem wurde uns Vieles bereits mit den vorgefertigten Modellen abgenommen und die Assistierenden und Doktoranden waren für Fragen jederzeit erreichbar. Individuelle Schwierigkeiten waren zum Beispiel, die Form vorne und hinten für einen perfekten Twin Shape identisch zu designen. Ausserdem war es nicht leicht, das Modell so anzupassen, dass es einem selbst gefällt und ohne das Modell im Prozess zu zerstören. Schliesslich wurde anhand der Form aus dem CAD-Modell das Basesheet und der Kern gefräst. Das CAD-Modell half aber auch bei der Visualisierung: so konnten Bindungsplatten eingefügt werden, um die Vorstellung des Setbacks zu vereinfachen.



Individuelle Schwierigkeiten waren zum Beispiel, die Form vorne und hinten für einen perfekten Twin Shape identisch zu designen. Ausserdem war es nicht leicht, das Modell so anzupassen, dass es einem selbst gefällt und ohne das Modell im Prozess zu zerstören. Schliesslich wurde anhand der Form aus dem CAD-Modell das Basesheet und der Kern gefräst. Das CAD-Modell half aber auch bei der Visualisierung: so konnten Bindungsplatten eingefügt werden, um die Vorstellung des Setbacks zu vereinfachen.

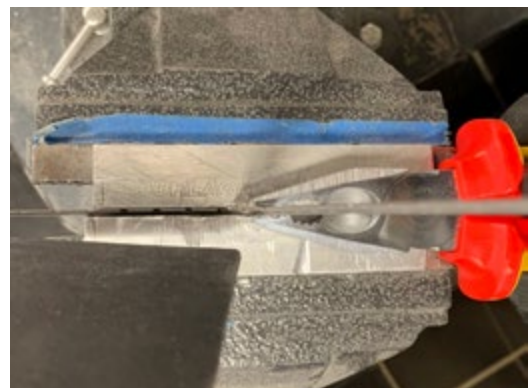
FERTIGUNG DER EINZELTEILE

Belag

Die Aussengeometrie des Belags wurde mit einer CNC-Maschine ausgefräst. Gewisse Beläge haben sich mit der Zeit verzogen und mussten neu gefräst werden. Wir empfehlen für die nächsten Skiworkshops, die Beläge zwei Wochen nach dem Fräsen nochmals zu kontrollieren.

Kanten

Ein aufwendigeres Verfahren hierbei war es, die Kante um den gesamten Ski herumzubiegen. Die andere Möglichkeit war ein Tailprotector, der den Ski am unteren Ende schützt und das Biegen von meist kleineren Radien ersparte. Beim späteren Laminieren dagegen war der Tailprotector mit mehr Aufwand verbunden und das Risiko, dass Laminatschichten am Tail nicht korrekt liegen, war höher. Nach dem Biegen von engen Radien verzog sich die Kante. Damit es wieder eben wurde, war es hilfreich, die Kante mit Aluminiumbacken einzuklemmen (Bild rechts) und diese Stelle mit einem Heissluftföhn zu erwärmen. Sobald die Kante genügend warm war, verringerten sich die Eigenspannungen.



Damit es wieder eben wurde, war es hilfreich, die Kante mit Aluminiumbacken einzuklemmen (Bild rechts) und diese Stelle mit einem Heissluftföhn zu erwärmen. Sobald die Kante genügend warm war, verringerten sich die Eigenspannungen.



Kern

Zuerst wurden die ausgewählten Seitenwangen an den Kern geleimt (Bild links). Bei dem weicheren Balsaholzkern war zu beachten, dass die Schraubzwingen zentriert und mit Gefühl an den Kern gespannt wurden. Ansonsten konnte es sein, dass der Kern selbst zusammengedrückt wurde oder sogar brach. Nach dem Verspannen sollte man die Bündigkeit zwischen dem Kern und den Wangen kontrollieren. Die Profildicke des verleimten Kerns wurde anschliessend von einer Schreinerei geschliffen. Für die spätere Bindungsmontage mussten die Kerne mit Hartholz verstärkt werden. Genaues Ausfräsen der Nuten verhinderte, dass Spalten beim Laminieren mit sprödem Epoxy gefüllt wurden.

Beispielbild für eine gelungene Nut (unten) und ein Bild vom Fräsprozess (unten links).



Deckblatt

Für das Design des Deckblatts stand uns ein Lasercutter zur Verfügung. Der Kreativität waren dabei keine Grenzen gesetzt. Man musste sich allerdings des damit verbundenen Mehraufwands bewusst sein.

Bei der Gravur des dunkleren Holzes war zu beachten, dass sie genügend stark war, da sie durch das Laminieren leicht abgeschwächt wurde. Für das gerade Schneiden von Furnieren half das «Handkreissägen-Lineal». Es konnte mittels Schraubzwingen genau an die gewünschte Stelle auf dem Furnier gepresst werden, wodurch man einen exakten Schnitt erreichte (Bild rechts).



Tipps für die Fertigung der Topsheet-Bestandteile:

- Fange lieber zu früh, als zu spät mit dem Design an
- Unterstützt euch bei den Arbeiten, wie z.B. dem Verleimen der Wangen
- Für blasenfreie Hände nach dem Kantenbiegen sind dünne Handschuhe Gold wert

Laminierform

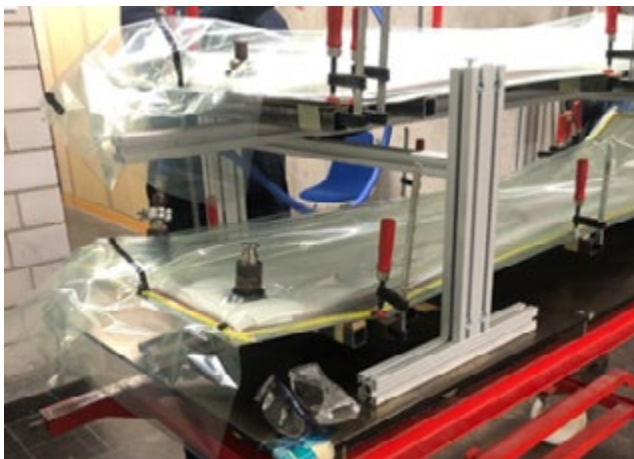
Beim Laminieren wurden die einzelnen Schichten durch den Zweikomponenten-Kleber verbunden. Der ganze Prozess wurde auf einem verzinkten Blech durchgeführt (Bild rechts), welches zuvor an die gewünschte Form des Skis angepasst wurde.



Dabei war es wichtig, die Form zuerst mittig mit gewolltem Abstand zum Nullpunkt zu befestigen, um sich dann an die Enden des Skis vorzuarbeiten. Somit wurde eine ungewollte Biegung der Platte verhindert (Bild links). Vor dem Laminieren mussten noch der Vakuumsack, eine Trennfolie und ein Vlies zugeschnitten werden. Das Vlies wurde am Ende des Laminierens über den ganzen Ski gelegt und garantierte, dass die Luft gleichmässig über den ganzen Ski abfließen konnte und nicht an gewissen Stellen von der Folie selbst daran gehindert wurde, was dann zu ungewollten Luftblasen hätte führen können.

Laminierprozess

Nun zum Laminieren selbst; als erstes wurde das Epoxy gemischt, d.h. die zwei Komponenten (Harz/Härter) in vorgeschriebenem Verhältnis vermengt. Danach wurde mit dem Belag begonnen. Dieser wurde mit der Unterseite auf die Platte gelegt und gleichmässig mit Epoxy bestrichen. Daraufhin wurden die Kanten mit einem isolierenden Band abgedeckt. Dieses verhindert, dass sich die Kanten durch die Reibung mit dem Schnee elektrisch aufladen und die Ladung unter Umständen an den Skifahrer weitergeben. Nach diesem Schritt wurde die erste Faserschicht aufgebracht und zwar so, dass die bedeutende Faser nach unten zeigte. Sie muss weit weg vom Kern sein, damit ihre steifigkeitsgebenden Eigenschaften möglichst gut genutzt werden (Steiner-Anteil).



Nach diesem Schritt wurde die erste Faserschicht aufgebracht und zwar so, dass die bedeutende Faser nach unten zeigte. Sie muss weit weg vom Kern sein, damit ihre steifigkeitsgebenden Eigenschaften möglichst gut genutzt werden (Steiner-Anteil).

Die Schichten wurden mit Epoxy bestrichen und anschliessend mit einer gerippten Kunststoffrolle «überfahren», um Lufteinschlüsse so gut wie möglich zu vermeiden.

Der Kern wurde auch mit Epoxy bestrichen. Hierbei musste aber darauf geachtet werden, dass er genau über dem Belag positioniert war. Falls ein Tailprotector verwendet wurde, musste auch dieser genau positioniert werden. Dabei war es wichtig, dass die Fasern auf der Seite des Tailprotectors gerade abgeschnitten wurden, um einen sauberen Abschluss zu gewährleisten.

