



# Optimierungsbetrachtungen an einer Positionieranwendung



Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur



**Technische Universität Graz**

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften



Institut für Leichtbau

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Moser

Graz, Mai 2013



---

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit beinhaltet die Beschreibung, die messtechnische Erfassung des Betriebsverhaltens, sowie die Beurteilung und Neukonstruktion eines Positioniergetriebes für eine spezielle Anwendung im Leistungssport. Als Mindestanforderung an die Positionieraufgabe ist das Parameterbündel Ausgangs- und Endposition und ein in der Endlage vorgebarbarer Winkel und Versatz definiert.

Ziel ist es, das Verständnis über die Wirkungsweise und die damit verbundenen Betätigungskräfte der bereits eingesetzten Positioniergetriebe zu vertiefen und über eine tiefere Kenntnis der Einflussmöglichkeiten in die Bewegungsabläufe der Sportart neue Mechanismen zu entwickeln, die verbesserte Trainingsabläufe und unter Wettbewerbsbedingungen ein schnelleres Reagieren auf äußere Einflüsse oder Athletenanforderungen ermöglichen.

Die messtechnisch analysierten Prüflinge basieren auf drei grundsätzlich verschiedenen Konstruktionsprinzipien. Für den Typ-1 kommt das Zahnrad-Zahnstangenprinzip zur Anwendung, Typ-2 verwendet eine Hebelkinematik und der Typ-3 folgt dem Prinzip des gekrümmten Stabes. Das festgelegte Parameterbündel wird von allen drei Typen abgedeckt.

Zur Erfassung der Betätigungskräfte dienen Messreihen auf einem speziell dafür konstruierten und angefertigten Prüfstand. Um die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zu gewährleisten war es bei der Festlegung der zu messenden Größen und des Messablaufs essentiell die bereits aus Videoanalysen und Athletenaussagen gewonnenen Erfahrungen einfließen zu lassen. Mittels einer realitätskonformen Aufspannung auf dem Prüfstand ist in die Messungen auch der Einfluss der Anbindung des Athleten an das Positioniergetriebe integriert. Die Analyse der Messreihen lässt für alle drei Positioniergetriebe gültige, vergleichbare Aussagen hinsichtlich der Betätigungskraft zu und ermöglicht die Überprüfung der in Trainingssitzungen oder im Wettkampf gemachten Erfahrungen.

Die so gewonnenen Erkenntnisse dienen als Basis für neue mechanische Lösungen die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt werden, wobei auch die Analysemöglichkeiten einer Mehrkörpersimulation einfließen. Diese Mechanismen werden kinematischen Betrachtungen unterzogen, es werden die konstruktiven Besonderheiten beschrieben und Ziele zu deren Anwendung formuliert.

## Abstract

The diploma thesis at hand deals with the characterization and the measurement based testing of the operational behavior as well as with the evaluation and the redesign of a positioning system. The scope of application is in the field of serious sports and defines as the minimum requirements a starting and end position which is combined with an offset and the rotation by a certain angle.

The aim of this work is to analyze the mode of operation and especially the operating forces of three already available systems. The deeper insight into the athlete's motion-sequence results in a set of new positioning gears which offer more efficient training methods as well as a fast response to external influences or athletes' demands.

All of the three tested items work on a different principle: Type 1 is based on a rack and pinion layout, Type 2 on the kinematic leverage and Type 3 on a curved rod.

In order to carry out a series of measurement a test bench is built up. Its special design is the result of insights gained by video and timing analysis of test sessions and athletes' statements. The tricky clamping of the device on the test bench emulates in a perfect way the athlete's junction to the tested gears. The analysis of the measurements shows valid and comparable results regarding the operation forces and hence validates the experiences gained in test sessions and competitions. In addition to the measurement carried out, state-of-the-art motion-simulation software is used for evaluation and analysis purposes.

Based on the knowledge gained a series of new positioning systems is developed. The special features put into effect allow more efficient training programs and expand the options of fine tuning the system.

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit basiert auf meinen Vorarbeiten zur Entwicklung von Ausrüstungskomponenten für den internationalen Leistungssport.

Es freut mich besonders am Institut für Leichtbau der TU Graz ein Umfeld vorgefunden zu haben, das wesentliche Entwicklungsschritte ermöglichte und meinem Studium einen erfreulichen Abschluss hinzugefügt hat.

Für die Betreuung am Institut für Leichtbau der TU Graz bedanke ich mich besonders bei Herrn Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Moser.

Die Prüfstandarbeiten in der Schwingprüfhalle wären ohne die tatkräftige und fachkundige Einflussnahme von Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Thurner nicht in dieser Tiefe möglich gewesen.

Meinen Kollegen am Institut für Leichtbau, insbesondere Christian Buzzi und Peter Brunnhofer möchte ich für ihre stete Hilfsbereitschaft und die kollegiale Atmosphäre danken.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich meiner Familie und insbesondere meinen Eltern aussprechen, welche mir das Studium ermöglicht haben und mir stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Historischer Überblick .....	1
1.2	Ausgangssituation .....	11
1.3	Ziele.....	11
1.4	Vorgehensweise.....	13
<b>2</b>	<b>Beschreibung der untersuchten Systeme.....</b>	<b>14</b>
2.1	Allgemeines zur Bindungsgeometrie.....	14
2.2	Typ-1 Hinterbacken.....	17
2.3	Typ-2 Hinterbacken.....	20
2.4	<b>Typ-3 Hinterbacken .....</b>	<b>23</b>
2.5	<b>Zusammenfassender Vergleich der Bindungsvarianten .....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>Typische Anforderungen an die Mechanismen.....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>Bewertung der Schuh-Schi-Verbindung .....</b>	<b>28</b>
4.1	Vorausgehende Festlegungen.....	28
4.2	Theoretische Betrachtungen und Festlegungen zu den Messungen am Schuh .....	30
4.2.1	Die Messung der Hubhöhe.....	30
4.2.2	Messung des Verdrehwinkels .....	30
4.2.3	Messungen zur Sohlenbiegung.....	31
4.2.4	Messung der Sohlentorsion.....	33
4.2.5	Messungen des Kraftaufwandes zur Erreichung des Querversatz vom Schuhsporn relativ zur Längsachse .....	34
4.3	Prüfstand .....	35
4.3.1	Aufbau.....	35
4.3.2	Betrieb .....	43
4.3.3	Durchzuführende Messungen .....	44
4.4	Messungen.....	45
4.4.1	Festlegungen.....	45
4.4.2	Untersuchungen am Schuh zur Ermittlung des Verformungsaufwandes .....	45
4.4.3	Untersuchungen an den bestehenden Systemen in realitätskonformer Prüfstandsituation .....	50
4.4.4	Messung der Zugkraft am Bindungshinterbacken während des Sprunges .....	56
4.5	Auswertung.....	68
4.5.1	Regressionsgerade für Typ-0 Hinterbacken mit “weichem“ Schuh.....	69

4.5.2	Regressionsgerade für Typ-0 Hinterbacken mit “mittlerem“ Schuh .....	70
4.5.3	Regressionsgerade für Typ-0 Hinterbacken mit “hartem“ Schuh .....	70
4.5.4	Regressionsgerade für Typ-1 Hinterbacken mit “weichem“ Schuh .....	71
4.5.5	Regressionsgerade für Typ-1 Hinterbacken mit “mittlerem“ Schuh .....	71
4.5.6	Regressionsgerade für Typ-1 Hinterbacken mit “hartem“ Schuh .....	72
4.5.7	Regressionsgerade für Typ-2 Hinterbacken mit “weichem“ Schuh .....	72
4.5.8	Regressionsgerade für Typ-2 Hinterbacken mit “mittlerem“ Schuh .....	73
4.5.9	Regressionsgerade für Typ-2 Hinterbacken mit “hartem“ Schuh .....	73
4.5.10	Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit “kurzer“ Koppelstange und “weichem“ Schuh .....	74
4.5.11	Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit “kurzer“ Koppelstange und “mittlerem“ Schuh .....	74
4.5.12	Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit “kurzer“ Koppelstange und “hartem“ Schuh .....	75
4.5.13	Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit “langer“ Koppelstange und “weichem“ Schuh .....	75
4.5.14	Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit “langer“ Koppelstange und “mittlerem“ Schuh .....	76
4.5.15	Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit “langer“ Koppelstange und “hartem“ Schuh .....	76
4.5.16	Gegenüberstellung der Bindungstypen und Schuharten .....	77
4.6	Bewertung der drei Bindungstypen .....	82
4.6.1	Erläuterung der Bewertungskriterien .....	82
<b>5</b>	<b>Neue mechanische Umsetzungen .....</b>	<b>84</b>
5.1	Beschreibung des Typ-4 Hinterbackens .....	84
5.1.1	Teile und deren Bezeichnung .....	84
5.1.2	Annahmen zur Grundgeometrie .....	85
5.1.3	Funktionsweise .....	87
5.1.4	Abschätzung des Strukturgewichtes .....	88
5.2	Beschreibung der Typ-5 Mechanik .....	89
5.2.1	Teile und deren Bezeichnung .....	89
5.2.2	Annahmen zur Grundgeometrie .....	90
5.2.3	Abschätzung des Strukturgewichtes .....	91
5.3	Beschreibung der Typ-6 Mechanik .....	91
5.3.1	Teile und deren Bezeichnung .....	92

---

5.3.2	Beschreibung der Funktionsweise .....	92
5.3.3	Berechnung der Radsatzgeometrien .....	94
5.3.4	Einstellstrategien Leerhub / Wirkhub als Anteile des Gesamthubes .....	100
5.3.5	Abschätzung des Strukturgewichtes .....	102
5.4	Beschreibung der Typ-7 Mechanik .....	102
5.4.1	Teile und deren Bezeichnung .....	102
5.4.2	Beschreibung der Funktionsweise .....	103
5.4.3	Abschätzung des Strukturgewichtes .....	106
5.5	Gegenüberstellung der Neuentwürfe und der aktuellen Bindungstypen .....	106
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>108</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>109</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>110</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>115</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>116</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>119</b>



# 1 Einleitung

Es ist ein legitimer Wunsch eines Athleten die bestmöglichen Umfeldbedingungen und Unterstützung bei der Umsetzung seiner sportlichen Ambitionen zu haben. Die zur Verfügung stehende Ausrüstung hat großen Einfluss auf diese Komfortzone und die Bindung ist, als wesentlicher Bauteil der Fluglagenbeeinflussung ein betrachtenswertes Teil der Gesamtausrüstung.

Was 2007 mit der Idee, dem Flugsystem einen kleinen Winkel mit großer Wirkung über den Bindungshinterbacken hinzuzufügen begonnen hat, ist inzwischen ein unabdingbarer Bestandteil des internationalen Wettbewerbes.

Aber die kurzen Entwicklungszeiträume und fixen Testzeiten während der Vorbereitungszeiten auf die Weltcupseasonen ließen nicht immer die von mir vorgeschlagene Entwicklungstiefe zu. Somit nutze ich nun die Möglichkeiten an der TU Graz, um im Rahmen dieser Arbeit Anforderungen neu zu definieren, Lösungen zu finden und Antworten zu geben.

## 1.1 Historischer Überblick

Die Fixierung des Schuhs am Schi ist neben der Machart des Schuhs, die zentrale Herausforderung des Schisports im Allgemeinen und des Sprungsports im Besonderen. Da die Bindung einen wesentlichen Einfluss auf die Fluglage, die Fluglage auf die Flugkurve, die Flugkurve auf die Sprungweite und diese wiederum auf die Schanzenprofile und die Anlagengröße hat, bietet sich eine historische Betrachtung dieser Interaktionen an.

Gemeinhin gilt Norwegen als Ursprungsland der sportlichen Betätigung im und mit Schnee, mit Sicherheit entstanden aus der Notwendigkeit sich in den Weiten der dortigen Landschaft in den lange dauernden Wintern fort zu bewegen. Doch auch aus der nordöstlichen Ecke Russlands, ebenfalls ein ebenes, schier unendlich weites Land gibt es frühe belegte Spuren von Schiern im Schnee. Aber wo auch immer die Wurzeln waren, für die Verbreitung des Wintersports sorgten die Auswanderbewegungen des 17. und 18. Jahrhunderts, die dem Wintersport zur heutigen Geltung verhelfen.

Der auf slawischen Wurzel beruhende "Krainer Bauernschilau" in Slowenien aus den 17. Jahrhundert, wo durchaus schon von waghalsigen Abfahrten und einer Art Slalom auf Skiern berichtet wurde, hatte allerdings, geschichtlich gesehen wenig Einfluss auf die Ausbreitung des Schisports. Anders sorgten die Norweger für eine massive Verbreitung in Europa und Nordamerika. Interessanterweise war es das Schispringen das als Triebfeder für die Weiterentwicklung der Schifahrtechnik diente. Die Großväter des Schispringens hatten, wie die Athleten der Neuzeit das Problem mit der Netto-Trainingszeit. Definiert man als Netto-Trainingszeit die Zeit vom Start des Anlaufes bis zum wiedererlangten Stillstand im Auslauf, spricht man in Summe von einigen Sekunden. Das ist nahezu vernachlässigbar in Relation zum mühsamen Rückmarsch zum Fuße des Aufsprunghügels und dem nachfolgenden Aufstieg zum Anlaufstart. Konnte der Sportler nach dem Sprung schnell stoppen, verkürzte er die Aufstiegszeit, durchaus eine Motivation sich mit der Entwicklung von Richtungswechseln und Stoppschwüngen zu beschäftigen.



Abbildung 1: Schibindung und Schisprungbindung 19. Jahrhundert, rechts ein Vorläufer der Seilzugbindung (Norheim)

Als Detail bemerkenswert ist, dass beim frühen Schifahren die Ferse des Schuhs nicht am Schi fixiert wurde, da sich die Abfahrt von einem Hügel und die Fortbewegung in der Ebene kombinieren lassen mussten, während sich beim Schispringen zu der Zeit Vorteile aus einer stabilen Fixierung der Ferse ergaben.

- Die erste Weitemessung datiert aus dem Jahr 1808. Über einen künstlich aufgeworfenen Schneehügel gelang dem norwegischen Leutnant Olaf Rye ein Sprung von 9,5 Metern.



Abbildung 2: Optrakke-Stil mit angezogenen Beinen\_1905

- Der erste Wettbewerb in Österreich fand 1893 in Mürzzuschlag statt. Gesprungen wurde über einen verschneiten Misthaufen. Den Sieg erzielte der in Wien arbeitende norwegische Bäckerlehrling Bismarck Samson mit einer Weite von 6 Metern.

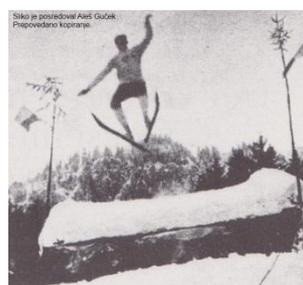


Abbildung 3: Mutig Namenlos vor 1900

- Der wohl berühmteste Springer des 19. Jahrhunderts war Sondre Auverson Nordheim, ein Zimmermann und Skibauer aus dem Telemarker Dorf Morgedahl. Sein im Jahr 1860 erreichter Weitenrekord von 30,5 Metern hielt mehrere Jahrzehnte.

- Der erste jährlich ausgetragene Skisprungbewerb fand ab 1879 auf dem Osloer Husebybakken statt.

Beachtenswert in der obigen Aufzählung sind die Erwähnung eines künstlich aufgeworfenen Schneehügels, ein jährlich wiederkehrender Bewerb, ein in Wien arbeitender norwegischer Bäckerlehrling und ein wohl berühmtester Springer zu einer Zeit mit seinem Weitenrekord. In Summe sind das die Hauptbestandteile einer modernen Sportart, mit eigens errichteten Sportstätten, internationaler Beteiligung inklusive herausragender Athleten und deren Rekorde – alles organisiert in einer Veranstaltungsreihe – und wir schreiben erst das Jahr 1893.

Mit diesen bis Ende des 19. Jahrhunderts erarbeiteten und entwickelten Grundkenntnissen und Ausrüstungen eröffnete sich die Möglichkeit diese Freizeitbeschäftigung in eine sportliche Skalierung zu kleiden. Wichtige Größen von Anbeginn waren die Sprungweite und die Haltung des Athleten während der Luftfahrt, des folgenden Aufsprungs und Ausfahrens. Ergänzend dazu und als Gemeinsamkeit zum Schilauflauf der damaligen Zeit wurde aus der Telemarktechnik der sogenannte Telemarkaufsprung als Schönheitsideal definiert, auch sollte der gesamte, vom Athleten durchfahrene und durchsprungene Bereich der Sprungschanze vor einer im Auslauf befindlichen Linie, auch als Sturzlinie bezeichnet, sturzfrei bewältigt werden. Somit ist die Bewertung eines Schisprunges immer eine Kombination aus Sprungweite und Haltungsnoten. Erst in neuerer Zeit gehen die Windeinflüsse und die Anlauflänge unter Verwendung geeigneter Faktoren mit in die Wertung ein.

Um dem Streben nach Höherem bzw. Weiterem die passenden Rahmenbedingungen zu geben ist eine Weiterentwicklung des Sports in vielen Richtungen die Folge, eine Wechselwirkung von Athletenleistungsfähigkeit, Materialentwicklung und Schanzengeometrie ist gestartet. Auch entwickelt sich die kommerzielle Seite der Sportart, das Zuschauerinteresse ist von Anfang an vorhanden.



Abbildung 4: Holmenkollen - 1890

- Das Skispringen wird 1924 olympische Disziplin, der erste olympische Wettbewerb fand in Chamonix, Frankreich statt.
- Weltmeisterschaften werden bereits ein Jahr später, 1925, ausgetragen.
- Seit 1953 springt die Weltelite bei der Vier-Schanzen-Tournee im Wettbewerb.
- Der Skisprung-Weltcup startet 1979 mit einem Wettbewerb im Dezember in Cortina d'Ampezzo.



Abbildung 5: Holmenkollen - 1940 – Erster Wettbewerb nach WW2 bekannt als “Fredssrennet“  
106000 Zuschauer

Die Entwicklung der Veranstaltungsreihen dauerte somit 55 Jahre und in den letzten Jahrzehnten gab es zusätzlich einige Eingriffe in den Wettkampfmodus.

Markante Sprungweiten waren die 101 Meter, gesprungen 1936 durch den Österreicher Sepp Bradl in Planica, SLO.



Abbildung 6: Sepp Bradl 1936 in Planica, SLO.

Der erste gestandene Flug über 200 Meter gelang 1994 Toni Nieminen.



Abbildung 7: Toni Nieminen 1994 in Planica, SLO

Diese Weiten sind nur auf geeignet großen Schanzen möglich. Doch auch die Entwicklung der Sprunganlagen in den letzten 160 Jahren brachte so manche Sehenswürdigkeit hervor.

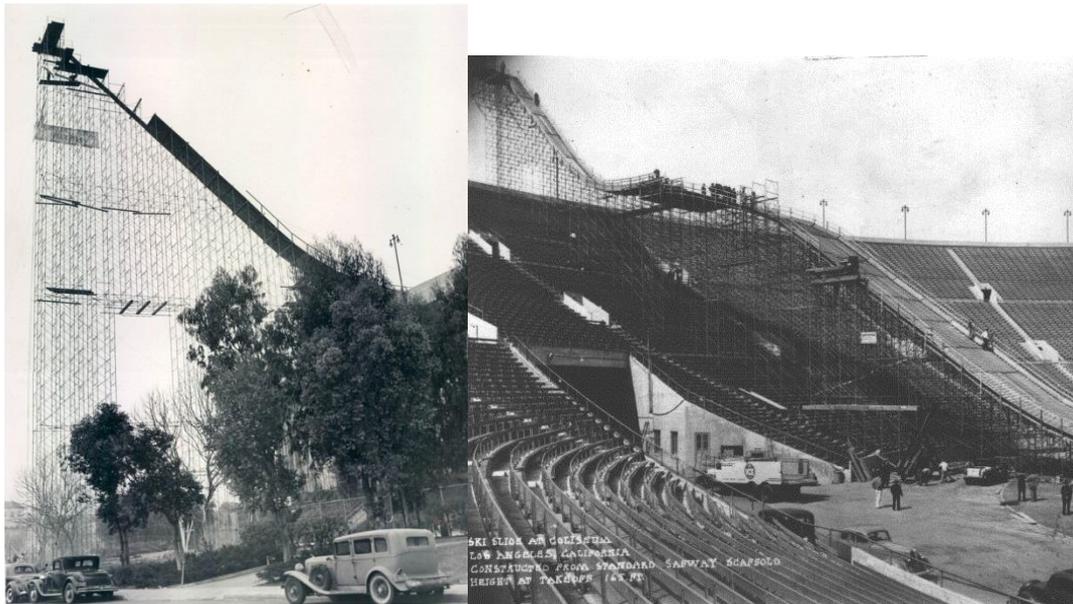


Abbildung 8: Los Angeles Coliseum Januar 1939.

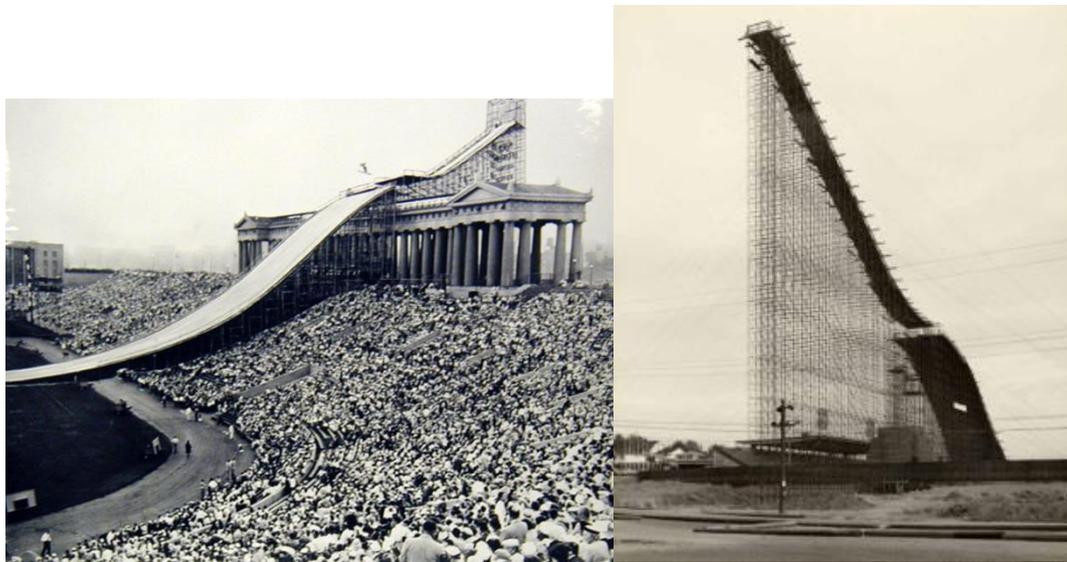


Abbildung 9: 1954: Soldier Field, Chicago (li)  
1958: Empire Stadium, Vancouver (re)

Diese Schanzenkonstruktionen brachten den Sport zu den Menschen in die Städte und erlaubten Sprungweiten um die 90 Meter. Damit war allerdings ein Limit erreicht und die folgenden größeren Schanzen nutzten wieder Berghänge für zumindest den großen Aufsprunghügel. Der Anlauf stützte sich gegebenenfalls auf einen Turm ab.

