

Naturwissenschaftliche
Facharbeit

Das Rückstellverhalten von Snowboards

Verfasser: Tim Wagner

Betreuende Lehrkraft: Andreas Nietsch

Mit freundlicher Unterstützung des
Ulmer Zentrums für Wissenschaftliches Rechnen (UZWR)
Universität Ulm

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
1.1 Ziel der Arbeit.....	3
1.2 Aufbau und Technische Eigenschaften	4
2 Material und Methoden.....	6
2.1 Analytische Rechnungen.....	6
2.2 Finite-Elemente-Simulationen.....	7
2.2.1 Ablauf einer Finite-Elemente-Analyse.....	7
2.2.2 Geometrie eingeben.....	8
2.2.3 Vernetzen.....	9
2.2.4 Material festlegen.....	9
2.2.5 Kräfte und Einspannungen definieren.....	9
2.3 Messungen.....	10
2.3.1 Messung der Biegesteifigkeit.....	10
2.3.2 Messung der Eigenschwingung.....	10
3 Ergebnisse.....	10
3.1 Analytische Rechnungen.....	10
3.2 Finite-Elemente-Simulationen.....	11
3.2.1 Snowboard mit konstanter Dicke.....	11
3.2.2 Snowboard mit veränderlicher Dicke.....	12
3.3 Messungen.....	13
3.3.1 Messung der Biegesteifigkeit.....	13
3.3.2 Messung der Eigenschwingung.....	13
4 Diskussion.....	14
5 Literaturverzeichnis.....	16
6 Erklärung.....	17
7 Anhang.....	18

1 Einleitung

Snowboards gewinnen immer mehr an Bedeutung. Seit mehr als 20 Jahren gibt es sie nun und sie stellen durchaus eine konkurrenzfähige Alternative zu Skiern dar. Mittlerweile sind etwa 23% aller Wintersportler weltweit Snowboarder [1, S.8]. Markt und Kunden bringen die Hersteller dazu die Snowboards laufend zu verbessern. Seit 1998 gibt es auch zwei olympische Disziplinen im Snowboarden, 2006 kam die dritte hinzu [2]. Bei den Olympischen Spielen in Vancouver hat man es erst kürzlich wieder gesehen: rasante Snowboard-Rennen mit hohen Geschwindigkeiten. Der Weltrekord liegt bei 201,9 km/h [3]. Solche Spitzengeschwindigkeiten sind nur möglich weil die Hersteller ihre Produkte mit Hightech weiterentwickeln.

Ein wichtiger Faktor für das Fahrverhalten ist das dynamische Rückstellverhalten. Das dynamische Rückstellverhalten beschreibt die Eigenschaft eines Stoffes nach wirken einer Kraft wieder seine Ursprungsform anzunehmen.

„Ein gutes Board soll auf der einen Seite eine solide Dämpfung bieten, also Schläge abfedern, andererseits darf aber auch die Rückstellkraft, speziell bei dynamischer Fahrweise, nicht zu schwach sein“ [4, S.34].

1.1 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit war es, das dynamische Rückstellverhalten eines Snowboards zu untersuchen. Insbesondere sollte der Einfluss einer nicht konstanten Brettstärke (ein Merkmal das moderne Bretter aufweisen) auf das Rückstellverhalten untersucht werden. Zur Beantwortung dieser Frage musste ein Computerprogramm benutzt werden, da nur so verschiedene Geometrien leicht miteinander verglichen werden konnten.

Für die Untersuchung sollten verschiedene Methoden zum Einsatz kommen. Neben den mathematischen und numerischen Methoden sollten auch experimentelle Methoden Verwendung finden, um die Güte der Rechnungen überprüfen zu können (Validierung).

1.2 Aufbau und Technische Eigenschaften

Ein Snowboard ist ein Brett, ähnlich einem Ski, mit dem das Fahren auf Schnee möglich ist. Anders als beim Skifahren steht man quer auf nur einem Brett, welches auch deutlich breiter ist als ein Ski.

Eine Übersicht über Snowboards und ihren Aufbau liefert das Buch „*Snowboard professional*“ [5, S.14-36]. Die nachfolgenden Informationen sind aus diesem Werk entnommen.

Es gibt verschiedene Arten von Snowboards, die für verschiedene Einsatzgebiete vorgesehen sind. Die wohl bekanntesten sind die:

Freeride-Boards, welche weit verbreitet sind und auch gerne von Einsteigern benutzt werden. Meistens werden dabei sogenannte Softboots verwendet, welche mehr Bewegungskomfort als Skischuhe bieten. Der Schuh wird hierbei mit einem Schnallensystem auf dem Snowboard festgeschnallt.

Race-Boards, welche charakteristisch schmaler geschnitten sind und mit denen höhere Geschwindigkeiten erreicht werden. Hier werden ausschließlich sogenannte Hardboots, ähnlich einem Skischuh, mit einer Plattenbindung verwendet. Der Schuh wird dabei mittels zweier Metallbügel befestigt, wodurch die Kraftübertragung direkter ist und Bewegungen präziser umgesetzt werden.