Die Faserschichten nach dem Kern wurden im gleichen Verfahren inklusive dem Topsheet aufgebracht. Bei dieser Faserschicht mussten die bedeutenden Fasern nach oben zeigen. Beim Laminieren des Topsheets musste ebenso darauf geachtet werden, dass es genau positioniert war, um «freie Stellen» auf dem Ski zu vermeiden. Nach der letzten Schicht wurde der Vakuumsack mittels einer speziellen Klebemasse auf die Platte geklebt.

Vor dem «Backen» (Bild vorherige Seite unten links) mussten noch die Vakuumschläuche mittels Ventil mit dem Vakuumsack verbunden werden und es sollte ein Dichtigkeitstest durchgeführt werden. Bei geschlossenen Ventilen sollte der Druckabfall während fünf Minuten nicht mehr als 0.05 bar betragen.

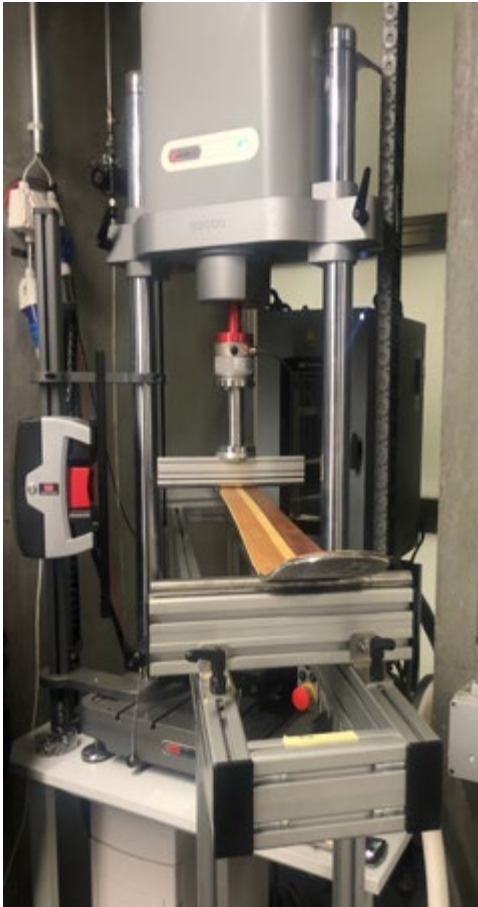
Finishing

Nach dem «Backen» wurden die überstehenden Fasern mit einer Sticksäge entlang der Kante abgesägt. Danach wurden die Seitenwangen mithilfe einer Bandschleifmaschine auf einen bestimmten Winkel (meistens ungefähr 10°, frei wählbar) geschliffen. Nach diesem Schritt musste das Topsheet von allfälligem Klebeband befreit und geschliffen werden (Bild rechts). Als finaler Schritt wurde das Furnier mit Leinöl behandelt, um es zu schützen und die Farben zu kräftigen.



Wichtige Punkte für das Laminieren und das Finishing:

- Kontrolliere den Vakuumsack auf Dichtigkeit!
- Gute Vorbereitung vor dem Laminieren erleichtert und beschleunigt die Arbeit.
- Gehe sparsam mit Klebeband auf dem Topsheet um. Dieses ist sehr mühsam zu entfernen.
- Vermeide zu viel überstehendes Material des Topsheets/Furniers. Wenn zu viel übersteht, verhindert das im schlimmsten Fall ein sauberes Brechen des Furniers an der Kante.



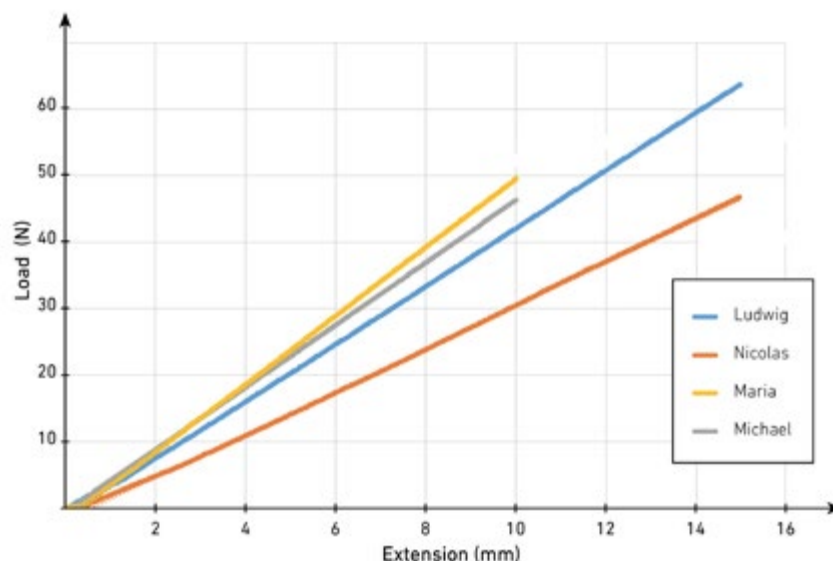
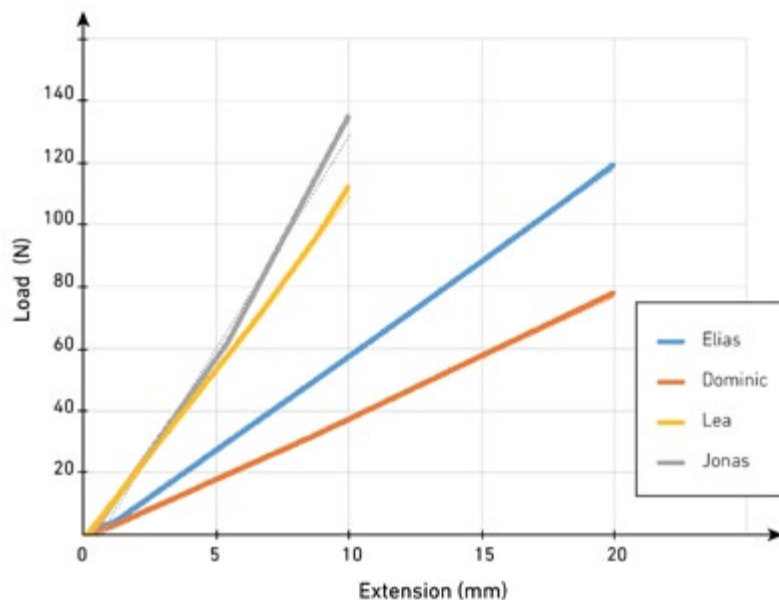
Die letzte Aufgabe des Skibaukurses war, die neuen Ski und Bretter zu testen, um unsere anfänglichen Erwartungen und Berechnungen mit den realen Werten vergleichen zu können. Dieses Jahr konnten wir leider nicht alle zusammen ins Skigebiet fahren, um unsere Ski und Snowboards auf der Piste unter realen Bedingungen zu testen.

Deswegen sollten wir uns auf den Drei-Punkt-Biegeversuch in der Werkstatt verlassen. Bei diesem wurden die Ski auf die Prüfmaschine gelegt und auf zwei Auflagen in den Kontaktpunkten vorne und hinten abgestützt. In der Mitte wurden die Ski mit einem Prüfstempel belastet. Diese Last wurde langsam und stetig erhöht, bis wir einen deutlichen Graphen der Weglänge in Abhängigkeit von der Kraft erhielten. Aus dem Graphen wurde die Federfestigkeit abgelesen. Diese Federfestigkeit ergab die Steifigkeit der Ski, die wir mit den berechneten Werten aus Mathematica vergleichen konnten.

Load-point Spring Stiffness [N/mm]		
	numerische Werte [Matlab/Mathematica]	experimentelle Werte [3-Punkt- Biegeversuch]
Dominic Büttiker	4.160	3.954
Elias Steiner	2.640	6.060
Jonas Dürig	5.792	13.671
Lea Kotthoff	11.627	11.140
Ludwig Luz	2.800	4.320
Maria Papadogianni	3.442	5.104
Michael Zanetti	4.020	4.686
Nicolas Krienbühl	3.930	3.223

Die vorliegende Tabelle deutet darauf hin, dass es nur kleine Abweichungen von den berechneten Ausgangswerten bei den meisten Ski und Brettern gibt. Auffallend ist noch, dass bei manchen die Unterschiede zwischen den numerischen und experimentellen Werten viel grösser sind als erwartet. Dies könnte an der Tatsache liegen, dass die Steifigkeit der Kanten in unsere Berechnungen nicht miteinbezogen wurde, obwohl sie entsprechende Auswirkungen hat. Wir rechneten mit vereinfachten Modellen und dies führte auch zu Abweichungen. Für Faserverbundwerkstoffe ist es immer sehr schwer, ein perfektes Modell zu erstellen, da es ein anisotropisches Verhalten aufweist. Zu dem kommt noch, dass viele Schritte von Hand gemacht wurden und nicht von Maschinen. Das Modell berechnet keine menschlichen Fehler ein.

