# Die Verwendung eines Drucksensors bei der Skitechnik des Carvens – Die Entwicklung eines digitalen Skilehrers

Dr. Hans Riegel-Fachpreis 2019/20 Schulfach: Physik



Von Annika Schkoda, Gymnasium bei St. Anna

# Gymnasium bei St. Anna

Sprachliches Gymnasium | Humanistisches Gymnasium



Gymnasium bei St. Anna | Schertlinstr. 5-7 | 86159 Augsburg

Abiturjahrgang 2020

#### SEMINARARBEIT

Rahmenthema des Wissenschaftspropädeutischen Seminars: Smartphone, Arduino und Co – Moderne Sensoren in der Physik

Leitfach: *Physik* 

Thema der Arbeit: Verwendung eines Drucksensors bei der Skitechnik des Carvens – Die Entwicklung eines digitalen Skilehrers

Verfasser/in: Kursleiter/in: *Annika Schkoda Manfred Pöller* 

Abgabetermin: 5. November 2019

Bewertung	Note	Notenstufe in Worten	Punkte		Punkte
schriftliche Arbeit				x 3	
Abschlusspräsentation				x 1	
			Su	mme:	
Gesamtleistung nach § 29 (7) GSO = Summe:2 (gerundet)					

Datum und Unterschrift der Kursleiterin bzw. des Kursleiters

# Inhaltsverzeichnis

1	Einl	leitung	4
	1.1	Verwendung von Sensoren im Wintersport	4
	1.2	Entstehung der Idee der W-Seminararbeit	5
	1.3	Aktueller Stand der aktuellen Forschung	5
	1.4	Zusammenfassung	5
2	Gru	ındlagen	6
	2.1	Einführung in den Arduino	6
	2.2	Erklärung der physikalischen Größen	6
	2.3	Beschreibung der verwendeten Drucksensoren	6
	2.3.	.1 Funktionsweise	6
	2.3.	.2 Technische Daten der Sensoren	8
	2.4	Schaltung	8
	2.5	Programm	9
	2.6	Zuordnung des Sensorwerts zu den physikalischen Größen Druck und Kraft	10
	2.6.	.1 Versuchsaufbau 1	10
	2.6.	.2 Versuchsaufbau 2	12
	2.6.	.3 Vergleich von Untergrundmaterialien	13
	2.6.	.4 Zeitabhängigkeit des Sensors	15
	2.6.	.5 Zuordnung zu den physiksalischen Größen Druck und Kraft	17
3	Skit	technik des Carvens	20
4	Die	Verwendung eines Drucksensors beim Carven	20
	4.1	Platzierung der Sensoren	20
	4.2	Kippeffekt	24
	4.3	Aufstellen von Richtbereichen	25
	4.3.	.1 Versuche zu leichter und normaler Belastung	25
	4.3.	.2 Zusammenfassung der Richtbereiche	26
	4.4	Versuch auf dem Skisimulator	27
5	Dis	kussion und Ausblick	29
6	Que	ellenverzeichnis	31
	6.1	Literaturverzeichnis	31
	6.2	Internetquellen	31
7	Abb	oildungsverzeichnis	34
8	Tab	pellenverzeichnis	35
9	Dia	grammverzeichnis	36
10	) Anh	nang	37
11	Ehr	enwörtliche Erklärung	38

4

### 1 Einleitung

#### 1.1 Verwendung von Sensoren im Wintersport

Sensoren werden in vielen Bereichen immer häufiger eingesetzt und auch bei verschiedenen Wintersportarten werden mit Sensoren unterschiedliche Messungen vorgenommen. Seit der Wintersport-Saison 2018/2019 wird bei den Skisprung-Weltcups eine Sensoren-Technik an den Skiern der Athleten befestigt, die nicht mehr nur die Absprunggeschwindigkeit misst, sondern auch alle 20 Meter Daten zu Geschwindigkeit, den Winkel zwischen den Skiern, die Höhe und die Landungsgeschwindigkeit erfasst. Einige der Daten werden auch den berechtigten TV-Sendern und damit den Zuschauern zugänglich gemacht, um ihnen zu zeigen, wovon die Skisprungweite abhängig ist. Alle Daten werden außerdem den Trainern und Sportlern zu Verfügung gestellt, um ihnen ein gezielteres Training zu ermöglichen.<sup>1</sup>

Aber auch in weiteren Wintersportarten werden Sensoren verwendet. Unter anderem werden seit der Wintersport-Saison 2016/2017 im alpinen Ski-Weltcup und bei Weltmeisterschaften Sensoren verwendet, die insbesondere zur Zeitmessung dienen. Bei dieser neuen Messtechnik werden nicht nur die Start-, End- und einige Zwischenzeiten gemessen, sondern es wird zusätzlich ein kleiner Kasten mit Radar- und Bewegungssensoren am Skischuh befestigt. Dieser überträgt zum Beispiel die Geschwindigkeit, die Zeit, Abbremsmanöver und Beschleunigungsmanöver, Sprünge und die Zeit, die der Athlet benötigt um auf 100 km/h zu beschleunigen.

Dies macht einerseits das Rennen für die Zuschauer interessanter, die nun immer live sehen können, wie viel Vorsprung ein Athlet noch hat oder wie viel Zeit er noch aufholen muss. Andererseits verschaffen diese Daten im Training einen weiteren Vorteil, da man gezielt weiß, an welcher Stelle ein Athlet beispielsweise Zeit verloren hat.<sup>2</sup>

Es gibt aber noch viele weitere Möglichkeiten außerhalb von Weltcups mit Sensoren im Skisport Messungen durchzuführen. Die schweizerische Skifahrerin Thea Waldleben untersuchte beispielsweise im Zuge ihrer Maturaarbeit mit Sensoren die Belastung, die bei dem Skifahren auf das Knie ausgeübt wird.<sup>3</sup>

.

Vgl. Ries (2018): Sensor-Technik soll das Skispringen revolutionieren, https://www.skispringen.com/sensor-technik-soll-das-skispringen-revolutionieren/

Vgl. Longines Alpine Skiing (2016): Longines präsentiert neue Dimension der Zeitmessung im alpinen Skisport,

https://www.eurosport.de/ski-alpin/longines\_sto5919415/story.shtml

Vgl. MSR Electronics: Ermitteln von Kniebelastungen beim Skifahren, https://www.msr.ch/de/anwendungsgebiete/datenlogger-sensor-misst-kniebelastung-skifahren-thea-waldleben/

#### 1.2 Entstehung der Idee der W-Seminararbeit

Bei der Skitechnik des Carvens ist der Druck des Schienbeins auf den Skischuh von besonderer Bedeutung.<sup>4</sup>

Allerdings ist es sehr schwierig für den Skifahrer beim Carven festzustellen, ob er genügend Druck vom Schienbein auf den Skischuh ausübt. Aus dieser Situation heraus entstand die Idee für das Thema dieser W-Seminararbeit, mit Drucksensoren und dem Arduino beim Carven die Kraft, die das Schienbein auf die Skischuhzunge des Skischuhs ausübt, zu messen und einen Richtbereich von Sensorwerten aufzustellen. Damit kann der Skifahrer feststellen, wann mehr Druck bzw. Kraft auf den Skischuh ausgeübt werden sollte und wann genug Druck bzw. Kraft auf den Skischuh ausgeübt wird. Da der Druck aus der Kraft berechnet werden kann, kann sowohl der Druck als auch die Kraft gemessen werden. Deswegen können in dem Kontext dieser Arbeit beide Begriffe gleich berechtigt verwendet und gleichgesetzt werden.

5

#### 1.3 Aktueller Stand der aktuellen Forschung

Es gibt bereits Versuche mithilfe von Sensoren Fehler beim Skifahren zu erkennen. Münchner Ingenieure entwickelten eine Sohle mit Sensoren, durch die beispielsweise eine zu starke Rückenlage erkannt wird. Wenn der Skifahrer in Rückenlage gerät, hört er über Kopfhörer ein Signalton.<sup>5</sup>

### 1.4 Zusammenfassung

In der Arbeit werden zunächst die Bestandteile, die für den eigentlichen Versuch benötigt werden, genauer erklärt. Anschließend werden die Sensorwerte physikalischen Größen zugeordnet. Als nächstes werden nach einer kurzen Einführung in die Skitechnik des Carvens, die durchgeführten Versuche zu Verwendung von Drucksensoren beim Carven beschrieben. Abschließend werden Richtbereiche aufgestellt, die Ergebnisse beurteilt und Verbesserungsvorschläge diskutiert.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Vgl. Neiheisser (2018): Skitraining auf der Kandahar

<sup>5</sup> Vgl. scinexx das wissensmagazin: Besser Wedeln mit dem digitalen Skilehrer? https://www.scinexx.de/news/technik/besser-wedeln-mit-dem-digitalen-skilehrer/

## 2 Grundlagen

#### 2.1 Einführung in den Arduino

Die Arduino-Plattform ist quelloffen und besteht aus einem Softwareteil und einem Hardwareteil. Die Hardware des Arduinos ist ein Microcontroller-Board, das über die digitalen und analogen Eingänge Daten von Schaltern oder Sensoren auslesen kann und über digitale Ausgänge beispielsweiße Leuchtdioden und Motoren ansteuern kann. Microcontroller-Boards gibt es nicht nur von der Marke Arduino, sondern auch von anderen Marken wie beispielsweise Funduino und Elegoo, deren Hardware aber mit der Hardware und der Software des Arduinos kompatibel ist. In den Versuchen dieser W-Seminararbeit wurde das Microcontroller-Board der Elegoo Uno R3 verwendet.