Freestyle-Boards, welche ausschließlich mit Softboots gefahren werden und für den Einsatz in Funparks optimiert sind.

Generell ist die Form der Snowboards aber ähnlich. An den Enden ist das Brett jeweils leicht nach oben gewölbt (Ausnahme: einige Race-Boards sind hinten nicht nach oben gewölbt) und weist eine abgerundete Form auf. Auch das gesamte Brett ist konvex vorgebogen (Vorspannung), wodurch ein besserer Kantengriff erzielt wird. Die Brettdicke verläuft nicht konstant, so ist das Brett in der Mitte am dicksten und wird zu den Enden hin dünner.

Die Bindung wird in einem Winkel zwischen 0° und 60° zwischen Fuß und Querachse des Brettes montiert, je nach Einsatzgebiet variiert dieser Winkel. Allgemein steht der hintere Fuß in einem etwas kleineren Winkel, als der

vordere. Ein großer Winkel ermöglicht einen angenehmeren Kantenwechsel, ein kleiner Winkel hingegen eignet sich für Tricks und Rückwärtsfahren.

Breite Snowboards bieten mehr Stabilität und mehr Auftrieb im Pulverschnee, auch ermöglichen sie einen geringeren Bindungswinkel, ohne das die Zehen oder Fersen überstehen. Schmale Snowboards hingegen bieten einen schnelleren Kantenwechsel und sind leichter.

Ein Snowboard besteht aus einem Kern, der auf seiner Unter- und Oberseite mit sogenannten Gurten verstärkt wird. Darauf kommt der Oberbelag bzw. auf der Unterseite die Lauffläche. Anschließend wird dies mit einer umlaufenden Stahlkante versehen. Der Oberflächenbelag ist aus ABS-Kunststoff, die Lauffläche besteht aus Polyäthylen und die Gurte bestehen aus Aluminium oder Fieberglas.

Für den Kern werden Holz, Kunststoff, oder eine Wabenkonstruktion aus Aluminium verwendet. Hauptsächlich wird immer noch Holz benutzt. Dabei werden verschiedene Holzarten (hartes und weiches) abwechselnd miteinander verleimt. Ein Holzkern bietet sowohl eine gute Dämpfung als auch ein ausgezeichnetes Rückstellverhalten. Bei einem Kunststoffkern hingegen ist das Rückstellverhalten nicht ganz so gut, das Board nicht so robust und langlebig, dafür aber preiswerter.

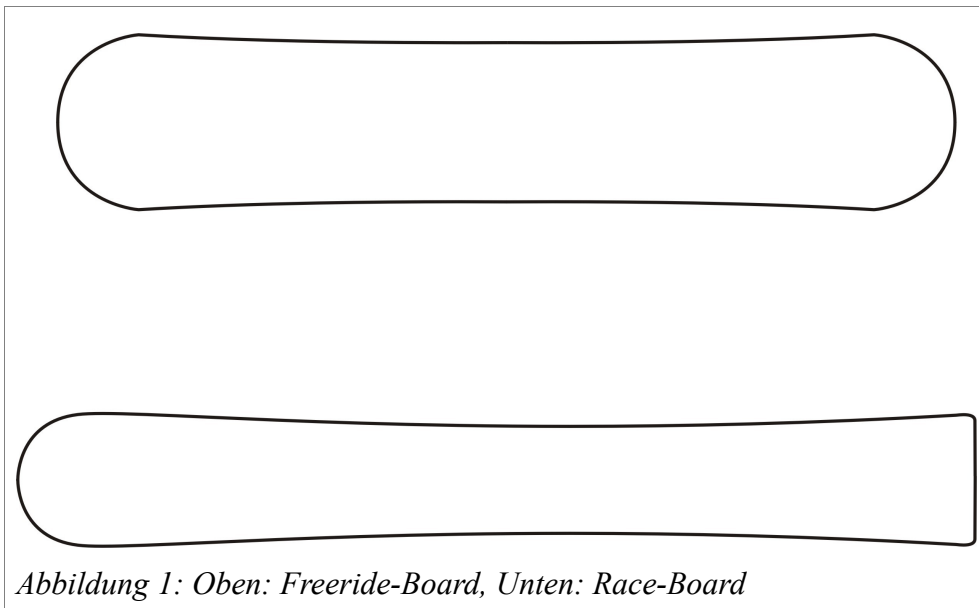


Abbildung 1: Oben: Freeride-Board, Unten: Race-Board

2 Material und Methoden

Für experimentelle Untersuchungen stand nur das eigene Snowboard zur Verfügung, weshalb bei diesen Untersuchungen keine Vergleichswerte ermittelt werden konnten. Eine Simulation am Computer ermöglichte jedoch den Vergleich verschiedener Geometrien.