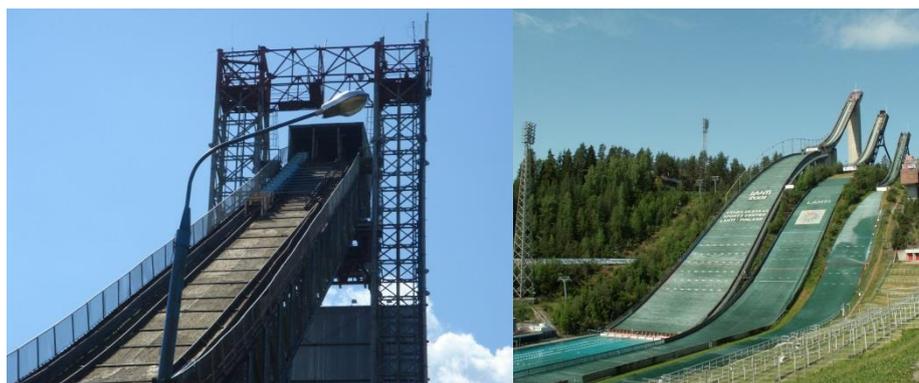


Abbildung 10: Tramplin in Nizny Novgorod, RUS (li)  
Springerzentrum Lahti, FIN (re)

Um die Sicherheit der Athleten gewährleisten zu können, muss eine Sprunganlage von der Sportbehörde zertifiziert werden. Dazu dient ein ganzer Katalog von Vorschriften, stellvertretend ist in

Abbildung 11 die Geometrie einer Schanzenanlage dargestellt.

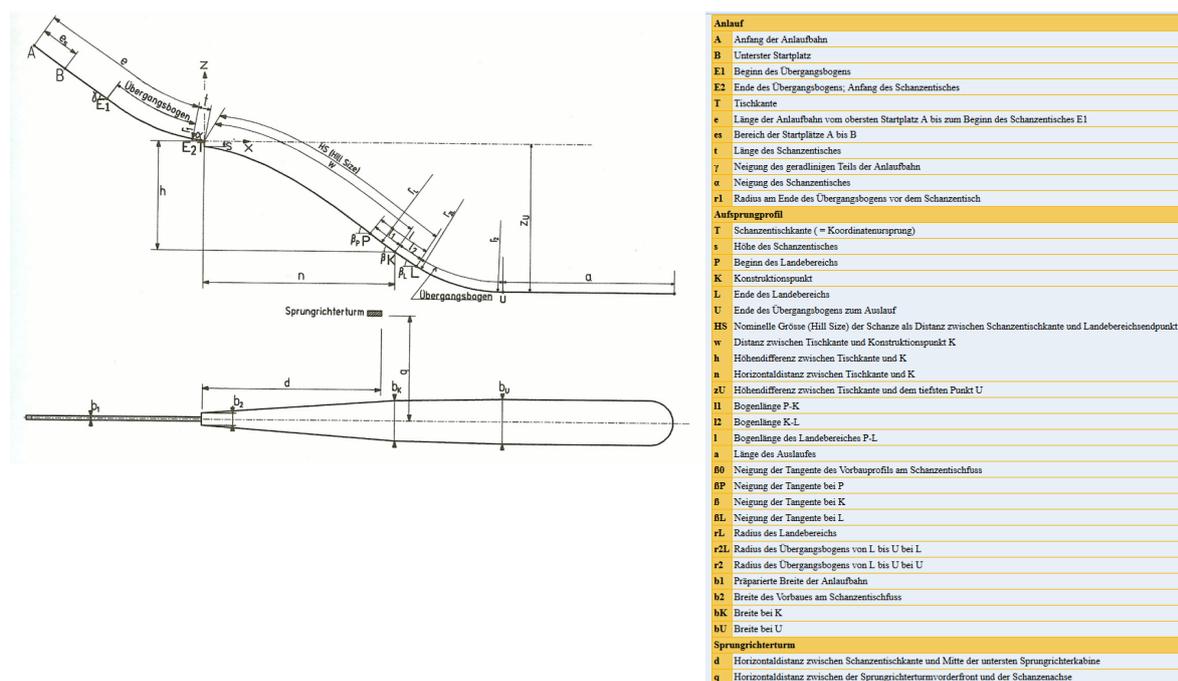


Abbildung 11: Schema einer Sprungschanze mit Legende

Die Flugbahn der Athleten und das Profil des Aufsprunghügels muss gut aufeinander abgestimmt sein, sollte ein für Publikum und Sportler gleichermaßen interessanter Wettbewerb ausgetragen werden. Eine für die Flugbahn maßgebliche Größe ist Absprunggeschwindigkeit. Brauchte ein Sepp Bradl 1936 noch 120 km/h um einen 101 Meter Sprung machen zu können, genügen auf der passenden Anlage 2012 100 km/h für eine Weite von über 200 Meter. Würde man die Absprunggeschwindigkeit der Athleten, nicht aber den Veranstaltungsort tauschen, wäre der Sprung von Sepp Bradl nicht in den Geschichtsbüchern und der Athlet der Neuzzeit nicht im, sondern

außerhalb des Stadions gelandet. Was macht den Unterschied aus? Man könnte jetzt alle möglichen Faktoren anführen, doch den großen Unterschied machen die inzwischen wesentlich besser genutzten aerodynamischen Möglichkeiten aus. Beginnend mit der Fluglage und der Verwendung von Sprunganzügen mit abgestimmten Stoffen im richtigen Schnitt, bis zu Schuhen mit der nötigen Stabilität aber noch genügend Flexibilität und Bindungssystemen welche die für große Weiten notwendige Fluglage erst ermöglichen.

Und genau diese Bindungssysteme gaben und geben dem Sprungsport neue Impulse. Es war ein weiter Weg von den Riemenbindungen aus Weidengeflecht, über Lederriemen zu den Kabelbindungen der 1960er Jahre. Bis dahin war die Abstimmung von Schuh und Bindung nicht für einen Fersenhub während des Fluges vorgesehen und Generationen von Athleten wussten mit dieser Einschränkung umzugehen, immerhin blieb der Vorteil der guten Beherrschbarkeit der Schier. Um in dieser Konstellation den Oberkörper nicht übermäßig dem anströmenden Wind auszusetzen wurde der Oberkörper gekrümmt, die Hüfte gebeugt oder die Schispitzen unter die Waagrechte hängen gelassen. In Kombination mit "flügelschlagenden" oder in elliptischen Bahnen langsamer kreisenden Armen, später in Armevorhalte wird immer am jeweilig angenommenen Limit gesprungen.



Abbildung 12: Birger Ruud, 1940 Kongsberg NOR (li) Mutig Namenlos (re)

Ein deutlicher Ruck geht durch die Szene als Anfang der 1960er Jahre eine neue Abstimmung von Schuh und Bindung einen deutlichen Fersenhub während des Fluges zulässt. Der erreichbare größere Vorlagewinkel des gesamten Athletenkörpers bringt am Beginn der Flugphase, bei nahezu frontaler Anströmung eine sehr viel kleinere Widerstandfläche zur Wirkung, bei gleichzeitig größerer Widerstandfläche in der folgenden Fallphase und größerem Anströmwinkel. Das ergibt weniger Bremswirkung in der Vorwärtsbewegung und mehr Bremswirkung in der Abwärtsbewegung. Ersteres streckt die Flugbahn, zweiteres verlängert die Flugzeit – beides gern umgesetzte Vorteile trotz der etwas schlechteren Schikontrolle. Eingebrachte Störgrößen bringen die Schier um die Querachse zum Pendeln und durch die Nähe von Schi und Oberkörper kann durch den Windschatten der Schier nicht die gesamte Fläche des Oberkörpers für den Auftrieb genutzt werden, trotz allem war ein sehr brauchbares Flugsystem gefunden. In den folgenden Jahrzehnten wird sehr viel Detailarbeit im Schisprungsport geleistet. Aus Naturstoffen hergestellte Bekleidungsstücke wie Lodenhosen, Strickpullover und Walkfäustlinge werden von Synthetikmaterialien in völlig neuer Form und Verarbeitung im Wettbewerb abgelöst und bringen der jeweils erstverwendenden Mannschaft große Vorteile.



Abbildung 13: Toni Innauer, 1980 Lake Placid, USA

Das Ausrüstungsreglement der Sportföderation und kommerzielle Interessen der Hersteller und Ausrüster beschleunigen die Verbreitung der neuen Ausrüstungstechnologien im gesamten Teilnehmerfeld.

Die Entwicklungsdynamik der auslaufenden 1980er Jahre bringt als nächsten Schritt den beim klassischen Parallelstil etwas aus der Anströmung genommenen Oberkörper wieder ins Spiel. Durch eine Drehung beider Schi auf eine Seite aus der Sprungrichtung steht die Fläche des Oberkörpers wieder voll im anströmenden Wind. Das entstehende unsymmetrische Flugsystem reagiert mit der Neigung zur Rotation um die Längsachse des Gesamtsystems kritisch auf äußere Störeinflüsse und bleibt somit Athleten mit solider Grundtechnik und einem ausgeprägten Selbstvertrauen vorbehalten.



Abbildung 14: Jens Weisflog, 1991 Oberstdorf D

Als Abhilfe der Wirkung asymmetrisch angreifender Störkräfte und der Möglichkeit den Oberkörper trotzdem exponiert dem anströmenden Wind auszusetzen werden die Schier an den Spitzen symmetrisch geöffnet. Da das entstehende Flugbild nicht zum, vom Regulativ geforderten Schönheitsideal passt verzögert sich der Durchbruch der neuen – (Jan Boklö) V-Stil genannten Schiführung. Als die damit ersprungenen Weitenpunkte die Punkteabzüge durch schlechtere Haltungsnoten übertreffen und Siege möglich machen, lenken auch die konservativsten Funktionäre ein – bei den Athleten war der neue Sprungstil sowieso schon angekommen.

Mit der Entwicklung des Bindungsbandes zur Begrenzung des Fersenhubes einige Wettbewerbsaisonsen später ist der Stabilität des Flugsystems ein weiterer großer Schritt vorwärts gelungen. Damit gehört das unangenehme Pendeln der Schier um deren Querachse der Vergangenheit an und der Athlet "bindet" seine Schier in das Gesamtsystem ein. Als weiterer großer

Vorteil gilt die Abstimmbarkeit der Position der Schier zum Körper des Athleten – mit der einfach handzuhabenden Längenänderung des Hubbegrenzungsbandes.



Abbildung 15: Toni Nieminen, 1992 Albertville F (li)  
Kazuyoshi Funaki, 1998 Nagano J (re)

Somit hat der Sprungsport noch im ausklingenden 2. Jahrtausend einen Ausrüstungsstandard erreicht der durchaus als modern gelten darf. Die Sturzhelme sind leicht und stabil, die Unterwäsche funktional, die Anzüge in Stoff und Schnitt flugtauglich, die Schuhe leicht, stabil und definiert flexibel, auch die Schier biegen sich definiert, Belag- und Wachstechnologie machen den Anlauf schnell und die Bindungssysteme sind inzwischen zusätzlich zu einer einstellbaren Hubbegrenzung der Ferse mit einer kraftbegrenzten Auslösemöglichkeit für den Fall des Falles versehen.

Dieses Angebot an tauglicher Sprungausrüstung wird von den Athleten individuell an ihre persönlichen Bedürfnisse angepasst und bis ans jeweilig angenommene Limit gesprungen.



Abbildung 16: Jakub Janda, 2008

Mitte des ersten Jahrzehnts des 21. Jahrhunderts ist auch die Ferse wieder beinahe am Standkeil der Sprungbindung angekommen. Der Schnitt der Sprungstiefel und hypermobile Sprunggelenke mancher Athleten machen enorme Vorlagewinkel möglich.

Der Ersatz des Bandes zur Hubbegrenzung durch eine Linearführung aus Metall bringt zusätzlich Stabilität in den Sprung. Durch eine geschickte Konstruktion als Gesamtsystem inklusive eines Vorderbackens und Standkeils wird das Bindungsgewicht deutlich gesenkt. Der finnische Entwickler Ilkka Tuomikoski (Low Bind Oy) erreicht beachtliche Marktanteile trotz nicht ausgereifter Bindungsdetails.



Abbildung 17: Bison Bindungssystem von Ilkka Tuomikoski (Low Bind Oy) FIN



Abbildung 18: Typische V-Stil Schiführung bis 2010

Die Ausrüstungsseite ist bis dahin industriedominiert, Ausnahmen sind Individuallösungen auf Betreiben eines Athleten oder Verbandes.

2007 reifen vorausgehende Überlegungen zur Beeinflussung der Schiführung so weit, dass in Material umgesetzte Prototypen einsatzbereit sind. Erste Anwendung im Wettkampf ist eine interne Leistungssichtung im Oktober 2007. Die Mechanik zeigt sofort annehmbares Potenzial.

Der anwesenden Stab des Verbandes und die Trainer der Mannschaft erkennen die in dieser Lösung vorhandenen Möglichkeiten und deren wesentliche Eingriffe in die Strukturen und Hierarchie einer Sportart.

Vielfältige, mir nicht immer zugängliche sportstrategische Erwägungen ziehen einen Entwicklungsstopp nach sich. Erst nach den Erfolgen eines nicht österreichischen Athleten in einem großen Wettkampf im Februar 2010 wird es für mich auch auf diesem Gebiet wieder arbeitsintensiv und interessant.



Abbildung 19: V-Stil Schiführung 6.01.2010 (li)  
V-Stil Schiführung 3.01.2011 (re)

Abbildung 19 zeigt denselben österreichischen Springer links mit konventioneller Bindung, rechts mit der neuentwickelten Bindung. Die flachere Schiführung und der geänderte Anstellwinkel des Gesamtsystems ist deutlich zu sehen.

## 1.2 Ausgangssituation

Vor dieser Entwicklungsstufe verwendete Bindungssysteme ermöglichen nur die Führung von Schuh und Schi, eine Begrenzung des Fersenhubes und der Auslösekraft. Mit diesen Funktionalitäten wurden sie zumindest in den letzten Dekaden verwendet.

Dieser Arbeit vorausgegangene Entwicklungen machen den Zugriff auf drei verschiedenartige Bindungskomponenten der neuen Generation möglich. Diese sind Grundlage der folgenden analytischen und messtechnischen Betrachtungen.

## 1.3 Ziele

Eine moderne Bindungsvariante sollte zusätzlich zu den in Kapitel 1.2 beschriebenen Standardanforderungen eine Rotation des Schis um die Längsachse ermöglichen.

Die Sporthoheit legt im Reglement unter anderem fest, dass zwischen dem Vorderbacken der Bindung und dem Schi eine fixe und ebene Verbindung bestehen muss. Daher sind die technischen Möglichkeiten, eine zusätzliche Drehung des Schis um die Längsachse umzusetzen beschränkt. Eine Möglichkeit das zu erreichen ist, die Sohle des Schuhs in Längsrichtung zu verdrehen. Während des Sprungs kommt die dafür benötigte Energie aus der auf den Schi wirkenden Windkraft. Sie wird also dem System Körper – Schuh – Schi entzogen. Somit ist es von essenzieller Bedeutung für den Bewegungsablauf des Athleten, diesen Energieaufwand so gering wie möglich zu halten. Nimmt man die für die Sohlenverdrehung notwendige Torsionsenergie als gegeben, fordert die Betrachtung der, bei der mechanischen Umsetzung der Verdrehung der Schuhsohle auftretenden Verluste besondere Aufmerksamkeit.

Mit drei grundlegend unterschiedlichen mechanischen Lösungsansätzen zur Umsetzung der geforderten Beeinflussung der Schiführung sollten die Verluste qualitativ und quantitativ bewertbar

werden. Alle diese Mechanismen wurden und werden von Weltklasseathleten der Nationalmannschaft in wettkampfvorbereitenden Trainingseinheiten oder im Rahmen von Wettkämpfen im Weltcup eingesetzt.

Aus Anwendung und technischer Umsetzung ergeben sich folgende geometrische Größen:

- Fersenhub in Millimeter
- Verdrehwinkel des Fersensporns relativ zum Schuhschnabel in Grad
- die Verschiebung des Fersensporns des Schuhs quer zur Schilängsachse (gemessen in Millimetern).

Da bei den aktuellen Bindungslösungen die Bindungsparameter nicht unabhängig auftreten, ist die Handhabung und Anwendung kompliziert und aufwendig.

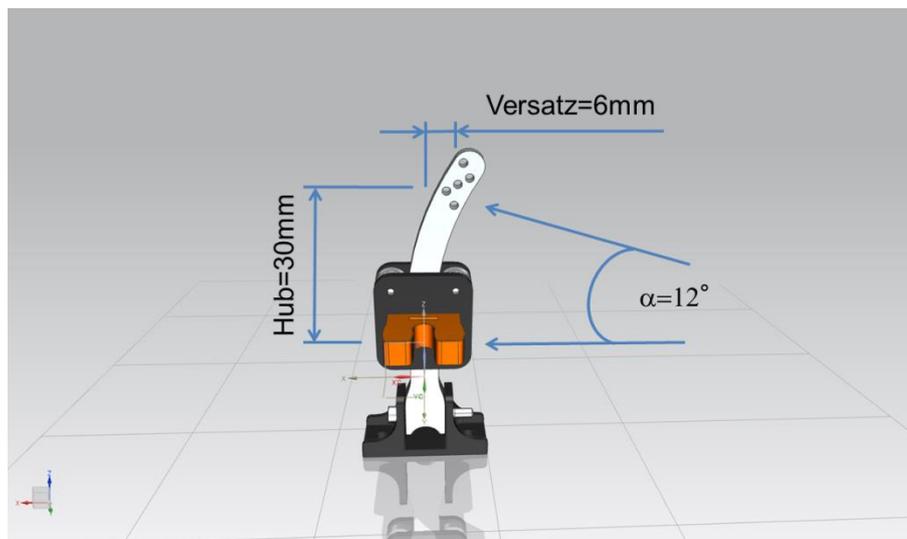


Abbildung 20: Typ-3 Hinterbacken mit den charakteristischen Parametern

Als Ziele für die Neuentwicklungen werden festgelegt:

- Die technischen Lösungen sind so zu gestalten, dass diese drei Parameter voneinander entkoppelt werden und unabhängig abstimbar sind.
- Eine Anpassung an eine geänderte Standkeilhöhe muss ohne Umbaumaßnahmen möglich sein.
- Die mechanischen Verluste der neuen Lösungen sollen unter den Verlusten der bestehenden Umsetzungen liegen.
- Ein kritischer Punkt im Leistungssport ist das Strukturgewicht. Eine gute Balance zwischen nutzbaren Besonderheiten der Konstruktion, Zugständen an die Festigkeit und möglichst geringem Gewicht wird angestrebt.
- Weiters ist die Möglichkeit einer Sicherheitsauslösung in Querrichtung, im Falle einer Maximalkraftüberschreitung Pflichtbestandteil der Aufgabenstellung.
- Geringe Störempfindlichkeiten auf Umwelteinflüsse mit besonderer Berücksichtigung der Vereisungssituation sind ebenfalls Teil der Arbeit.

## 1.4 Vorgehensweise

Um die IST-Situation zu erfassen waren umfangreiche Messreihen, auf einem im Rahmen dieser Arbeit konstruierten und angefertigten Prüfstand abzuarbeiten. Ausgehend von Messreihen an Schuhen und folgenden Untersuchungen an Bindung-Schuhsystemen wird ein Vergleich der Bindungsvarianten erarbeitet.

Folgend werden die Auslösewerte im Falle einer Grenzwertannäherung erfasst. Dazu wird der Sicherheits-Vorderbacken eines namhaften Herstellers in Auslöse-Grundeinstellung gewählt.

Abschließend werden auf professionellen Prüfmaschinen aus dem Alpenschibereich Auslöseversuche gefahren und auch videodokumentiert.



Abbildung 21: Auslösetest mit WINAIR-Vorderbacken und Typ-3 Hinterbacken

Weiters werden die in dieser Arbeit neu entwickelten Mechanismen theoretischen Betrachtungen unterzogen und die konstruktiven Besonderheiten beschrieben.

## 2 Beschreibung der untersuchten Systeme

Das Pflichtenheft der drei nachfolgend beschriebenen Bindungstypen, in den Betrachtungen als Typ-1, Typ-2 und Typ-3 bezeichnet, beinhaltet als Mindestanforderung:

- Fersenhubbegrenzung und werkzeuglose Einstellbarkeit.
- Verdrehung des hinteren Ende des Schuhs in vom Athleten gewünschter Größenordnung.
- Querverschub des Schuhsporns.
- Die Sicherheitsfunktionen des Vorderbackens dürfen nicht behindert werden.
- Die Auslösung des Hinterbackens muss zeitlich vor der Auslösung des Vorderbackens erfolgen.
- Der dabei erreichte Auslösewert des Hinterbackens darf den des Vorderbackens nicht erreichen.

### 2.1 Allgemeines zur Bindungsgeometrie

Konstruktiv ist der Einkoppelpunkt zum Schuh form- und kraftschlüssig ausgeführt, trotzdem muss die Verbindung aus Sicherheitsgründen lösbar ausgeführt sein. Das entscheidende Bauteil wird als Fersenadapter bezeichnet (siehe Abbildung 22).

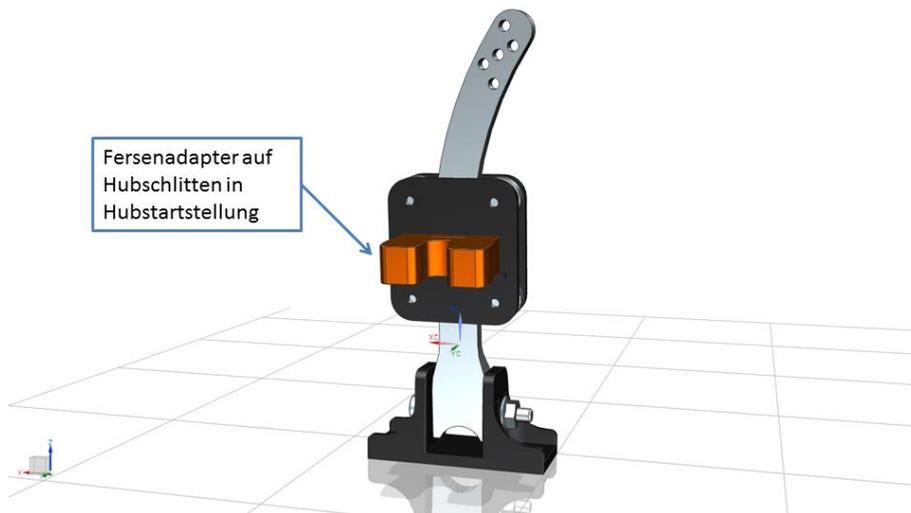


Abbildung 22: Typ-3 Mechanik mit Fersenadapter auf Hubschlitten in Hubstartstellung

Unter der Sohle des Schuhs ist ein Standkeil am Schi befestigt (Abbildung 23).

