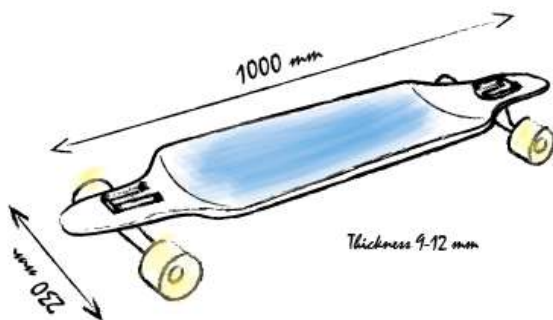


Claes Fredriksson, Granta Design, August 2018

1. Materialauswahl in Design

Um ein exzellentes Produkt zu entwickeln sollte die Materialauswahl möglichst früh im Entwurfsprozess berücksichtigt werden. Normalerweise sind Gewichts- und Kostenreduzierung und meistens auch der ökologische Fussabdruck des Produkts wichtige Aspekte. Die Herausforderung besteht darin, Materialien rational auszuwählen, um die Vorteile zu maximieren. In dieser Fallstudie werden die Materialien für ein Longboard erwogen.



Das Longboard ist eine Art Skateboard, das speziell für Abfahrts- und Slalomrennen konzipiert ist, häufig aber auch für einfachen Transport benutzt wird. Weil es grösser ist als ein normales Skateboard und wegen der grösseren Räder können höhere Geschwindigkeiten erreicht werden. Wegen ihrer grossen Masse und grossem Volumen sind Longboards weniger geeignet für viele skateboarding Tricks dafür erlauben sie fließende Bewegungen und sind aufgrund des höheren Drehimpulses stabiler. Das Brett kann sich längs nach oben oder unten biegen. Es kann sich aber auch in beide Richtungen krümmen: konkav in der Breite und konvex in der Länge.

Longboard Bretter (sogenannte Decks) bestehen normalerweise aus mehreren Lagen Sperrholz, jede Lage etwa 2mm dick. Übliche Materialien sind zum Beispiel Birken-, Ahorn- oder Eichenholz und Bambus. Longboards sind in jeglichen Grössen und Formen im Handel erhältlich. Jede Form hat ihre Vor- und Nachteile, je nach Technik oder persönlichem Stil.

2. Methodik

Die systematische Art und Weise Materialien auszuwählen von Ashby *et. al.* beinhaltet die Bestimmung der Funktion, den Zielen und den technischen Anforderungen des Designs. Als Erstes werden die wichtigsten mechanischen Eigenschaften für Longboarddecks bestimmt. Bruchfestigkeit ist auf jeden

Fall eine der entscheidenden Parameter für ein resistentes Deck. Die Leistung wird jedoch nicht beschränkt durch die Festigkeit sondern, wie in den meisten Sportgeräten (Skis, Tennisschläger, Rennräder etc.), durch Steifigkeit.

Die Masse des Decks trägt zwar zur Stabilität bei, vergrössert aber, wegen grösserer Trägheit, nicht die Höchstgeschwindigkeit bei Abfahrten. Es ist die niedrige Reibung und der geringe Luftwiderstand, die die Geschwindigkeit fördern. Bergauf hingegen erhöht eine höhere Masse die benötigte Arbeit, was wiederum die Geschwindigkeit vermindert. Es ist daher naheliegend, die Masse bei der Materialauswahl zu minimieren. In dieser Fallstudie werden wir uns auf die Steifigkeit / Massenleistung konzentrieren, aber auch die Kosten berücksichtigen. Der Learn Button (Learn > Material Selection > Performance Indices) zeigt die folgenden Optionen an:

Table of performance indices

Click the buttons to view a table of relevant performance indices.

	Mass	Cost	Embodied Energy	CO ₂ Footprint
Stiffness-limited design	kg	\$	H _m	CO ₂
Strength-limited design	kg	\$	H _m	CO ₂

Funktion:

Das Longboard-Deck ist eine gebogene Platte, begrenzt durch Steifigkeit (wir wollen nicht, dass das Deck zu stark gebogen wird). Die freie Designvariable ist die Dicke der Platte. In EduPack (Learn) finden wir:

Stiffness-limited design at minimum mass

FUNCTION AND CONSTRAINTS ¹		MAXIMIZE ²	MINIMIZE ³	
Panel in bending		length, width fixed; thickness free	$E t^3 / \rho$	$\rho / E t^3$

Ziele:

Aus der unter **Learn** verfügbaren Tabelle der Performance Indizes (siehe oben) können wir entnehmen, dass die dritte Wurzel der Biegesteifigkeit $E t^3$, über die Dichte ρ , maximiert werden soll. Biegesteifigkeit ist das Äquivalent in Biegung des Elastizitätsmoduls (Young-modul). Weil $E t^3$ nur in der Ebene 3 Datenbank verfügbar ist, brauchen wir in der Ebene 2 das Elastizitätsmodul als Mass der Steifigkeit. Das Ziel ist also:

Maximieren: $M = E^{1/3} / \rho$ (Steigung der Linie = 3 in E vs ρ)

Anforderungen:

Diese technischen Anforderungen basieren grösstenteils auf schon bestehende Decks. Sie werden über die sogenannte **Limit-Stage** im CES EduPack implementiert,

- **Einsatztemperatur: -20°C to +60°C**
- **Streckgrenze: > 10 MPa**
- **Elastizitätsmodul: > 11 GPa**
- **Beständigkeit in Frisch- und Salzwasser: akzeptabel+ausgezeichnet**

3. Materialauswahl

Die Grundlage für die Materialauswahl sind die rund 100 verfügbaren Materialdatensätze in der Ebene 2 des CES EduPack.