6

Die Software der Arduino-Plattform besteht aus einer Entwicklungsumgebung, in welcher die Programme, die auch als Sketches bezeichnet werden, geschrieben werden. Die fertigen Sketches können über den USB-Port auf den Speicher des Microcontroller-Board hochgeladen werden. Die bei dem Arduino verwendete Programmiersprache ist der Sprache C++ ähnlich.<sup>6 7</sup>

#### 2.2 Erklärung der physikalischen Größen

Die physikalische Größe Druck p gibt an, mit wie viel Kraft F ein Körper senkrecht auf die Fläche A wirkt. Der Druck wird in der Einheit Pascal gemessen.

$$p = \frac{F}{A} [Pa = \frac{N}{m^2}]^8$$

#### 2.3 Beschreibung der verwendeten Drucksensoren

#### 2.3.1 Funktionsweise

Beide Sensoren funktionieren wie die Force Sensing Resistor (FSR) Drucksensoren der Firma Interlink Electronics. Abhängig von der Kraft, die auf den Sensor wirkt, ändert sich der Widerstand des Sensors.

Ein FSR Drucksensor besteht aus drei Schichten. Die beiden äußeren Schichten sind Membranen, die durch die mittlere Schicht getrennt und zusammengehalten werden. Die Membranen sind normalerweise auf flexiblen Polymerfolien oder einem anderen Filmmaterial aufgebracht. Auf einer der Membranen ist die FSR-Tinte aufgebracht, welche auf Kohlenstoff basiert und kleine Unebenheiten hat.

Vgl. Funduino: Hardware und Software, https://funduino.de/hardware-software

Vgl. Brühlamnn (2012) Arduino Praxiseinstieg: Behandelt Arduino 1.0, S.23f

<sup>8</sup> Vgl. LEIFI Physik: Druck, Kolben- und Schweredruck, https://www.leifiphysik.de/mechanik/druck-kolben-und-schweredruck

Gelöscht wegen Copyright Die Abbildung zeigt die Unebenheiten der FSR-Tinte unter dem Mikroskop.

Abbildung 1: Struktur der FSR-Tinte

Gelöscht wegen Copyright Auf der anderen Membran sind zwei ineinandergreifende aber sich nicht berührenden Sätze von elektrischen Fingern aufgebracht.

Abbildung 2: Aktiver Bereich mit ineinandergreifenden Fingern

Gelöscht wegen Copyright Die mittlere Schicht ist ein Abstandshalter aus Klebstoff. Dieser ist typischerweise zwischen 0,03 mm und 0,15 mm dick und ist durchgängig an den Rändern der zwei Membranen angebracht. Dadurch und da die zwei Membranen steif sind, ist zwischen den Membranen ein Luftspalt.

Abbildung 3: Aufbau des FSR-Sensors

Wenn Druck auf den Sensor ausgeübt wird, werden die Unebenheiten der Membran mit der FSR-Tinte auf die Membran mit den elektrischen Fingern gedrückt. Dadurch entstehen dann Kontakte zwischen den beiden Sätzen elektrischer Finger. Wenn mehr Druck auf den Sensor

ausgeübt wird, berühren mehr Unebenheiten die elektrischen Finger. Daher gibt es mehr Kontakte zwischen den zwei verschiedenen Sätzen elektrischer Finger. Deswegen wird der Widerstand des Sensors kleiner und es fließt mehr Strom.<sup>9</sup>

8

#### 2.3.2 Technische Daten der Sensoren

Alle Drucksensoren, die bei dieser W-Seminararbeit verwendet werden, haben einen Außendurchmesser von 9 mm und einen Innendurchmesser, den Durchmesser der Aktiven Fläche des Sensors, von 7,5 mm. Der Flächeninhalt der aktiven Fläche der Sensoren beträgt folglich 44,2 mm². Die verwendeten Sensoren sind dünner als 0,25 mm. Wenn die Sensoren nicht belastet sind, ist der Widerstand größer als 10 M $\Omega$ . Die Messgenauigkeit kann um 2,5 % abweichen, weshalb nur von Wertebereichen gesprochen werden kann. Sensor 1 ist für einen Gewichtsbereich von bis zu 10 kg geeignet und Sensor 6 für bis zu 20 kg. 10 kg

#### 2.4 Schaltung

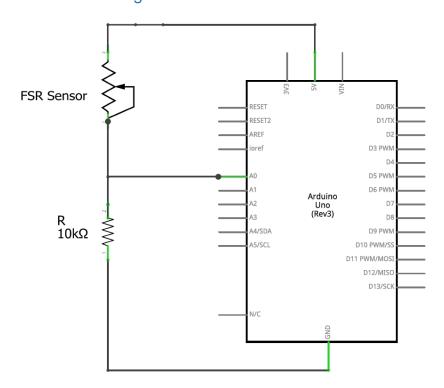


Abbildung 4: Schaltplan

Die Eingangsspannung U<sub>E</sub> beträgt 5V. Da beim Versuchsaufbau eine Reihenschaltung von einem festen Widerstand R und einem druckabhängigen Widerstand R<sub>FSR</sub> (der Sensor) verwendet wird, teilt sich die Eingangsspannung U<sub>E</sub> von 5V auf die Spannungen auf, die an den

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Vgl. Interlink Electronics: FSR® Integration Guide, S.2f http://www.generationrobots.com/media/FSR400-Series-Integration-Guide.pdf

Vgl. Amazon: Akozon Kraftsensor Drucksensor (0-10kg),
 https://www.amazon.de/gp/product/B07HC7RDRN/ref=ppx\_yo\_dt\_b\_asin\_title\_o01\_s00?ie=UTF8&th=1
 Vgl. Amazon: Akozon Kraftsensor Drucksensor (0-20kg),

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Vgl. Amazon: Akozon Kraftsensor Drucksensor (0-20kg), https://www.amazon.de/gp/product/B07HC7C5ZZ/ref=ppx\_yo\_dt\_b\_asin\_title\_o01\_s00?ie=UTF8&psc=1

beiden Widerstände  $R_{FSR}$  und R abfällt:  $U_E = U_{FSR} + U_R = 5V$ . Am Messpunkt wird die Spannung  $U_R$  gemessen.

Laut dem Ohm'schen Gesetz gilt:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I_{Ges} = \frac{U_E}{R_{Ges}} = \frac{U_E}{R + R_{FSR}}$$

$$U_R = R \times I_{Ges} \rightarrow U_R = \frac{U_E \times R}{R + R_{FSR}}$$

Nun sollen die Sensorwerte den entsprechenden Sensorwiderständen zugeordnet werden. Um herauszufinden, welcher Widerstand bzw. welche Ausgangsspannung welchem Sensorwert entspricht, wurde der Drucksensor FSR durch einen festen Widerstand  $R_2$  ersetzt und der Sensorwert mit dem Programm ausgelesen sowie die Spannung  $U_R$  mit  $U_R = \frac{U_E \times R}{R + R_{FSR}}$  berechnet.

R <sub>2</sub>	U <sub>R</sub> berechnet nach obiger Formel	Sensorwert
0 Ω	5 V	1023
10 kΩ	2,5 V	511
10 ΜΩ	5 mV	0

Tabelle 1: Zuordnung vom Sensorwert zu Wiederstand und Spannung

Wenn der Widerstand  $R_{FSR}$  kleiner wird, wird die Stromstärke  $I_{Ges}$  größer und die Spannung  $U_R$ , die am Widerstand R abfällt, damit auch größer. Am Messpunkt wird die Spannung  $U_R$  zwischen dem in der Abbildung grünen Punkt und DGND gemessen.

Die Sensorwerte bewegen sich damit zwischen 0 und 1023.

#### 2.5 Programm

Desweitern benötigt man einen Arduino-Sketch, mit dem man die Werte auslesen und anschließend in Excel speichern kann. Der Grundaufbau des Sketches wurde aus dem Internet übernommen. Anschließend wurde das Programm so verändert, dass es die gemessenen Werte ausgibt. Denn der Sketch aus dem Internet wertet nur Druckbereiche aus. Zudem wurde das Programm noch so ergänzt, dass die Sensorwerte mit Excel ausgelesen und anschließend gespeichert werden können (siehe Anhang I).

<sup>12</sup> Vgl. adafruit: Using an FSR - Simple Code for Analog FSR Measurements, https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/using-an-fsr

#### 2.6 Zuordnung des Sensorwerts zu den physikalischen Größen Druck und Kraft

Um den Wert, den der Sensor ausgibt, den physikalischen Größen Kraft und Druck zuordnen zu können, benötigt man zuerst einen Versuchsaufbau, über den man den Sensor möglichst genau mit einem bestimmten Gewicht belasten kann. Dadurch kann man das Gewicht und damit auch die Kraft F und den Druck p einem bestimmten Werteberich, welchen der Sensor ausgibt, zuordnen.