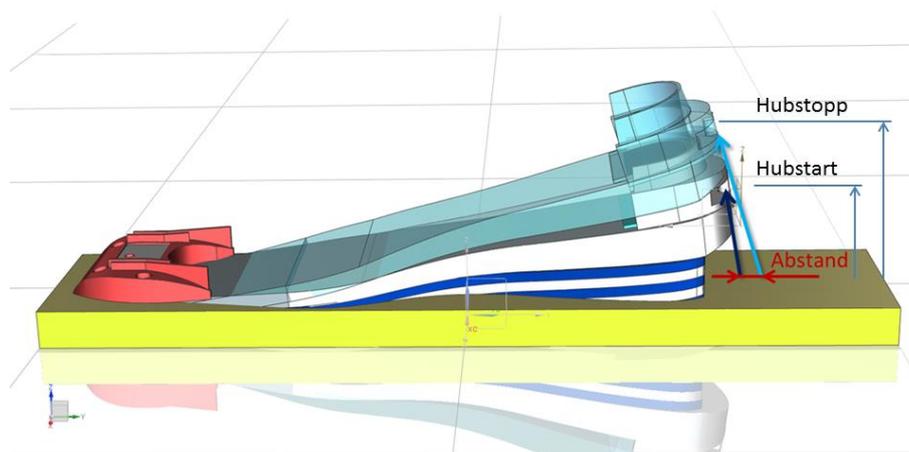


Abbildung 23: Standkeil – Schuh Geometrie mit dem durch die Hubbewegung generierten Abstand

Der höhere Teil des Keils befindet sich unter der Ferse des Schuhs. Während der Anfahrt zum Schanzentisch wird der Athlet vom Standkeil bei der Einnahme und der Beibehaltung der Hockposition unterstützt. Die Standardhöhe dieser Positionierungshilfe beträgt im Allgemeinen 28 mm. Dazu addieren sich 40 mm, die sich aus den Schuhabmessungen ergeben. Das entspricht der Höhenposition der Verriegelungsnut, in der der Fersenadapter der Bindung mit dem Schuh form- und kraftschlüssig verbunden wird. Gemessen wird der Abstand von der Ebene der Schuhsohle bis zur mittigen Höhe der Adapternut. Somit sind mit der Addition beider Größen, nämlich Keilhöhe und Höhe der Adapternutmitte eine Gesamthöhe von 68 mm vorzusehen. Diese Höhe wird im Folgenden als Hubstart bezeichnet.

Eine typische Größe für den Fersenhub während der Flugphase ist 35 mm. Der Fersenhub wird von der Standposition des Schuhs auf dem Schi mit Standkeil bis zum erreichten Hubstopp, als Normalabstand zur Schioberfläche gemessen. Somit ergibt sich in diesem durchschnittlichen Abstimmungsfall ein Bewegungsbereich bezogen auf die Schioberfläche von 68 mm bis 103 mm. Das sind die Basisdaten für die konstruktive Auslegung des Hinterbackens. Verlängert man die Achse des Verriegelungszyinders (er ist mittig in der Fersenadapternut angeordnet) in der Standposition und in der Hubstoppposition nach unten, so ergeben sich  $74^\circ$  und  $66^\circ$ , jeweils gemessen zwischen Schuhsporn und Schioberfläche (siehe Abbildung 23). Als Radius der Rotation des Schuhs in der Montagesituation am Schi liegt die "verkürzte" Sohlenlänge der Realsituation zu Grunde. Bei einer Schuhgröße nach europäischem Maßsystem von Gr.9 (das entspricht 350 mm Schuhlänge) ergibt sich eine "verkürzte" Sohlenlänge von 245 mm. Die Differenz des aus der Standposition resultierenden Winkels von  $74^\circ$  und des sich analog aus der Hubstoppposition ergebenden Winkels von  $66^\circ$  ergibt acht Grad und macht ein rotatives Gelenk zwischen Scharnierbasis und Schi notwendig.

Legt man durch die Achsline des Mittelzapfenzyinders der Fersenadapternut eine Ebene die zusätzlich noch im rechten Winkel zur Längsachse des Schi steht, ergibt sich eine Durchdringungsgerade der Mittelzapfenenebene mit der Schioberfläche, die einen Abstand von 15 mm

vom Standkeilende zum Schiene hat. Bewegt man den Schuh einschließlich der gedachten Mittelzapfenenebene bis zum Hubstopp nach oben verschiebt sich die Schnittgerade beider Ebenen auf einen Abstand von 30 mm vom Standkeil nach hinten zum Schiene.

Aus dieser geometrischen Situation ergibt sich keine eindeutig geeignete Montagemöglichkeit des Hinterbackens. Wird die vordere Position, 15 mm vom Standkeil entfernt verwendet, dann erhält man einen Differenzwinkel von acht Grad an der Einkuppelstelle, von Bindung zum Schuh, in Hubstopposition.

Es gilt also eine entsprechend winkeltolerante Konstruktion zu finden. Verwendet man die weiter hinten liegende Montageposition treten die Probleme, die aus dem Fehlwinkel resultieren schon beim Einkuppeln des Fersenadapters in die Montageut des Schuhs auf, der Fersenadapter lässt sich nicht mehr verriegeln. Als weiterer Nachteil der hinteren Montageposition sei die größere Baulänge der Konstruktion genannt. Mit der Baulänge sinkt die Steifigkeit der Konstruktion oder steigt das Gewicht.

Ist an der Einkuppelstelle zum Schuh keine Möglichkeit vorgesehen dem Differenzwinkel zu folgen, muss an der Hinterbackenbasis ein Längenausgleich in Richtung der Schihauptachse vorgesehen werden. Zur konstruktiven Umsetzung muss sich der Hinterbacken auf einem Schlitten befinden, dessen einziger Freiheitsgrad in Schihauptachsrichtung liegen sollte. Zu beachten ist auch die Bewegung der Bindungsteile einschließlich des Schlittens während der Landung des Athleten. Dabei zieht dieser den Schi des Führungsbeines unter den Schwerpunkt des Gesamtsystems, während der zweite Schi mit dem anderen Bein in einem Ausfallschritt nach hinten geführt wird. Am Führungsbein wird der Schuh von der Hubstopposition in Sekundenbruchteilen auf den Standkeil aufgesetzt. Zerlegt man den Gesamtablauf in gekoppelte Einzelbewegungen der Bindungskomponenten, ist die Bewegung des Schlittens besonders interessant. Der Winkel der Hauptachse der Hinterbackenkonstruktion wird von  $66^\circ$  auf  $74^\circ$  vergrößert. Bei einem Gesamthub von angenommenen 35mm und einer Einkuppelhöhe in Standposition von 68 mm ergibt sich daraus eine, durch die Hubbewegung generierte Verschiebung von 15mm entlang des in Abbildung 23 gezeigten Abstandes.

Dauert es eine Hundertstelsekunde um die Bindung im Landungsszenario durch den Fersenhub Richtung Standkeil zu bewegen, ergibt sich die Beschleunigung des Schlittens des Hinternbackens aus folgendem

Zusammenhang:

Aus

$$s = \frac{a * t^2}{2} \quad (1)$$

folgt

$$a = \frac{2s}{t^2} \quad (2)$$

mit

$$s = 0,0015 \text{ m}$$

und

$$t = 0,01 \text{ s}$$

ergibt sich

$$a = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

s	...	Weg	m
t	...	Zeit	s
a	...	Beschleunigung	m/s <sup>2</sup>

Der Schlitten wird von seiner ‘‘Flugstellung‘‘ mit einer Beschleunigung von 30 m/s<sup>2</sup> in die Ausgangstellung zurückbewegt. Will man dabei den Gleit- und Haftreibungsphänomenen entgehen, müsste man den Schlitten Rollen lagern und die Verbindungsstruktur von Schlitten und Fersenadapterträger entsprechend steif auslegen. Eine Axiallagerung und entsprechend steife Strukturen sind aber im Interesse einer einfachen effektiven und leichtgewichtigen Konstruktion nicht gangbar.

All diese Betrachtungen legen die Konstruktion einer zweiten Drehachse nahe. Diese soll sich im Bereich der Einkoppelstelle des Fersenadapters befinden. Wird als Montageposition des Hinterbackens die dem Keil näher liegende gewählt, hat man den zusätzlich Vorteil, dass der Fersenadapter im Verriegelungsfall senkrecht zur Nut am Schuh steht. Das erleichtert die Bedienung der Verriegelung im Wettkampf entscheidend.

## 2.2 Typ-1 Hinterbacken

Funktionsgrundlage des Typ-1 Hinterbackens ist die Abwälzbewegung. Aus der Anforderung, dass der Fersenporn des Schuhs gehoben und gedreht werden soll ist eine Lösung nach dem Funktionsprinzip Zahnstange-Zahnrad möglich. Dazu werden im Folgenden einige grundsätzliche Überlegungen angestellt.

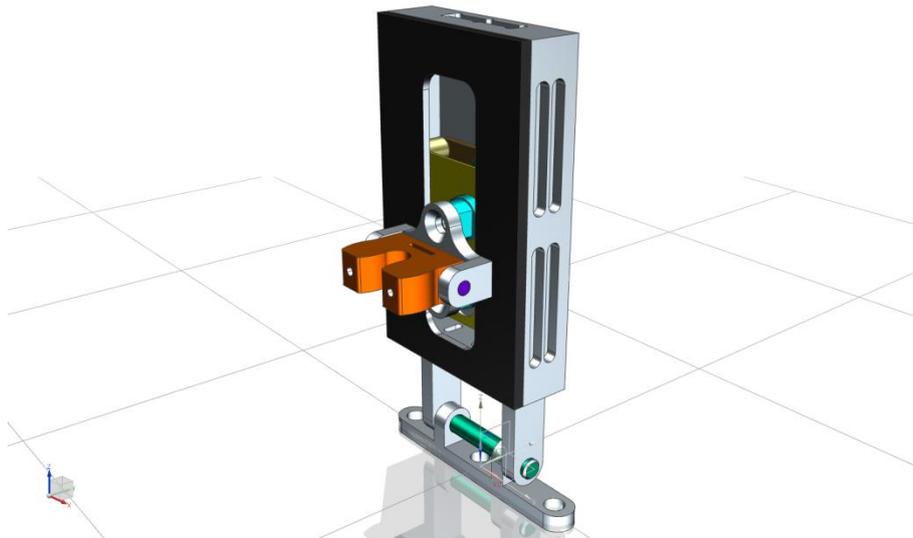


Abbildung 24: Typ-1 Hinterbacken

Die Abwälzung eines Zahnrades entlang einer Zahnstange ist konstruktionsbedingt schlupffrei. Die Bewegungsrichtung des abwälzenden Zahnrades sei definitionsgemäß nach oben, in Richtung z-Achse. Daraus ergibt sich ein Höhengewinn des Zahnrades der exakt der Bogenlänge ( $b$ ) des abgewälzten Teilkreises entspricht. Jede gewünschte Höhe ( $h$ ) der Fersenkoppel ist damit umsetzbar. Betrachten wir nun den damit verknüpften Wirkwinkel  $\alpha$ :

Aus

$$b = \frac{r * \pi * \alpha}{180} \quad (3)$$

mit

$$b = h$$

folgt

$$r = \frac{h * 180}{\alpha * \pi} \quad (4)$$

mit

$$h = 35 \text{ mm}$$

und

$$\alpha = 15^\circ$$

ergibt sich

$$r = 133,7 \text{ mm}$$

h	...	Hubhöhe	mm
$\alpha$	...	Winkel	°
r	...	Radius	mm

Das heißt ein Zahnrad mit Teilkreisdurchmesser  $d_m = 267,4$  mm müsste zur Anwendung kommen. Bei einer Zahnstange von 15 mm quadratischen Querschnitts, wäre für die passende Montagesituation mit einem Achsabstand von 141,2 mm und einem Gesamtplatzbedarf von 149 mm auf einer Seite des Schis eine Schibbreite von 298 mm nötig. Die tatsächliche Schibbreite im Bindungsbereich beträgt 105 mm. Das heißt, dass für die Realisierung einer Zahnradlösung eine zweistufige Getriebelösung notwendig ist. Folgende Randbedingungen werden vorab festgelegt:

- Bei einer Fersenhöhe von 35 mm sollte am Fersensporn der Schuhs ein Verdrehwinkel von  $15^\circ$  umgesetzt werden.
- Die Hubstarthöhe des Fersenadapters ist 68mm, auf dieser Höhe steht der Fersenadapter waagrecht.

Der Adapterträger ist aus den in Kapitel 2.3 angeführten Gründen mit einem Gelenk zum Fersenadapter versehen, die Achsrichtung ist quer zur Schihauptachse. Weiters wird für das kleinste Zahnrad ein Teilkreisdurchmesser von  $d_m = 12$  mm festgelegt. Dieses Rad wird als axiales Doppelrad mit dem im Kraftfluss erstliegenden, kleineren Rad der zweiten Getriebestufe gefertigt. Die geforderte geringe Baubreite der Bindung lässt ein Fräsen mit einem Zahnformfräser nicht zu, da der dafür benötigte Fräserauslauf einen zu großen Zahnradabstand erfordert. Eine Möglichkeit zur Herstellung der Verzahnung des 12 mm-Rades ist die Verwendung eines geeigneten Fingerfräasers:

Aus

$$m = \frac{d}{z} \quad (5)$$

folgt

$$d = m * z \quad (6)$$

mit

$$m = 1$$

und

$$z = 12$$

ergibt sich

$$d = 12 \text{ mm}$$

m	...	Modul	-
p	...	Steigung	mm
z	...	Zähnezahl	-

Dieser Durchmesser ermöglicht eine entsprechend dimensionierte Gleitlagerung mit Kunststoffbuchsen. Die gesamten Getriebeteile sollten sich auf einem gemeinsamen Trägerchassis befinden. Dieses Trägerchassis ist zweiteilig und die Grundplatte mit den Lagerzapfen wird aus einem Aluminiumblech gefräst. Die Lagerzapfen sind hohlgebohrt und mit einem Gewinde versehen. Das ermöglicht ein Verschrauben des Chassisdeckels. Das Trägerchassis wird in einem Gehäuse geführt, das die Zahnstange beinhaltet und das Reaktionsmoment auf den Schi überträgt. An den Grundkörper des Gehäuses sind wechselbare "Beine" angeschraubt. Mit der Möglichkeit die Beinlänge zu ändern, ist man in der Lage leichter auf verschiedene Standkeilhöhen zu reagieren, da dieser Einfluss auf die geometrische Grundauslegung des Hinterbackens hat. Das Gehäuse ist an den Beinen mit der Hinterbackenbasis gelenkig verbunden und um eine Achse quer zur Schihauptachse drehbar gelagert. Die Hinterbackenbasis ist mit dem Schi verschraubt. Diese Bauart blockiert eine Auslösemöglichkeit des Fersenadapters, da eine Schwenkbewegung des Schuhs zur Seite nicht möglich ist. Diese Schwenkbewegung ist aber notwendig um die Auslöseplatte des Vorderbackens vom Schi zu lösen. Davon abgesehen ist die Möglichkeit der Auslösung des Fersenadapters in andere Richtungen nicht beeinträchtigt.

## 2.3 Typ-2 Hinterbacken

Funktionsgrundlage des Typ-2 Hinterbackens ist ein Scharniergelenk, welches quer zur Längsrichtung des Schis eingebaut wird.

Im Folgenden wird der auf dem Schi montierte Teil des Gelenks als Gelenkbasis bezeichnet, der mit dem Fersenadapter verbundene Scharnierteil als Gelenkoberteil. Der Fersenadapter ist jener Teil, der in den Schuh eingekuppelt die Kräfte zu dessen Verformung überträgt. Die Lösbarkeit der Bindung vom Schuh wird vom Fersenadapter realisiert. Der Adapter greift in eine dafür vorgesehene Nut am hinteren Ende des Schuhs ein. Um eine sichere Verriegelung zu erreichen ist in der Nut ein zentraler, zylindrischer Zapfen eingearbeitet. Die Achse des Zapfens verläuft in Richtung zum oberen Schuhrand. Der Zapfen dient auch dazu, den Bindungsadapter eindeutig zu positionieren. Der Durchmesser des Zapfens, der Kontaktbereich des Fersenadapters mit dem Zapfen, aber auch der Kontaktbereich des Fersenadapters mit der Montagenut des Schuhs sind so ausgeführt, dass sich eine sichere Verriegelung mit klarer Rückmeldung und eine komfortable Bedienung gleichermaßen realisieren lassen.

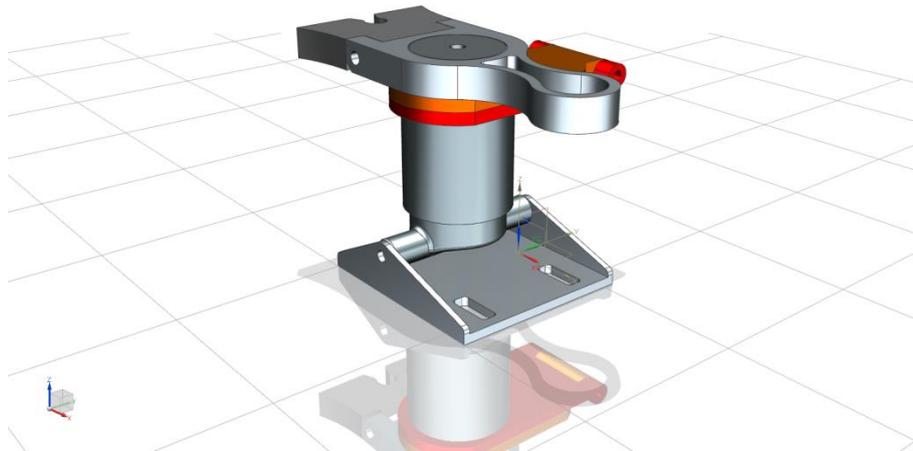


Abbildung 25: Typ-2 Hinterbacken

Für die Dimensionierung des Klappscharniers sind zwei Ansätze möglich.

Im ersten Fall wird der Abstand der Scharniergelenkachse zur Gelenkmitte des Scharniergelenks so groß ausgeführt, dass aus der Aufklappbewegung gleichzeitig eine genügend große Hubbewegung für die Schuhferse entsteht. Die Aufklappbewegung um eine feststehende Achse bedingt eine Hubbewegung entlang einer Kreisbahn. In der Ausgangsposition ist die Schuhsohle immer im Vollkontakt mit dem Standkeil. Nimmt man als Scharnierachseposition die am weitesten von der Schmitte entfernte und berücksichtigt die durch das Sportregulativ in die Mitte des Schis gelegte Position des Schuhs und somit auch der Fersenadapternut, so ergibt sich bei einer Schibreite im Bindungsbereich von 105mm ein Bahnradius der Hubkurve von 50 mm. Der Fersenadapter steht in der Ausgangsposition waagrecht auf Höhe der Verriegelungsnut. Bewegt man nun den Fersenadapter entlang der Bahnkurve ergibt sich folgender Zusammenhang:

Aus

$$\sin \alpha = \frac{h}{r} \quad (7)$$

folgt

$$\alpha = \sin^{-1} \left( \frac{h}{r} \right) \quad (8)$$

mit

$$h = 35 \text{ mm}$$

und

$$r = 50 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$\alpha = 44^\circ$$

Erfahrungsgemäß sind Werte um  $15^\circ$  praktikabel. Daraus ergibt sich im Umkehrfall aus Formel (3)

Aus

$$h = r * \sin \alpha \quad (9)$$

mit

$$r = 50 \text{ mm}$$

und

$$\alpha = 15^\circ$$

ergibt sich

$$h = 12,9 \text{ mm}$$

Wollte der Athlet eine größere Hubhöhe verwenden, den Verdrehwinkel dabei aber nicht steigern wäre der Bahnradius zu vergrößern. Aus Formel (3)

folgt

$$r = \frac{h}{\sin \alpha} \quad (10)$$

mit

$$h = 35 \text{ mm}$$

und

$$\alpha = 44^\circ$$

ergibt sich

$$r = 135,3 \text{ mm}$$

Dieser Bahnradius überragt durch die Montageposition des Scharniergelenkes die Schibbreite um 82,5 mm. Weil nach dem Sportgesetz weder der Schuh, noch Teile der Bindung breiter wie der Schi sein dürfen, ist diese Lösung impraktikabel.

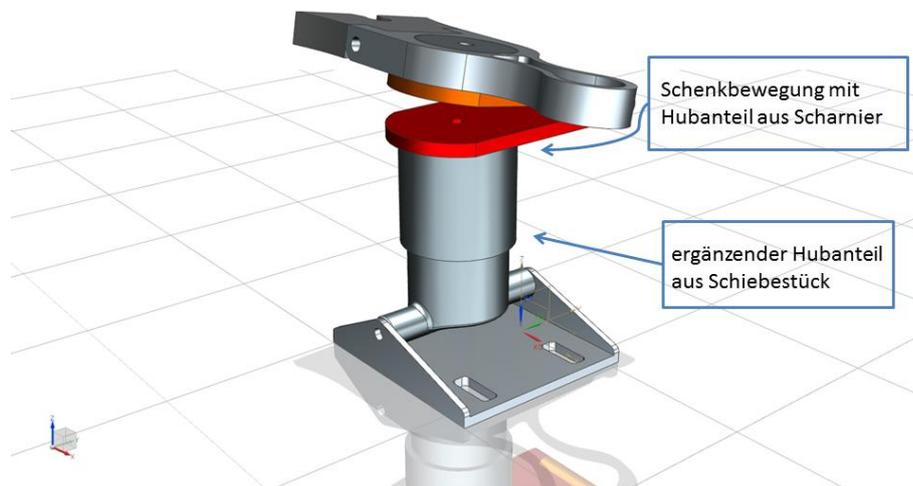


Abbildung 26: Typ-2 Hinterbacken in Hubstopposition

Aus all diesen Überlegungen ergibt sich ein zweiter Ansatz. Sind der Maximalwert für den Bahnradius mit zur Gänze genutzter Schibbreite nicht größer als 50 mm, der Verdrehwinkel  $15^\circ$  und die damit zu erreichende Hubhöhe 12,9 mm die gewünschte Hubhöhe aber 35 mm, muss die Differenz von 22,1 mm mit einem Schiebeteil unter dem Scharniergelenk realisiert werden. Dieses Schiebeteil kann auch dazu verwendet werden den Hinterbacken auf verschiedene Standkeilhöhen zu adaptieren. Verkomplizierend sind die in dieser Variante umzusetzenden Hubbegrenzungen. Der Gesamthub setzt sich zusammen aus dem Hub des Schiebeteils und dem Hubanteil der Scharnierklappbewegung. Der Winkel stellt sich nur dann auf einen bestimmten Wert ein wenn der Hub des Schiebeteiles genau auf seinen Anteil begrenzt wird. Auch der Winkel der Klappbewegung ist zu begrenzen. Mit diesen Anforderungen kann eine Einstellung beider oder die Verstellung eines der beiden Bindungsparameter, Winkel oder Gesamthub mittels Einstellwerten in Tabellenform, oder über eine EDV-Lösung vorgenommen werden. Ist das Schiebeteil zylindrisch ausgeführt wird eine Sicherheitsauslösung bei Annäherung an eine Maximalkraft im Falle einer Belastung quer zur Schihauptachse nicht behindert.