Zu den Fahreigenschaften und Fahrverhalten, wie zum Beispiel der Stabilität, der Lauf-ruhe, der Dämpfung und dem Kurvenradius beim Carven, können wir leider kein Fazit ziehen, ohne unsere Bretter auf der Piste zu testen. Wir freuen uns noch darauf, beim nächsten Schneefall und der Eröffnung der Skigebiete, unsere eigenen handgemachten Ski und Snowboards in Aktion zu geniessen.



LEA KOTTHOFF



Schon als sechsjähriges Mädchen stand ich zum ersten Mal auf einem Snowboard und habe es seitdem nicht verlassen. Nach etlichen Wochen im Schnee, einer J+S-Ausbildung zur Snowboardleiterin für Jugendliche und Wettkämpfen im Bereich Boardercross war ein selbstgebautes Board ein offener Traum. Als dann auch noch ein Freund davon erzählte, dass er ein Snowboard an der ETH gebaut hat, wusste ich: Das will ich auch! Mit dem Ziel, ein möglichst nachhaltiges Snowboard zu bauen, welches vor allem als Freestyle-Brett brilliert, startete ich in den Kurs. Nach so vielen theoretischen Vorlesungen zum Steiner-Anteil war ich wirklich bereit, zu erleben, was dessen Auswirkungen wirklich sind.

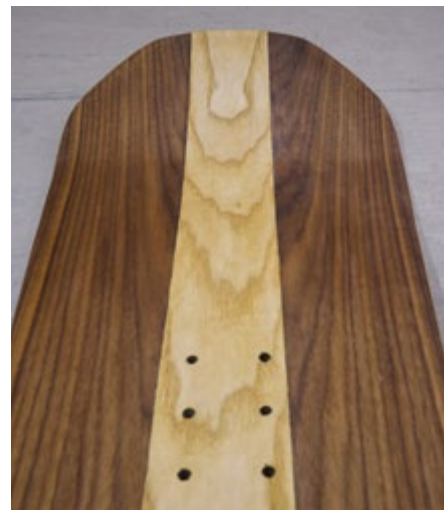
Für die Lockerheit und die Freiheit beim Freestylen wollte ich einen perfekten Twin Shape, damit ich beim Boarden, ohne mich umzustellen rückwärts landen und weiterfahren kann. Gerade dieser Punkt machte mir im Design mit CAD anfangs Schwierigkeiten. Es gab auch so viele verschiedene Arten, wie man sein Brett auslegen konnte. Das war ganz schön überwältigend und zeigte, was für ein Kunststück so ein Snowboard wirklich ist. Nach einiger Recherche wurde mir klar, dass ich mein Brett wendig und eher weich haben will. Damit erschienen mir die kleinen Jumps weniger kraftaufwendig. Wie wichtig aber die Steifigkeit für einen Pop-Effekt ist, wurde mir erst mithilfe der Assistenten klar. Deswegen einigten wir uns dann auf zwei Lagen mittelsteife Triax-Fasern.

Die erste handwerkliche Arbeit war dann etwas ganz anderes, als mit Mathematica und Matlab Werte auszurechnen: Die Kanten mit einer Zange an die Form des Boards heranzubiegen war körperliche Arbeit pur. Anfangs waren die Aufträge schnell erklärt und mühsamer in der Ausführung, im Laufe der Zeit änderte sich dies aber. Gerade die Bindungsplatten in den Kern einzulassen, kostete mich grosse Überwindung. Schliesslich könnte eine ungewollte Bewegung den Kern spalten und so zerstören. Auch als das praktisch fertige Board nach dem Laminiere vor mir lag, fiel es mir nicht leicht, mit der Stichsäge möglichst nah am geplanten Rand entlang zu sägen.

Das fertige Brett zum ersten Mal in den Händen zu halten war grossartig. Vor allem das Design sieht viel cooler aus, als ich es mir vorgestellt hatte! Besonders die sichtbaren Fasern und der Übergang zwischen den zwei Holzarten erzeugen einen tollen Effekt. Die gemessene Biegesteifigkeit entspricht genau der zuvor mit den mathematischen Tools berechneten. Allerdings fühlt es sich beim Fahren steifer an als erwartet. Es ist nicht das perfekte Board, um auf der Piste hin- und her zu hüpfen, aber es ist ein umso besser geeigneteres Allround-Board. Auch bei schnelleren Abfahrten lässt es sich einfach manövrieren, ist lange ruhig und reagiert direkt auf kleinste Gewichtsverlagerungen.



Mein Ziel eines Freestyle-Boards habe ich eher nicht erreicht, was mit einer weniger steifen Laminatauslegung aber sicher machbar wäre. Schlussendlich macht aber auch die Fertigung einen grossen Unterschied für diese mechanischen Eigenschaften. Beispielsweise werden auch identisch ausgelegte Bretter unterschiedlich aufgrund der Menge an verwendetem Harz und wie gut die einzelnen Fasern aneinanderkleben. Auch mit dem härteren Brett bin ich sehr zufrieden und freue mich auf die kommenden Jahre auf den Pisten! Es macht sehr viel Spass, mit seinem eigenen Werkstück zu fahren und daher sehe ich mein generelles Ziel dieses Kurses als erfüllt an. Ich bin sehr gespannt, wie lange das Board durchhält und damit, wie nachhaltig es sich zeigt.



Leider habe ich bald gemerkt, dass die Holzfurniere zwar sehr schön aussehen, aber leicht verkratzen. Daher würde ich beim nächsten Board die Furniere in ein durchsichtiges Topsheet aus Plastik einlassen. Einige der Arbeiten kosteten Überwindung, so beispielsweise das Einbohren der Bindungsplatten. Gleichzeitig bekam ich aber auch Vertrauen in meine handwerklichen Fähigkeiten und ein Geschick, mit grossen Maschinen umzugehen. Besonders meine Gruppe an Kursteilnehmern und Assistenten brachten viel Vergnügen in die Arbeit und machen das Erlebte unvergesslich. An dieser Stelle ein grosses Dankeschön an alle, die uns diese Erfahrung ermöglicht haben.

Ski/snowboard Typ	Länge mm	Gewicht kg inkl. Bindung	Breite tip - underfoot - tail mm
All-Mountain/Freestyle	1480	3	279 - 238 - 279

ELIAS STEINER



Als absoluter Fan von handwerklichen Projekten und als lebenslanger, leidenschaftlicher Skifahrer, freute ich mich riesig auf diesen Kurs. Mein Ziel war es, einen Freerideski anzufertigen, da ich bisher noch keinen solchen hatte. Der Ski sollte deshalb nicht allzu steif und eher breit sein sowie vorne und hinten stark gebogene Schaufeln haben. Da ich aber auch bei gutem Schnee zwischendurch auf der Piste fahre, musste der Ski etwas All-Mountain Charakter haben, also gemässigte Tiefschnee-eigenschaften.

Um diesen Hybrid aus Freeride und All-Mountain zu designen, orientierte ich mich zuerst stark an einem ähnlichen, mitgebrachten Ski. Schnell erwiesen sich aber die bereitgestellten Excel-Tabellen der alten Mess- und Erfahrungswerte als wichtigstes Hilfsmittel. Ich entschied mich für einen grossen Radius, breite twin-tip Schaufeln und einen moderaten Camber für guten Auftrieb.

Grobe Schätzungen aus der Laminattheorie halfen mir dabei, eine Vorstellung von der erwarteten Steifigkeit zu bekommen, auch wenn diese extrem empfindlich auf kleine Dickeänderungen reagiert. Zusammen mit den Erfahrungswerten konnte ich so ein mittelsteifes, dreilagiges Basalt-Layup zusammenstellen (UD|+-45|UD). Das CAD war vor allem eine grosse Hilfe, um die Aussenkontur zu designen. Neue Formen konnten dort schnell anschaulich gemacht und ausprobiert werden. Als Design wollte ich schlichte Muster im Holzfurnier und einen durchsichtigen Belag mit hineingeklebtem Holzfurnier, da so die Faserkonstruktion sichtbar wird.

Die Werkstattarbeit war anfangs herausfordernd, da ich nicht wusste, wie alle Komponenten zusammengehören, obwohl die vorgegebenen Arbeitsschritte gut verständlich erklärt waren – der Überblick fehlte. Deshalb war es schwierig abzuschätzen, wo besonders präzise oder zeitsparend gearbeitet werden musste. Einige Teile wurden zum Beispiel in einem späteren Schritt sowieso nochmals bearbeitet, was den ersten Arbeitsschritt daran vereinfacht hätte. Einen vollständigen Prozess zu kennen, bringt grosse Vorteile. Schwierig fand ich das Positionieren der Bindungsplatte, da ich mich bisher noch nie mit der Schuhposition auf dem Ski befasst hatte. Unerwartet viel Zeit brauchten vor allem die kleinen Dinge zwischen den Hauptschritten, speziell kurz vor dem Laminieren: Fasern zuschneiden, Bindungsplatten einkleben, anpassen der Kerne und nicht zuletzt das Design und das doppelte anfertigen aller Teile für die Ski!