#### 2.6.1 Versuchsaufbau 1

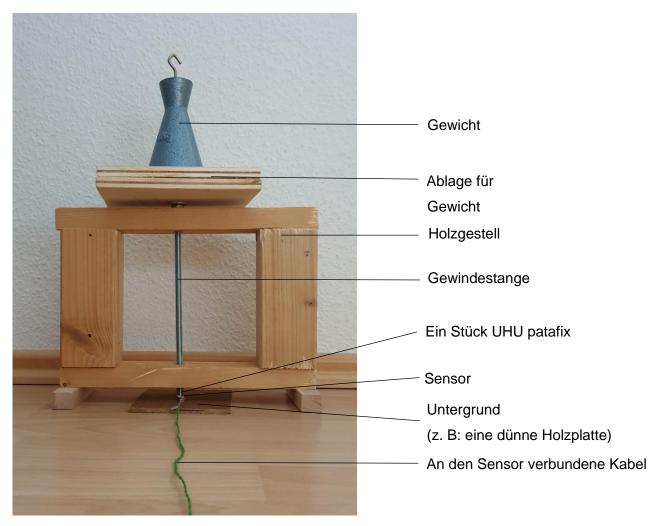


Abbildung 5: Versuchsaufbau 1

Der Versuchsaufbau setzt sich aus verschiedenen Teilen zusammen: Das Holzgestell hat oben und unten jeweils ein Loch mit dem Durchmesser 1,4 cm, durch welche die Gewindestange geschoben wird. Die beiden Löcher sind relativ groß, um Reibung zu minimieren, durch welche die Versuchsergebnisse verfälscht werden könnten. Allerdings hat die Stange dadurch mehr Bewegungsspielraum und steht eventuell nicht mehr exakt senkrecht. An der Gewindestange ist oben eine Holzplatte montiert, auf welcher möglichst mittig die Gewichte platziert werden. Die

Gewindestange hat wie auch der Sensor einen Durchmesser von 7,5mm. Am Ende der Stange ist ein kreisförmiges Stück UHU patafix, ein wiederabziehbares und verformbares Klebepad, angebracht, um Unebenheiten der Metallstange auszugleichen und es zu erschweren, dass der Sensor verrutscht. Um einen geeigneten Untergrund für die Kalibrierung zu finden, werden später Versuche auf verschiedenen Untergrundmaterialien (einer Schaumstoffplatte, einem Stück Kork, einer Kunststoffplatte und einer Holzplatte) durchgeführt und die Ergebnisse anschließend verglichen. Bei dem Sensor 1 wurden die Kabel angelötet. Bei dem Sensor 6 wurden die Kabel durch Stecker mit dem Sensor verbunden.

Um zu überprüfen, inwieweit durch Reibung und den Spielraum, den die Stange hat, die Kraftübertragung durch den Versuchsaufbau beeinflusst wird, wurde der Versuchsaufbau mit Hilfe einer Waage getestet. Die Waage wurde an der Stelle, an welcher sonst der Sensor platziert ist, aufgestellt. Dann wurde in 5 Messreihen überprüft, wie die Messergebnisse durch die Konstruktion beeinflusst werden.

	Messreihe									
Gewicht in g			3		4		5			
	Mess- wert	Än- derung in %								
500	492	1,60	453	9,40	488	2,40	448	10,40	435	13,00
1000	979	2,10	975	2,50	963	3,70	961	3,90	966	3,40
1500	1462	2,53	1467	2,20	1467	2,20	1488	0,80	1480	1,33
2000	1979	1,05	1966	1,70	1969	1,55	1974	1,30	1957	2,15
2500	2468	1,28	2479	0,84	2438	2,48	2466	1,36	2439	2,44

Tabelle 2: Änderung durch den Versuchsaufbau 1 in Prozent

Bei der Kraftübertragung auf den Sensor bei dem Versuchsaufbau 1 sind die gemessenen Werte deutlich geringer als die erwarteten. Besonders groß ist die Änderung, die durch den Versuchsaufbau 1 entsteht, bei einer Last von 500 g. Bei diesem Gewicht kam es in der Messreihe zu einer Änderung von 13,00 %, in der Messreihe 4 zu einer Änderung von 10,40 % und in der Messreihe 2 zu einer Änderung von 9,40 %. Bei 1000 g kam es in der Messreihe 4 zu einer Änderung von 3,90 % und in den anderen Messreihen zu Änderungen zwischen 2,10 % und 3,70 %. Bei den Gewichten, die 1500 g, 2000 g und 2500 g schwer sind, lagen die Änderungen zwischen 0,80 % und 2,53 %. Da bei den niedrigeren Gewichten, die Kraftübertagung durch den Versuchsaufbau 1 zu ungenau ist, muss der Versuchsaufbau 1 noch

weiterentwickelt werden. Denn eine gute Kraftübertragung des Gewichts mit dem Versuchsaufbau auf den Sensor ist für die Zuordnung des Sensorwert zu den physikalischen Größen sehr wichtig.

#### 2.6.2 Versuchsaufbau 2

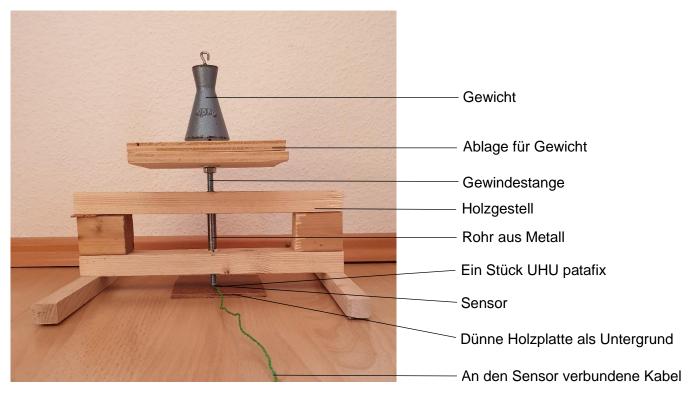


Abbildung 6: Versuchsaufbau 2

Um die Nachteile des Versuchsaufbau 1 zu minimieren, wurde der Versuchsaufbau weiterentwickelt. Dadurch ergeben sich bei dem neuen Versuchsaufbau drei Unterschiede:

- Die H\u00f6he der Konstruktion ist niedriger und somit stabiler, was bei h\u00f6heren Gewichten von Vorteil ist.
- Außerdem gibt es hier ein Rohr aus Stahl, durch welches die Gewindestange verläuft.
  Dieses Rohr steckt zwischen den beiden Löchern, durch welche die Gewindestange in
  Versuchsaufbau 1 verlief. Das Stahlrohr hat einen Innendurchmesser von 8 mm.
  Dadurch kommt die Gewindestange dem Zustand des senkrecht Seins näher. Zudem
  kann sich die Stange nicht mehr so viel hin- und herbewegen, wodurch die
  Messergebnisse nicht mehr so unterschiedlich sind. Dennoch ist die Reibung gering, da
  Stahl auf Stahl einen geringe Haftreibung hat.<sup>13</sup>
- Die Löcher sind in diesem Versuchsaufbau kleiner, so dass das Rohr nicht wackeln kann.

<sup>13</sup> Vgl. Wikipedia: Reibungskoeffizient, https://de.wikipedia.org/wiki/Reibungskoeffizient

Auch der Versuchsaufbau 2 wurde durch den Versuch mit der Waage, der bereits erläutert wurde, überprüft.

	Messreihe									
Gewicht in g	,	1	2	2	3		4		5	
	Mess- wert	Än- derung in %								
500	496	0,80	497	0,60	491	1,80	494	1,20	497	0,60
1000	998	0,20	994	0,60	995	0,50	997	0,30	990	1,00
1500	1497	0,20	1482	1,20	1495	0,33	1494	0,40	1496	0,27
2000	1991	0,45	1990	0,50	1987	0,65	1997	0,15	1996	0,20
2500	2490	0,40	2493	0,28	2490	0,40	2486	0,56	2498	0,08

Tabelle 3: : Änderung durch den Versuchsaufbau 1 in Prozent

Bei Versuchsaufbau 2 ist die maximale Änderung bei 500 g 1,8 %, bei 1000 g 1,00 %, bei 1500 g 1,20 %, bei 2000 g 0,65 % und bei 2500 g 0,56 %. Die Gewichtsübertragung ist im Vergleich zu Versuchsaufbau 1 bei Versuchsaufbau 2 deutlich genauer, da es beim Versuchsaufbau 1 zu Änderungen zwischen 0,80 % und 13,00 % kam.

Der Versuchsaufbau 2 ist folglich relativ genau und deswegen kann mit Versuchsaufbau 2 die Zuordnung des Sensorwert zu Kraft- und Druckwerten durchgeführt werden.