## 2.4 Typ-3 Hinterbacken

Ein gänzlich unterschiedlicher Lösungsansatz prägt den Typ-3 Hinterbacken. Funktionsgrundlage ist die geführte Bewegung. Dabei wird der Einkoppelpunkt am hinteren Sohlenende des Schuhs entlang

eines gebogenen Stabes in Richtung Hubstopp nach oben bewegt. Der Stab kann als Rund- oder Flachstab ausgeführt werden.



Abbildung 27: Typ-3 Hinterbacken mit Flachstab

Hat der Stab einen kreisrunden Querschnitt, ist der Einkoppelpunkt auf einem Stück Rohr montiert. Ist das Trägerrohrstück in Länge, Durchmesser und Krümmung auf die Anwendung abgestimmt kann es entlang des Führungstabes verschoben werden. Mit einer passenden Materialpaarung und/oder Beschichtung werden die Gleitreibungskräfte klein gehalten, trotzdem sind etwaige Haft-Gleitreibungsübergänge zu beachten. Auch ist ab einem gewissen Krümmungsradius und Laufspiel eine Rotation der Hülse um den Führungsstab nicht mehr möglich. Ein erhöhtes Laufspiel verbessert die für eine Sicherheitsauslösung notwendige Möglichkeit einer Verdrehbarkeit, erhöht aber den Schädwinkel. Es kommt, am hinteren Schuende nur mehr ein um diesen Schädwinkel kleinerer Verdrehwinkel zur Wirkung. Außerdem ist es möglich, dass sich bei einer ungewollten, kraftvollen Verdrehung der Hülse, diese auf dem Stab verkeilt. Große Temperaturschwankungen verstärken diesen Effekt. Dies kann in Wettbewerbssituationen den Athleten irritieren und unangenehme Folgen haben.

Will man die Gleitreibungserscheinungen in all ihren Ausprägungen vermeiden, montiert man den Fersenadapter auf einen kugellagerten Schlitten. Da die auftretenden Kräfte fast zur Gänze in einer Ebene wirken bietet die Verwendung von Flachmaterial für den Führungsstab Vorteile in Steifigkeit und Gewicht, wodurch auch der Schlitten flacher bauen kann. Das hat den entscheidenden Vorteil, dass die Kugellager nur in der Wirkebene der Kräfte angeordnet werden müssen. Dadurch können sie in die Schlittenverschraubung integriert werden und müssen nicht wie bei einer Rundstablösung am Umfang des Stabes verteilt montiert sein. Als Nachteil gilt die eingeschränkte Drehbarkeit des Schlittens um den Flachstab. Doch reicht der umsetzbare Verdrehwinkel des Schlittens um den Führungsstab aus um eine Sicherheitsauslösung zu ermöglichen. Bei dieser Lösung sind im Vergleich zur gleitgelagerten Variante viel größere Wirkwinkel realisierbar und der Schädwinkel ist vernachlässigbar klein. Weiters ist die kugellagerte Schlittenlösung sehr gut für Athleten geeignet die mit sehr wenig Fersenhub große Wirkwinkel erzielen wollen. Die einzige Beschränkung dieser Konstruktion liegt in der vorgegebenen Schuhbreite und Standkeilbreite, da der Platzbedarf der

Sohlenrotation um die Längsachse einen Mindesthub erfordert. Die Hubhöhe bei der der Schuh um seine Sohlenußenkante rotiert ohne dass dabei der Sohlen-Standkeilkontakt verloren geht ist die konstruktiv geringste.

## 2.5 Zusammenfassender Vergleich der Bindungsvarianten

Die Einstellbarkeit des Fersenhubs ist schon seit Generationen von Athleten eine Selbstverständlichkeit. Mit den in Kapitel 0 beschriebenen Bindungssystemen werden nun auch die Bindungsparameter Winkel und Versatz beeinflussbar.

Eine Veränderung der Größe der Verdrehung des Fersensporns ist mit den Hinterbacken Typ-1, Typ-2 und dem Typ-3 prinzipiell möglich.

Der Typ-3 Hinterbacken kann durch Verwendung von Koppelstangen mit unterschiedlicher Geometrie relativ einfach abgestimmt werden. Die Einstellung der drei Bindungsparameter (Winkel, Hub und Versatz) ist zwar konstruktiv aber nicht unabhängig möglich.

Mit dem Typ-2 Hinterbacken gelingt das Einstellen veränderter Hub- und Verdrehparameter indem der Gesamthub, der sich aus dem Hub des Schiebbestückes und dem Hubanteil der Scharnierschwembewegung zusammensetzt, unterschiedlich aufgeteilt wird. Auch die Umsetzung einer Wirkungsverzögerung ist in engen Grenzen möglich, da sich die beiden Wirkanteile sequentiell aneinander reihen.

Beim Typ-2 und Typ-3 Hinterbacken sind der Fersenhub und die Drehung des Schuhsporns um die Schilängsachse immer mit einem Querversatz des Schuhsporns gekoppelt. Auch ist die Größe des Querversatzes nicht unabhängig.

Interessiert aber der Einfluss des Querversatzes auf den Ablauf eines Sprunges, stellt der Typ-1 Hinterbacken die einzige Möglichkeit dar. Aus diesem Grund rechtfertigt der Typ-1 Funktionsprototyp den konstruktiven Mehraufwand. Da die Abwälzbewegung entlang einer Zahnstange senkrecht nach oben von statten geht, das Trägerchassis in seinem Gehäuse parallel zur Zahnstange geführt wird und der Fersenadapter mit seinem Träger mittig auf der Bewegungsachse liegt, tritt zunächst kein Querversatz des Fersensporns auf. Der Querversatz wird erst durch eine exzentrische Fixierung des Fersenadapters um den Drehpunkt der Abwälzbewegung erreicht.

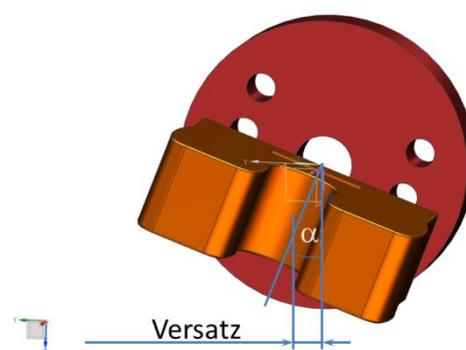


Abbildung 28: Realisierung des einstellbaren Querversatzes

### 3 Typische Anforderungen an die Mechanismen

Die Anforderungen an eine Bindungskonstruktion vor und während eines Sprungbewerbs sind vielfältig:

Anreise zum Austragungsort des Bewerbes

- Robustheit während des Transports

Vorbereitung beim Wettbewerb

- Einstellbarkeit der Hubbegrenzung
- Einfache Bedienbarkeit (Arretierverhalten)
- Klare Rückmeldung ob die Bindung verriegelt ist

Anfahrt zum Schanzentisch

- Bindung muss die Schiführung ohne Kontakt mit der Seitenwange der Anlaufspur ermöglichen
- Gute Rückmeldung der Spurbeschaffenheit

Absprung vom Schanzentisch

- Die Bewegung der Schier zum Körper darf von der Bindung nicht verfälscht werden
- Das Athletengefühl der Bewegung der Schier zum Körper soll nicht beeinträchtigt werden

Flugphase

- Die Bindungsparameter (Winkelhub und Versatz) müssen sich exakt reproduzierbar einstellen
- Die Bindungsparameter sind auch bei Belastungsänderung konstant zu halten

Aufsprung

- Belastungsspitzen (siehe z.B. Abbildung 29) müssen von der Bindung aufgenommen werden
- Die Beanspruchung der Bindung beim Aufsprung (Zugkräfte am Nachzugbein bei Telemarkaufsprung) und beim Abschwingen ist ungleich höher als während des Fluges.
- Die Freigängigkeit verschiedener Bindungskomponenten auch in ungewöhnlichen Richtungen muss gewährleistet sein (siehe Abbildung 30). Durch den Aufsprungdruck, die Schiverformung, den Montageabstand des Hinterbackens vom Fersensporn des Schuhs und der Kompression des Schaumkeiles vom Schuh kommt es zu einer Relativbewegung des Bindungsschlittens und der Bindungsbasis. Dabei bewegen sich die beiden Teile aufeinander zu, wobei der Platzbedarf der Bewegungen berücksichtigt werden muss.

Auslauf

- Auch bei Bremsschwüngen auf rippigem Auslauf darf es weder zu Bindungsauslösungen noch zu Beschädigungen von Bindungskomponenten kommen.



Abbildung 29: Mögliche Belastungsspitzen beim Aufsprung



Abbildung 30: Schiverformung beim Aufsprung

## 4 Bewertung der Schuh-Schi-Verbindung

### 4.1 Vorausgehende Festlegungen

Bei den nachfolgend beschriebenen Messungen der Verläufe der Betätigungskraft in Abhängigkeit vom Winkel werden die drei verschiedene Bindungstypen, der Typ-3 Hinterbacken zusätzlich mit zwei Arten des Koppelstabes untersucht. Die Koppelstäbe unterscheiden sich in der zur Umsetzung des Wirkwinkels notwendigen Hubhöhe, nicht aber im festgelegten Wirkwinkel selbst.

Weiters interessiert noch der Einfluss verschiedener Schuhsteifigkeiten auf das Schuh-Bindungssystem. Diese werden im Springerjargon als:

- weiche,
- mittlere und
- harte Schuhe benannt

und nicht als Schuhe mit

- niedriger,
- mittlerer und
- hoher Steifigkeit

Daher wird in Folge die Schuhsteifigkeit mit weich, mittel und hart bezeichnet.

Die drei zu vermessenden Bindungshinterbacken wurden im Wettbewerb- und Testumfeld verwendet. Die abgebildeten geometrischen Parameter sind Athleten spezifisch, wobei der Aufwand um eine geänderte Geometrie umzusetzen bei den Typ-2 und Typ-3 Hinterbacken wesentlich geringer als beim Typ-1 Hinterbacken ist. Bei diesem wäre es nötig die Übersetzungsverhältnisse beider Getriebestufen neu auszulegen. Wird das Trägerchassis weiter verwendet, bleiben dadurch die Achsabstände der Übersetzungsstufen gleich. Weiters stellen die eingeschränkten Platzverhältnisse durch die kompakte Bauweise eine Herausforderung dar. Da der Typ-1 Hinterbacken als reiner Funktionsprototyp für die Testphase im Sommer - also ohne die Absicht eines Wettkampfeinsatzes - entworfen wurde, wäre der Aufwand nur für diese Testreihen eine Neuabstimmung vorzunehmen zu groß, daher sollen die Grundgeometriedaten der Typ-1 Bindung als Referenzdaten gelten. Das bedeutet, dass für den Typ-3 Hinterbacken eine Koppelstange gewählt werden muss, deren Geometrie die geometrischen Möglichkeiten des Typ-1 Bindungsbacken abdeckt.

Für die Abstimmung des Typ-2 Fersenteils ist diesbezüglich nur eine Neueinstellung der Hubbegrenzung notwendig.

Aufgrund der unterschiedlichen Funktionsprinzipien lassen sich die Bahnkurven der Fersenadapter der drei Hinterbacken jedoch nicht so abstimmen, dass sich bei gleicher Hubhöhe, typunabhängig der gleiche Verdrehwinkel einstellt. Daher ist bei den Messungen zusätzlich der Zusammenhang zwischen Kraftbedarf, Hubhöhe und Verdrehwinkel zu erfassen. Dieser lässt sich mit dem Typ-3 Hinterbacken und zweier unterschiedlicher Koppelstangen erarbeiten, da die Geometrie der Koppelstangen es ermöglicht, den gleichen Verdrehwinkel bei jeweils unterschiedlichen Hubhöhen abzubilden. Diese Anpassungsarbeiten gewährleisten die Vergleichbarkeit der Messergebnisse.

Mit einer eigenen Messreihe wird untersucht ob bzw. wie sich eine erneute Aufspannung des Schuhs auf die Montageplattform auswirkt. Dies ist nicht nur relevant wenn Versuche wiederholt werden müssen, sondern auch um den Einfluss der Montagesituation auf die Messungen abschätzen zu können.

Zur Absicherung der Messergebnisse werden jeweils Reihenmessungen mit zehn Zyklen durchgeführt. Eine gesonderte Messreihe mit drei Zyklen diene zur Aufzeichnung geschlossener Hystereseschleifen.

Anmerkung zur Vorgangsweise bei der Auswertung der gemessenen Betätigungskraft – Winkel Verläufe:

Um den Hubstopp sicher zu erreichen wird bei der Hubbewegung eine größere Kraft in den Prüfstand eingeleitet als zum Erreichen der Hubstopphöhe und somit des maximalen Winkels notwendig ist. Die Geometrie der Krafteinleitung in den Prüfstand bedingt ein der gewünschten Verdrehung entgegenwirkendes Drehmoment. Das hat zur Folge, dass bei geringer Struktursteifigkeit des Hinterbackens der Winkel am Fersensporn wieder abnimmt. Während der Entlastung steigt der Winkel wieder an bis sich der Schlitten vom Hubstopp löst. Die von diesem Teil der Kennlinie eingeschlossene Fläche ist ein Maß für jene Energie, die nach dem Hubstopp in das System eingebracht wird (siehe Abbildung 31 links). Zur Klassifizierung der Bindungssysteme ist jedoch nur die Energie von Bedeutung die im Bewegungsbereich der Bindung (also von Hubstart bis Hubstopp) von der Windkraft am Vorderschi aufgebracht wird. Bei der Auswertung der Messungen werden daher diese Teilflächen nicht berücksichtigt (siehe Abbildung 31 rechts). Die folgenden Abbildungen zeigen daher nur die aufbereiteten Verläufe.

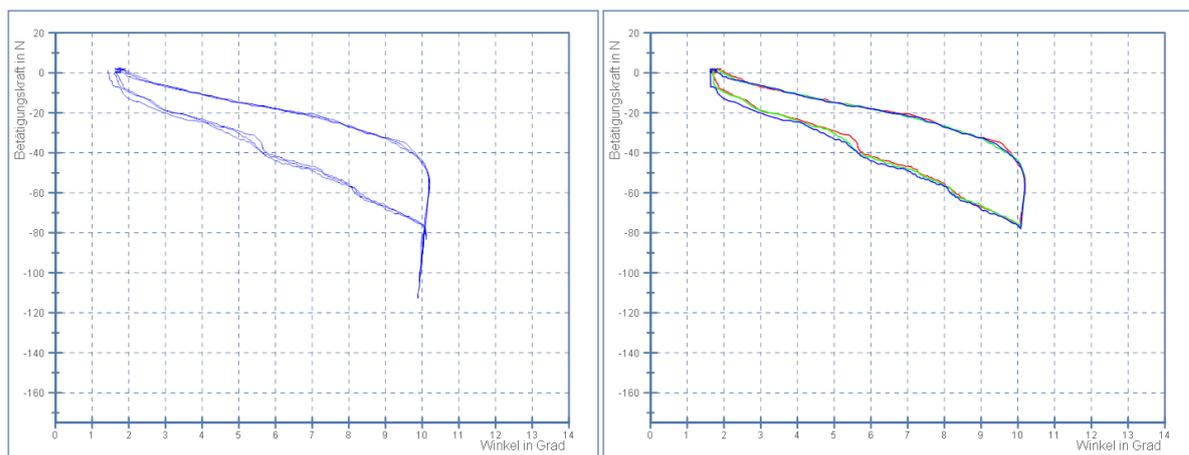


Abbildung 31: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit langer Koppelstange und hartem Schuh (links gemessener Verlauf, rechts aufbereiteter Verlauf)

Ähnlich wird bei der Bestimmung der Regressionsgeraden vorgegangen. Da nur der gemessene Verlauf von Hubstart bis Hubstopp mittels einer Regressionsgeraden beschrieben werden soll, wird hier der Hubbereich der aufbereiteten Verläufe ausgewertet.

## 4.2 Theoretische Betrachtungen und Festlegungen zu den Messungen am Schuh

### 4.2.1 Die Messung der Hubhöhe

Die Hubhöhe ergibt sich als Differenz aus der Höhe des Hubstopps und der Höhe des Hubstarts. Soll nur die Hubhöhe gemessen werden, genügt zu deren Erfassung ein Analoglasersensor. Die Positionierung des Messkopfes lotrecht unter dem Lasermessprofil erfolge mit einem Magnet-Messuhrhalter. Der Magnetfuss des Messuhrhalters ermöglicht das schnelle und sichere Befestigen und Positionieren am Boden des Prüffeldes. Der Magnet bringt laut Datenblatt eine Haltekraft von 60 N auf, so dass der Messkopf, mit einem Gewicht von 75 g stabil befestigt werden kann. Die angefertigte Halteplatte ermöglicht eine Schraubverbindung des quaderförmigen Messkopfgehäuses mit der zylindrischen Halterung, die ursprünglich für eine Standardmessuhr am Gelenk-Messuhrhalter vorgesehen ist. Die drei Gelenke des Magnet-Messuhrhalters erlauben das exakte Ausrichten der Messuhr und werden mit nur einer Spannschraube in der gewünschten Position fixiert. Die Messuhrhalterung verfügt zudem über eine Feineinstellschraube, welche die punktgenaue Justierung des Lasermesskopfes erleichtert. Mit diesem Lasermesskopf wird der Abstand zur Unterseite des am Schuhsporn verschraubten Lasermessprofils erfasst. Da der Messkopf zur Entfernungsmessung auf die Qualität und Quantität des reflektierten Streulichts angewiesen ist, wird die angestrahlte Messfläche des Lasermessprofils mit einer weißen Folie mit matter Oberfläche beklebt. Diese Maßnahme verbessert die Messergebnisse und hält die Laserabtastung in grenzwertigen Abtast Situationen länger stabil.

### 4.2.2 Messung des Verdrehwinkels

Zur Erfassung des Verdrehwinkels auf Basis von Längenmessungen werden zwei Analoglasersensoren benötigt. Werden diese in einem definierten Abstand zueinander und im rechten Winkel zur Drehachse des zu erfassenden Winkels montiert kann dieser aus den Messergebnissen und dem Abstand der Messköpfe berechnet werden. Da der bereits zur Messung der Hubhöhe montierte Messkopf auch für diese Messung verwendet werden kann genügt es einen zusätzlichen Lasersensor zu montieren.

Das mit dem Schuh quer zur Längsachse verschraubte Formrohr ist an der Referenzfläche plan. Auch die Referenzfläche der Laserabtastung des zweiten Analoglasersensors wird zur Verbesserung der Messsituation mit einer weißen Folie mit matter Oberflächenstruktur beklebt. Die Abmessungen, des im Folgenden als Lasermessprofil bezeichneten Edelstahl-Formrohrs sind 50 mm x 20 mm mit 2 mm Wandstärke und einer Länge von 200 mm (siehe Abbildung 41). Die Montage erfolgt direkt auf die Oberseite des Schuhsporns quer zur Längsachse des Schuhs. Verschraubt wird das Rohrstück mit drei Schrauben um den nötigen Halt und die Verdrehsicherheit zu erreichen. Auch der zweite

Messkopf des Entfernungsmesslasers wird mit Hilfe eines Gelenk-Messuhrhalter positioniert. Zur Einhaltung des definierten Abstandes zwischen den Messköpfen dient ein Montagebalken. Mit diesem sind beide Messköpfe exakt ausgerichtet verschraubt. Der eingestellte Abstand der beiden Lasermessköpfe beträgt 152 mm und ist im Messprogramm hinterlegt.

### 4.2.3 Messungen zur Sohlenbiegung

Der Schuh wird mit einer sogenannten Gehrolle ausgeliefert, im Schuhhandwerk auch als "vordere Rolle" bezeichnet. Die so ausgeformte Sohle des Schuhs unterstützt eine natürliche Abrollbewegung beim Gehen.

Wird der Schuh mit dem Vorderbacken der Bindung am Schi fixiert, drückt das den Schnabel genannten vordersten Teil des Schuhs bündig auf den Schi. Dadurch wird die Ferse des Schuhs bereits angehoben. Bei der Messung am Prüfstand wird der in der Bindung auf dem Schi fixierte Schuh an der Ferse zum Hubstopp bewegt, wodurch sich die Sohle weiter verformt. Der zum Erreichen einer vorgegebenen Hubhöhe erforderliche Kraftaufwand wird erfasst.

Um am Prüfstand die Realsituation bestmöglich nachzubilden ist einiges zu beachten. Bei der Einspannung am Prüfstand ist der Schuh zwar fixiert, er wird aber nicht vom Fuß eines Athleten belastet. Der Fersenhub ist im belasteten bzw. unbelasteten Fall gleich hoch, die "freie" Sohlenlänge unterscheidet sich jedoch. Im unbelasteten Fall reicht sie vom Ende des Vorderbackens bis zum Fersensporn, im belasteten Fall ist nur der Bereich vom Fußballen bis zur Ferse frei.

Um die Biegesituation des vom Athletenfuß belasteten Schuhs abzubilden ist es notwendig den Krümmungsradius – der von der Fußanatomie festgelegt wird – und die Lage des Krümmungskreismittelpunktes nachzubilden.