2.1 Analytische Rechnungen

In der Analytischen Rechnung wurde die erste Eigenfrequenz des Snowboards berechnet, für den Fall, dass das Snowboard an einem Ende eingespannt und an dem anderen Ende frei ist. Als Grundlage für diese Rechnung dient die nachfolgend stehende Formel, die aus „*Technische Mechanik 4*“ übernommen wurde, welche sich aus der dort aufgeführten Differenzialgleichung ergibt [6, S.238-243]. Sie beschreibt die Biege-Eigenkreisfrequenz ω_i eines Balkens mit konstantem Querschnitt A und Länge l .

$$\omega_i = \kappa_i^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A \cdot l^4}}$$

Die Eigenfrequenz ergibt sich dann aus:

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi}$$

Für die erste Eigenfrequenz wurde für κ der Wert 1,875, der aus der Tabelle 4.1 für den Fall eingespannt-frei hervorgeht, eingesetzt.

E steht für den Elastizitätsmodul, welches ein Materialkennwert ist und den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung angibt. Ein hoher Wert bedeutet dabei, dass der Werkstoff steif ist, ein kleiner Wert das der Werkstoff eher weich ist [7]. Für die Beschreibung der Biegesteifigkeit eines Objektes wird neben dem Elastizitätsmodul auch das Flächenmoment I benötigt. Es ist abhängig von der Geometrie des Querschnittes und setzt sich aus dessen Breite mal Höhe hoch drei, durch zwölf zusammen. ρ ist die Dichte des Werkstoffes.

2.2 Finite-Elemente-Simulationen

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Vater Dr. Ulrich Simon und dem Ulmer Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (UZWR) [8], in dem er tätig ist, für die Bereitstellung von Computern und der Finite-Elemente-Software Ansys Workbench 12.0, in das ich mich einarbeiten und dann meine Analysen durchführen durfte, bedanken.

2.2.1 Ablauf einer Finite-Elemente-Analyse

Eine Finite-Elemente-Analyse ist eine günstige und schnelle Methode mittels Computer-Simulation Probleme zum Beispiel in den Bereichen Mechanik, Akustik, Wärmetransport, Elektromagnetische Felder und Strömungsdynamik zu lösen. Der Ablauf einer Finite-Elemente-Analyse gliedert sich wie folgt:

Modellbildung (Preprocessing): Die Modellbildung erfolgt in vier Schritten.

- **Geometrie importieren oder manuell eingeben:** Die Geometrie des Objektes wird aus einem CAD-Programm importiert (CAD = Computer Aided Design) oder wie in einem CAD-Programm aufgebaut. Dabei können zweidimensionale Linien und Flächen, sowie dreidimensionale Volumen erstellt werden. Werkzeuge und Operationen ermöglichen es, aus einfachen, geometrischen Elementen, komplexe Objekte zu erstellen.
- **Vernetzen:** Die Geometrie wird in die Finiten-Elemente unterteilt. Finite-Elemente sind Teile endlicher Größe. Durch die Zerlegung lässt sich das Objekt vereinfacht beschreiben.

„Schon Ende der 40er Jahre hatte J.Argyris (...) in England nachgewiesen, daß man Kontinua durch Zerlegen in kleinere Teilbereiche in vereinfachter Form beschreiben kann.“ [9, S.1]

- **Material festlegen:** Den Objekten werden die Eigenschaften des Materials, aus dem sie bestehen, zugewiesen.
- **Kräfte und Einspannungen definieren:** Zuletzt wird noch

festgelegt welche Kräfte in welchen Richtungen auf das Objekt wirken sollen und wie und wo das Objekt fixiert ist.

Lösen (Solution): Nachdem das Modell erstellt wurde, wird das mathematische Problem gelöst. Dies ist Aufgabe des Computers, der verschiedene Berechnungen durchführt. Je nach Leistung des Computers und Komplexität des Problems kann dies bis zu mehrere Tage dauern.

Auswerten (Postprocessing): Als letztes erfolgt die Auswertung der Ergebnisse. Verschiedene Größen (Verformungen, mechanische Spannungen, Dehnungen, Frequenzen, Temperaturen, ...) können in hochwertigen Grafiken dargestellt, oder gar in bewegten Bildern animiert werden.

2.2.2 Geometrie eingeben

Die Geometrie des Snowboards wurde aus verschiedenen Körpern erstellt, die miteinander verschnitten wurden. In Abbildung 2 ist das Programm zu sehen, in dem die Geometrie des Snowboards erstellt wurde. Insgesamt wurden zwei verschiedene Geometrien für die Simulation erstellt: ein Snowboard-Modell mit konstanter Dicke und ein Modell mit veränderlicher Dicke. Für das Modell mit der veränderlichen Dicke wurde die erste Geometrie mit der konstanten Dicke kopiert. Anschließend wurde das Modell quer in mehrere Teile zerschnitten, denen jeweils eine andere Dicke zugewiesen wurde. Auf diese Weise konnte relativ einfach ein Snowboard mit (stufig) veränderlicher Dicke simuliert werden (10 mm in der Mitte, an den Enden 4,5 mm).