- Klicken Sie oben in der Symbolleiste der Software auf **Chart/Select (Alle Materialien)** und stellen Sie **Elastizitätsmodul vs Dichte** grafisch dar.
 - Erstellen Sie eine Linie mit Steigung = 3
 - Platzieren Sie die Linie, sodass sie das Sperrholz (Plywood) gerade noch berührt
 - Fügen Sie die Einschränkungen via **Limit stage** hinzu
- Die Einschränkung des Elastizitätsmoduls kann auch grafisch mittels einer horizontalen Linie hinzugefügt werden, wie im folgenden Graphen dargestellt:

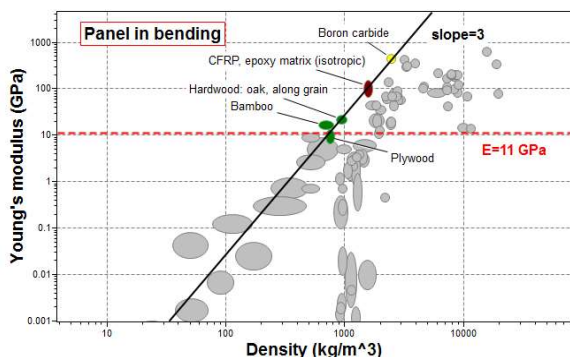
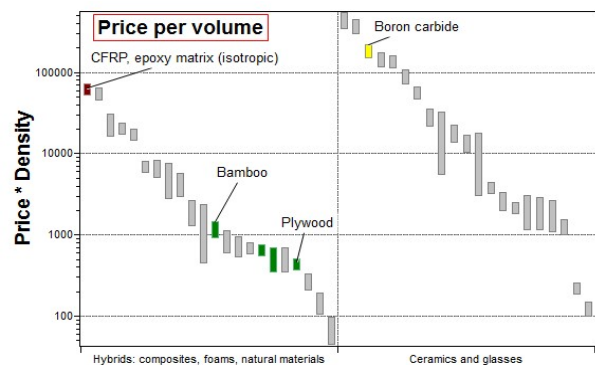


Chart: Mehrere Materialien haben eine bessere Leistungsfähigkeit als Sperrholz (oberhalb der Linie).

Mittels der Linie mit Steigung 3, dem Exponent 1/3 des Performance Indizes entsprechend, sieht man, dass Bambus das am Besten angepasste natürliche Material ist. Wie Eiche übertrifft Bambus sogar Kohlenstofffaser Epoxyverbundstoff (CFRP) (siehe Rank by: *Index value*).



Im Foto unten auf der Seite sind einige gängige Deckarten abgebildet. V.l.n.r.: Ein traditionelles Ahorn Sperrholzdeck mit 5-7 Kreuzlagen ist am unteren Ende der Preisspanne. Als nächstes sieht man ein unidirektionales Bambusdeck und rechts davon ein Leichtgewicht Sandwich Verbundsdeck aus Kohlenstofffaser/Ahorn/Glasfaser Lagen. Ein solches Deck kostet normalerweise mehr als \$100. Unsere Resultate zeigen, dass die billigeren Ahorn und Bambus Longboards auch eine sehr gute Leistung erbringen. Aber was ist mit dem technischen Keramik Borkarbid, welches ja in der Materialauswahl auch sehr hoch gewertet wurde und eine relativ hohe Bruchzähigkeit aufweist? Ein Grund warum Skateboards nicht aus Borkarbid hergestellt werden ist der Preis. Die unten abgebildete Grafik zeigt ein Preisvergleich (Preis per kg * Dichte) der vier ausgewählten Materialien.



Grafik: Borkarbid (und CFRP) erbringen eine sehr gute Leistung, sind aber auch sehr teuer. Holz ist billiger.

Eine Grafik der weiter fortgeschrittenen Performance Indizes für die Kosten (Help Menü) gibt das gleiche Ergebnis. Es kostet zuviel. Andere Gründe für die Nichtbenutzung von Keramik ist der grössere CO2-Fussabdruck und die höhere graue Energie sowie schlechte Wiederverwertbarkeit. Ausserdem ergibt eine Suche für "skateboard" in der Ebene 2 in EduPack das Sperrholz Datenblatt mit einem Bild eines Skateboards als Beispiel.

4. Schlussfolgerung

Man kann die traditionellen Holzmaterialien, speziell Bambus, in der mechanischen Leistung sehr gut mit teureren Verbundwerkstoffen vergleichen. Unter Berücksichtigung zusätzlicher Faktoren wie Kosten, CO2-Fußabdruck oder Recyclingfähigkeit schneiden natürliche Materialien sogar besser ab.

Die Arbeit mit CES EduPack erlaubt eine systematische und rationale Materialauswahl. Es liefert die notwendigen Informationen und Werkzeuge für eine interaktive und visuelle Untersuchung interessanter und realer Konstruktionsprobleme in der Produktentwicklung