Dazu erscheint es praktikabel auf den Vorschuhbereich einen Zylinder mit der Hauptachse quer zur Schuhlängsachse nieder zu spannen. Nach einigen Versuchen mit Kunststoffrohren der Länge  $l=150$  mm, einer Durchmesservariation von 50 mm bis 120 mm und unterschiedlichen Spannkräften zum Niederspannen der Zylinder zeigte sich die hohe Fehleranfälligkeit dieser Methode. Der Zylinder ist bedingt durch die Schuhform in diesen Bereich weder exakt zu positionieren noch stabil zu fixieren. Als weiterer Schwachpunkt stellte sich das Leder - der Hauptbestandteil der Schuhoberkonstruktion, auch Schuhoberteil genannt - heraus. Es ist in diesem Bereich als Tonnengewölbe ausgebildet, das schon bei geringen Spannkräften unter der relativ kleinen Kontaktfläche zum Zylinderrohr deutlich nachgibt und im Testbetrieb nach einigen Fersenhüben kollabiert. So eingedrückt weist der Schuh deutlich andere Biegeeigenschaften auf, die die Realsituation schlecht abbilden.

Aus diesen Erfahrungen entstand die Idee den Schuh über den Vorfußbereich einschließlich der Montageplattform mit einem Gurt zu umschlingen und nieder zu spannen. Um die Position der Schlinge möglichst genau bestimmen zu können, wird der Fußmriß des Athleten auf ein Blatt Papier gezeichnet, die Einlegesohle aus dem Schuh genommen und deren Kontur auf dasselbe Blatt Papier übertragen (siehe Abbildung 32).

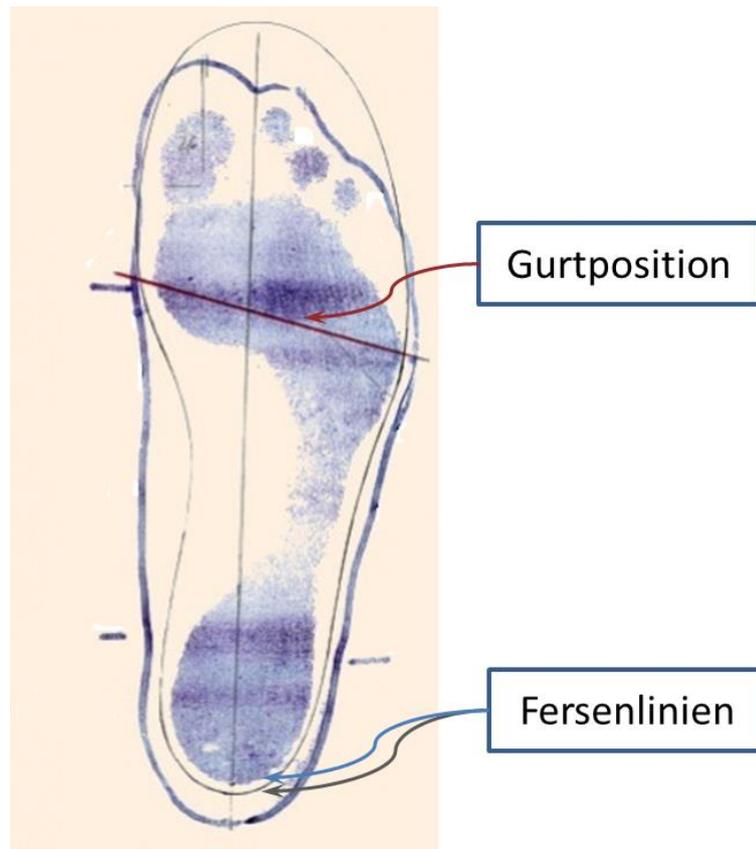


Abbildung 32: Vergleich von Einlegesohle und Fußumriss

Dabei müssen die Fersenlinien beider Umrisse und die Fußhauptachsen zur Deckung gebracht werden. Die sich daraus ergebende Lage der Abrollachse gilt als Maß für die Gurtposition. Die Position des Gurtes wird von der Schnabelniete als Referenzpunkt nach hinten gemessen (siehe Abbildung 33).

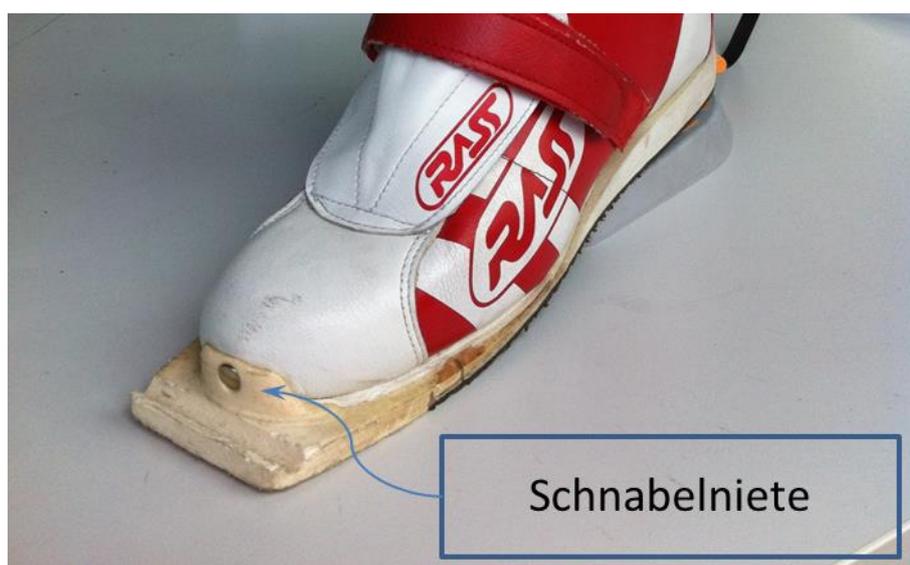


Abbildung 33: Position der Schnabelniete

Nach einigen Versuchsreihen mit Gurten die sich in Materialaufbau, Steifigkeit, Gurtbreite und Spanschlösserausführung unterscheiden stellt sich ein Polyesterwebegurt mit einer Breite von 19 mm und einer Durchzugsperrklinke als am besten geeignet heraus.

Da beim Spannen des Gurtes nur geringe Spannkraftunterschiede auftreten sollen wird beim Schuhwechsel am Prüfstand, zum erneuten Spannen des Gurtes eine Federwaage eingesetzt. Etwaige kleine Spannkraftunterschiede kann der Schuhaufbau aus Leder im Vorschuhbereich ausgleichen.

Mit dieser der Realsituation entsprechenden Anordnung ist es möglich die Kraft zu messen, die notwendig ist um die Ferse des Schuhs vom Standkeil bis zum Erreichen des Hubstopps zu bewegen.

#### 4.2.4 Messung der Sohlentorsion

Auch bei diesen Messungen ist der Schuh wie bei der Biegemessung im Vorderbacken am Prüfstand fixiert und mit einem Gurt im Vorschuhbereich definiert niedergespannt.

Da die Kraft die zur Verdrehung des Schuhs notwendig ist ohne den von der Mechanik bedingten zusätzlichen Kraftaufwand (Bindungsverlust) gemessen werden soll, fällt die Möglichkeit weg, die Verdrehung mit einem der bestehenden Hinterbacken in das System einzubringen.

Bei den bestehenden Bindungshinterbacken wird das Reaktionsmoment mit einer Aluminiumstruktur, über die Hinterbackenbasis in den Schi eingeleitet. Der Verdrehwinkel ist immer mit einer Verschiebung nach oben gekoppelt, eine Lagerung im Hubbereich ist somit unabdingbar. Die damit verbundenen Reibungsverluste sind in diesem Anwendungsfall jedoch unerwünscht.

Aus den Überlegungen, dass

- der Schuh vom Vorderbacken exakt geführt wird und
- die Hubbegrenzung nicht zwingend eine Metallstruktur benötigt und mit einem Band exakt genug umzusetzen ist

gilt es eine Möglichkeit zu finden die nötigen Kräfte für die Sohlentorsion in den Schuhsporn einzuleiten.

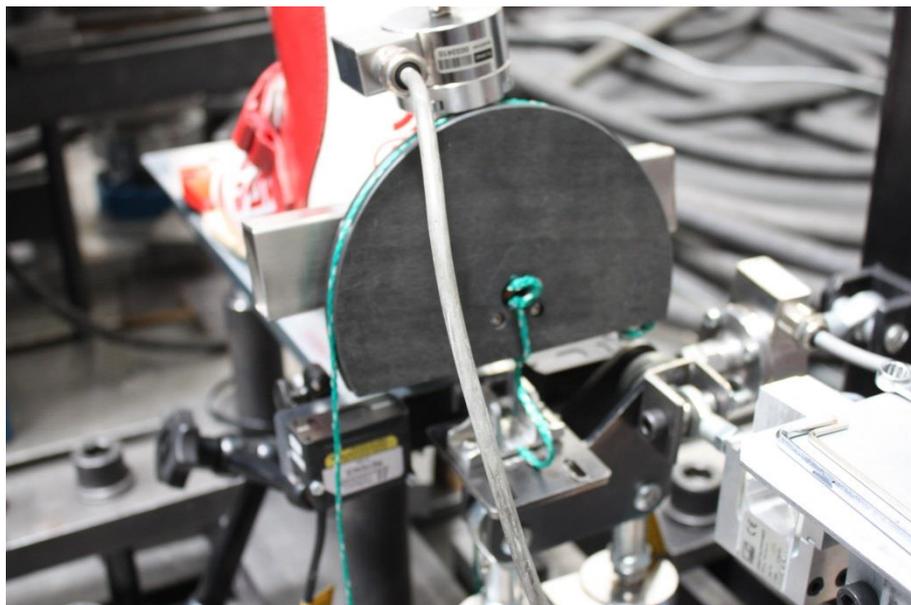


Abbildung 34: Aufbau zur Messung des Aufwandes für die Sohlentorsion

Da definitionsgemäß das Drehmoment das Produkt aus Kraft mal Normalabstand ist und die Kraft aus der Hubbewegung kommt, wird diese Anforderung mit einem Hebel oder einer Scheibe umgesetzt (siehe Abbildung 34).

Die Scheibe hat gegenüber einem Hebel der in gleicher Weise an den Schuh montiert wird den Vorteil, dass der wirksame Abstand zum Pol der Drehbewegung konstant bleibt, während sich beim Hebel der Normalabstand des Hebelarms mit dem Cosinus des Drehwinkels verkürzt.

Die im Folgenden beschriebenen Messungen werden daher mit einer am Fersensporn des Schuhs montierten Scheibe durchgeführt. Ein am Umfang der Scheibe befestigtes Band ist mit einer Haltevorrichtung am Prüffeldboden verbunden und verläuft entlang der Mantelfläche. Der Befestigungspunkt des Bandes mit der Scheibe soll bei "Vier-Uhr" sein. Das Band verlässt die Scheibe bei "Neun-Uhr" und wird gegen den Uhrzeigersinn in der vorgesehenen Nut über den Umfang der Scheibe geführt. Lotrecht unter dem Tangentialpunkt ist der Befestigungspunkt am Prüffeldboden. Beim Einbringen der Betätigungskraft in die Messanordnung, führt die exzentrische Befestigung des Bandes mit dem Prüffeldboden zu einer Verdrehung der Scheibe und somit auch zu einer Verdrehung des Schuhs. Um bei der Torsion genügend Raum für die Bewegung der Sohleninnenkante zu haben, ist auf die Starthöhe des Schuhs zu achten. Da aber die Ferse des Schuh durch dessen Gehrolle und der Fixierung im Vorderbacken der Bindung in dafür ausreichender Höhe steht, wird in dieser Anordnung die Hubbegrenzung auf diese Starthöhe abgestimmt und begrenzt. So kommt es zu keiner weiteren Sohlenbiegung.

Es gilt nun noch weitere geometrische Randbedingungen für diesen speziellen Anwendungsfall zu berücksichtigen. Ist der Durchmesser der Scheibe zu klein lässt sich das Koppelstück zum Verbinden der Scheibe, mit der dafür vorgesehenen Montagenut am Schuhsporn nicht mehr befestigen. Auch können bei kleinem Durchmesser und dem von der Sohlenkonstruktion vorgegebenen Drehmomentbedarf die erforderlichen Kräfte außerhalb des Messbereichs der Kraftmessdosen liegen. Eine Scheibe mit großem Durchmesser hingegen kollidiert mit der nahe am Schuhsporn montierten Kraftmessdose.

Bei Einhaltung aller Randbedingungen ergibt sich ein maximal umsetzbarer Durchmesser von 160 mm. Die Scheibe ist so nah wie möglich am Lasermessprofil montiert, kollidiert nicht mit dem Verriegelungsbolzen des Gelenkkopfes der Kraftmessdose des Handzuges und hält auch einige Millimeter Abstand zum Messkörper der Dose selbst. Die übliche Größenordnung des Fersenhubes setzt dabei brauchbar große Torsionswinkel um. Es werden Messreihen mit mehreren Schuhen und verschiedenen Hubhöhen und Verdrehwinkel durchgeführt.

#### **4.2.5 Messungen des Kraftaufwandes zur Erreichung des Querversatz vom Schuhsporn relativ zur Längsachse**

Der Schuh wird im Vorderbacken der Bindung auf der Montageplattform des Prüfstandes fixiert. Die Gehrolle des Schuhs und die Art der Einspannung des Schuhschnabels bedingen eine (für die Messung notwendige) Schuhposition mit erhobener Ferse. Der Abstand der Ferse vom Standkeil hängt von der Schuhgröße und der produktionsbedingten Serienstreuung ab. Hat der Schuh Fersenkontakt mit dem Standkeil ist der Standkeil für die Dauer der Messung zu entfernen.

Während der Messung wird am Fersensporn des Schuhs, an der Einkuppelstelle des Fersenadapters eine Kraft waagrecht und quer zur Schihauptachse aufgebracht. Die Kraft wird solange gesteigert bis der Querversatz des Fersensporns erreicht ist, der von der jeweiligen Bindung vorgegeben wird. Die Größe des Querversatzes liegt dieser im Millimeterbereich und wird mit Laserentfernungssensoren erfasst. Da der Vorderbacken den Schuh nicht exakt genug einspannt, werden diese kleinen Werte erreicht ohne dass die Struktur des Schuhs verformt wird, die Messergebnisse werden also von der Einspannsituation des Schuhs im Vorderbacken beeinflusst.

### 4.3 Prüfstand

Aufgabe des Prüfstandes ist die Erfassung der Betätigungskraft, der Hubhöhe und des Wirkwinkels unter einer realitätskonformen Fixierung der Prüflinge. Wichtig ist auch, dass das Wechseln der Testkomponenten schnell und ohne großen Umbauaufwand bewerkstelligbar ist.

#### 4.3.1 Aufbau

##### 4.3.1.1 Mechanischer Aufbau

Der Prüfstand ist im Prüffeld der Schwingprüfhalle des Instituts für Leichtbau aufgebaut. Er besteht im Wesentlichen aus folgenden mechanischen Baugruppen:

- Hauptrahmen
- Plattform zur Schuhaufspannung
- Hinterbackenchassis
- Handzug

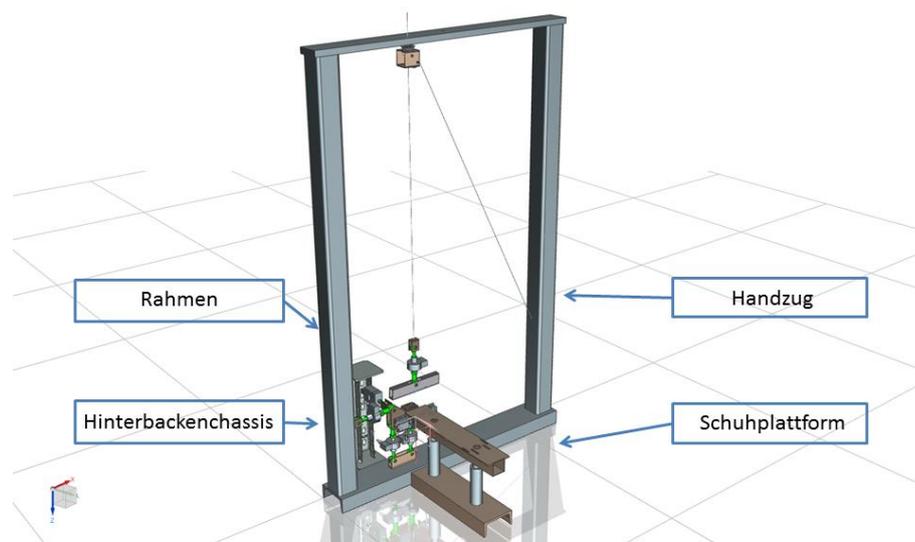


Abbildung 35: Prüfstand Gesamtansicht

Der Hauptrahmen ist in Stahlbauweise ausgeführt. Die Verbindung zur Aufspannplatte stellt ein auf den Schenkelstirnseiten stehendes (Stegfläche nach oben) U-Profil der Dimension 120x55x995mm dar. Darauf sind senkrecht die beiden Formrohr-Steher aus 80 mm x 80 mm mit 2 mm Wandstärke und einer Länge von 1500 mm angeschweißt. Den Kopfquerverband übernimmt ein Flachmaterial 80 mm x 20 mm und einer Länge von 1000 mm. Der Hauptrahmen sollte steif genug sein um die auftretenden Betätigungskräfte mit vernachlässigbar kleinen Verformungen aufzunehmen. Die Höhe des Hauptrahmens ist bestimmt von der Forderung, dass eine Bewegung des Prüflings aus der Hauptebene des Prüfstandrahmens heraus, nur eine kleine Winkeländerung des Zugseiles zur Folge hat.

Die Plattform für die Schuhmontage ist vom Hinterbackenchassis getrennt. Dieses "Freischneiden" unterscheidet die Montagesituation auf dem Prüfstand von der Realsituation und ermöglicht erst die Messung der Reaktionskräfte. Durch die fixe Befestigung des Hinterbackenchassis am Prüfstandhaupttrahmen ist die für die Messung an unterschiedlichen Schuhgrößen notwendige Längsverschiebung nur durch eine Verschiebung des Vorderbackens der Bindung möglich. Dieser wird durch eine Längenverstellung der Bindung auf der Plattform zur Schuhaufspannung von 50 mm Genüge getan.

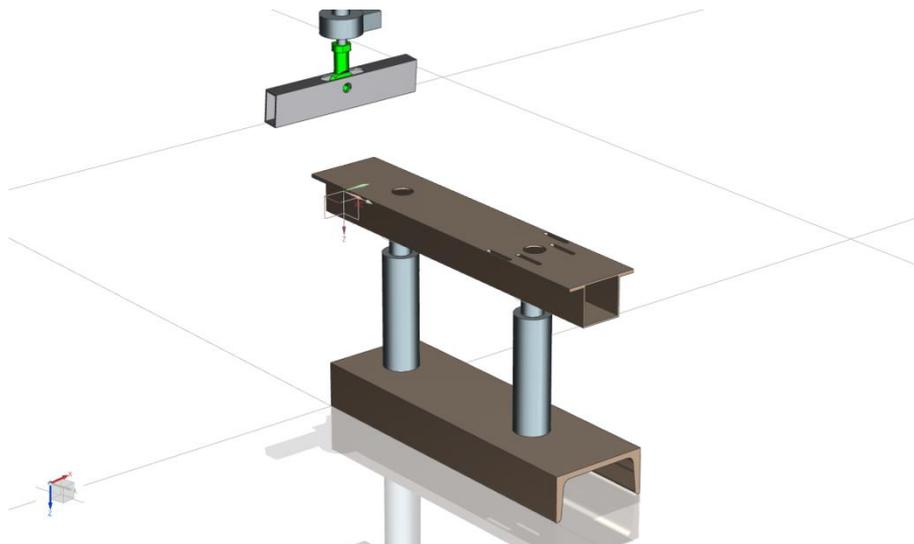


Abbildung 36: Schuhplattform des Prüfstandes

Die Trennung der Schuhplattform von der Hinterbackenbasis ermöglicht es gegebenenfalls auch auf seitlich versetzte Montageanforderungen der jeweiligen untersuchten Hinterbackenvariante reagieren zu können. Weiters sind die Stützen zur Schuhplattform je zweiteilig, zylindrisch ausgeführt und teleskopartig um 30 mm in der Höhe verstellbar.

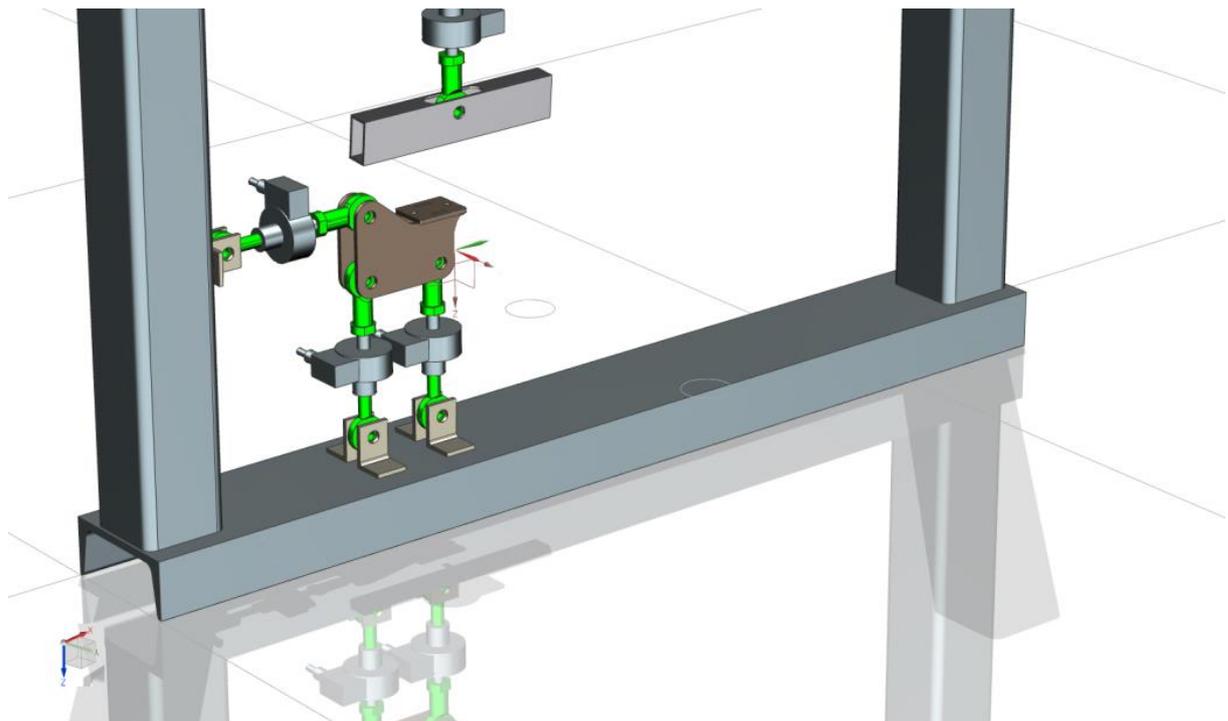


Abbildung 37: Hinterbackenchassis des Prüfstandes

Die Ausführung der Hinterbackenbasis berücksichtigt zwei Aufgaben. Sie soll die Prüflinge aufnehmen und die Kräfte auf die Kraftmessdosen übertragen. Um die Kräfte auf die Plattform im Raum zu erfassen und sie zu stabilisieren sind drei Kraftmessdosen notwendig.