#### 2.6.3 Vergleich von Untergrundmaterialien

Zunächst wird getestet, inwieweit der Untergrund, auf dem der Sensor platziert ist, die Sensorwerte beeinflusst. Hierfür wird je eine Versuchsreihe von fünf Versuchen auf jedem der vier Untergrundmaterialien, einer Schaumstoffplatte, einem Stück Kork, einer Kunststoffplatte und einer Holzplatte, durchgeführt. In jedem Versuch wird der Sensor über den Versuchsaufbau nacheinander mit verschieden großen Gewichten belastet. Die Gewichte sind 245 g, 500 g, 700 g, 1 kg, 1,2 kg, 1,5 kg, 1,7 kg, 2 kg, 2,5 kg, 3,0 kg, 3,5 kg und 4,0 kg groß. Allerdings wird der Sensor nicht in allen fünf Versuchen auf allen Untergrundmaterialien mit den Gewichten von 2,5 kg bis 3,5 kg belastet, da der Sensor manchmal während des Versuches verrutscht und die Werte, die nach einem Verrutschen des Sensors erfasst werde, dann Fehlwerte sind. Die Messdauer für jedes Gewicht ist in jedem Versuch mindestens eine Minute lang. Da pro Sekunde, außer wenn es Fehlmessungen gibt, genau ein Wert gemessen wird, gibt es für jedes im Versuch verwendete Gewicht mindestens 60 Werte. Aus diesen Werten wird nach jedem Versuch für jedes dieser Gewichte der Durchschnittswert aus den ersten 60 Werten berechnet.

Anschließend werden für jedes Gewicht die Durchschnittswerte der fünf Messreihen verglichen. Der höchste der fünf Durchschnittwerte wird anschließend für den Untergrundvergleich ausgewählt, da bei diesem Wert die Bedeckung des Sensors durch die Gewindestange am besten war. Wenn es bei den höheren Gewichten keine fünf Durchschnittswerte gibt, werden weniger Durchschnittswerte verglichen und von diesen wird anschließend wieder der höchste Durchschnittswert ausgewählt. Bei Schaumstoff und Kork wurden auch noch Versuche mit 4 kg durchgeführt, da eine gewisse Höhe des Sensorwerts erreicht werden sollte. Denn dies ist für die späteren Versuche nötig.

Gewicht in Gramm	Schaumstoff	Kork	Kunststoff	Holz
0	0	0	0	0
245	57,6	157,5	203,2	202,5
500	103,1	258,1	328,7	329,3
700	180,5	301,4	357,4	366,9
1000	273,8	379,4	416,1	435,7
1200	333,6	429,5	440,0	458,5
1500	371,2	456,3	495,1	485,1
1700	376,7	504,3	503,7	504,6
2000	419,3	547,5	559,4	543,3
2500	463,5	578,7	586,2	590,0
3000	500,3	609,8	629,6	643,3
3500	568,2	652,4	670,9	692,3
4000	647,4	668,9		

Tabelle 4: Vergleich der Untergrundmaterialien

15

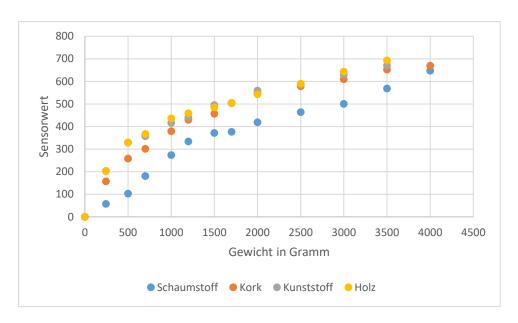


Diagramm 1: Vergleich der Untergrundmaterialien

Die Werte auf dem Schaumstoff, der Weichste der Untergrundmaterialien, sind bei allen Gewichten am niedrigsten. Des Weiteren verlaufen die Werte beim Schaumstoff am unregelmäßigsten. Ein Problem bei den Versuchen auf dem Schaumstoff war, dass der Sensor insbesondere bei den höheren Gewichten durch das Einsinken in den Schaumstoff nicht mehr gerade auf dem Untergrund liegt. Folglich ist Schaumstoff für den Sensor als Untergrund nicht geeignet. Die Werte, bei denen der Kork der Untergrund war, sind bei den Gewichten, die kleiner als 1,7 kg sind, niedriger. Bei 1,7 kg ist der Wert, der aus der Kork-Versuchsreihe stammt, minimal höher als der Wert von der Kunststoff-Versuchsreihe und minimal niedriger als der Wert von der Holzversuchsreihe. Der 2 kg Wert aus der Versuchsreihe, bei dem der Untergrund Kork war, liegt zwischen dem Wert der Kunststoff-Versuchsreihe und der Holz-Versuchsreihe. Bei den Gewichten, die schwerer als 2 kg sind, sind die Werte der Kork-Versuchsreihe wieder niedriger. Die Werte der Versuchsreihen, bei denen der Untergrund eine Holzplatte war, und die Werte, bei denen der Sensor auf einer Kunststoffplatte platziert war, sind relativ ähnlich. Folglich sind die Kunststoff- und die Holzplatte als Untergrund am geeignetsten.

#### 2.6.4 Zeitabhängigkeit des Sensors

Laut dem Handbuch der Firma Interlink Electronics hängt der Sensorwert von der Dauer der Belastung ab.<sup>14</sup>

Um zu überprüfen, ob sich der Sensorwert abhängig von der Zeitspanne ändert, wurde der Durchschnittswert der ersten zehn Werte mit dem Durchschnittswert der ersten 60 Werte in

<sup>14</sup> Vgl. Interlink Electronics: FSR® Integration Guide S. 26, http://www.generationrobots.com/media/FSR400-Series-Integration-Guide.pdf

jedem Versuch verglichen. Dafür wird die Differenz der beiden Durchschnittswerte bezogen auf den Durchschnittswert der ersten 60 Werte berechnet. Wenn keine Messfehler auftreten, misst der Sensor jede Sekunde. Deswegen entsprechen im Normalfall die ersten zehn Werte den ersten zehn Sekunden und die ersten 60 Werte einer Minute. Auch wenn die Zeitspanne länger als 60 Sekunden war, wurde der Durchschnittswert aus den ersten 60 Werten berechnet. Ob sich der Sensorwert bei einer Zeitspanne, die länger als 1 Minute ist, ändert, ist für den praktischen Teil des Versuchs nicht wichtig, da sich die Belastung auf den Sensor beim Carven sehr schnell ändert und nie länger als eine Minute konstant ist. Die Werte werden aus den gleichen Versuchsreihen entnommen, die bereits für den Vergleich der Untergrundmaterialien verwendet wurden. Da der Kork und der Schaumstoff als Untergrund für den Sensor ungeeignet sind, werden ihre Werte nicht auf Zeitabhängigkeit untersucht.

	Änderung in Prozent									
Gewicht in		Vers	uch auf	Holz			Versuc	n auf Ku	ınststoff	
Gramm	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
245	3,62	3,57	2,33	0,44	1,09	1,10	5,78	1,19	1,18	1,33
500	2,37	0,00	3,82	-3,48	0,36	4,56	4,48	-3,18	-0,06	1,19
700	3,57	2,88	0,29	-2,28	1,95	2,15	2,41	0,56	-1,93	2,47
1000	-0,19	-0,78	-0,50	4,69	-4,58	-2,64	-0,64	-0,51	-1,11	-1,11
1200	-0,51	-1,45	-0,04	3,01	-0,93	-1,82	-0,61	-0,21	0,99	-0,07
1500	-0,32	-1,02	0,60	-1,48	-2,34	-2,51	-0,06	0,08	-1,03	-0,31
1700	-0,65	-0,28	1,80	-0,62	-2,87	-0,63	-1,21	0,61	0,70	-1,03
2000	-0,06	-2,16	2,08	-1,26	-6,03	0,61	-1,13	0,11		-4,82
2500	-0,51	-0,40	0,27	-0,41	-1,36	-1,59	-2,93	-0,11		-0,52
3000	-0,06		0,28	0,31	-2,10	1,13		0,07		0,05
3500	0,11		1,23			1,23		0,40		1,30

Tabelle 5: Zeitabhängigkeit des Sensors 6

Die Tabelle zeigt, dass es zwar eine Veränderung zwischen den ersten zehn und den ersten 60 Werten gibt. Allerdings ist bei 53 Versuchen der Mittelwert der ersten zehn Werte höher und bei 46 der Durchschnittswert der ersten 60 Werte höher. Außerdem kann nicht festgestellt werden, dass bei den leichteren Gewichten die Änderung in Prozent immer positiv ist und bei den schwereren Gewichten immer negativ. Da sich keine Regelmäßigkeiten in der Veränderung zwischen den ersten zehn und den ersten 60 Werten feststellen lässt, sind sie auf die Messungenauigkeit des Sensors zurückzuführen. Im Versuch 5 der Kunststoffversuchsreihe bei der Last von 2 kg gab es einen plötzlichen Werteabfall des Sensorwerts von 548 auf 523. Da

bei dem Mittelwert der ersten 60 Werte auftretende Messfehler besser ausgeglichen werden können, wird mit dem Durchschnittswert der ersten 60 Werte weitergearbeitet.

### 2.6.5 Zuordnung zu den physiksalischen Größen Druck und Kraft

Bei dem Vergleich von verschiedenen Untergrundmaterialien wurde festgestellt, dass die Kunststoffplatte und die Holzplatte für die weiteren Versuche am geeignetsten sind und die Werte ähnlich sind. Deswegen macht es keinen Unterschied, welcher dieser beiden Untergrundmaterialien weiter bei den Versuchen zur eigentlichen Zuordnung der Sensorwerte zu den physikalischen Größen verwendet wird.