Meinen Ski konnte ich bisher zweimal in unterschiedlichen Bedingungen austesten. Im Tiefschnee, liess er sich dank gutem Auftrieb hervorragend kontrollieren. Kurven lassen sich einfach einleiten und die etwas kürzeren Ski sind drehfreudig. Aufgrund der dicken und breiten Konstruktion ist das Gewicht leider etwas hoch ausgefallen, was beim Fahren gewöhnungsbedürftig ist. Auf der Piste ist der Ski erstaunlich stabil, auch bei höheren Geschwindigkeiten. Vermutlich liegt das an der Steifigkeit, die deutlich grösser als geplant wurde. Carven ist auf gemässigten Pisten gut möglich, braucht allerdings etwas mehr Aufmerksamkeit und wird bei steilen Pisten nahezu unmöglich, da der Radius zu gross und der Ski zu steif ist. Ich denke, mein Ziel, einen Freerideski zu machen, habe ich definitiv erreicht, weil er sich abseits der Pisten gut fahren lässt und Spass macht. Die erstaunliche Performance auf der Piste sehe ich ebenfalls als Erfolg, da ich einen, eher All-Mountain ausgerichteten Ski wollte. Zu erwarten, dass mein Ski auch noch optimal für steile Pisten ist, wäre nicht wirklich realistisch, da sich einige Kriterien wie Radius und Auftrieb gegenseitig ausschliessen. Einzig das Layup dürfte weniger steif sein, dann wäre eventuell das Carven etwas einfacher. Die Abweichung kommt vermutlich von den ungenauen Simulationen von Basaltfasern, was mit den Ergebnissen der letzten Jahre in den Excel-Tabellen übereinstimmt.



Mit dem funktionellen Design bin ich soweit sehr zufrieden. Ändern würde ich allenfalls die Dicke des Layups, weil der Ski dadurch leichter und weniger steif würde. Auch würde ich früher mit dem Design beginnen, da gegen Ende, kurz vor dem Laminieren, kaum Zeit dafür bleibt. Ich würde mich zusätzlich mehr auf die Oberseite anstatt auf den Belag fokussieren, da diese schicht besser sichtbar und lohnender ist. Die lehrreichste Erfahrung für mich war die Wichtigkeit von Erfahrung(swerten). Auch aufwendigere Simulationen könnten wohl kaum praktische Versuche ersetzen.

Ski/snowboard Typ	Länge mm	Gewicht kg inkl. Bindung	Breite tip - underfoot - tail mm
Freeride/All-Mountain	1720	1.5 (pro Ski)	132 - 104 - 122

NICOLAS KRIENBÜHL



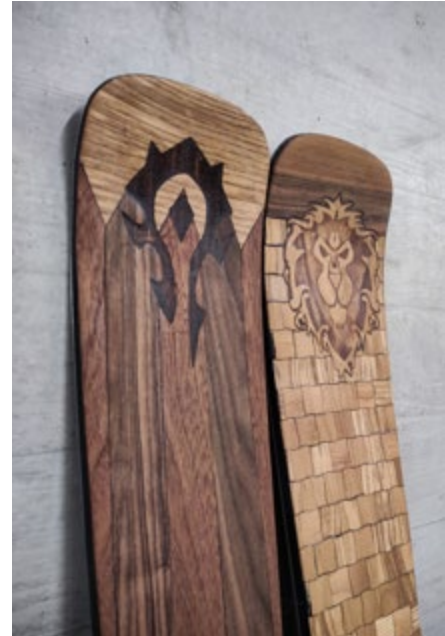
Als Kind ging ich oft auf die Piste mit meiner Familie. Ich bekam immer die Ski meines Bruders, daher hatte ich nie die Möglichkeit, mir Gedanken zu machen, welche Ski zu mir passen und welcher Parameter was für einen Einfluss hat. Zu Beginn meines Studiums hinterfragte ich einfache mechanische Funktionen, wie sie funktionieren. Als ich die Information bekam, dass man eigene Ski im Studium herstellen kann, war ich sofort begeistert und machte mir Gedanken, auf was man alles achten muss.

Als erstes musste ich mir Gedanken machen, welcher Skityp zu mir am besten passen würde. Für mich war klar, dass ich ein sehr schneller Fahrer bin. Also entschied ich mich für etwas in Richtung Racing. Aber aus Angst, dass ein Racing Ski doch nicht zu meinem Fahrstil passen würde, sollte es etwas zwischen Racing und All-Mountain werden. Daher war es ein grosser Vorteil, dass ich die Ski in diesem Projekt so gestalten konnte, damit sie ideal zu mir passen.

Der nächste Schritt war herauszufinden, welche Parameter mein Wunschski braucht. Durch das Studieren der Database des Skiworkshops und verschiedenen Webseiten wurde mir klar, auf welche Kriterien ich achten musste. Am liebsten wäre ich zum Auskundschaften in Skiläden gegangen, doch wegen der Corona-Situation war das leider keine so gute Idee. Mit meiner Körpergrösse und meinem Gewicht kam ich darauf, dass der Ski etwa 170cm lang sein sollte. Der Radius sollte für einen Racing Ski eher klein sein. Damit bei hoher Geschwindigkeit die Ski nicht zu sehr vibrieren, sollten die Ski eher steif sein. Bei der Steifigkeit verliess ich mich ganz auf die Database, da ich keine Idee hatte wie steif so ein Ski wirklich ist. Ich wollte dann in einem Spektrum von 3.9-4.4 N/mm bleiben.

Dann ging es los, mit dem Programm NX den Ski erst einmal zu entwerfen. Dabei wollte ich die gewünschten Eigenschaften erhalten. Natürlich spielte das Design auch eine wichtige Rolle. Es war ehrlich gesagt ein sehr spielerischer Vorgang. Vieles wurde ausprobiert bis ich zum Endresultat kam. Dann kam der Laminataufbau - dieser entscheidet viel über das Gewicht des Skis und die Steifigkeit. Das Gewicht des Skis war sehr weit unten auf meiner Prioritätenliste, deswegen achtete ich wenig darauf. Aus der Database wurde mir klar, dass die meisten Ski um einiges steifer wurden als berechnet, also versuchte ich, eher im weicheren Bereich von meinem Intervall zu bleiben.

Vieles bei der Fertigung war mir neu, aber nicht alles, denn ich durfte schon Erfahrungen mit dem Laminieren machen. Die Kanten passend zur Skibase zu biegen war der anstrengendste Teil, da das Metall sich oft nicht entlang des Skis bog. Beim Geradebiegen war die zuvor passende Biegung wieder weg und es ging wieder von vorne los. Durch meinen Tailprotector konnte ich die Hinterseite trotzdem eckig machen, denn beim Kantenbiegen sind vor allem kleinere Radien das Problem.



Beim Design entschloss ich mich, dass nicht beide Ski gleich aussehen müssen. Da wollte ich, dass die Ski sich gegenüberstehen wie Ying und Yang, aber mit einem Thema, mit dem ich verbunden bin. Mir war schnell klar, dass das perfekt mit der Horde und der Allianz des Spiels WoW gehen würde. Ich nahm die einzelne Symbolik und spiegelte sie passend zu der Fraktion. So entstand mein ganz eigenes und spezielles Skidesign.



Am Ende wurde mein Ski der weichste Ski des Jahrgangs. Ich denke es liegt daran, dass meine Ski speziell schmal in der Mitte und aussen doch eher wieder breit sind. Meine Ski sind auch die einzigen die weicher wurden als berechnet. Daher gehe ich davon aus, dass das berechnete Modell falsch war. Leider konnte ich meine Ski noch nicht testen. Aber ich konnte schon genug bei der Fertigung und beim Planen lernen. Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich unterstützt haben und speziell denen, die trotz der schwierigen Situation diesen Kurs ermöglicht haben. Es war eine unglaublich vielseitige Erfahrung mit einem Produkt, dass mich durch den Schnee noch lange begleiten wird.

LUDWIG LUZ



Ich bin gerne handwerklich tätig, was mir während meinem bisherigen Studium etwas fehlte. Deshalb war ich sofort begeistert von der Idee, meinen eigenen Ski im Rahmen eines Kurses an der ETH zu bauen. Schon von klein auf war ich im Winter fast jedes Wochenende auf der Skipiste und nahm während der Schulzeit auch an einigen Rennen teil. Was ich schon immer machen wollte, waren Skitouren, um mich ausserhalb der präparierten Pisten zu bewegen und meine Kondition beim Aufwärtsgen zu trainieren. So war für mich von Anfang an klar, dass ich während dieses Kurses einen Tourenski bauen möchte, der aus möglichst nachhaltigen Materialien gefertigt ist.