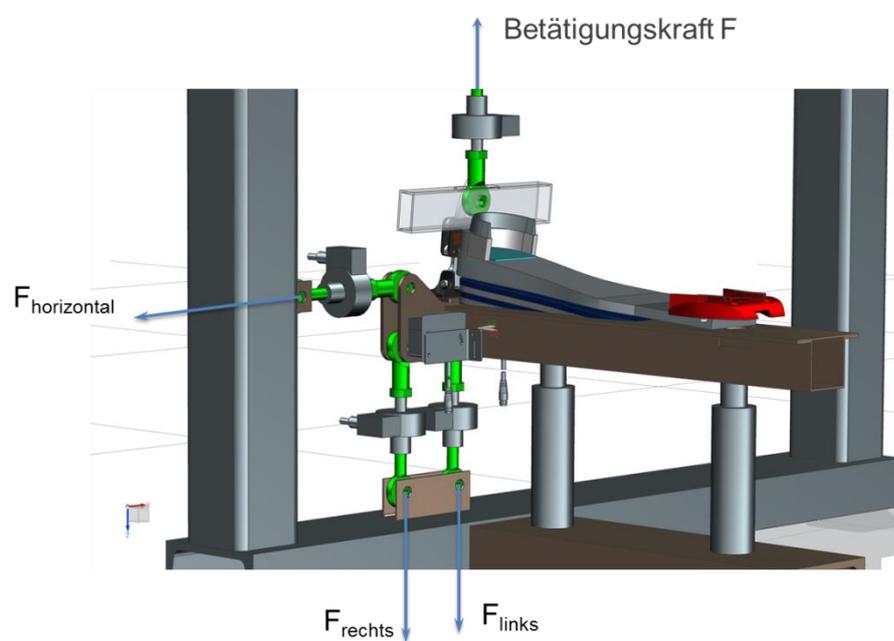


Abbildung 38: Prüfstand und damit gemessene Kräfte

Die Anordnung von zwei Messdosen wird so gewählt, dass die Wirkungslinien der auftretenden Kräfte durch die Hauptachsen der jeweiligen Messdosen gehen (siehe  $F_{\text{links}}$  und  $F_{\text{Horizontal}}$  in Abbildung

38). Durch diese Anordnung müssen keine zusätzlichen Drehmomente berücksichtigt werden. Lediglich die Abstützung nach unten zum Hauptprüfstandträger erfordert eine Parallelanordnung mit einer dritten Kraftmessdose.

Eine weitere Aufgabe der Hinterbackenbasis ist eine einfache und schnelle Wechselmöglichkeit der verschiedenen Prüfmechanismen. Eine Lochrasterplatte kombiniert alle geometrischen Anforderungen, darauf wird die jeweilige Bindungsbasis verschraubt.

Die Einbringung der Kraft zum Heben des Schuhs an dessen Fersensporn erfolgt von Hand. Dies hat folgende Vorteile:

- größerer Flexibilität und geringerer Konstruktions-, Fertigungs- und Montageaufwand
- geringe Anzahl von Einzelhuben mit vertretbarer Bedienkraft

Der Schuh wird mit einem Stahlseil von 1,6 mm Durchmesser in "Flugposition" gebracht. Um auftretende Negativeinflüsse, wie Seilgewicht, Seilelastizität, Umlenk- und Lagerverluste im Handzug konstruktiv auszuschließen wird die vierte Kraftmessdose so nahe wie möglich an den Sporn des Schuhs platziert. Der Montageort ermöglicht die Einleitung der Zugkraft direkt über einen Steckbolzen und ein Stahlprofil in den Schuh. Der dazu verwendete Bauteil hat gleichzeitig die Aufgabe eine zweifache Entfernungsmessung in z-Achsenrichtung zu ermöglichen. Dieses Lasermessprofil (siehe Abbildung 41) genannte Formrohr ist mit dem Fersensporn des Schuhs dreifach verschraubt. Der verbindende Bolzen vom Formrohr zum M12-Gelenkkopf der Kraftmessdose ist schnell, einfach und werkzeuglos zu wechseln.

Die obere Umlenkrolle des Seilzugs wird in einem Formrohrstück kugelgelagert, wobei dessen Drehpunkt (ebenfalls kugelgelagert) am Querbalken des Hauptrahmens so gewählt ist, dass die Achse dieser Lagerung und die Achse des Hubseils zum Fersensporn des Schuhs zusammenfallen. Dadurch ist gewährleistet, dass bei Betätigung des Prüfstandes keine Winkeländerungen im Zugseil Richtung Schuh erfolgt, egal in welche Richtung und unter welchen Winkel am Handgriff gezogen wird (siehe Abbildung 39).

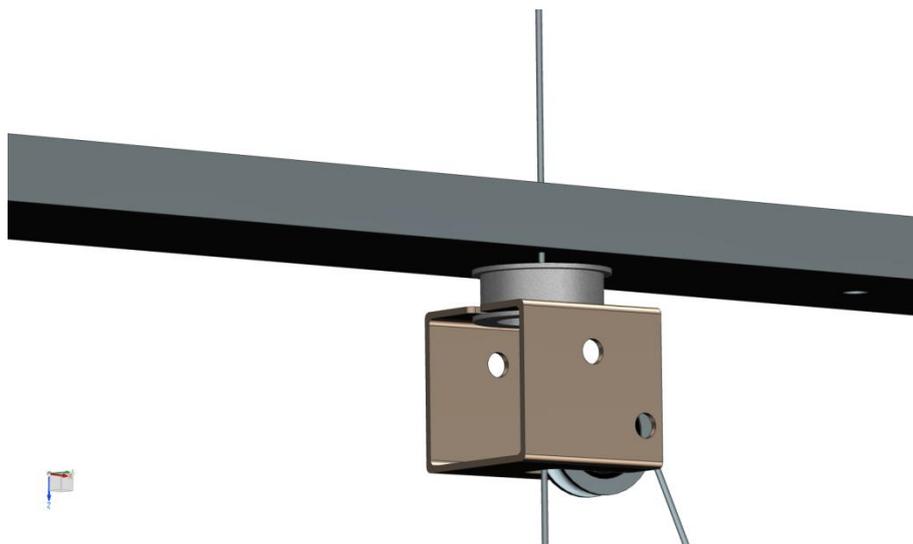


Abbildung 39: Drehpunktaxiale Seilführung

#### 4.3.1.2 cDAQ-Chassis, HBM Kraftmessdosen, Keyence Multi-Funktions-CMOS-Analoglasersensoren und deren gemeinsame Verwendung im Prüfstandaufbau

Um das Verhalten der Prüflinge in realitätskonformer Situation zu untersuchen, werden vier Kräfte und zwei Längen erfasst. Diese sechs Messgrößen werden mittels einer cDAQ-Chassis von National Instruments (NI) genannten Signalerfassungs- und Aufbereitungseinheit über ein USB-Kabel an einen Mess- und Kontroll-PC weitergeleitet.

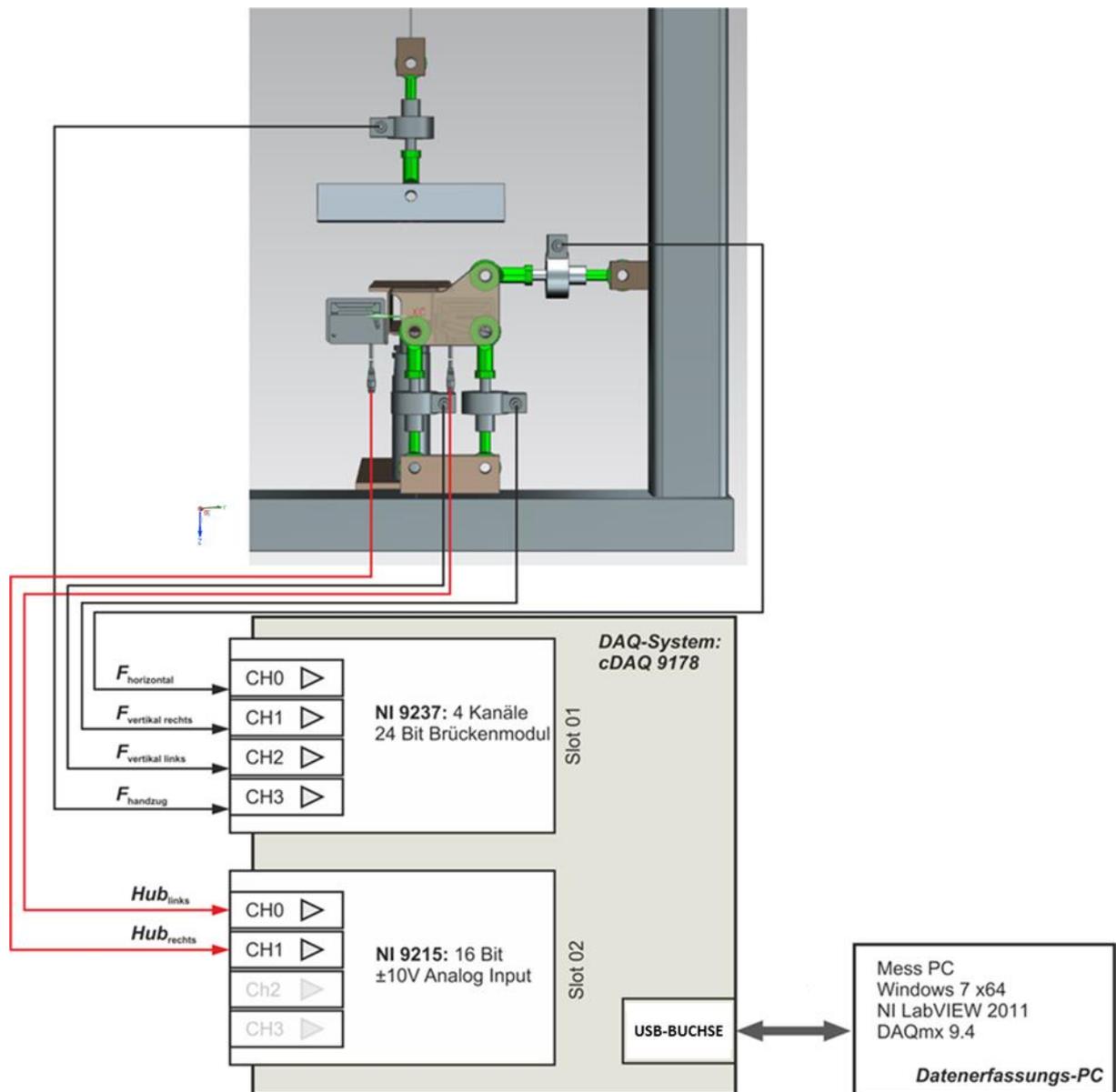


Abbildung 40: Prüfstand und Messsystem

Gewählte Kanalbelegung:

NI 9237:

- Kanal 0 ... Betätigungskraft
- Kanal 1 ... Kraft vertikal links
- Kanal 2 ... Kraft vertikal rechts
- Kanal 3 ... Kraft horizontal

NI 9215:

- Kanal 0 ... Abstand links
- Kanal 1 ... Abstand rechts

Zur Visualisierung der eingehenden Signale dient eine speziell programmierte NI LabVIEW-Oberfläche.

#### 4.3.1.2.1 Kraftmessung

Während der Messung wird der Schuh am Fersensporn mittels Seilzug bis zum Erreichen der oberen Hubbegrenzung angehoben. Um die Bindungssysteme vergleichen zu können müssen zusätzlich zur eingeleiteten Kraft drei Reaktionskräfte erfasst werden (siehe Abbildung 38)

Zur Auswahl der passenden Kraftmessdosen wird in einem ersten Messzyklus die Betätigungskraft zur Erreichung der oberen Hubbegrenzung ermittelt. Statt der Kraftmessdosen montierte Abstandhalter halten dabei das Hinterbackenchassis in Position, eine Federwaage im Seilzug zur Handbetätigung zeigt die Größenordnung der Zugkraft. Die Größe der ermittelten Zugkraft ist Basis der Kraftmessdosenauswahl.

#### 4.3.1.2.2 Längenmessung

Die Messgrößen sind der Fersenhub links und rechts des Schuhs, die mit zwei Lasermessköpfen (siehe Abbildung 41) erfasst werden.



Abbildung 41: Messanordnung zur Längen- bzw. Winkelmessung

Die Messrichtung der beiden Lasersensoren ist in z-Richtung senkrecht nach oben positioniert. Die Laserstrahlen treffen auf die Unterseite des Formrohrs, das am Fersenporn des Schuhs verschraubt und mit dem Schuh mitgehoben wird. Um die beiden gemessenen Distanzen auch für eine spätere Winkelbestimmung nutzen zu können, sind beide Lasermessköpfe auf einem Verbindungsprofil im definierten Abstand verschraubt. Die Montage des Laserkopfhalters erfolgt mit zwei Messuhrgelenkhaltern direkt auf dem Prüffeldboden.

#### 4.3.1.2.3 Verkabelung des Prüfstands

Die Kabel der einzelnen Kraftmessdosen verlaufen an der Rückseite des Hinterbackenchassis noch vor der Einzelsäule zum rechten Rahmensteher. Dort werden sie, gemeinsam mit drei elektrischen Versorgungsleitungen zu einem Kabelbaum gebunden und außen am Formrohr nach oben zum cDAQ-Chassis verlegt. Die Positionierung des Datenaufbereitungschassis oben rechts am Querbalken des Hauptrahmens ist auch deshalb günstig, weil sich damit eine kurze Verbindung zum Messtisch bzw. zum Mess- und Kontroll-PC ergibt.

Anders erfolgt die Verlegung der Datenkabel der beiden Laserentfernungsmesser. Die im Fersenbereich des Schuhs montierten Messköpfe sind mit zwei Interfacemodulen verbunden. Da sich an den Bedienfeldern der Module der Messbereich einstellen und die Messentfernungen vor Relativmessungen Null setzen lässt, werden diese am Rand des Messtisches platziert und von dort aus mit dem cDAQ-Chassis verbunden. Die aufbereiteten Signale werden ebenfalls über die USB-Schnittstelle auf den Kontroll-PC übertragen.

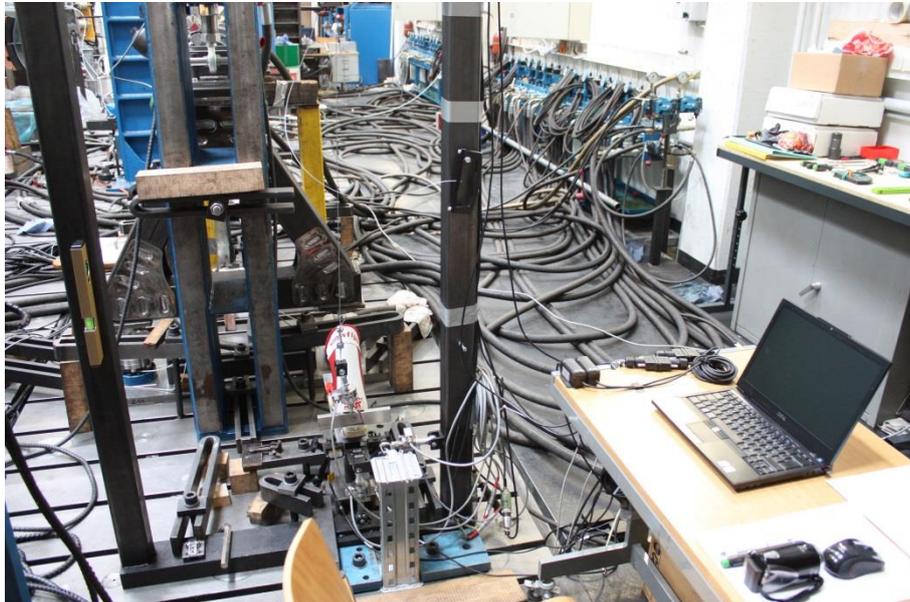


Abbildung 42: Messaufbau mit Messplatz und Werkbank

#### 4.3.1.3 Die Bedienoberfläche von NI LabVIEW

Das für meine Messaufgaben passende Grundkonzept wurde mir von Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Thurner zur Verfügung gestellt. Nach dem vertraut machen mit dem Programm und den

ersten Messungen, war es die Hilfe von Klaus Sobe und seine softwaretechnische Umsetzung, die es ermöglichte das Programm an meine speziellen Wünsche zu adaptieren.

Mit dieser Bedienoberfläche können die Messungen gestartet, die generierten Messdaten bewertet, gespeichert und auch verwaltet werden. Die Bildschirmdarstellung umfasst vier wesentliche Bereiche, die in Abbildung 43 dargestellt sind.

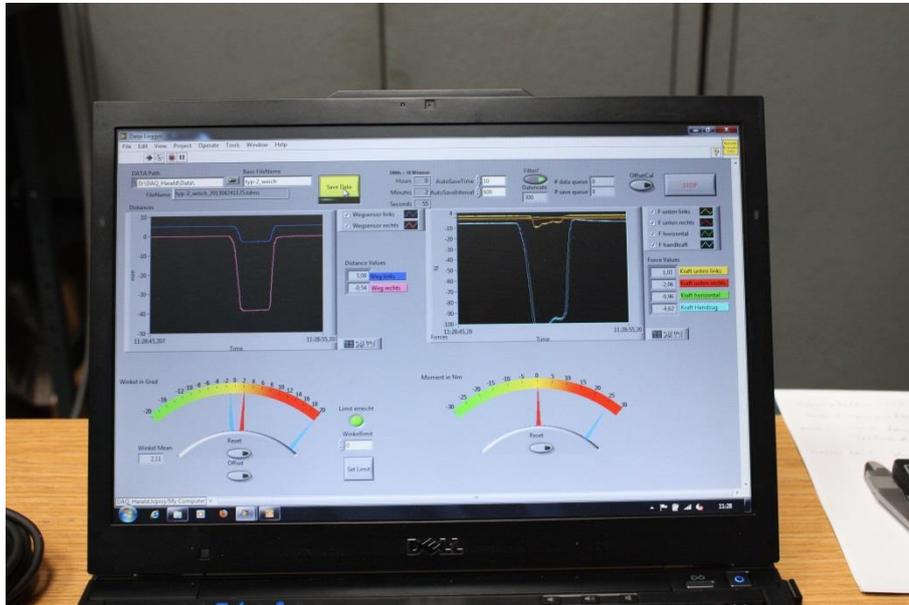


Abbildung 43: Bedienoberfläche des Messcomputers

Oben sind die Menüs, Eingabefelder und Buttons zur Programmbedienung und Datenverwaltung angeordnet, am linken Teil des Bildschirms die Darstellung der Entfernungsmessung, darunter die daraus errechneten Winkeldaten der Lasermessbalkenpositionierung. Rechts werden die Kraftmesswerte in Bild und Text dargestellt. Als weitere Funktionalität beinhalten die Zeigerdarstellungen der errechneten Winkel und Drehmomente je zwei Schleppzeiger. Einer "hakt" sich beim Minimal- oder Startwert ein, der zweite "markiert" den erreichten Maximalwert. Beide Schleppzeiger sowie der Zeiger des aktuellen Messwertes beider Anzeigen sind getrennt und einzeln auf null zurückzusetzen. Das hat Vorteile bei der Mehrfachmessung von Konfigurationsvarianten, weil so bei der jeweiligen Folgemessung das Erreichen des Hubstopps sofort ersichtlich ist (durch die außermittige Anordnung der Lasermessköpfe wird nämlich die tatsächlich eingestellte Hubhöhe des Bindungshinterbackens von der Art der Längenerfassung nicht direkt erfasst).

Weiters kann der Maximalwert des erreichten Winkels des Lasermessbalkens mit einem Knopfdruck gespeichert und in einem eigenen Abbildungsbereich angezeigt werden. Wird dieser bei einem Mehrfachmesszyklus in einer Einzelmessung erreicht, gibt es ein akustisches Signal und der Messzyklus wird vom Bediener des Prüfstands durch langsames Absenken der Betätigungskraft und der Ferse des Schuhs beendet.

Die Schleppzeigeranzeigen und das akustische Signal machen es möglich, mit einem Blick auf das Computerdisplay, die Gültigkeit dieser Messung zu verifizieren und unmittelbar darauf zu reagieren. So werden Fehlmessungen nicht in die erfassten Datensätze aufgenommen.

## 4.3.2 Betrieb

### 4.3.2.1 Erzielbare Genauigkeiten

#### 4.3.2.1.1 Ermittlung der absoluten Genauigkeit

Die Anordnung der Kraftmessdosen ist bei diesem Prüfstand so gewählt, dass etwaige durch die Seilführung entstehende Verluste nicht in die Messergebnisse eingehen. Damit ist das einfache Anhängen von Gewichten am Handgriff zur Ermittlung der Abbildungsgenauigkeit nicht möglich, da die dabei miterfassten Verluste der Seilumlenkung und der Lagerung der Umlenkungsrollen nicht in die Bindungskomponentenprüfungen eingehen. Der einzige Unterschied zum tatsächlichen Messablauf, bei dem über den Handgriff eine Zugkraft in den Messaufbau gebracht wird, ist das Anhängen von Standardgewichten aus einem Gewichtsatz einer Dezimalwaage. Damit wird die Kraftmessdose zur Erfassung der Betätigungskraft auf plausible Messwerte untersucht.

Die Kraftmessdosen im Hinterbackenchassis werden ebenfalls mit den Standardgewichten belastet. Da die verwendeten Kraftmessdosen zur Erfassung wechselnder Kraftverläufe unter Abbildung der gleichen Genauigkeitsklasse in Zug- und Druckrichtung geeignet sind, ist eine Bewertung der Messwerte möglich. Die Kraftmessdosen sind einem der Messung vorgeschalteten Abgleichvorgang auf null zu setzen. Unter Berücksichtigung der Genauigkeit der Kraftmessdosen werden die gespeicherten Messdaten ausgewertet.

#### 4.3.2.1.2 Ermittlung der Wiederholgenauigkeit

Für die Ermittlung der Wiederholgenauigkeit wird der Schuh mit dem Bindungssystem auf der Montageplattform fixiert. Die Kraftmessdose am Zugseil wird mit dem dafür vorgesehenen Bolzen am Lasermessprofil befestigt, die Kraftmessdose aufgerichtet und das System anschließend auf null gesetzt. Nun folgt ein Zehnerzyklus gleicher Messungen, bei dem die erfassten Daten jedes Messzyklus in Einzeldaten gespeichert werden. Aus den Messwerten wird der Winkel berechnet und mit der aufgebrauchten und gemessenen Betätigungskraft in einem Diagramm dargestellt (siehe Abbildung 44). Die Abbildung der einzelnen Graphen in einem Diagramm ermöglicht eine Beurteilung der Wiederholgenauigkeit.