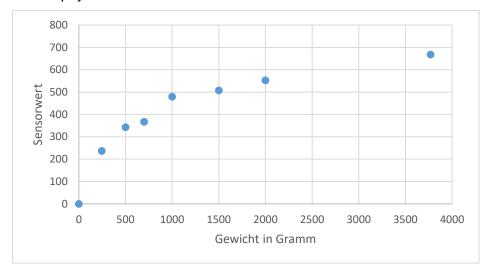


Diagramm 2: Zuordnung von Sensorwert zu Gewicht bei Sensor 1

Das Punktdiagramm zeigt die Ergebnisse der fünf Versuchsreihen zu Sensor 1. Alle diese Versuchsreihen wurden mit den Gewichten 245 g, 500 g, 700 g, 1 kg, 1,5 kg, 2 kg und 3,77 kg auf Holz durchgeführt. Die Werte wurden mit der gleichen Methode wie bei dem Vergleich der Untergrundmaterialien aus den verschiedenen Versuchsreihen ausgewertet.

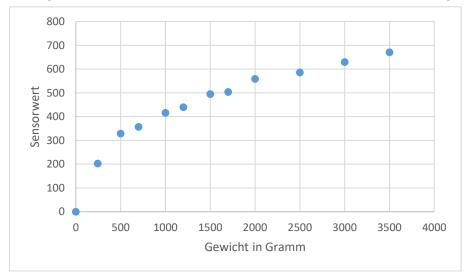


Diagramm 3: Zuordnung von Sensorwert zu Gewicht bei Sensor 6

Da es bei Sensor 6 zu beiden Untergrundmaterialien Versuchsreihen gibt, werden die Ergebnisse der Kunststoff Versuchsreihe verwendet. Denn dieser Untergrund wird später bei den praktischen Versuchen verwendet

Dieses Punktdiagramm zeigt die Ergebnisse der Kunststoffversuchsreihe bei Sensor 6. Es handelt sich hierbei um die gleichen Werte wie bei dem Vergleich von Untergrundmaterialien.

Da es bei dem Verlauf des Graphen von Sensor 1 stärkere Ausreißer gibt und die Sensorwerte bei größeren Gewichten bei Sensor 6 höher sind, wird mit Sensor 6 weitergearbeitet. Die Ungenauigkeit von Sensor 1 ist vermutlich durch das Anlöten der Verbindungskabel entstanden, da dies zu Problemen führen kann.<sup>15</sup>

Gewicht m in Gramm	Kunststoff	F in N	p in kPa
0	0	0	0
245	203	2	54
500	329	5	111
700	357	7	155
1000	416	10	222
1200	440	12	266
1500	495	15	333
1700	504	17	377
2000	559	20	444
2500	586	25	555
3000	630	29	666
3500	671	34	777

Die Tabelle zeigt die Zuordnung des Sensorwert von Sensor 6 zu der Kraft F in Newton und zu dem Druck p in Kilopascal. Es ist aber aufgrund von der Ungenauigkeit und einigen Schwierigkeiten bei der optimalen Sensorbedeckung nur eine ungefähre Zuordnung.

Die Kraft F und der Druck p wurde mit den folgenden Formeln berechnet:

$$F=m\times g$$
 
$$p=\frac{F}{A}=\frac{m\times g}{A}$$
 mit A = 44,2 mm² (siehe 2.3.2)

Tabelle 6: Zuordnung des Sensorwerts zu Kraft und Druck

Interlink Electronics: FSR® Integration Guide, S. 29, http://www.generationrobots.com/media/FSR400-Series-Integration-Guide.pdf

19

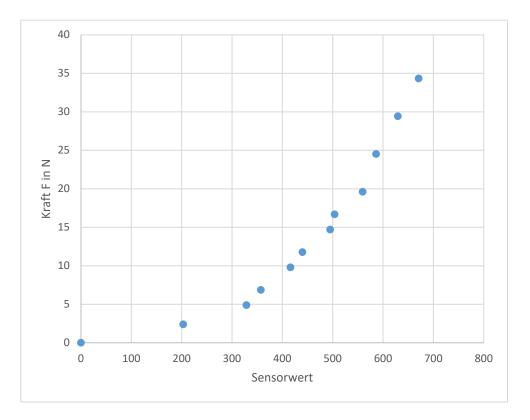


Diagramm 4: Sensorwert von Sensor 6 zu der Kraft F in Newton

Das Punktdiagramm zeigt die Zuordnung des Sensorwert von Sensor 6 zu der physikalischen Größe Kraft F in Newton. An den Ausreißern im Verlauf des Diagramms wird deutlich, dass die Zuordnung noch nicht sehr genau ist.

#### 3 Skitechnik des Carvens

Beim Skifahren gibt es verschiedene Techniken. Besonders beliebt ist die Skitechnik des Carvens. Im Gegensatz zu dem klassischen Parallelfahren, bei welchem die Kurve durch eine Hoch-Tief-bewegung eingeleitet wird, gibt es bei dem Carven keinen Driftanteil, da die Kurve auf der Kante gefahren wird. Dadurch verringert sich in der Kurve die Geschwindigkeit nicht.

Gelöscht wegen Copyright

Abbildung 7: Grundposition beim Carven Die Skier werden beim Carven im Normalfall schulterbreit bis hüftbreit und parallel geführt. Außerdem sind die Fuß-, Knie- und Hüftgelenke leicht gebeugt. Die Arme werden locker seitlich vor dem Körper gehalten und sind ebenfalls nicht durchgestreckt. Um die Kurve einzuleiten, werden die Beine und das Becken gekippt. Dann fährt der Ski auf der Kante eine Kurve. Die Weite der Kurve ist von der Taillierung der Skier abhängig. Durch das Aufkanten und die Belastung beider Skier entstehen die für das Carven typischen Linien auf der Piste. Dabei wird der Außenski mehr belastet. Besonders wichtig ist beim Carven, dass das Gewicht und damit der Schwerpunkt nach vorne verlagert wird und das Schienbein gegen den Skischuh gedrückt wird.

# 4 Die Verwendung eines Drucksensors beim Carven

#### 4.1 Platzierung der Sensoren

Bei der Zuordnung des Sensorwerts zu den physikalischen Größen wurde bereits festgestellt, dass das Material der Untergrundfläche den Sensorwert beeinflusst und, dass bei weichem Material die Sensorwerte niedriger sind. Da der Skischuh innen mit einer weichen Stoffschicht überzogen ist und das menschliche Bein auch nachgiebig ist, wird der Sensor nicht direkt zwischen der Haut und dem Stoff im Skischuh platziert.

Vgl. SKIINFO (2018): Special Skitechnik: Richtig carven - die Grundelemente der Carving-Technik, https://www.skiinfo.de/news/p/854/a/571096/special-skitechnik-richtig-carven-die-grundelemente-der-carving-technik

<sup>17</sup> Vgl. Deutscher Skiverband (2015): DSV-Experten-Tipps - Perfektes Carven (Ski Alpin), https://www.youtube.com/watch?v=6npVgtYnlWY&t=2s

<sup>18</sup> Vgl. Skigebiete-Test (02.12.2014): Die Technik macht's - Tipps für einen besseren Carving-Schwung, https://www.skigebiete-test.de/skimagazin/tipps-fuer-einen-besseren-carving-schwung.htm

<sup>19</sup> Vgl. Neiheisser (2018): Skitraining auf der Kandahar

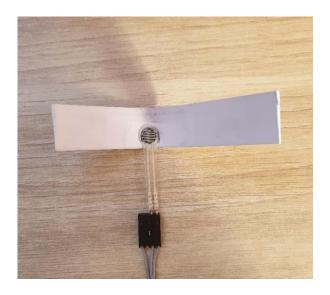


Abbildung 8: Befestigung des Drucksensors auf der Kunststoffplatte

Anstelle dessen wird er auf eine Kunststoffplatte aufgebracht, welche zuvor in die Form des Beines und des Skischuhs gebogen worden ist.

Die Kunststoffplatte und der Sensor werden anschließend mit Tape so befestigt, dass der Sensor sich auf dem Schienbeinknochen befindet, da dies der härteste Teil des Beines ist.



Abbildung 9: Mögliche Positionen auf dem Schienbeinknochen

Auf dem Schienbeinknochen gibt es noch viele Möglichkeiten den Sensor zu platzieren. Wichtig ist hierbei, die Position für den Sensor so auszuwählen, dass das Schienbein direkt am Skischuh anliegt, da sonst keine Kraft gemessen werden kann. Deswegen wurde der Sensor zunächst an 15 verschiedenen Positionen auf dem Schienbein angebracht, um in drei Versuchen zu ermitteln, welche der Positionen für die Druck- und Kraftmessung beim Skifahren am geeignetsten ist.

Um anschließend besser beurteilen zu können, wann zu wenig Kraft und wann genügend Kraft auf den Skischuh ausgeübt wird, ist es wichtig, dass der Wert, bei dem kein Druck auf den Skischuh ausgeübt wird und der Wert bei dem maximalen Druck auf den Skischuh wirkt, eine hohe Differenz haben.