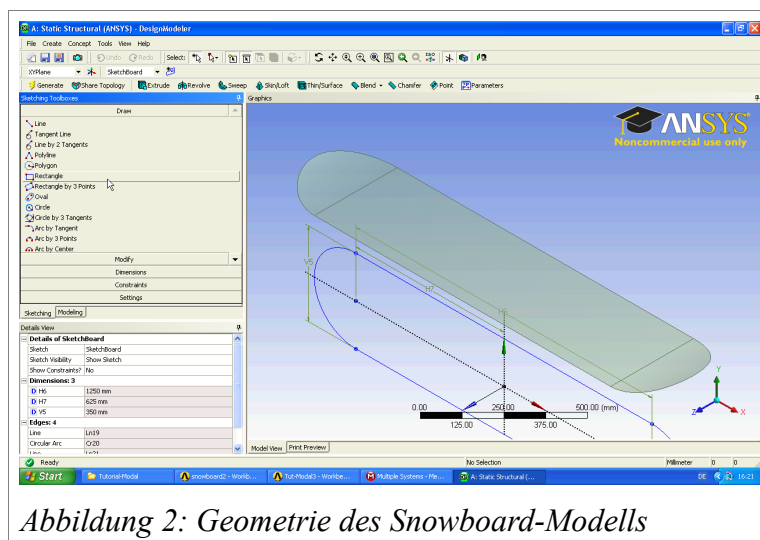
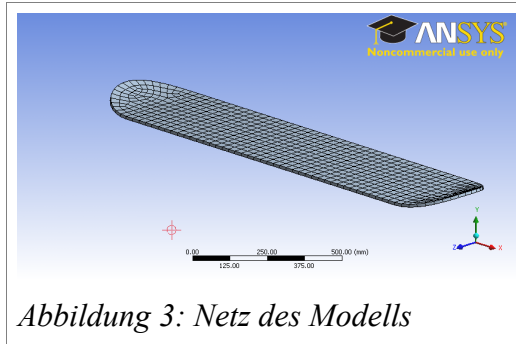


Abbildung 2: Geometrie des Snowboard-Modells

2.2.3 Vernetzen

Das Vernetzen des Modells hat der Computer automatisch erledigt, das generierte Netz ist in Abbildung 3 zu sehen. Das Modell mit konstanter Dicke umfasst 639 Elemente, jenes Modell mit veränderlicher Dicke hingegen umfasst 736.



2.2.4 Material festlegen

Bei der Modellierung des Snowboards wurde der komplexe innere Aufbau vereinfacht als ein Werkstoff modelliert (Tabelle 1), dessen Eigenschaften aus einem Biegeexperiment identifiziert wurden (siehe Abschnitt 2.3.1). Eine zunächst geschätzte Dichte wurde mit folgendem Faktor skaliert: Ermittelte Masse des Snowboards (4,9 kg) geteilt durch die Masse in der Simulation (4,3 kg). Daraus ergab sich eine Dichte von 1,139 g/cm³. Für die Querkontraktionszahl wurde ein Wert, der zwischen den Werten von Polyäthylen und Holz liegt, angenommen.

Tabelle 1: Materialeigenschaften des Ersatz-Werkstoffes

<i>Parameter</i>	<i>Symbol</i>	<i>Einheit</i>	<i>Snowboard-Ersatzwerkstoff</i>
Elastizitätsmodul	E	MPa	3330
Querkontraktionszahl	ν	-	0,34
Dichte	ρ	g/cm ³	1,139

2.2.5 Kräfte und Einspannungen definieren

In der Simulation wurde die eine Hälfte vom Snowboard eingespannt, sodass die andere Hälfte frei schwingen konnte. Es wurde der gleiche Aufbau simuliert, wie er bei den Messungen am Snowboard verwendet wurde (siehe Abschnitt 2.3).

2.3 Messungen

Am Snowboard wurden Messungen zur Biegesteifigkeit, sowie zur Eigenschwingung durchgeführt.

2.3.1 Messung der Biegesteifigkeit

Das Snowboard wurde mit der einen Hälfte auf einem Tisch fixiert, die andere Hälfte war frei schwebend. Diese wurde mit einem Gewicht (1080g) beschwert und die Auslenkung an der Spitze des Brettes gemessen. In der Simulation wurde das Snowboard an der gleichen Stelle mit gleicher Vertikalkraft belastet und auch die Auslenkung an der Spitze abgelesen.

2.3.2 Messung der Eigenschwingung

Um die Frequenz, mit der das Snowboard schwingt, zu ermitteln, wurde ein Schwingungs-Experiment durchgeführt. Das Brett wurde mit einem Ende fest auf einem Tisch fixiert und in Schwingungen versetzt. Die Bewegungen des freien Brettendes wurden mit einer Digitalkamera (Videofunktion, 30 fps) aufgezeichnet und am Computer ausgewertet, sowie grafisch dargestellt.

3 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte dargestellt.