Um das zu erreichen, war der erste Schritt des Bauprozesses das Festlegen der Dimensionen und das Bestimmen des Faser-Layups. Bei den Dimensionen recherchierte ich die Masse kommerziell erhältlicher Skis und hielt mich an diese. Ich legte den Ski in Camber-Bauweise aus mit recht früh ansetzender Tip - für gute Tiefschneefahreigenschaften. Mein «Layup» hatte eine berechnete Steifigkeit von 2.8 N/mm und bestand aus einer Schicht Basalt-Triax zwischen jeweils einer Lage Basalt-UD. Da dieser Ski hauptsächlich für den Einsatz neben der Piste gedacht ist (und im vorwiegend weichen Schnee nicht sehr steif sein sollte), war ich mit diesem Wert zufrieden und konnte ihn zur zusätzlichen Absicherung mit Werten von Ski aus vorherigen Kursen vergleichen. Ich modellierte auch andere Faser-Layups, aber diese waren entweder zu oder zu wenig steif und benötigten mehr Materialeinsatz, was das Gewicht wiederum erhöht hätte. Ein weiterer Faktor, welcher mich bei der Wahl dieses Layups bestärkte, war die Nachhaltigkeit. Ich entschied mich aus diesem Grund bewusst gegen Carbonfasern. Als Kern des Skis wählte ich Paulowniaholz, um das Gewicht gering zu halten.

Der schwierigste Schritt beim praktischen Teil des Kurses war für mich das Biegen der Kanten. Ich rutschte mit der Zange oft ab, was zu Dellen in der Kante führte. Mit der Zeit realisierte ich, dass auch eine grössere Zange zu Verfügung stand, mit der es viel einfacher ging.

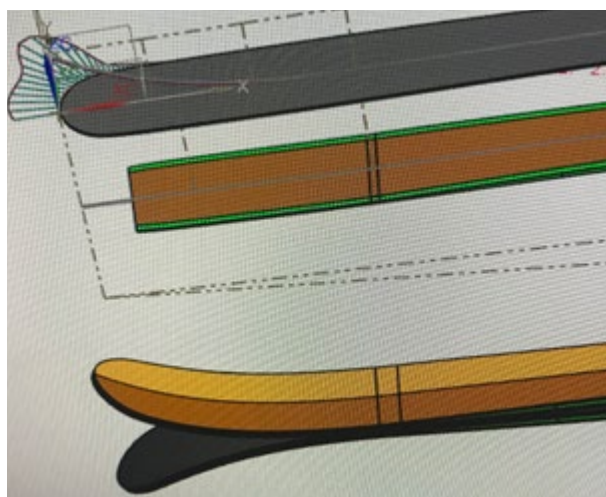
Beim anschliessenden «Backen» des Skis in der Autoklave vergrösserte sich der Druck im Vakuumsack stetig. Das bedeutete, dass ein Leck im Vakuumsack vorhanden war und der gesamte Ski nicht optimal zusammengepresst wurde.

Ich war anfangs etwas enttäuscht darüber, da ich dachte, dies würde dem Ski schaden. Glücklicherweise waren nach dem «Backen» keine funktionell beeinflussenden Schäden ersichtlich.

Einzig das Topsheet war nicht genau an der Kante gebrochen, was vielleicht durch den geringeren Druck bedingt war. Im Nachhinein würde ich sicherstellen, dass der Vakuumsack wirklich dicht ist und der Druck auch ohne aktives Absaugen der Luft stetig bleibt. Ein weiterer Fehler war das nicht exakte Positionieren des Topsheets. Das führte dazu, dass das Holzfurnier an der Spitze des Skis nicht den kompletten Ski abdeckte, sondern ein kleiner «Fleck» schwarz blieb. Deshalb ist es wichtig, das Topsheet genau zu positionieren und sich als Hilfe vor dem Laminieren genaue Anhaltspunkte zu markieren.



Mit dem Endergebnis des Skis bin ich rein optisch sehr zufrieden! Auch die Dimensionen sind gut gewählt und die Steifigkeitswerte stimmen ungefähr mit dem überein, was ich zuvor berechnete. Der Ski fühlt sich sehr hochwertig an. Einzig das Gewicht könnte etwas niedriger sein. Bezüglich den Fahreigenschaften kann ich leider nichts sagen, da ich aufgrund der aktuellen Situation noch keine Möglichkeit hatte, den Ski auf der Piste zu testen. Ich habe eine leichte Tourenbindung montiert und bin sehr gespannt, wie sich der Ski fährt.



Wenn ich noch einmal die Möglichkeit hätte, einen Ski zu bauen, würde ich eine Rocker-Bauweise realisieren. Das heisst, den Ski negativ vorspannen, um bessere Fahreigenschaften im Tiefschnee zu erreichen. Von dieser Bauweise erwartet man sich vor allem, dass der Ski sehr einfach eindreht und dadurch sehr wendig wird. Ausserdem zeigt die Spitze des Skis so noch mehr nach oben – aus dem Tiefschnee heraus. Ich würde auch versuchen, das Gewicht zu verringern. Entweder mit einem anderen Faser-Layup oder einer kürzeren und schmaleren Bauweise des Skis. Beim Herstellungsprozess würde ich sicherstellen, dass der Vakuumsack dicht ist und noch mehr Zeit in die Form der «Laminierunterlage» stecken,

um schöne Übergänge zwischen Tip/Tail und der Camber/Rocker des Skis zu erreichen. Abschliessend möchte ich sagen, dass der Skibaukurs sehr viel Spass gemacht hat und eine wirklich tolle Erfahrung war, die noch über das Studium hinaus bestehen bleibt.

Ski/snowboard Typ	Länge mm	Gewicht kg inkl. Bindung	Breite tip - underfoot - tail mm
Touring Ski	1800	1.7	124 - 90 - 113

JONAS DÜRIG



In der letzten Skisaison ist der Kern von meinem Snowboard gebrochen und somit bot sich der Skiworkshop gerade rechtzeitig an, um ein Snowboard zu bauen. Folglich war es für mich nicht schwer herauszufinden, was für ein Snowboard ich bauen möchte. Das Ziel war, ein weiches, langes Powder-Brett zu kreieren. Ein Set-Back sollte dafür sorgen, dass die Fahrt im Tiefschnee maximalen Spass bei minimalem Aufwand bedeutet.

Das Design wollte ich jedoch komplett selbst gestalten. Für mich war von Anfang an klar, dass ich mein Brett mit Holz designen möchte. Das Ziel der Gestaltung war es, den Unterschied zwischen selbstgemachten und kommerziellen Snowboards sichtbar zu machen.

Um die gewünschte Form und Masse für das Brett perfekt abzustimmen, nutzte ich das CAD-Template. Das vorgefertigte Template machte es mir einfach, eine Form zu kreieren, welche meinen Wünschen entsprach. Da mehrmals im Kurs betont wurde, wie komplex Ski und Snowboards sind, habe ich mich weniger auf die Berechnungen von Hand gestützt, sondern vielmehr die zur Verfügung gestellten Matlab- und Mathematica-Programme genutzt. Die Steifigkeit des Bretts liess sich in Form einer Federkonstanten mithilfe eines vorgeschriebenen Programmes einfach berechnen. Nur einige Materialdaten und Masse wurden dafür eingegeben. Für mich war es schwierig abzuschätzen, was dieser erhaltene Wert der Federkonstante bedeutete, da ich nicht wusste, wie steif mein altes Brett war beziehungsweise welche Federkonstante es hatte. Mit der Erfahrung der Assistenten liess sich dieser Wert dann einordnen und die Materialwahl gegebenenfalls noch überdenken.

Für mich gibt es keinen Prozesspunkt, bei dem ich sagen muss, dass dieser schwierig war. Es ist jeder Schritt wichtig und verlangt immer volle Konzentration. So habe ich bei einem scheinbar unwichtigen Prozesspunkt einen Fehler gemacht. Ich habe die Löcher für die Muttern der Bindung in die falsche Seite des Kerns gebohrt. Dieser Fehler führt nun dazu, dass mein Kern immer unter einer grösseren, unerwünschten Spannung steht. Jeder kleine Fehler führt zu einem Qualitätsverlust im Endprodukt.

Die Kanten sauber zu biegen und zu befestigen war sehr zeitintensiv und wichtig. Zudem habe ich viel Zeit für das Design verwendet.

Ich muss leider sagen, dass mein Snowboard viel zu steif geworden ist. Mein Ziel war es, ein Snowboard mit viel Flex zu bauen. Mein Bruder hat es gut beschrieben: «Es fährt sich wie als hätte man einen Baumstamm unter den Füßen». Obwohl ich das Ziel von einem weichen Snowboard verfehlt habe, macht es trotzdem Spass, das Snowboard zu fahren. Dadurch, dass es so steif ist, wird die Kraft von meinen Füßen direkt auf das Brett übertragen. Dies hat zur Folge, dass ein extrem schneller Kantenwechsel möglich und das Brett dadurch erstaunlich wendig ist. Das Verhalten des Snowboards bei hohen Geschwindigkeiten ist ausgezeichnet, da es sich extrem ruhig fährt und nicht flattert.