22

Deswegen wurde zunächst in drei Versuchen bei jeder der 15 Positionen probiert, 30 Sekunden lang möglichst viel Kraft auf die Skischuhzunge auszuüben. Anschließend wurde die Skischuhzunge 30 Sekunden gar nicht belastet, um festzustellen, ob der Skischuh an manchen Positionen so eng am Bein anliegt, dass es dort einen messbaren dauerhaften Druck gibt. Der Skischuh wurde bei allen Versuchen gleich eng zugeschnallt und der Sensor wurde immer am rechten Bein befestigt.

	V 1		V	2	V	Maximum	
Position	Maximum bei Belastung	Ø keine Belastung	Maximum bei Belastung	Ø keine Belastung	Maximum bei Belastung	Ø keine Belastung	der maximal Werte der Versuche
1	1	0,00	4	0,80	1	0,00	4
2	0	0,00	8	0,80	4	0,00	8
3	1	0,00	8	0,80	0	0,03	8
4	0	0,03	8	0,90	1	0,03	8
5	8	0,00	242	0,80	154	0,00	242
6	127	1,50	336	1,10	215	0,00	336
7	28	1,60	383	0,60	505	0,00	505
8	565	1,10	463	1,20	287	0,03	565
9	559	1,40	497	1,00	342	0,00	559
10	544	1,10	556	1,40	592	0,20	592
11	597	1,30	550	0,90	490	0,00	597
12	577	1,30	620	0,80	556	0,30	620
13	6	1,10	576	0,60	515	0,07	576
14	410	0,70	595	0,60	429	1,10	595
15	347	0,90	377	1,40	481	0,80	481

Tabelle 7: Maximale Werte von möglichst große Belastung auf den Skischuh und Durchschnittswerte von keiner Belastung

Die Tabelle zeigt für jeden Versuch bei jeder der 15 Positionen den maximalen Wert der ersten 30 Werte bei maximaler Belastung und den Mittelwert der ersten 30 Werte bei keiner Belastung. Da das Ziel war, möglichst großen Druck auf den Sensor auszuüben, ist nur der maximale Wert aus jeder Messreihe pro Position von Bedeutung. Der Durchschnittswert der ersten 30 Werte kann nichts über den möglichst großen Druck aussagen, da manchmal der Sensor kurz entlastet werden musste, weil sich sonst die Metallstifte zu sehr in das Bein gedrückt hätten.

Der Sensorwert bei keiner Belastung ist in allen Versuchen bei allen Positionen kleiner als zwei. Somit stellt der Wert bei keiner Belastung kein Problem dar. Der Maximalwert bei größtmöglichem Druck ist dagegen bei den verschiedenen Positionen sehr unterschiedlich. Bei der Position 1 ist der maximale Wert aus den drei Versuchen 4 und bei den Positionen 2 bis 4 ist der maximale Wert aus den drei Versuchen 8. Bei diesen vier Positionen liegt der Skischuh folglich nicht eng genug an und sie sind deswegen nicht für die Messungen geeignet. Bei den übrigen Positionen 5, 6, 7 und 15 sind die Werte deutlich höher als in den Positionen 1 bis 4, aber da die maximalen Werte der Positionen 8 bis 14 deutlich höher ausfallen, sind diese Positionen geeigneter. In Versuch 1 war Position 13 höchstwahrscheinlich eine Fehlmessung, da die beiden Werte der anderen Versuche deutlich höher waren.

Der höchste Sensorwert 620 kam bei der Position 12 zustande. Der nächsthöhere Wert ist 595 bei der Position 14. Da die maximalen Werte der beiden anderen Versuche der Position 12 nicht ganz so hoch waren, 577 und 556, wird keine der Positionen 8 bis 14 ausgeschlossen.

Deswegen werden an den Positionen 8 bis14 noch weitere Versuche durchgeführt. Bei diesen drei Versuchen wird auch getestet, wie der Sensorwert bei längerer anhaltender hoher Belastung ausfällt. Daher wird bei jeder der sechs Positionen in jedem Versuch eine Minute lang großer Druck auf die Skischuhzunge ausgeübt. Anschließend werden die Mittelwerte und der Maximalwert der drei Versuche bei jeder Position verglichen.

	Versuch 4		Versu	uch 5	Versuch 6		
Position	maximaler Wert	Mittelwert	maximaler Wert	Mittelwert	maximaler Wert	Mittelwert	
8	440	349,5	452	335,9	432	366,5	
9	492	444,6	441	403,9	440	381,9	
10	546	481,7	561	519,5	499	408,7	
11	556	467,1	568	482,1	523	481,5	
12	480	376,5	558	472,6	536	451,0	
13	489	417,9	563	516,5	582	519,7	
14	512	419,8	436	286,1	545	448,8	

Tabelle 8: Ausübung von Großem Druck bei den Positionen 8 - 14

Die Mittelwerte sind bei den Positionen 8, 9 und 14 am kleinsten, wenn man den größten Mittelwert, den zweitgrößten Mittelwert und den drittgrößten Mittelwert vergleicht. Der Mittelwert von Position 12 aus der Versuchsreihe 4 wird bei diesem Vergleich ausgenommen, da dieser im Versuch 4 deutlich kleiner ist als der Mittelwert aus den Versuchsreihen 5 und 6. Auch die maximalen Werte der Position 8 und 9 sind am kleinsten, wenn man den größten Maximalwert, den zweitgrößten Maximalwert und den drittgrößten Maximalwert vergleicht. Die

Maximalwerte von Position 10 sind etwas höher als die der Positionen 8 und 9. Am größten sind die Maximalwerte von Position 11 bis 14. Da die Maximalwerte von Position 10 aber nicht viel geringer sind, werden die Richtbereiche für Position 10 bis 14 aufgestellt.

#### 4.2 Kippeffekt

Bei dem Carven muss der Ski aufgekantet werden. Dazu wird der Skischuh beim Skifahren nach rechts und nach links gekippt. Bei den Versuchen war auffällig, dass der Sensorwert sich ändert, wenn der Skischuh gekippt wird. Deshalb wurde hierzu noch ein weiterer Versuch durchgeführt.

Uhrzeit	Einheit	Position des Skischuhs
20:30:39	353	Gerade
20:30:40	349	
20:30:41	330	
20:30:42	369	
20:30:43	481	Kippen
20:30:44	493	
20:30:45	506	
20:30:47	527	
20:30:47	351	
20:30:48	21	
20:30:49	0	
20:30:50	0	
20:30:51	0	

Die Tabelle zeigt die Sensorwerte für die Position 10, wenn man von der geraden Skischuhposition langsam nach links kippt.

Dabei wird der Wert erst einmal größer und erst bei sehr starkem Kippen kleiner.

Tabelle 9: Kippeffekt nach links

Uhrzeit	Einheit	Position des Skischuhs
20:27:30	248	Gerade
20:27:31	262	
20:27:32	262	
20:27:33	154	Kippen
20:27:34	2	
20:27:35	3	
20:27:36	0	

Tabelle 10: Kippeffekt nach rechts

Die Tabelle zeigt die Sensorwerte für die Position 10, wenn man den Skischuh nach rechts kippt. Der Sensorwert wird immer kleiner.

Bei den anderen Positionen ist der Sensorwert, wenn der Skischuh nach links gekippt wird, auch zuerst höher und dann niedriger geworden und wenn der Skischuh nach rechts gekippt wird, niedriger geworden.

Da beim starken Kippen des Skischuhs auch bei großer Belastung auf beiden Seiten der Sensorwert gleich null ist, wird auch beim Skifahren bei starkem Aufkanten der Wert null herauskommen, auch wenn genügend Druck ausgeübt wird.

#### 4.3 Aufstellen von Richtbereichen

Für jede der ausgewählten Position sollen fünf Richtbereiche aufgestellt werden. Und zwar werden Richtbereiche für keine Belastung, für nur leichte Belastung, für normale Belastung, große Belastung und ein Wert für sehr große Belastung erstellt. Bei dem Aufstellen der Richtwerte für keine Belastung, große Belastung und sehr große Belastung wird auf die Ergebnisse der Versuche 1 bis 6 zurückgegriffen, die bereits für die Platzierung des Sensors durchgeführt wurden. Für die Richtbereiche der leichten und normalen Belastung werden drei neue Versuche durchgeführt.

#### 4.3.1 Versuche zu leichter und normaler Belastung

	Versuch 1			Versuch 2			Versuch 3		
Position	Ø	Min. Wert	Max. Wert	Ø	Min. Wert	Max. Wert	Ø	Min. Wert	Max. Wert
10	214,3	176	272	263,3	196	314	258,0	170	391
11	251,6	202	321	235,1	180	277	242,3	170	340
12	247,3	172	337	256,2	200	289	225,2	154	332
13	226,4	148	382	307,7	226	408	225,7	174	298
14	233,4	175	321	273,9	224	371	271,6	181	364

Tabelle 11: Normale Belastung

Die Tabelle zeigt die Werte für die normale Belastung. Dafür wurde das Bein leicht gegen die Skischuhzunge gedrückt. Die minimalen und maximalen Werte sind teilweise sehr unterschiedlich. Der kleinste Wert 148 und der größte Wert 408 ist an der Position 13 entstanden. Im Versuch 1 bei der Position 13 waren die nächstkleineren Werte 166 und 174. Der zweitgrößte Sensorwert, der in der gleichen Versuchsreihe und gleichen Position gemessen wurde wie der Wert 408 ist 389. Der Wert 408 ist folglich etwas zu groß Diese großen Unterschiede entstehen, da es für einen Menschen unmöglich ist immer gleichmäßigen Druck auszuüben.