3.1 Analytische Rechnungen

Für die Rechnung wurden folgende Werte in die Formel eingesetzt: Für das Elastizitätsmodul wurden 3330 MPa eingesetzt, welche in der Messung (siehe Abschnitt 3.3) ermittelt wurden. Die Länge (des halben Brettes) beträgt 0,775 m, die Breite 27 cm und die Höhe im Mittel 8,02 mm. Es wurde $\kappa = 1,875$ gewählt, für den Fall „einseitig eingespannt“. Die Dichte wurde in einer Messung ermittelt und beträgt: $1,139 \text{ g/cm}^3$

$$\omega_1 = \kappa_i^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A \cdot l^4}}$$

$$\omega_1 = 1,875^2 \sqrt{\frac{3330 \cdot 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \cdot 270 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (8,02 \cdot 10^{-3} \text{ m})^3}{1,139 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 270 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 8,02 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 0,775^4 \text{ m}^4}}{12}}$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = 3,687 \frac{1}{\text{s}}$$

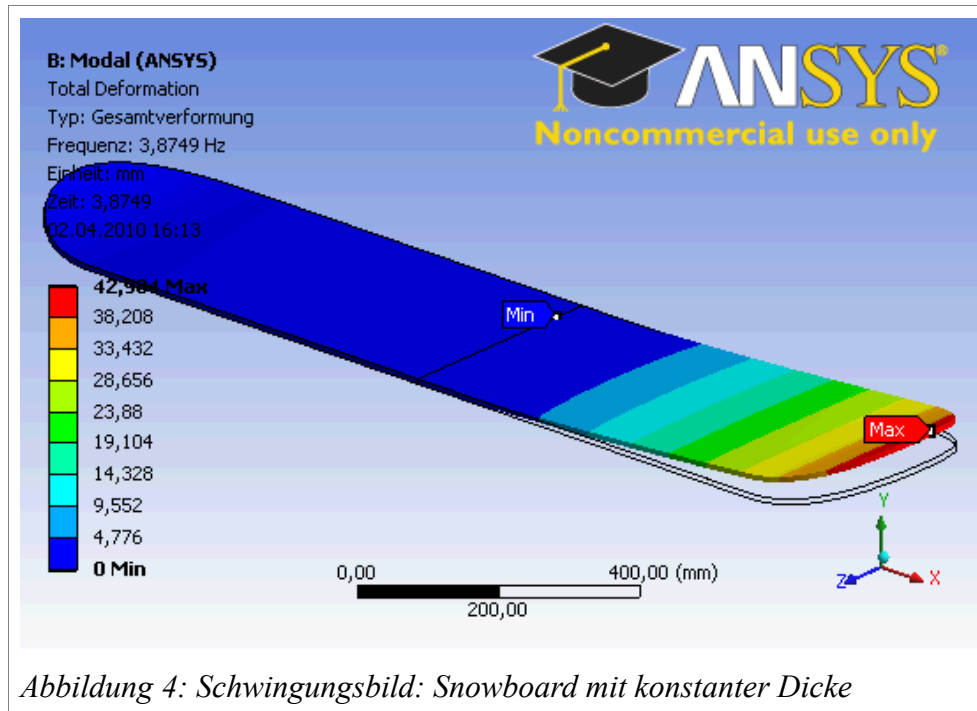
Die errechnete Eigenfrequenz beträgt 3,687 Hz.

3.2 Finite-Elemente-Simulationen

Die Finite-Elemente-Simulation wurde während der gesamten Arbeit ständig verändert und verbessert, sodass es am Ende als Ergebnis zwei unterschiedliche Simulationen gab: eine mit einem Snowboard mit konstanter Dicke und eine mit einem Snowboard mit veränderlicher Dicke. Das endgültige Snowboard-Modell wurde schrittweise entwickelt. Als erstes Modell wurde ein einfaches eckiges Brett simuliert, dem später die ungefähre Länge, Breite und Dicke des Snowboards zugewiesen wurde. Dieses Brett wurde genommen und die Enden wurden gerundet, um der Form des Snowboards näher zu kommen. Als letzte große Veränderung bekamen die Enden eine nach oben gekrümmte Form und dem Modell wurden die genauen Maße des Snowboards zugewiesen. Für die zweite Simulation wurde dieses Modell genommen und ihm eine veränderliche Dicke zugewiesen (siehe Abschnitt 2.2.2).