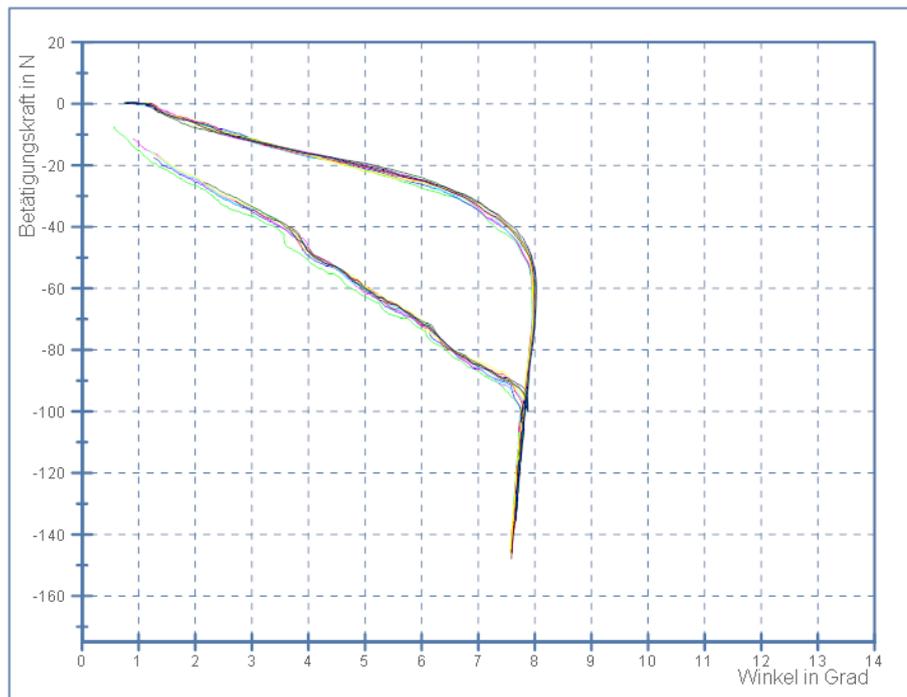


Abbildung 44: Betätigungskraft über Winkel bei Typ 2 mit "hartem" Schuh - 10 Zyklen

### 4.3.3 Durchzuführende Messungen

#### 4.3.3.1 Allgemeines

Um einen repräsentativen Überblick über die zur Verfügung stehenden aktuellen Bindungssysteme und deren Verhalten in Kombination mit den Schuhsteifigkeiten und Bindungsvarianten zu erhalten, werden die Bindungstypen 1, 2 und 3 mit niederen, mittleren und hohen Schuhsteifigkeiten kombiniert und vermessen. Beim Hinterbackentyp-3 werden auch Messungen mit kurzem und langem Koppelstab mit jeweils gleich großem Wirkwinkel durchgeführt.

#### 4.3.3.2 Messungen am Schuh

Die erforderlichen Kräfte zur Sohlenbiegung um die Querachse, für die Sohlentorsion um die Längsachse und um den Fersenversatz zu generieren, werden für den jeweiligen Schuh ermittelt. Für die erforderlichen Messungen werden eigene Konzepte erarbeitet und entsprechende Messreihen durchgeführt.

#### 4.3.3.3 Messungen am Bindungssystem

Die Schuh-Bindungssysteme sind Inhalt der folgenden Messreihen in denen eine möglichst realitätskonforme Prüfsituation in einem stabilen Messumfeld angestrebt wird. Die Messergebnisse dienen dazu die verschiedenen Bindungstypen zu klassifizieren. Eine Reihung erfolgt unter dem Gesichtspunkt der Leichtgängigkeit. Weiters soll das Verhältnis der Messgrößen aus den Typmessgängen zum Erreichen einer vorgegebenen und begrenzten Hubhöhe besonders beachtet werden.

#### 4.3.3.4 Messungen zum Auslöseverhalten

Die Kraft mit der der Schuh in der Bindung gehalten wird soll begrenzt werden um bei Stürzen die Verletzung der Athleten zu minimieren. Um der Forderung nach einer Auslösemöglichkeit des Schuhs aus dem Bindungssystem Genüge zu tun, wird das Auslöseverhalten bei Annäherung an einen Grenzwert untersucht (Abbildung 21).

### 4.4 Messungen

#### 4.4.1 Festlegungen

Der Verformungsaufwand bezeichnet jenen Aufwand der notwendig ist um den Schuh in gewünschter Art zu verformen. Um diesen Aufwand in der gewünschten Genauigkeit erfassen zu können, wird das in Kapitel 4.2.4 beschriebene Messprozedere verwendet.

#### 4.4.2 Untersuchungen am Schuh zur Ermittlung des Verformungsaufwandes

Drei interessante Größen gilt es beim Schuh zu beurteilen:

- die Kraft um die Sohle um die Querachse zu biegen
- das Moment um den Schuh um die Längsachse zu verdrehen
- die Kraft um den im Vorderbacken fixierten Schuh am Fersensporn quer zur Längsachse definiert zu verschieben.

Diese Kräfte/Momente führen zu:

- Sohlenbiegung
- Sohlentorsion
- Querversatz des Schuhsporns relativ zur Längsachse.

##### 4.4.2.1 Sohlenbiegung

Bei der Ermittlung der Sohlenbiegung wird die erforderliche Hubkraft bis zum Hubstopp gemessen. Der Messschrieb der für diese Messreihe verwendet wird beinhaltet:

- die Laserentfernung links in Millimeter über der Zeit
- die Laserentfernung rechts in Millimeter über der Zeit
- die Betätigungskraft in Newton über der Zeit.

In einer zeitsynchroner Darstellung kann die Betätigungskraft bei Erreichung des Hubstopps in dem Diagramm abgelesen werden (in den folgenden Diagrammen punktiert eingezeichnet).

#### 4.4.2.1.1 Sohlenbiegung mit "weichem" Schuh

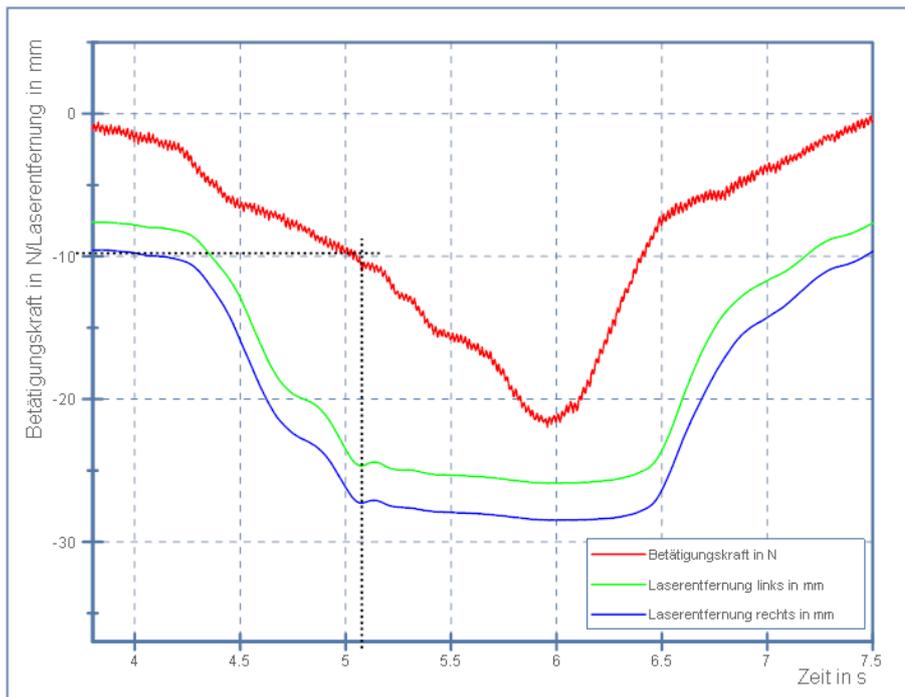


Abbildung 45: Betätigungskraft über Winkel / Sohlenbiegung mit "weichem" Schuh

#### 4.4.2.1.2 Sohlenbiegung mit "mittlerem" Schuh

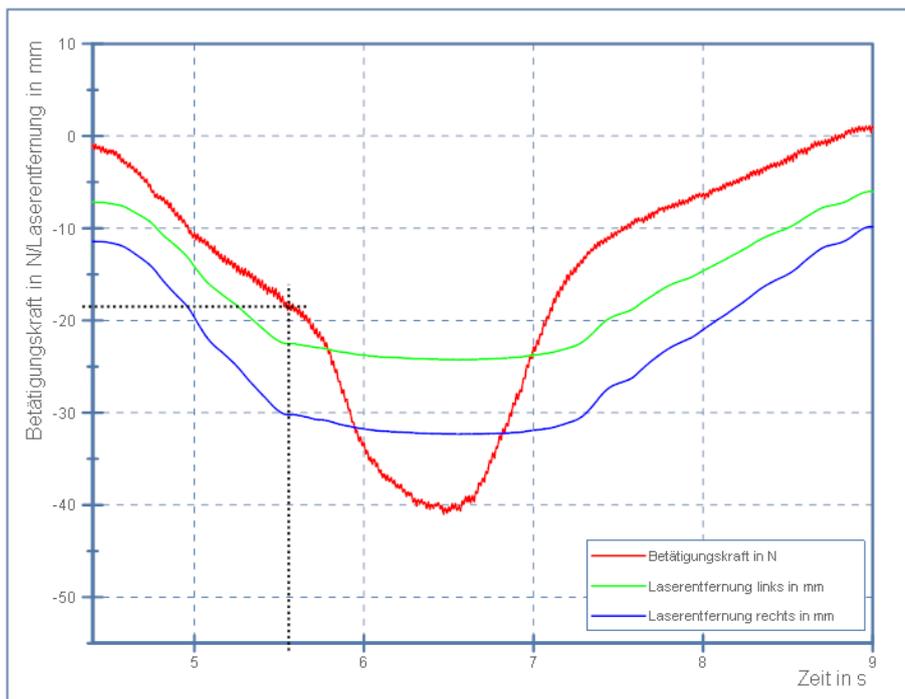


Abbildung 46: Betätigungskraft über Winkel / Sohlenbiegung mit "mittlerem" Schuh

#### 4.4.2.1.3 Sohlenbiegung mit "hartem" Schuh

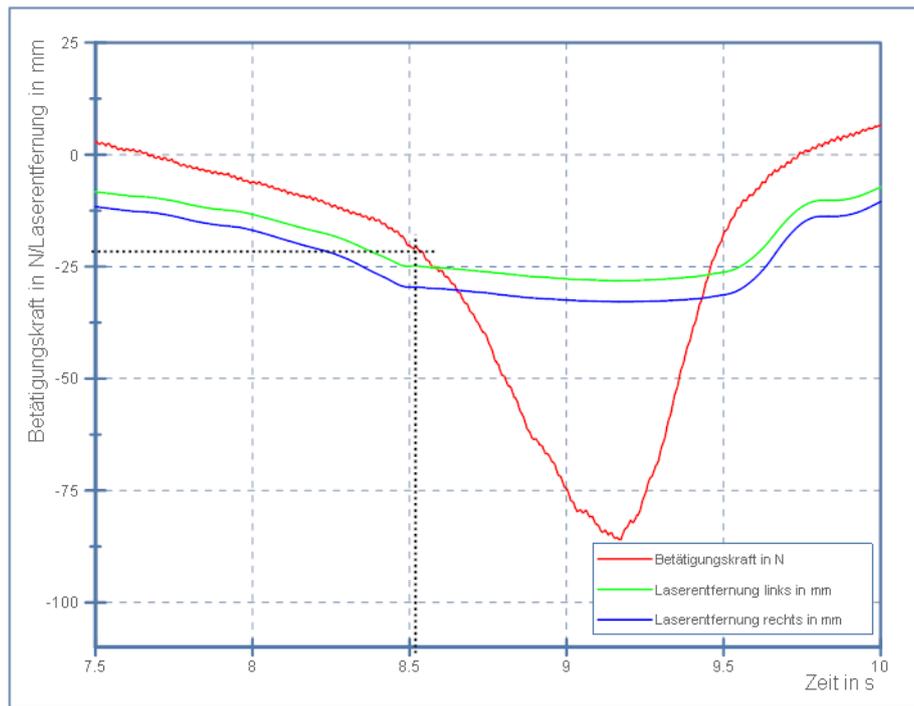


Abbildung 47: Betätigungskraft über Winkel / Sohlenbiegung mit "hartem" Schuh

Da die Weg-/Zeitverläufe der Wegsensoren im aufgezeichneten dreifachen Messzyklus nicht immer eindeutige Abbildungen des Hubstopps bieten, wird der Zyklus mit der besten Bewertbarkeit aus dem Gesamtverlauf herausgeschnitten und dient als Basis der x-Koordinate der erforderlichen Betätigungskraft, die zum Erreichen des Hubstopps notwendig ist. Der Schnittpunkt mit dem roten Kraftverlauf gibt auf der y-Koordinate die Größe der erforderlichen Betätigungskraft.

	Schuhsteifigkeit		
	niedrig	mittel	hoch
erforderliche Betätigungskraft	10 N	18 N	21 N

Tabelle 1: Erforderliche Betätigungskraft im Vergleich bei verschiedenen Schuhtypen

#### 4.4.2.2 Sohlentorsion

##### 4.4.2.2.1 Allgemeines

Diese Messungen dienen als Basis zur Ermittlung des kleinstmöglichen Kraftaufwandes, der für die Erreichung des Hubstopps unter Variation der Schuhsteifigkeit notwendig ist. Dieser Kraftaufwand wird in dieser Arbeit als Verformungsaufwand bezeichnet.

#### 4.4.2.2 Sohlentorsion mit "weichem" Schuh

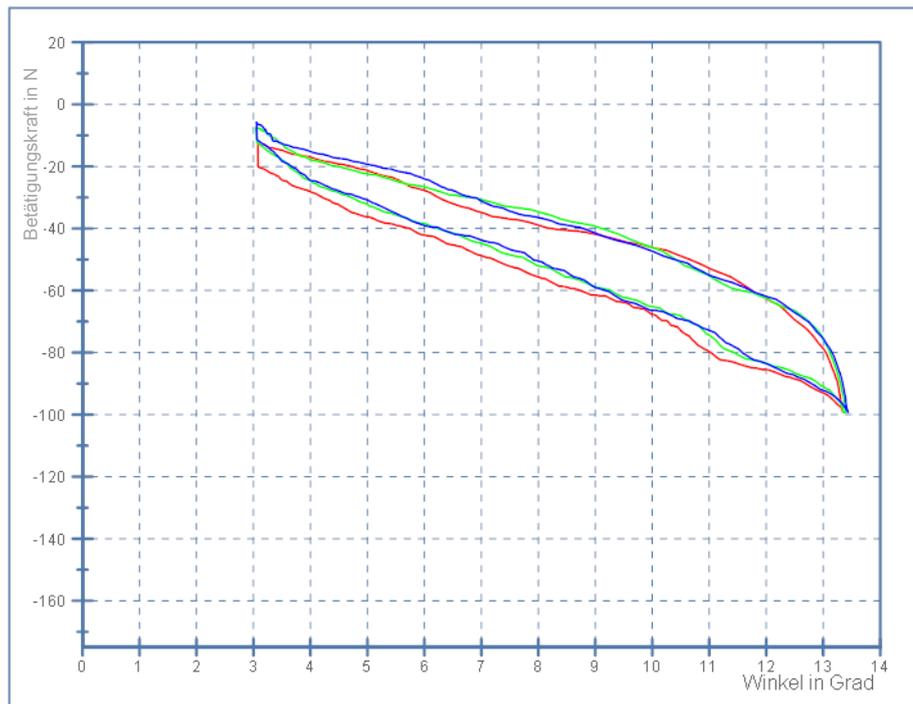


Abbildung 48: Betätigungskraft über Winkel für die Sohlentorsion mit "weichem" Schuh

#### 4.4.2.3 Sohlentorsion mit "mittlerem" Schuh

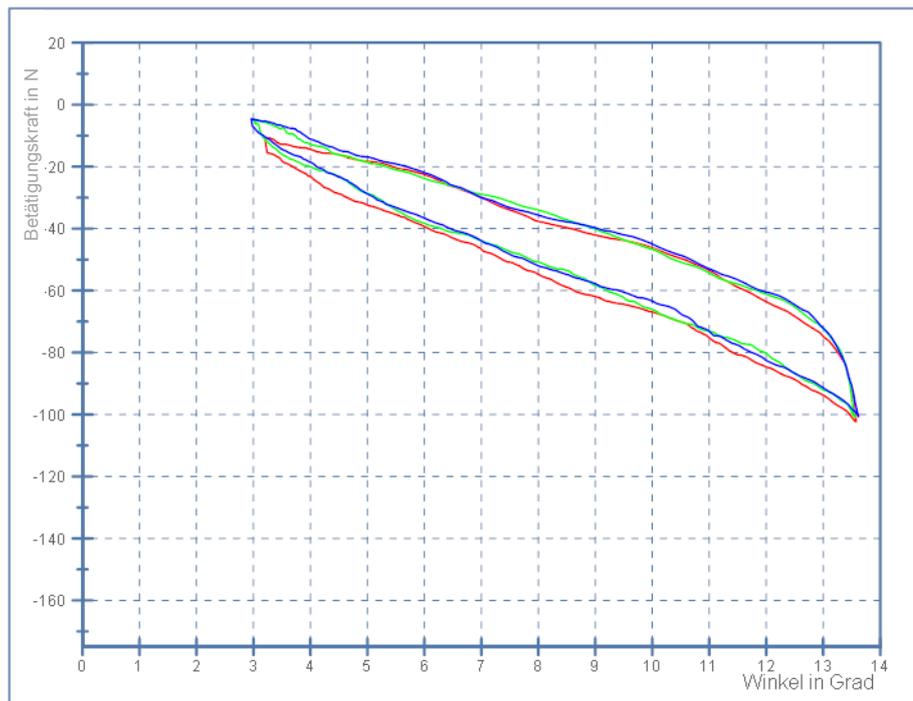


Abbildung 49: Betätigungskraft über Winkel für die Sohlentorsion mit "mittlerem" Schuh

#### 4.4.2.2.4 Sohlentorsion mit "hartem" Schuh

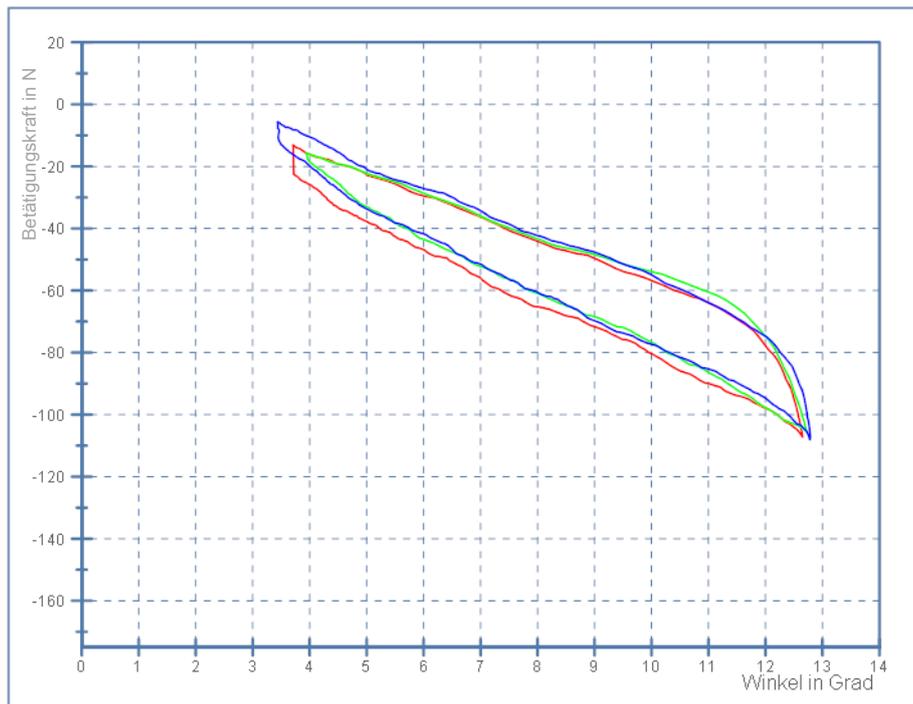


Abbildung 50: Betätigungskraft über Winkel für die Sohlentorsion mit "hartem" Schuh

#### 4.4.2.3 Querversatz des Schuhsporns relativ zur Längsachse

Da das Spiel der Einspannsituation größer als der von der Bindung generierte Querversatz ist, wird die Sohle nicht um ihre Längsachse und Flachseite gebogen. Die Größe der Querkraft ist stark von der Kraft, die im Ballenpunkt des Fußes auf die Sohle wirkt abhängig. In der Sprungsituation ist der Hubstopp erreicht bevor die volle Auftriebskraft auf den Schi wirkt. Somit wird für die Anpresskraft der Sohle auf den Schi eine Normalkraft von  $F_n = 20 \text{ N}$  in die Messsituation eingebracht.

Unabhängig von der Schuhsteifigkeit beträgt die benötigte Kraft für den Querversatz des Schuhs in seiner Einspannsituation im Vorderbacken der Bindung  $F_q = 15 \text{ N}$ .

	Schuhsteifigkeit		
	weich	mittel	hart
erforderliche Querkraft	15 N	15 N	15 N

Tabelle 2: Erforderliche Querkraft im Vergleich bei verschiedenen Schuhtypen

### 4.4.3 Untersuchungen an den bestehenden Systemen in realitätskonformer Prüfstandsituation

In diesen Messreihen wird die Betätigungskraft ermittelt die notwendig ist um den Schuh, wie in der Flugsituation zu biegen, zu verdrehen und den Fersensporn zu versetzen. Dabei interessiert zum Unterschied der im Kapitel 4.4.2 ermittelten Kräfte der Gesamtaufwand. Als Gesamtaufwand wird der Aufwand bezeichnet der die Verluste von Schuh und Bindung abdeckt während der Gesamthub durchlaufen wird. Die im Folgenden dokumentierten Messungen zeigen wie sich die Betätigungskraft im Durchlauf des Hubes in Abhängigkeit vom Winkel ändert. Es wird auch der Einfluss der Schuhsteifigkeiten auf den Gesamtaufwand erfasst.