Position	Versuch 1			Versuch 2			Versuch 3		
	Ø	Min. Wert	Max. Wert	Ø	Min. Wert	Max. Wert	Ø	Min. Wert	Max. Wert
10	56,9	17	128	89,9	19	139	85,3	12	178
11	72,6	15	188	57,4	12	119	70,5	23	124
12	60,3	32	88	68,3	15	126	68,2	25	119
13	50,9	22	86	76,2	20	144	58,6	20	143
14	56,6	10	95	54,5	10	79	72,9	22	134

Tabelle 12: Leichte Belastung

In dieser Tabelle werden die Werte für leichte Belastung dargestellt. Dafür wurde das Schienbein nur leicht gegen den Skischuh gelehnt. Der niedrigste Wert insgesamt ist 10 und der höchste Wert 188. Insgesamt liegen die Werte sehr nah beieinander.

#### 4.3.2 Zusammenfassung der Richtbereiche

Um nun die Richtbereiche für keine Belastung aufzustellen, wird bei jeder Position der minimale und der maximale Wert bei keiner Belastung aus den Versuchen 1 bis 3 als untere bzw. obere Grenze verwendet. Nach der gleichen Methode werden auch die Grenzwerte des Richtbereichs für leichte Belastung ausgewählt. Bei den Richtbereichen für normale Belastung wird wieder so vorgegangen. Falls aber der minimale Sensorwert von der normalen Belastung kleiner ist als der obere Grenzwert von wenig Belastung, wird als unterer Grenzwert von normaler Belastung der obere Grenzwert von leichter Belastung plus 1 genommen. Bei dem Richtbereich für große Belastung wird nicht mehr der minimale Sensorwert der entsprechenden Versuche genommen, da hierbei viel Kraft auf den Skischuh ausgeübt werden soll. Anstelle dessen wird bei jeder Position der kleinste Durchschnittswert aus den Versuchen 3 bis 6 genommen. Wenn dieser Wert deutlich niedriger ist als die beiden anderen Mittelwerte wird der nächsthöhere Mittelwert genommen. Als oberer Grenzwert dient der Maximalwert der Versuche 3 bis 6. Für den Richtbereich sehr große Belastung gibt es nur eine Untergrenze, da beim Carven nie zu viel Kraft auf den Skischuh ausgeübt werden kann. Der höchste maximale Wert aus den Versuchen 1 bis 3 wird für diese untere Grenze verwendet außer bei der Position 13, da bei dieser Position der Maximalwert aus den Versuchen 4 bis 6 höher war. Bei dieser Position ist der Grenzwert der Maximalwert aus des Versuchen 4 bis 6 plus 1.

Position	Keine Belastung	Leichte Belastung	Normale Belastung	Große Belastung	Sehr große Belastung
10	0 – 10	12 – 178	179 – 391	409 – 561	592
11	0 – 8	12 – 188	189 – 340	467 – 568	597
12	0 – 8	15 – 126	154 – 337	451 – 558	620
13	0 – 5	20 – 144	148 – 408	418 – 582	583
14	0 – 8	10 – 134	175 – 371	420 – 545	595

Tabelle 13: Die Richtbereiche

Aufgrund der gerade erklärten Methode zur Aufstellung der Richtbereiche gibt es Werte, die zwischen den Richtbereichen liegen. Dies stellt allerdings kein Problem dar, weil der Skifahrer dennoch anhand der Tabelle und dem gemessenen Wert feststellen kann, ob er zu wenig Kraft ausübt. Wenn die Grenzen der Richtbereiche der verschiedenen Positionen verglichen werden, ist es auffällig, dass die oberen Grenzwerte bei den verschiedenen Belastungen nicht immer bei der gleichen Position am höchsten sind. Daraus folgt, dass die Richtbereiche nur für eine grobe Einordnung geeignet sind und eigentlich noch mehr Versuche durchgeführt werden müssten. Der Sensorwert, der gemessen wird, wenn der Skischuh nicht gekippt wird, sollte mindestens im Bereich der normalen Belastung liegen. Wenn nach links gekippt wird, sollte der Sensorwert in dem Bereich der großen Belastung liegen, da der Sensorwert beim Kippen nach links erst einmal ansteigt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Sensorwerte und damit der Druck auf die Skischuhzunge unabhängig von der Position immer so hoch wie möglich sein sollten.

#### 4.4 Versuch auf dem Skisimulator



Abbildung 10: Versuch auf dem Skisimulator

Um zu überprüfen, ob die oben aufgestellten Richtbereiche realistisch sind, wurden mit dem Drucksensor am Schienbein zwei Versuche auf dem interaktiven Skisimulator im Sport Förg Store in Friedberg durchgeführt. Dafür wurden die Anschlusskabel des Sensors verlängert. Der Laptop, der Arduino und das Breadboard wurden in einem Rucksack verstaut. Bei Versuch 1 wurde der Sensor an der Position 12 befestig und bei dem Versuch 2 an der Position 14.

Zeitpunkt	Sensorwert
15:00:38	12
15:00:39	140
15:00:40	291
15:00:41	3
15:00:42	2
15:00:43	420
15:00:44	199
15:00:45	0
15:00:46	0
15:00:47	33
15:00:48	0
15:00:49	4
15:00:50	364
15:00:51	200
15:00:52	2
15:00:53	199
15:00:54	427
15:00:55	54
15:00:56	0
15:00:57	264
15:00:58	2
15:00:59	0
15:01:01	302
15:01:02	4
15:01:03	28
15:01:04	148
15:01:05	11
15:01:06	32
15:01:07	160

Tabelle 14: Ausschnitt aus den Versuchsergebnissen auf dem Skisimulator

Die Tabelle zeigt einen Ausschnitt der Versuchsergebnisse von Versuch 1 auf dem Skisimulator.

Die sehr niedrigen Werte, die zwischen höheren Werten liegen, zeigen, dass der Kippeffekt auch in der Praxis ein Problem darstellt. Wenn die Kurven länger sind, sind mehr niedrige Werte nacheinander, da länger auf der Kante gefahren wird, ohne in die gerade Position zu wechseln. Bei kurzen Kurven dagegen sind weniger niedrige Werte zwischen den hohen Werten, da schneller die Kantenseite gewechselt wird. Zudem hätte der Skischuh teilweise noch stärker belastet werden können. Da ein paar Werte in den Richtbereichen für normale und große Belastung liegen, sind die Richtbereiche wahrscheinlich realistisch. Um noch bessere Ergebnisse zu erhalten, müssen allerdings noch weitere Versuche, am besten beim tatsächlichen Skifahren von Personen, die gut Carven können, durchgeführt werden.

#### 5 Diskussion und Ausblick

Anhand der aufgestellten Bereiche kann bereits ungefähr beurteilt werden, ob genügend Kraft bzw. Druck oder zu wenig Kraft bzw. Druck auf den Skischuh beim Carven ausgeübt wird. Außerdem kann man die Sensorwerte grob den physikalischen Größen Kraft und Druck zuordnen. Allerdings ist das aufgrund der Ungenauigkeit des Sensors und aufgrund einiger Schwierigkeiten und Problemen bei den Versuchen bei der Zuordnung des Sensorwerts zu den physikalischen Größen noch nicht sehr genau.

29

Es gibt auch noch einige Verbesserungsmöglichkeiten. Da es sehr unpraktisch ist, den Laptop mit zum Skifahren zu nehmen, müsste man die Daten auf einer SD-Karte speichern und diese dann anschließend über den Laptop auslesen. Dazu müsste eine Änderung im Arduino Sketch vorgenommen werden und die SD-Karte am Microcontrollerboard angeschlossen werden.<sup>20</sup> Außerdem wurde bei den Versuchen das Microcontrollerboard durch den Laptop mit Strom versorgt. Folglich würde der Elegoo Uno R3 nun über eine andere Stromquelle versorgt werden. Eine Möglichkeit wäre, eine Batterie anzuschließen. Die Batterie müsste eine Spannung zwischen 7 - 12 V haben, da das die Eingangsspannung des Elegoo Uno R3 ist.<sup>21</sup> Die Stromversorgung des Microcontrollerboard könnte auch über das bereits verwendete USB-Kabel und eine Powerbank erfolgen.<sup>22</sup>

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass die genaue Sensorposition für jeden Skifahrer und für jeden Skischuh individuell ermittelt werden muss. Zudem sind auch die Sensorwertebereiche, die als Richtbereiche der verschieden starken Belastungen der Skischuhzunge gelten, von dem Gewicht abhängig. Deswegen müssten auch hier noch weitere Versuche mit Personen mit unterschiedlichem Gewicht durchgeführt werden, um anschließend für Menschen unterschiedlicher Gewichtsklassen Richtbereiche aufstellen zu können. Des Weiteren könnte durch die Verwendung von mehreren Drucksensoren in beiden

Skischuhen der Kippeffekt besser ausgeglichen werden, da mit seitlich angebrachten Sensoren der Zeitpunkt des Kippens besser festgestellt werden könnte. Allerdings könnten die Sensoren, die seitlich angebracht werden würden, nicht mehr an den Knochen angebracht werden. Daher müsste hier eine neue Lösung für die Platzierung der seitlichen Sensoren gefunden werden.