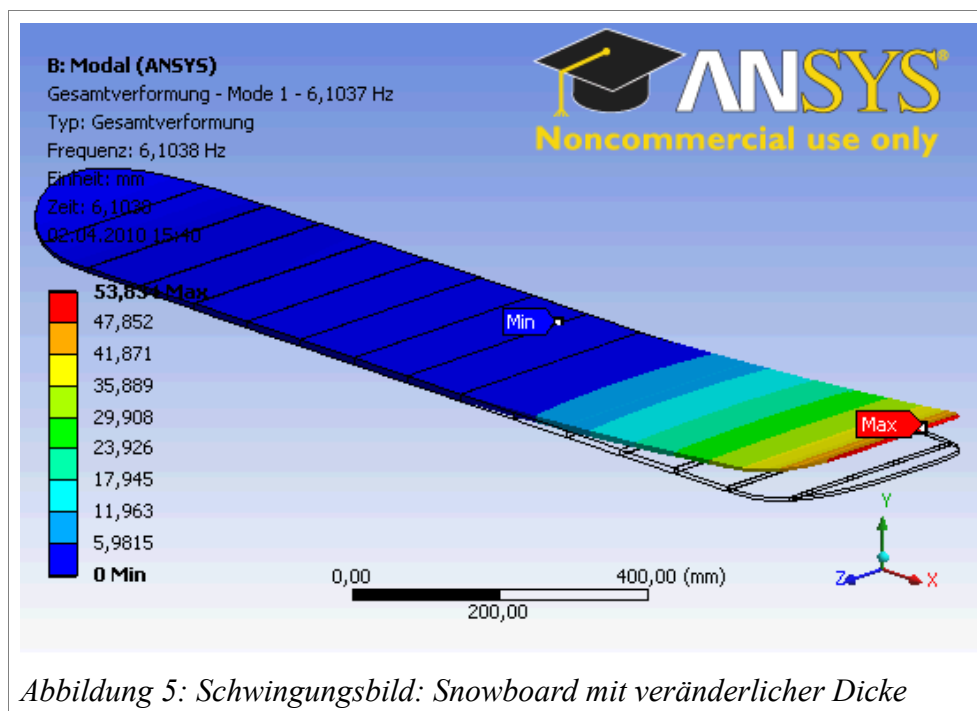
3.2.1 Snowboard mit konstanter Dicke

Die in der Simulation ermittelte erste Eigenfrequenz des Snowboards mit konstanter Dicke beträgt 3,875 Hz. In Abbildung 4 ist das Schwingungsbild der ersten Eigenfrequenz zu sehen.



3.2.2 Snowboard mit veränderlicher Dicke

Wie erwartet, ist die ermittelte Frequenz für das Snowboard mit veränderlicher Dicke höher als die des Snowboards mit konstanter Dicke. Sie beträgt 6,104 Hz. Das Schwingungsbild hierfür ist in Abbildung 5 zu sehen. Weitere Bilder von Eigenschwingungsformen sind im Anhang.



3.3 Messungen

Beide Messungen wurden mehrfach ausgeführt, um Fehler durch z.B falsches Ablesen auszuschließen.

3.3.1 Messung der Biegesteifigkeit

Bei einer Belastung des Brettes mit 1080g ergab sich an der Spitze eine Auslenkung von 10 mm. Das Elastizitätsmodul des Ersatz-Werkstoffes in der Simulation wurde zuerst geschätzt (5000 MPa). Bei gleicher Belastung ergab sich in der Simulation zunächst nur eine Auslenkung von 6,66 mm. Mit den gemessenen Werten konnte anschließend ein verbesserter Wert für den Elastizitätsmodul des Snowboard-Ersatzwerkstoffes bestimmt werden:

$$\frac{E_{neu}}{E_{alt}} = \frac{Auslenkung_{alt}}{Auslenkung_{neu}} \quad E_{neu} = \frac{6,66 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \cdot 5000 \text{ MPa}$$

$$E_{neu} = 3330 \text{ MPa}$$

Im Anhang sind zwei Abbildungen zum Belastungsexperiment zu finden.

3.3.2 Messung der Eigenschwingung

Durch Betrachtung der Videoaufzeichnung, vom schwingenden Brett, als Einzelbilder konnte anhand der vergangenen Zeit zwischen den maximalen Elongationen des Snowboards die Frequenz bestimmt werden. Um die Genauigkeit zu verbessern, wurde der zeitliche Abstand

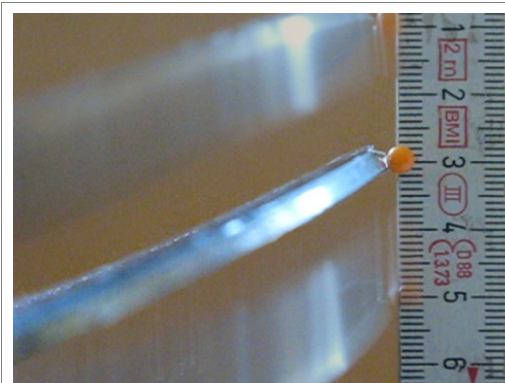
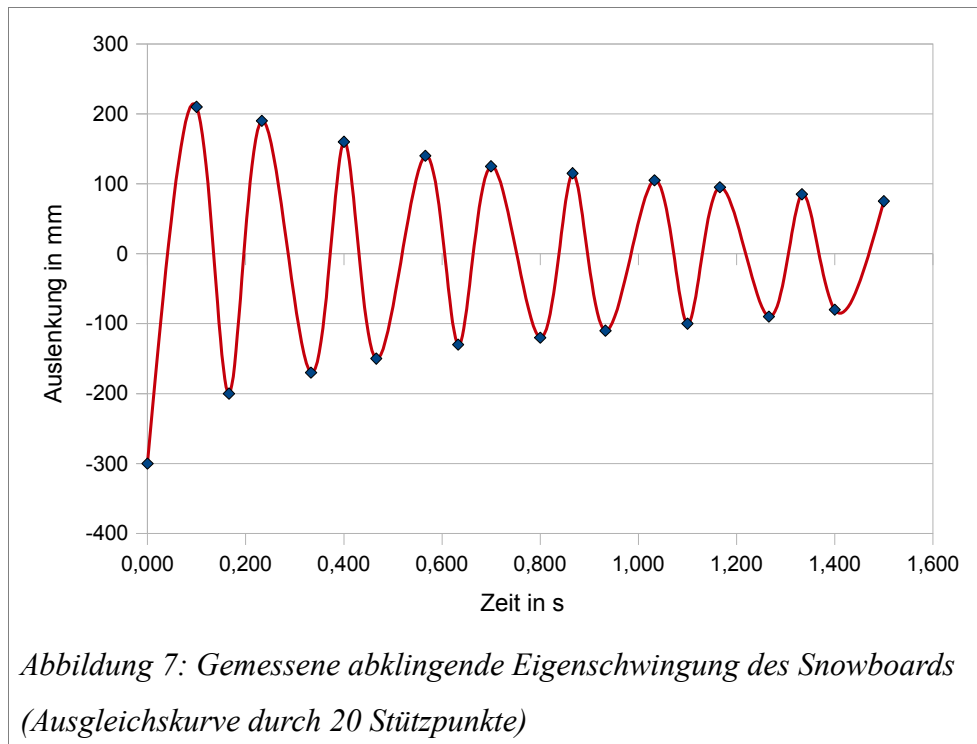