Mit meinem Design bin ich sehr zufrieden. Der einzige Störfaktor ist der Dämpfer. Dieser ist beim Laminieren versehentlich zwischen die Base und das designte Holzfurnier gerutscht. Dies wäre leicht zu verhindern gewesen, indem man die Dämpfer im Vorfeld mit Sekundenkleber befestigt hätte.

Zu meinem Snowboard generell muss ich sagen, dass ich mein Ziel weit verfehlt habe. Ich hatte mir erhofft, dass es doch näher an mein gewünschtes Snowboard herankommt. Ich denke das Faser-Layup war einfach zu steif gewählt. Hinzu kommt noch, dass der Kern nicht genau auf die gewünschte Höhe profiliert wurde, sodass der Kern dicker war als ich in meinen Rechnungen angegeben habe. In meinem Design habe ich zwei dicke Furniere eingebaut, was dazu führte, dass mein Brett noch steifer wurde.



Die wichtigste Lektion, die ich gelernt habe, ist, dass die Arbeit in der Werkstatt immer volle Konzentration benötigt. Ein Fehler und die Qualität des Bretts leidet darunter. Es ist aber auch wichtig im Hinterkopf zu behalten, dass ich kein professioneller Snowboardhersteller bin. Wenn ich den Kurs noch einmal besuchen könnte, würde ich mich vielmehr auf die Erfahrungsberichte beziehen. Die Berichte von den letztjährigen Snowboards zeigten auch auf, dass die Steifigkeit in Realität eher höher ausfällt als gewünscht. Ich würde zudem auch noch mehr recherchieren, wie professionelle Snowboards hergestellt werden. Welche Fasern dort verwendet werden und welche Unterschiede es in der Herstellung eines professionellen und des selbstgebauten Snowboards gibt.

Ski/snowboard Typ	Länge mm	Gewicht kg inkl. Bindung	Breite tip - underfoot - tail mm
Powder-Snowboard	1620	3.2	390 - 266 - 298

MARIA PAPADOGIANNI



Als internationale Studentin habe ich mich unter anderem auf das Skifahren gefreut, als ich in die Schweiz gezogen bin. Demnach war der Bau eigener Ski eine grossartige Gelegenheit, mein Studienfach mit einem meiner Hobbys zu verbinden. Ich würde nicht nur wichtige mechanische Verfahren, wie das Laminieren, lernen, sondern sie auch auf ein Produkt anwenden können, das mir besonders am Herzen liegt. Ich war gespannt herauszufinden, wie viele verschiedene Arten von Ski es gibt und wie jedes kleine Designdetail das Fahren, die Leistung und das Gefühl meiner Ausrüstung beeinflussen kann.

Der erste Schritt des Kurses bestand darin, unsere Ski auf CAD zu entwerfen und die gewünschte Biege- und Torsionssteifigkeit mit Mathematica zu berechnen. Bei der Wahl der Lamine für die Sandwichstruktur habe ich mich auf die Steifigkeitsparameter der verschiedenen Materialien und deren Nachhaltigkeit konzentriert. Nach mehreren MATLAB-Berechnungen entschied ich mich für einen Bcomp-Kern mit Basaltfasern, die eine nachhaltigere und kostengünstigere Alternative zu Glas- und Kohlenstofffasern darstellen, den am häufigsten verwendeten Verbundwerkstoffen für massenproduzierte Ski. Ich strebte eine Federsteifigkeit zwischen 3 und 5 [N/mm] an, die für All-Mountain Ski geeignet ist. Ich habe mich entschlossen, die Untergrenze einzuhalten, um nach dem Produktionsprozess eine realisierbare Steifigkeit zu gewährleisten.

Die erste und zeitaufwendigste Aufgabe des Bauprozesses bestand darin, die Kanten so zu biegen, dass sie richtig mit dem Basisblatt ausgerichtet sind. Leichter gesagt als getan. Es dauerte lange, den metallischen Umriss mit der speziellen Zange zu biegen. Ein weiterer schwieriger Teil für mich war, den Kern mit den Seitenwangen zu befestigen und auf das gewünschte Profil und Dicke zu schleifen. Das weiche Bcomp-Material brach beim Schleifen immer wieder an ungewünschten Stellen ein und die härteren Seitenwangen rutschten während des Klebevorgangs aufgrund der Schubspannung der Klemme ab. Ein weiterer zeitaufwendiger, aber interessanter Teil war, mit dem Lasercutter an den Visuals zu arbeiten und die verschiedenen Holzschichten für das gewünschte Ergebnis zu kombinieren. Ausserdem war der längste und wichtigste Prozess natürlich das Laminieren, bei dem wir die verschiedenen Teile mit Epoxidharz zusammenbauen und kleben sowie alles mit dem Autoklaven versiegeln mussten. Dieser Prozess war für mich eine ganz neue Erfahrung und mit Sicherheit sehr wichtig für mein Studium in Maschinenbau.

Ich bin sehr zufrieden mit den Ergebnissen. Die Form meiner Ski ist genau wie geplant und ich mag es wirklich, wie die obere Holzschicht aussieht. Ich entschied mich für ein Design aus Bergen und Skiliften auf dem einen Ski und einer Welle am Strand mit einem Kite auf dem anderen, um meine beiden Lieblingshobbys darzustellen. Das Holz auf der Oberseite verleiht den Ski ein einzigartiges Aussehen und fällt ins Auge. Der Ski fiel etwas schwerer aus als erwartet und laut des Drei-Punkt-Biegeversuchs ist die Steifigkeit höher als der berechnete Ausgangswert. Zu den Fahreigenschaften kann ich leider nicht viel sagen, da wir dieses Jahr auf den Skitag verzichten sollten und folglich muss das Fahrverhalten noch auf der Piste getestet werden.



Nachdem wir die frisch gebackenen Ski aus dem Vakuumsack ausgepackt hatten, sind einige Schwachstellen aufgetaucht. Die obere Holzschicht hatte sich etwas versetzt und ein Bündel Fasern klebte an der Unterseite des Skis, das beim Erstschliff im Skiservice behandelt wurde. Nachdem das Deckblatt geschliffen wurde, um das verbleibende Epoxidharz darauf zu entfernen, waren einige Stellen auf dem Holzblech leider zu dünn, was zu Schattierungen führte, durch die die dunkleren Töne der Lamine ersichtlich wurden. Es sieht nicht so schlecht aus, aber es hätte vermieden werden können. Davon abgesehen sehen die Ski sehr elegant aus und sogar die höhere Steifigkeit liegt unter der Grenze für die All-Mountain/Piste Ski, was wir schon erwartet haben, da unsere Anfangsberechnungen den Einfluss der Kanten nicht miteinbeziehen.



Dieser Kurs war meine erste Erfahrung, ein echtes Produkt herzustellen und zu lernen, woraus der ganze Prozess besteht. Es war sehr interessant herauszufinden, wie sich jede Entscheidung aus dem Design und der Materialauswahl auf die Produktleistung auswirkt und wie wir unser angesammeltes theoretisches Wissen praktisch anwenden können. Wenn ich die Möglichkeit hätte, noch ein Brett herzustellen, würde ich mit verschiedenen Verbundwerkstoffen und Kernen experimentieren, um deren Wirkung auf das Endresultat zu sehen und miteinander vergleichen zu können. Es wäre noch sehr interessant, meine neuen Fähigkeiten auf andere Arten von Brettern, wie Snowboards oder sogar ein Kiteboard anzuwenden.

Ski/snowboard Typ	Länge mm	Gewicht kg inkl. Bindung	Breite tip - underfoot - tail mm
Ski	1550	2.497	120 - 75 -105

DOMINIC BÜTTIKER



Schon immer faszinierten mich Projekte, die von der ersten Idee bis zum fertigen Produkt selbst gestaltet werden können und die Theorie in die Praxis umsetzen.

Als passionierter Skifahrer und Person, die sehr gerne Ideen selbst handwerklich umsetzt, habe ich mich mit viel Motivation für den Ski Building Workshop beworben.

Häufig bin ich im Pulverschnee neben der Piste und auf Skitouren unterwegs. Darum habe ich mich entschieden, einen Tourenski zu bauen. Mein Ziel war es, dementsprechend natürlich einen möglichst leichten Ski zu bauen. Der Ski sollte aber genügend steif sein, auch bei hohen Geschwindigkeiten auf hartem Untergrund ruhig fahren, sowie direkt und drehfreudig in den Kurven und genügend breit für den Auftrieb im Pulverschnee sein.

Zu Beginn haben wir die Geometrie des Skis mittels CAD-Template gezeichnet. Für den guten Auftrieb im Tiefschnee, sowie geringes Gewicht, habe ich eine mittlere Breite gewählt und einen langen Rocker designt. Damit der Ski auch auf hartem Untergrund und hohen Geschwindigkeiten trotz des langen Rockers nicht vibriert, habe ich den Radius weit über den Kontaktpunkt hinausgezogen, um so einen längeren Kanteneingriff zu ermöglichen. Dazu musste das CAD-Template angepasst werden. Um Gewicht zu sparen, wählte ich einen Balsaholzkern. Trotzdem eine gute Dämpfung zu erreichen, bedingte, im Faserlayout nicht zu viel Carbon zu verbauen. Beim Errechnen der Steifigkeit lernte ich, wie kleinste Änderungen in der Kerndicke grosse Unterschiede ausmachen. Somit entschied ich mich für das Faserlayout mit Basalt-Triax Fasern und einem unidirektionalen Carbon-Band.