Vgl. Funduino: Nr. 28 – Das SD-Karten Modul, https://funduino.de/nr-28-das-sd-karten-modul

Vgl. Amazon: Elegoo https://www.amazon.de/Entwicklungsplatine-ATmega328P-ATmega16U2-USB-Kabel-Arduino/dp/B01EWOE0UU/ref=sr\_1\_4?adgrpid=74971947550&gclid=Cj0KCQjwr-\_tBRCMARIsAN413WTX3muGkBl2li86epRLa1oFONf8o0UsGCNJeKpuPpxcBiYxIZ-MokMaAqzLEALw\_wcB&hvadid=352640898623&hvdev=c&hvlocphy=20231&hvnetw=g&hvpos=1t1& hvqmt=e&hvrand=6652343777845586004&hvtargid=kwd-301003393351&hydadcr=8208\_1722844&keywords=elegoo+uno+r3&qid=1572601549&sr=8-4

Vgl. MaxTechTV (2015): 5 Wege einen Arduino mit Strom zu versorgen, https://www.youtube.com/watch?v=cUu\_C1wYaic

Wenn in dem anderen Skischuh der Sensor platziert werden würde, würde der Sensorwert vermutlich beim nach rechts kippen erstmal größer werden. Auch dazu sollten noch weitere Versuche durchgeführt werden.

Abschließend kann festgestellt werden, dass mit dieser Arbeit eine gute Grundlage geschaffen wurde, um mit Hilfe von Drucksensoren die Carving-Technik zu verbessern.

#### 6 Quellenverzeichnis

#### 6.1 Literaturverzeichnis

Brühlmann, Thomas: Arduino Praxiseinstieg Behandelt Arduino 1.0, Köln, 2012, 2. Auflage, S. 23f

Neiheisser, Monika: Skitraining auf der Kandahar, in "DSV aktiv Ski & Sportmagazin 06/2018", November 2018, S.48

#### 6.2 Internetquellen

adafruit: Using an FSR - Simple Code for Analog FSR Measurements,

https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/using-an-fsr

(Stand: 02.11.2019)

Amazon (a): Akozon Kraftsensor Drucksensor (0-10kg),

https://www.amazon.de/gp/product/B07HC7RDRN/ref=ppx\_yo\_dt\_b\_asin\_title\_o01\_s00?ie=UT

F8&th=1

(Stand: 01.11.2019)

Amazon (b): Akozon Kraftsensor Drucksensor (0-20kg),

https://www.amazon.de/gp/product/B07HC7C5ZZ/ref=ppx\_yo\_dt\_b\_asin\_title\_o01\_s00?ie=UTF

8&psc=1

(Stand: 01.11.2019)

Amazon (c): Elegoo

https://www.amazon.de/Entwicklungsplatine-ATmega328P-ATmega16U2-USB-Kabel-

Arduino/dp/B01EWOE0UU/ref=sr\_1\_4?adgrpid=74971947550&gclid=Cj0KCQjwr-

\_tBRCMARIsAN413WTX3muGkBl2li86epRLa1oFONf8o0UsGCNJeKpuPpxcBiYxlZ-

MokMaAqzLEALw\_wcB&hvadid=352640898623&hvdev=c&hvlocphy=20231&hvnetw=g&hvpos

=1t1&hvqmt=e&hvrand=6652343777845586004&hvtargid=kwd-

301003393351&hydadcr=8208\_1722844&keywords=elegoo+uno+r3&qid=1572601549&sr=8-4

(Stand: 01.11.2019)

Deutscher Skiverband (10.03.2015): DSV-Experten-Tipps - Perfektes Carven (Ski Alpin)

https://www.youtube.com/watch?v=6npVgtYnIWY&t=2s

(Stand: 01.11.2019)

Funduino (a): Hardware und Software https://funduino.de/hardware-software

(Stand: 01.11.2019)

Funduino (b): Nr. 28 – Das SD-Karten Modul https://funduino.de/nr-28-das-sd-karten-modul

(Stand: 01.11.2019)

Interlink Electronics: FSR® Integration Guide S.2f, S.26 und S.29

http://www.generationrobots.com/media/FSR400-Series-Integration-Guide.pdf

(Stand: 02.11.2019)

LEIFI Physik: Druck, Kolben- und Schweredruck

https://www.leifiphysik.de/mechanik/druck-kolben-und-schweredruck

(Stand: 01.11.2019)

Longines Alpine Skiing (21.10.2016): Longines präsentiert neue Dimension der Zeitmessung im alpinen Skisport

https://www.eurosport.de/ski-alpin/longines\_sto5919415/story.shtml

(Stand: 02.11.2019)

MaxTechTV (25.05.2015): 5 Wege einen Arduino mit Strom zu versorgen

https://www.youtube.com/watch?v=cUu\_C1wYaic

(Stand: 01.11.2019)

MSR Electronics: Ermitteln von Kniebelastungen beim Skifahren

https://www.msr.ch/de/anwendungsgebiete/datenlogger-sensor-misst-kniebelastung-skifahren-

thea-waldleben/

(Stand: 01.11.2019)

Ries, Marco (24.10.2018): Sensor-Technik soll das Skispringen revolutionieren

https://www.skispringen.com/sensor-technik-soll-das-skispringen-revolutionieren/

(Stand: 01.11.2019)

Scinexx das Wissensmagazin (18. Februar 2009): Besser Wedeln mit dem digitalen Skilehrer? https://www.scinexx.de/news/technik/besser-wedeln-mit-dem-digitalen-skilehrer/

(Stand: 01.03.2020)

Skigebiete-Test 02.12.2014 Die Technik macht's - Tipps für einen besseren Carving-Schwung https://www.skigebiete-test.de/skimagazin/tipps-fuer-einen-besseren-carving-schwung.htm (Stand: 01.11.2019)

SKIINFO (12. Dezember 2018): Special Skitechnik: Richtig carven - die Grundelemente der Carving-Technik

https://www.skiinfo.de/news/p/854/a/571096/special-skitechnik-richtig-carven-diegrundelemente-der-carving-technik

(Stand: 01.11.2019)

Wikipedia: Reibungskoeffizient,

https://de.wikipedia.org/wiki/Reibungskoeffizient

(Stand: 01.11.2019)

# 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Struktur der FSR-Tinte

Interlink Electronics: FSR® Integration Guide S.3

(Stand 02.11.2019)

Abbildung 2: Aktiver Bereich mit ineinandergreifenden Fingern

https://www.sparkfun.com/products/9375

(Stand 02.11.2019)

Abbildung 3: Aufbau des FSR-Sensors

Interlink Electronics: FSR® Integration Guide S.2

(Stand 02.11.2019)

Abbildung 4: Schaltplan

Eigene Darstellung

Abbildung 5: Versuchsaufbau 1

Eigene Darstellung

Abbildung 6: Versuchsaufbau 2

Eigene Darstellung

Abbildung 7: Grundposition beim Carven

https://www.skigebiete-test.de/skimagazin/tipps-fuer-einen-besseren-carving-schwung.htm

(Stand 01.11.2019)

Abbildung 8: Befestigung des Drucksensors auf der Kunststoffplatte

Eigene Darstellung

Abbildung 9: Mögliche Positionen auf dem Schienbeinknochen

Eigene Darstellung

Abbildung 10: Versuch auf dem Skisimulator

Eigene Darstellung

# 8 Tabellenverzeichnis

Alle Tabellen sind eigene Darstellungen

# 9 Diagrammverzeichnis

Alle Diagramme sind eigene Darstellungen

## 10 Anhang

#### Anhang I

o drucksensor\_3 | Arduino 1.8.7

Datei Bearbeiten Sketch Werkzeuge Hilfe

```
drucksensor_3 §
```

```
int fsrPin = 0;
                   // the FSR and 10K pulldown are connected to a0
int fsrReading;
                  // the analog reading from the FSR resistor divider
void setup(void) {
 // We'll send debugging information via the Serial monitor
 Serial.begin(9600);
 Serial.println("CLEARDATA");
 Serial.println ("RESETTIMER");
 Serial.println ("LABEL, Uhrzeit, Zeitpunkt, Einheit,");
}
void loop(void) {
 Serial.print ("DATA, TIME, TIMER, ");
 fsrReading = analogRead(fsrPin);
Serial.print("");
 // Serial.print("Analog reading = ");
 Serial.println(fsrReading);  // the raw analog reading
  // We'll have a few threshholds, qualitatively determined
 delay(1000);
```

1	1	Eł	renv	vörtl	liche	Erkla	ärung	7
---	---	----	------	-------	-------	-------	-------	---

Ich erkläre, dass ich die Seminararbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe, und dass die von mir in Papierform eingereichte Arbeit mit der von mir digitale Arbeit übereinstimmt.

Augsburg, den	
---------------	--

\_\_\_\_\_

(Unterschrift der Schülerin / des Schülers)