Abbildung 6: Schwingungsexperiment

zwischen 20 Perioden (und nicht einer einzelnen) ermittelt.

$$f = \frac{\text{Anzahl Perioden}}{\Delta t} = \frac{20}{t_{20} - t_1} = \frac{20}{3,02 \text{ s}} = 6,62 \text{ Hz}$$

Die Schwingungen des Snowboards wurden in Abbildung 7 als Kurve dargestellt. Es ist zu erkennen wie die Auslenkung kontinuierlich abnimmt.



4 Diskussion

Vergleich der verschiedenen Lösungsmethoden

Bei dem Vergleich der verschiedenen Lösungsmethoden (Tabelle 2) zeigt sich, dass die verschiedenen Ergebnisse sehr gut übereinstimmen, womit sich die Methoden gegenseitig in ihrer Gültigkeit bestärken. Dennoch sind mögliche Abweichungen, neben nicht ganz exaktem Messen, beispielsweise beim Schwingungsexperiment zu suchen, da z.B. die aufgeschraubte Bindung außer Betracht gelassen wurde und nicht abmontiert worden ist. Des weiteren wurde jegliche Dämpfung, beispielsweise bei der Art der Fixierung des Snowboards nicht beachtet. Auch wurde nur mit einem Zollstock gemessen und per Augenmaß (ohne Verwendung einer Ablesehilfe wie beispielsweise ein Laser) abgelesen. Bei der Simulation wurde der komplexe innere Aufbau des Snowboards vereinfacht als ein Werkstoff dargestellt. Auch wurde in der Simulation die Vorspannung und Taillierung des Snowboards außer Acht gelassen.

Trotz der getroffenen Annahmen stimmen die Ergebnisse sehr gut überein: In der analytischen Rechnung wurde von einer konstanten Brettstärke

ausgegangen und ein Vergleich mit der Simulation der konstanten Brettstärke zeigt eine nur sehr geringe Abweichung. Auch beim Vergleich des Schwingungs-Experiments mit der Simulation des Snowboards mit veränderlicher Stärke zeigt sich nur eine geringe Abweichung.

Tabelle 2: Vergleich verschiedener Lösungsmethoden.

<i>Variante</i>	<i>Eigenfrequenz in Hz</i>
Analytisch	3,687
FE: konstante Stärke	3,875
FE: veränderliche Stärke	6,104
Messung	6,623

Es hat sich herausgestellt, dass die nicht konstante Brettstärke einen großen Einfluss hat und im Vergleich mit der konstanten Brettstärke die Eigenfrequenz erheblich höher ist, in diesem Fall nahezu doppelt so hoch. Durch die nicht konstante Stärke wird einerseits das Gewicht an den Enden reduziert und gleichzeitig die Biegesteifigkeit im stärker beanspruchten mittleren Teil des Brettes erhöht (auch die Rückstellkraft wird so erhöht). Beides führt zur Erhöhung der Eigenfrequenz und wohl auch zu einem besseren dynamischen Fahrverhalten.

Darüber hinaus hat die Arbeit deutlich gezeigt, dass numerische Simulationen wertvolle Hilfsmittel sind um den Einfluss bestimmter Veränderungen an einer Konstruktion vergleichend zu untersuchen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Goldman, G., Snowboarding: Ratgeber zu Ausrüstung und Technik, London, Delius Klasing Verlag, 2002
- [2] http://www.vancouver2010.com/olympic-snowboard/additional-information/about-the-sport_147090tR.html, 10.03.2010, 15:18 Uhr
- [3] <http://www.worldsfastestsnowboarder.com/> 15.03.2010, 16:55 Uhr
- [4] Steiner, M., Hatje, T., Snowboard: Das Handbuch, o.O., Bruckmann, 1996
- [5] Müssig, P., Snowboard professional, o.O., Pietsch Verlag, 1997
- [6] Gross, D., Hauger, W., Schnell, W., Wriggers, P., Technische Mechanik 4, o.O., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007⁶
- [7] <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Elastizit%E4tsmodul.html>, 28.03.10, 16:27
- [8] Ulmer Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (UZWR), Universität Ulm, www.uni-ulm.de/uzwr
- [9] Rieg, F., Hackenschmidt, R., Finite Elemente Analyse für Ingenieure, o.O., Carl Hanser Verlag München Wien, o.J.