Beim Bau des Skis war ich gut im Zeitplan, da ich mit meiner handwerklichen Erfahrung den Aufwand gut abschätzen konnte. Trotzdem darf der Aufwand nicht unterschätzt werden, denn vor allem beim Bauen von Skis muss alles doppelt angefertigt werden. Viel Zeit verschwendete ich anfänglich beim Lasercutten. Meine Erkenntnis: Falls das Design auf einem Vektorgrafikprogramm gezeichnet wurde, müssen alle ausgeblendeten Linien vor dem Cutten gelöscht werden. Sonst ist der Lasercutter extrem langsam.

Beim Schleifen des Deckblattes sollte sehr viel acht gegeben werden. Denn mir ist es passiert, dass ich an einer Stelle bis auf das Laminat geschliffen habe, obwohl ich aufpasste.

Mit meinem Ski bin ich sehr zufrieden. Die Steifigkeit entspricht ziemlich genau dem, was ich errechnet habe und er fährt sich super. Durch sein sehr geringes Gewicht und Steife ist er sehr direkt und drehfreudig. Meine Überlegung, den Radius weit über den Kontaktpunkt zu verlängern, hat sich gelohnt. Damit fährt der Ski ruhig sowie spurtreu und eignet sich auch zum Carven bei hohen Geschwindigkeiten. Als einziger Nachteil stellte sich heraus, dass die Kante auf eisigem Untergrund nicht gleich gut hält wie beim gekauften vergleichbaren Ski. Auch im Neuschnee fährt der Ski sehr gut. In Kombination mit der superleichten Tourenbindung macht der Aufstieg und damit die Skitour umso mehr Spass.

Mein Ziel, einen Tourenski zu bauen, der bei Tiefschnee, aber auch auf der Piste bei verschiedensten Bedingungen gut fährt, habe ich zu meinem eigenen Erstaunen erreicht. Obwohl ich bei der Steifigkeitsberechnung mit einer ganzen Lage Carbon rechnete, aber nur ein Carbon-Band verbaute, ist die Steifigkeit nur 7% geringer. Ich vermute, das liegt daran, dass der Kern 0.5 mm dicker geschliffen wurde und die Seitenwange aus Holz steifer ist als der Kern. Der schlechtere Kantengriff auf Eis kommt wahrscheinlich davon, dass wegen des langen Kantenkontakts der Kraftfluss direkt unter der Bindung auf den Untergrund zu gering ist. Eine Lösungsidee dazu wäre, eine Taillierung mit unterschiedlichen Radien zu designen: vorne und hinten am Ski einen kleineren Radius als direkt unter der Bindung.



Der Ski Building Workshop hat mir sehr viel Spass gemacht und ich fand es sehr spannend, die Theorie handwerklich in die Praxis umzusetzen. Ich erkannte, dass Erfahrungswerte im Skibau viel wichtiger sind als Berechnungen. Rückblickend würde ich beim Faserlayout noch mehr auf Nachhaltigkeit achten und auf der Unterseite nicht ein Band im Laminat verbauen, da dieses bei mir zu einem leicht konvexen Belag führte. Hauptsächlich würde ich für die Skigeometrie mehr Zeit investieren, denn diese kann im Gegensatz zum Faserlayout im Bauprozess nicht mehr angepasst werden. Insbesondere würde ich das CAD-Template anpassen, um Kantengeometrien mit unterschiedlichen Radien zu ermöglichen. Das visuelle Design gefällt mir sehr. Die mühsamen Stunden am Lasercutter haben sich also gelohnt.

Ski/snowboard Typ	Länge mm	Gewicht kg inkl. Bindung	Breite tip - underfoot - tail mm
Touring Ski	1820	1.784	134 - 93 -121

MICHAEL ZANETTI



Für mich gibt es keine bessere Möglichkeit, die gelernte Theorie zu festigen, als sie einmal praktisch anzuwenden. Die Möglichkeit, das Wissen von CAD und fertigungstechnischen Fächern aus den ersten zwei Studienjahren mit dem Ski Building Workshop zu verbinden motiviert einen, Bestleistungen zu erzielen.

Abgesehen von der Verbindung mit dem Studium, bin ich seit meinen ersten Gehversuchen ein leidenschaftlicher Skifahrer, der sich die einmalige Chance nicht entgehen liess, einen eigenen Ski zu bauen. Die Grundidee war es, einen Slalom Ski zu fertigen, der bei höherer Geschwindigkeit eine ausgeprägte Fahrruhe hat und somit möglichst steif ist. Den Radius wollte ich ein wenig grösser als bei den handelsüblichen Slalom Ski gestalten.

Als ambitionierter und langjähriger Skifahrer kannte ich gewisse technische Details eines Skis. Nichtsdestotrotz benötigte es eine gewisse Zeit, sich mit den Begriffen auseinanderzusetzen und ihre Auswirkungen zu verstehen. Die Geometrie an der Schaufel zeichnete ich nicht allzu klassisch und wählte eher eine flache Rundung. Für eine hohe Biege- als auch Torsionssteifigkeit wählte ich den «Plywood Birch» Kern, der zudem auch im Gewicht höher ist und damit beim Geschwindigkeitsaufbau unterstützt. Aufgrund dessen, dass die Seitenwangen und der Kern ähnliche Festigkeitswerte aufweisen, konnte ich mit dem Matlab und Mathematica File das benötigte Faser-Layup ausrechnen. Mit den drei Schichten (B0/Triax/B0) kam ich in den Bereich der erfahrungsgemäss notwendigen Eigenfrequenz.

Am Anfang ging es an das Kantenbiegen. Es ist eine mühsame Arbeit, die aber wichtig für den Ski ist. Da aus designtechnischen Gründen ein Tailprotector für mich nicht in Frage kam, bog ich die Kanten einmal um den Ski. Leider bemerkten wir nach einigen Wochen, dass sich der Belag aus unerklärlichen Gründen verzogen hat. Dies führte dazu, dass ich die Kanten nochmals biegen musste. Beim zweiten Mal fiel mir auf, dass mit ein paar Tricks (siehe Fertigung der Einzelteile) das Kantenbiegen gar nicht so schmerzvoll ist.

Es inspirierte mich, das Sonnensystem auf ein Furnier mit den Jahresringen zu gravieren. Ich unterschätzte, eine Vektordatei selbst so zu zeichnen, dass sie kompatibel zum Laser war und alles funktionierte, wie ich es wollte. Bei der Kontur ist zu beachten, dass keine Linien übereinander liegen.

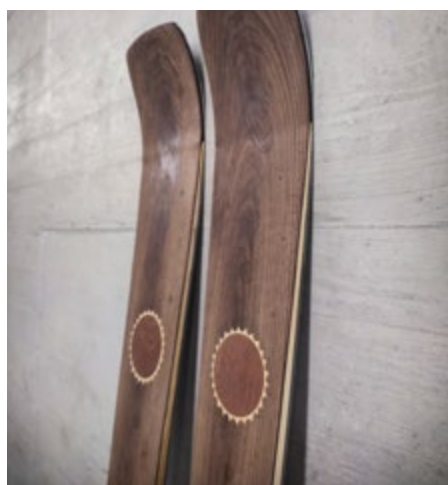
Nach dem Laminieren fühlte man das erste Mal die Steifigkeit des gefertigten Skis. Ich war von Anfang an überzeugt, die gewünschte Biegesteifigkeit erreicht zu haben. Die endgültige Federsteifigkeit ist 15% höher als die berechnete. Diesen leicht erhöhten Wert verbinde ich mit dem Steiner-Anteil der Kanten, die nicht in der Berechnung beinhaltet waren. Auf der Piste bestätigten sich meine Vermutungen, denn der Ski lässt sich sehr gut fahren. In den Kurven greifen die Kanten in den Schnee und bei erhöhter Geschwindigkeit genieße ich eine hohe Laufruhe. Dennoch sind, meiner Meinung nach, die gewählten Höhen (3-9-3) das Maximum für den Hartholzkern. Die Geometrie und die Steifigkeit erfordern einen souveränen Fahrstil, sowie gute Pistenbedingungen. Durch die erhöhte Biegesteifigkeit ist auch die Toleranz für einen optimalen Schaufeldruck kleiner.



Rückblickend auf die ursprünglichen Ziele ist es mir gelungen, einen Ski mit genügend hoher Torsions- und Biegesteifigkeit zu fertigen. Leider erreichte ich beim Design nicht mein Ziel, weil ich das Sonnensystem gut auf der Tip von meinem Ski sehen wollte.