6 Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt deren Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

.....
Ort, Datum

.....
Tim Wagner

7 Anhang

Weitere Eigenschwingungsformen

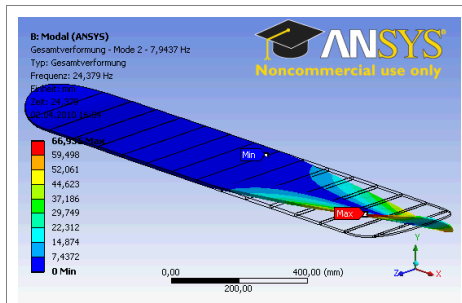


Abbildung 8: 2. Eigenfrequenz:
24,379 Hz

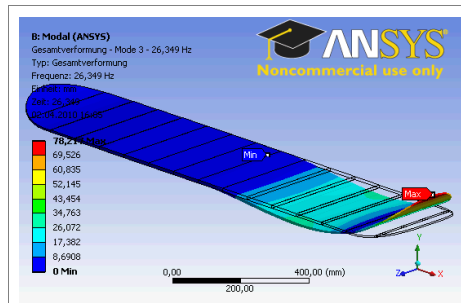


Abbildung 9: 3. Eigenfrequenz:
26,349 Hz

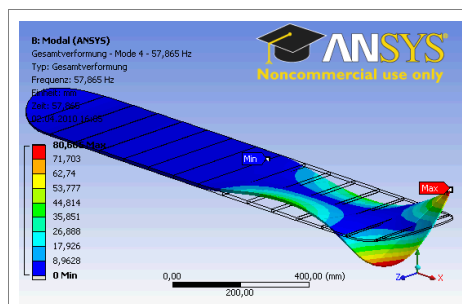


Abbildung 10: 4. Eigenfrequenz:
57,865 Hz

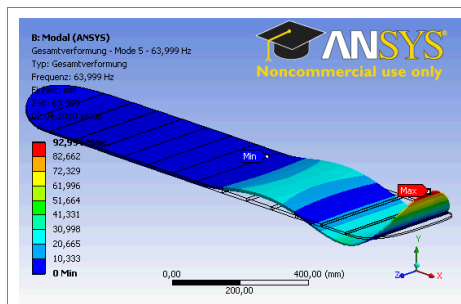


Abbildung 11: 5. Eigenfrequenz:
63,999 Hz

Bilder zum Belastungsexperiment



Abbildung 12:
Belastungsexperiment

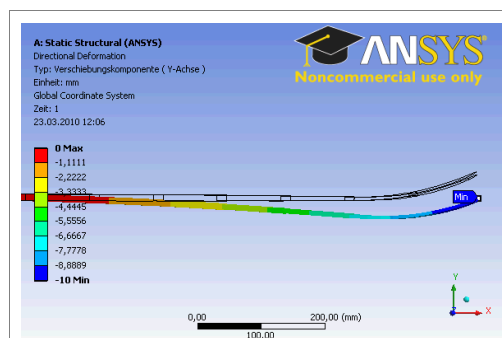


Abbildung 13: Simulation der
Belastung

Arbeitsprotokoll

<i>Tag</i>	<i>Zeitraum</i>	<i>Ort</i>	<i>Tätigkeit</i>
10.03.10	09:00-12:00, 13:00-18:30	Uni Ulm	Simulation
11.03.10	10:30-12:30, 13:00-16:30	Uni Ulm	Simulation, Textformulierung
12.03.10	10:30-12:30, 13:45-19:00	Uni Ulm	Simulation
14.03.10	14:00-16:00	ICE	Textformulierung
19.03.10	13:00-18:00	Zu Hause	Experiment, Messungen am Snowboard
22.03.10	14:00-18:00, 19:00-21:00	Zu Hause	Analytische Rechnung, Simulation
23.03.10	11:00-14:00	Zu Hause	Analytische Rechnung, Simulation, Messungen
24.03.10	15:00-17:00	Bibliothek	Recherche, Ausleihe
25.03.10	13:00-21:00	Zu Hause	Textformulierung, Erstellen von Grafiken, Bearbeiten von Bildern
27.03.10	14:00-18:00	Zu Hause	Textformulierung, Quellen lesen
28.03.10	12:30-14:30, 15:00-18:00	Zu Hause	Textformulierung, Simulation
02.04.10	15:00-18:00, 19:30-22:30	Zu Hause	Verbesserungen, Formatierungen, Einfügen von Grafiken
03.04.10	16:30-19:00	Zu Hause	Letzte Korrekturen