Da sich das Epoxy durch die Gravur und das Furnier presste, sieht man die Gravur nicht mehr gut. Im Nachhinein würde ich es tiefer gravieren. Den Ski habe ich mehrmals mit einem Holz-Butter eingerieben, sodass die Gravur besser zum Vorschein kommt. Dieser Butter weist zudem auch Schmutz ab und der Schnee haftet nicht mehr auf dem Furnier. Im Belag habe ich kleine Abdrücke von dem Kleber, der den Belag beim Lamieren fixierte. Die Druckstellen beeinflussen das Fahrverhalten nicht, aber ich würde den Klebestreifen feiner zuschneiden. Trotz dieser Einzelheiten bin ich sehr stolz auf meinen gut fahrbaren Ski.



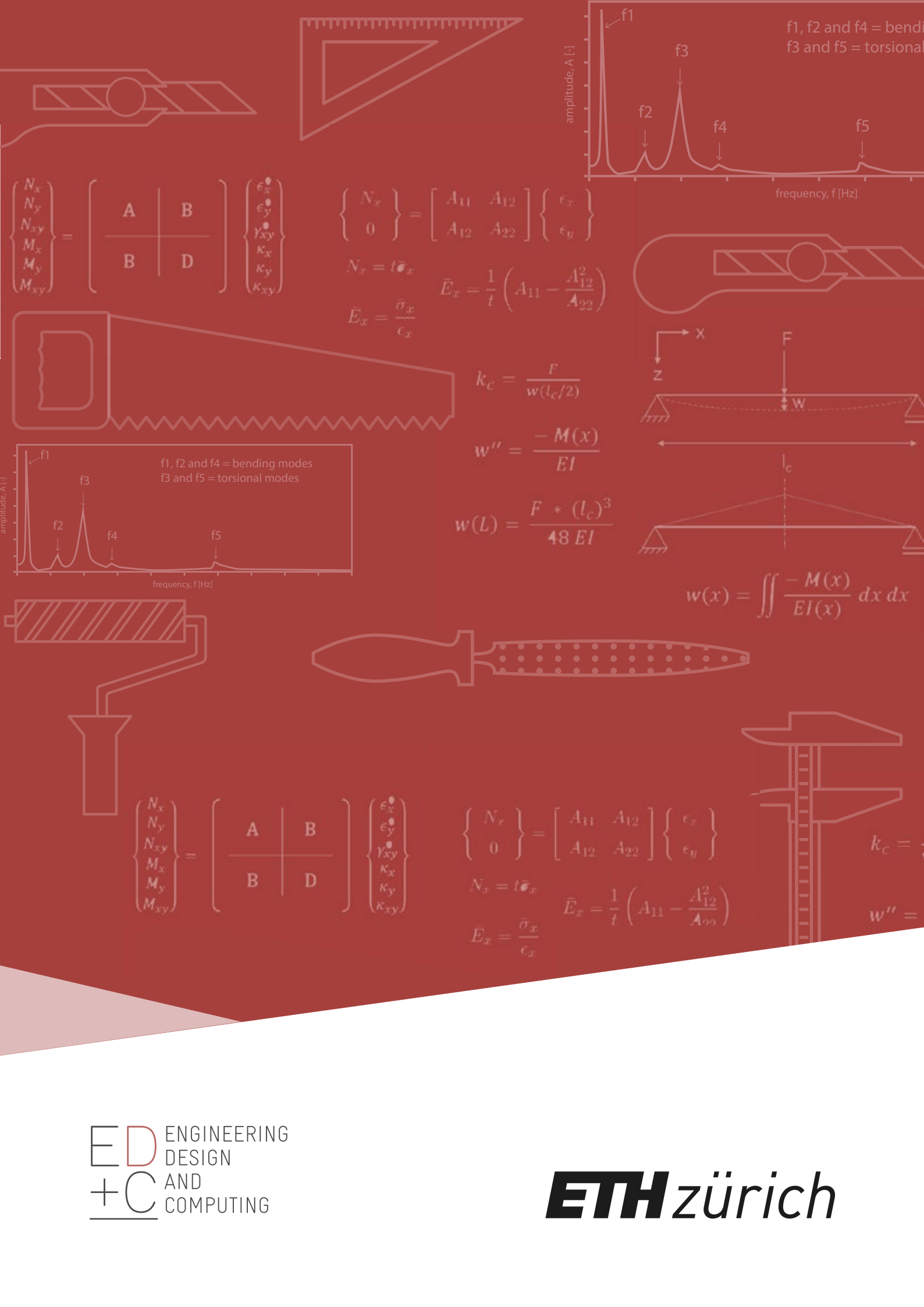
Beim nächsten Mal würde ich mich eventuell intensiver mit den Carbonfasern auseinandersetzen und die Kerndicke etwas geringer wählen.

Aufgrund der aktuellen Situation standen wir alle vor einem ungewissen Semester und konnten die Auswirkungen höherer Gewalt nicht abschätzen. Umso mehr freue ich mich, die Ziele von einem eigenen Ski erreicht zu haben. Dies verbinde ich mit einem grossen Dank an die Organisation und die Assistenten, welche eine enorme Unterstützung während dem ganzen Workshop waren. Liebe Leserinnen und Leser, falls ihr die Möglichkeit für den Skiworkshop habt, nutzt diese, denn es ist eine ausserordentliche Erfahrung.

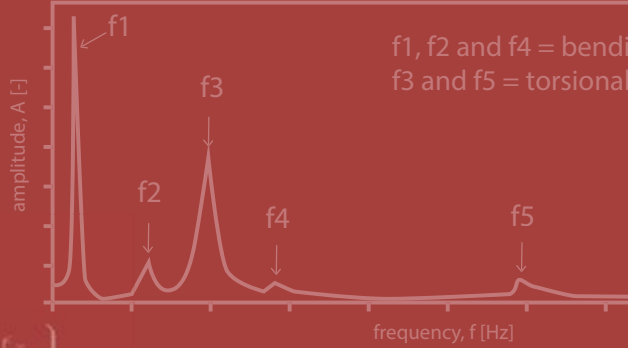
Ski/snowboard Typ	Länge mm	Gewicht kg inkl. Bindung	Breite tip - underfoot - tail mm
Slalom Ski	1650	2.99 kg	120 - 70 - 100







f1, f2 and f4 = bending
f3 and f5 = torsional



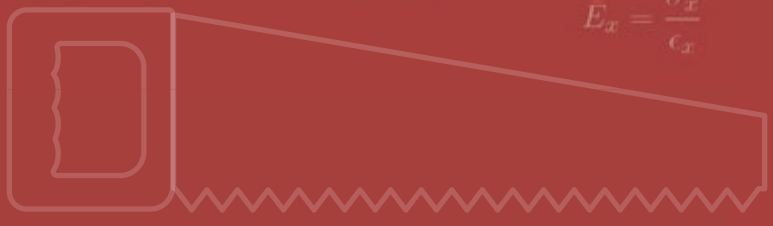
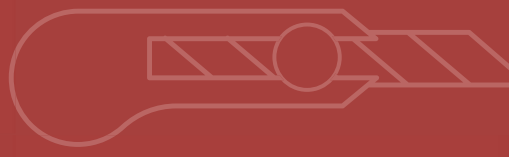
$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ B & D \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{12} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \end{Bmatrix}$$

$$N_x = t \bar{\sigma}_x$$

$$\bar{E}_x = \frac{1}{t} \left(A_{11} - \frac{A_{12}^2}{A_{22}} \right)$$

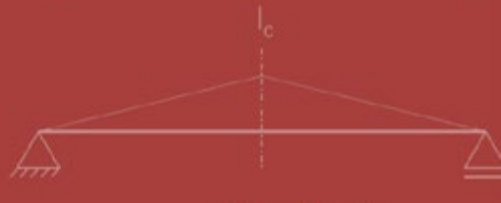
$$\bar{E}_x = \frac{\bar{\sigma}_x}{\epsilon_x}$$



$$k_c = \frac{F}{w(l_c/2)}$$

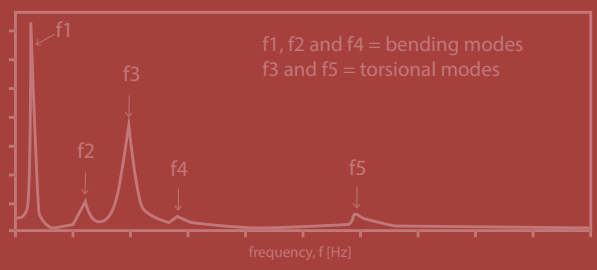


$$w'' = \frac{-M(x)}{EI}$$



$$w(L) = \frac{F * (L_c)^3}{48 EI}$$

$$w(x) = \iint \frac{-M(x)}{EI(x)} dx dx$$



$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ B & D \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \\ \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{12} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \end{Bmatrix}$$

$$N_x = t \bar{\sigma}_x$$

$$\bar{E}_x = \frac{1}{t} \left(A_{11} - \frac{A_{12}^2}{A_{22}} \right)$$

$$\bar{E}_x = \frac{\bar{\sigma}_x}{\epsilon_x}$$