#### 4.4.3.1.1 Messungen am Typ-1 Hinterbacken

##### 4.4.3.1.1.1 Messungen am Typ-1 Hinterbacken mit "weichem" Schuh

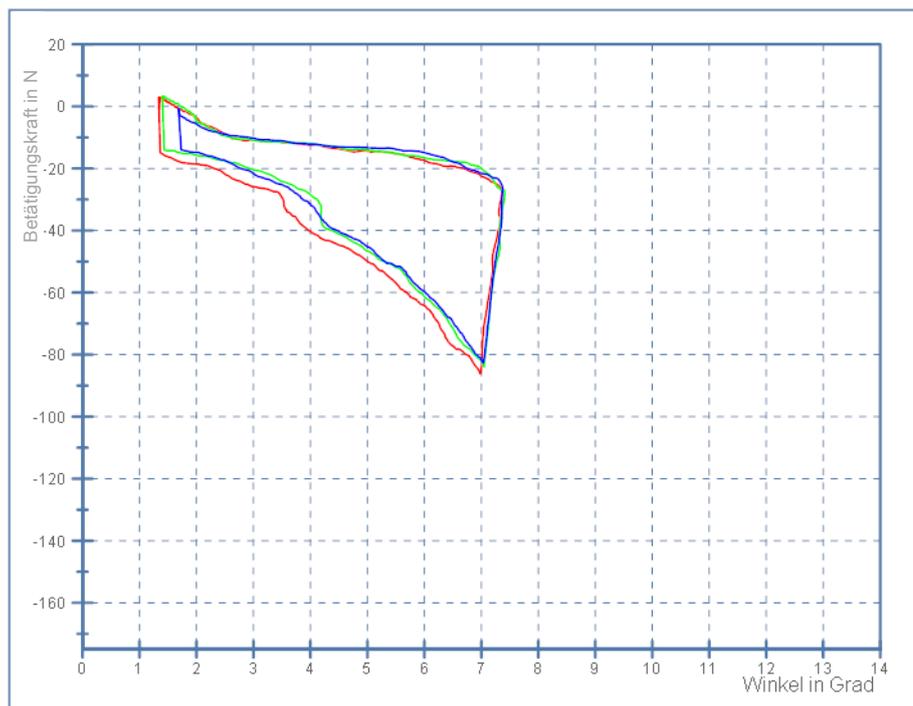


Abbildung 51: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-1 mit "weichem" Schuh

#### 4.4.3.1.2 Messungen am Typ-1 Hinterbacken mit "mittlerem" Schuh

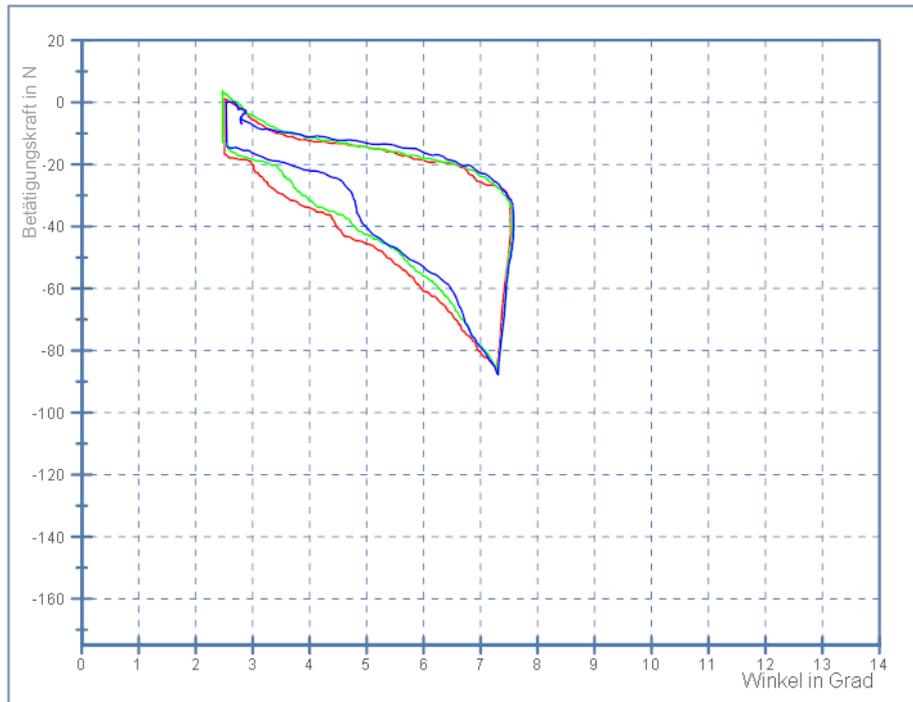


Abbildung 52: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-1 mit "mittlerem" Schuh

#### 4.4.3.1.3 Messungen am Typ-1 Hinterbacken mit "hartem" Schuh

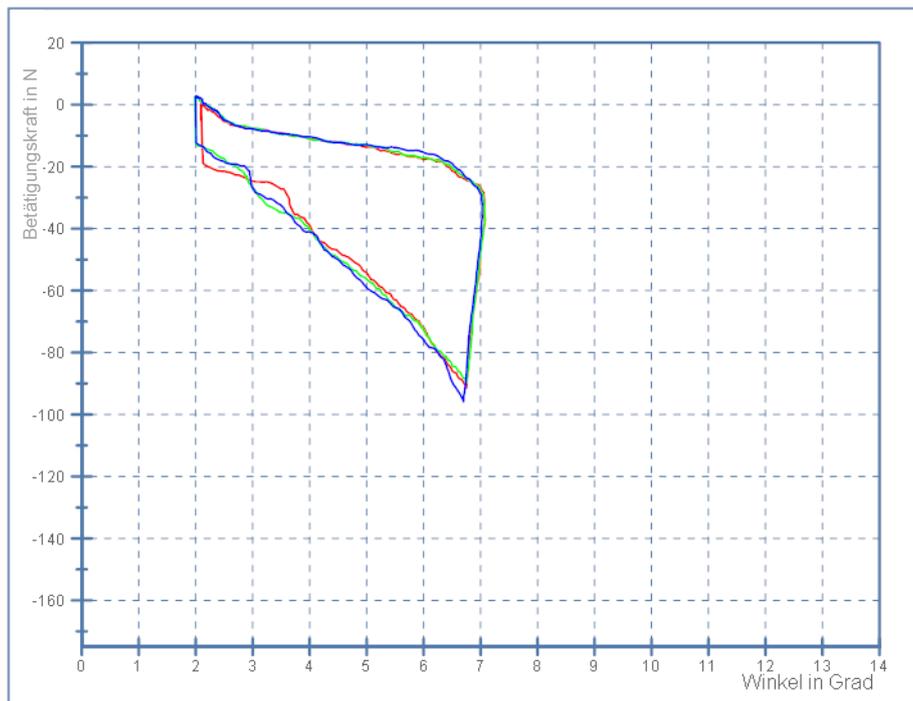


Abbildung 53: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-1 mit "hartem" Schuh

#### 4.4.3.2 Messungen am Typ-2 Hinterbacken

##### 4.4.3.2.1 Messungen am Typ-2 Hinterbacken mit "weichem" Schuh

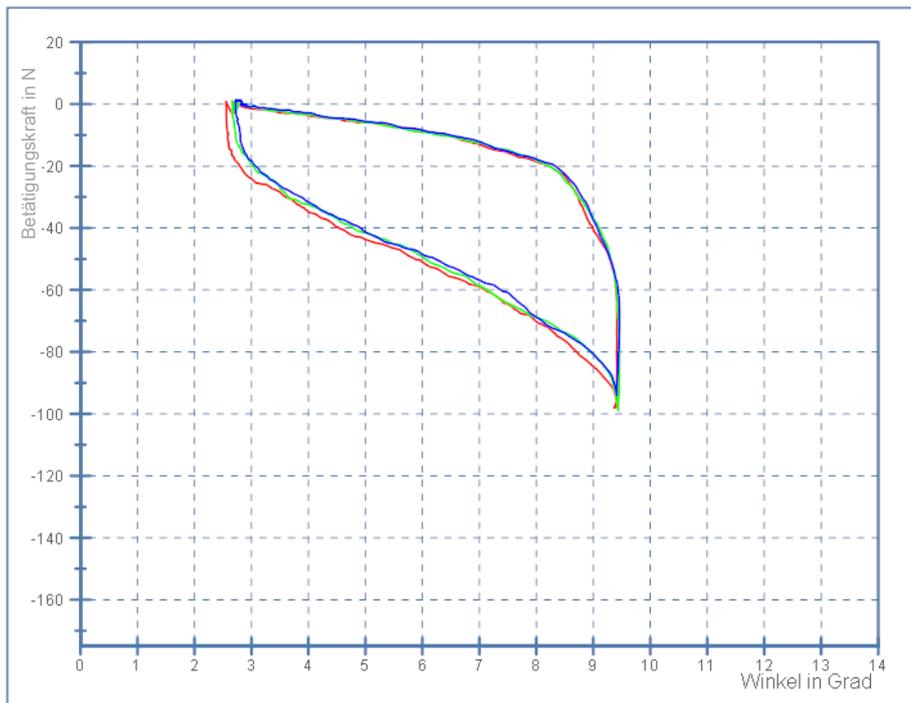


Abbildung 54: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-2 mit "weichem" Schuh

##### 4.4.3.2.2 Messungen am Typ-2 Hinterbacken mit "mittlerem" Schuh

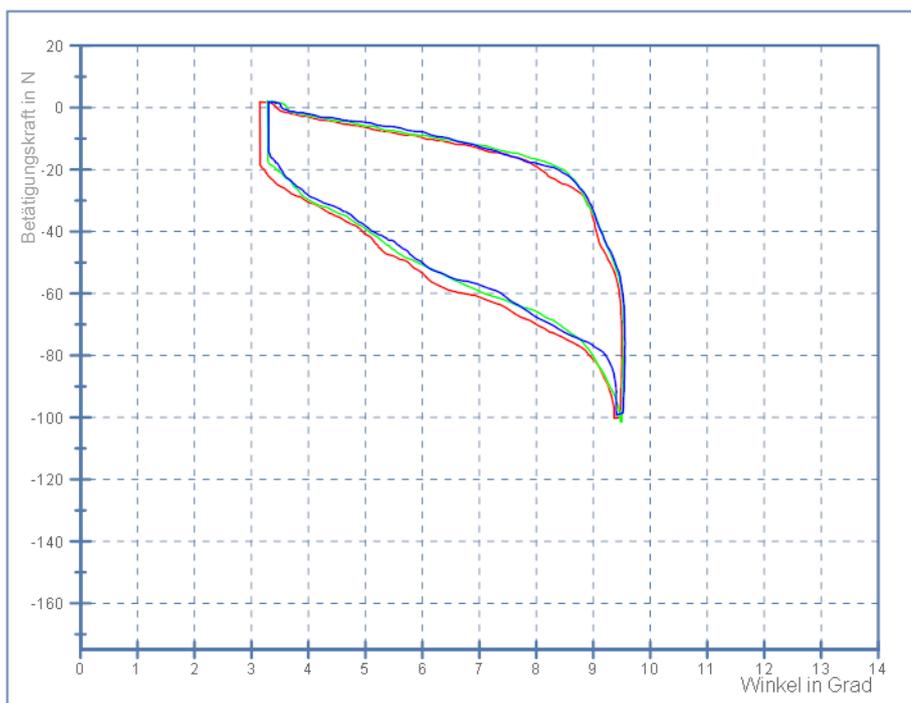


Abbildung 55: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-2 mit "mittlerem" Schuh

#### 4.4.3.2.3 Messungen am Typ-2 Hinterbacken mit "hartem" Schuh

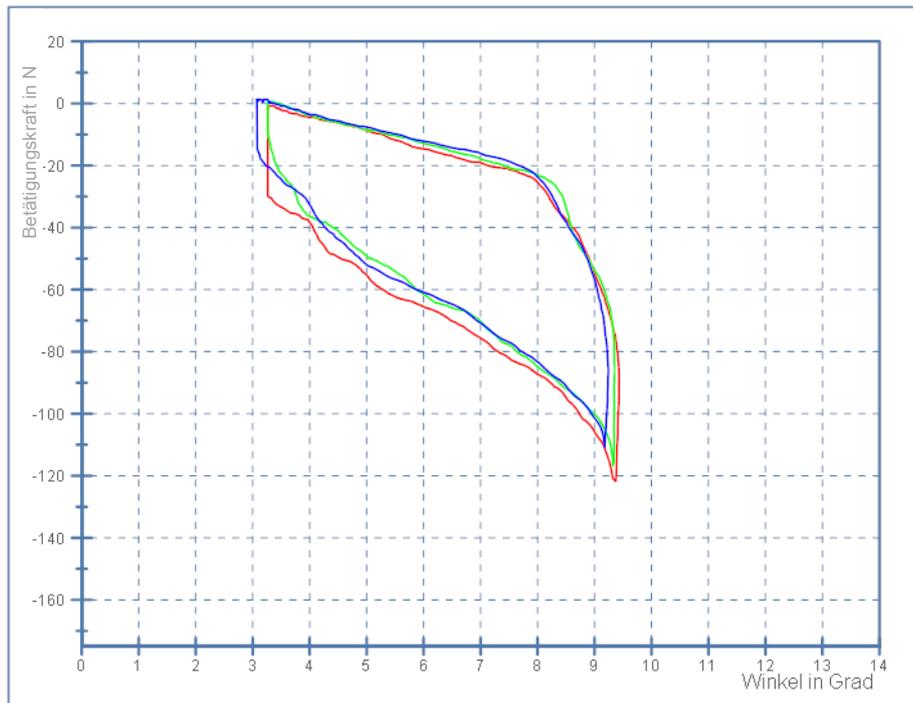


Abbildung 56: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-2 mit "hartem" Schuh

#### 4.4.3.3 Messungen am Typ-3 Hinterbacken

##### 4.4.3.3.1 Messungen am Typ-3 Hinterbacken mit "kurzer" Koppelstange und "weichem" Schuh

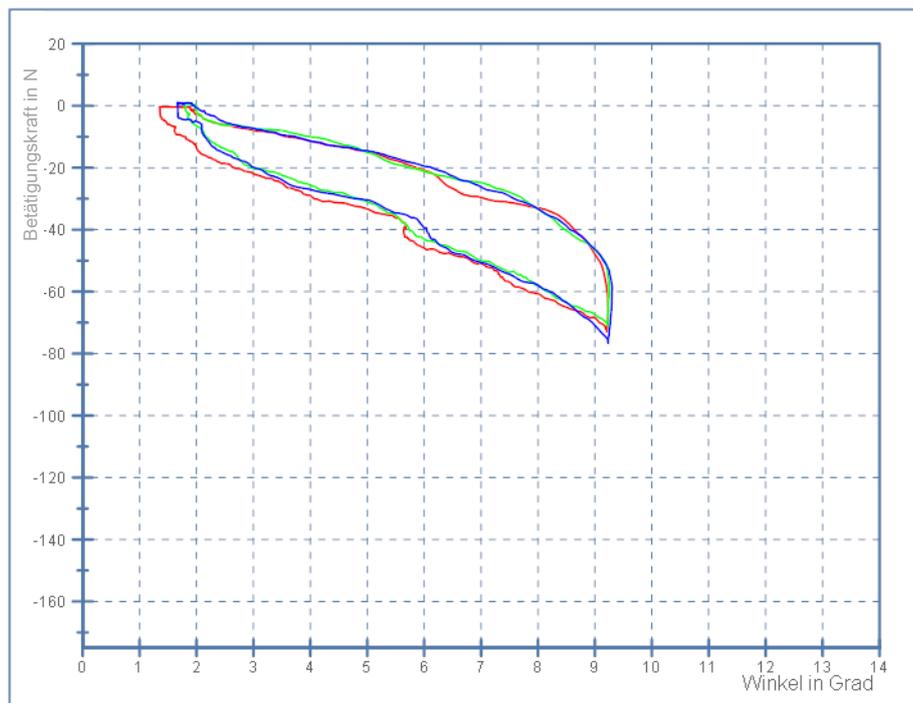


Abbildung 57: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "kurzer" Koppelstange und "weichem" Schuh

#### 4.4.3.3.2 Messungen am Typ-3 Hinterbacken mit "kurzer" Koppelstange und "mittlerem" Schuh

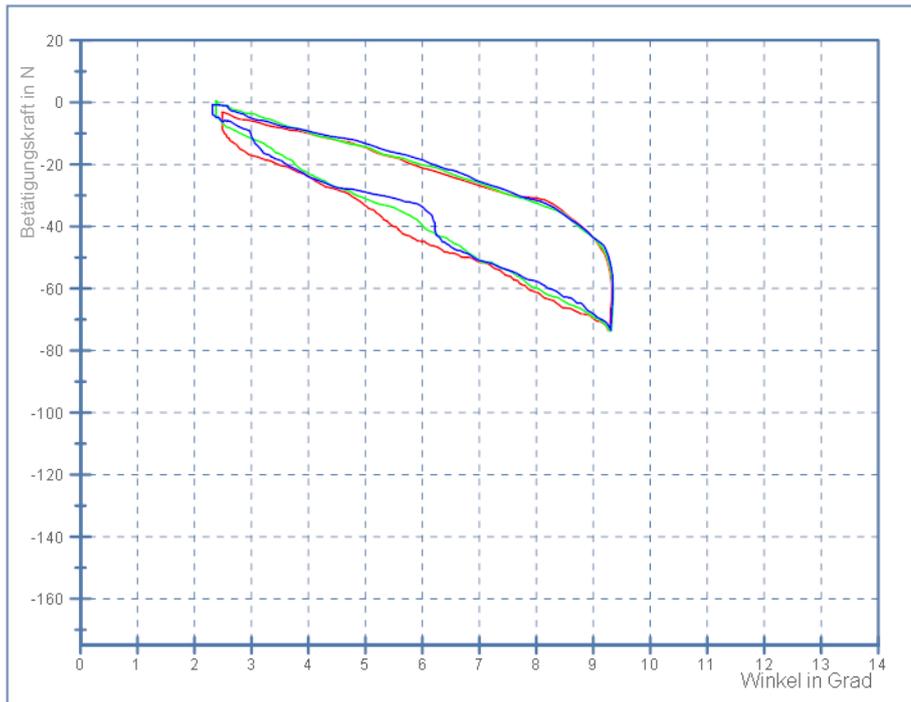


Abbildung 58: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "kurzer" Koppelstange und "mittlerem" Schuh

#### 4.4.3.3.3 Messungen am Typ-3 Hinterbacken mit "kurzer" Koppelstange und "hartem" Schuh

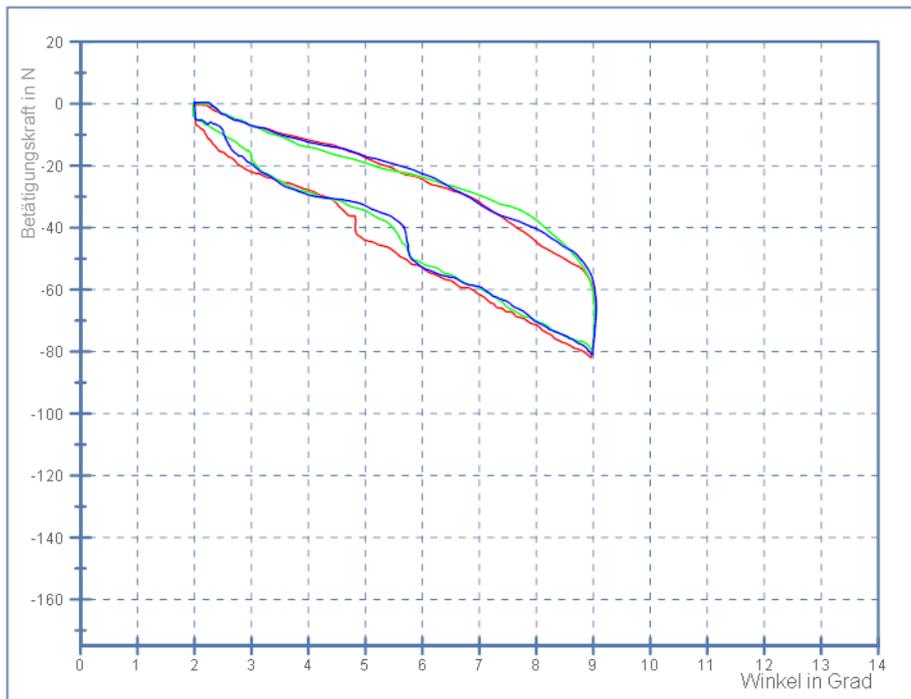


Abbildung 59: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "kurzer" Koppelstange und "hartem" Schuh

#### 4.4.3.3.4 Messungen am Typ-3 Hinterbacken mit "langer" Koppelstange und "weichem" Schuh

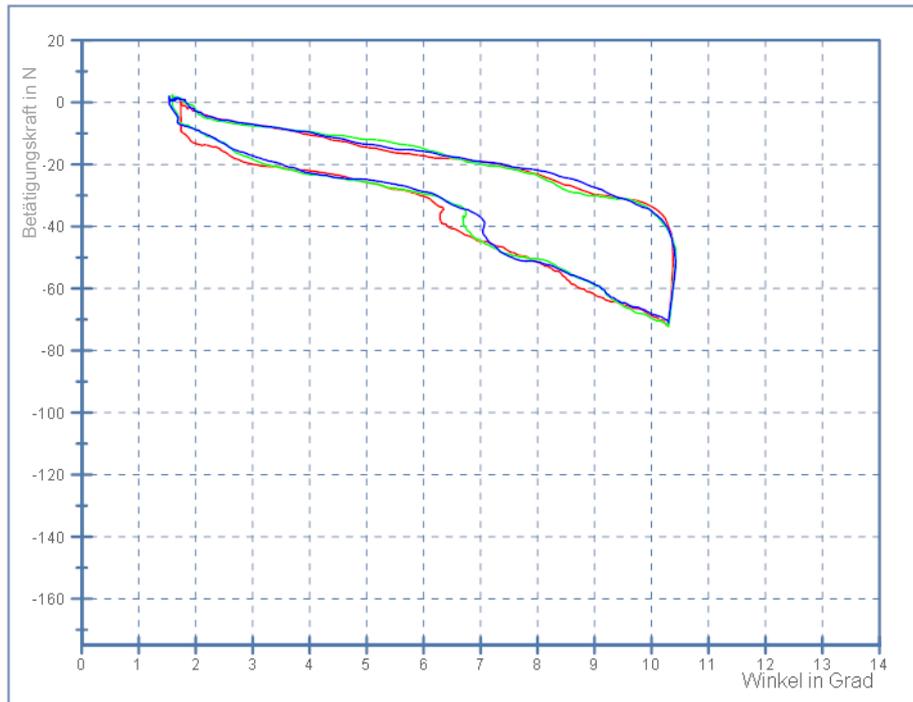


Abbildung 60: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "langer" Koppelstange und "weichem" Schuh

#### 4.4.3.3.5 Messungen am Typ-3 Hinterbacken mit "langer" Koppelstange und "mittlerem" Schuh

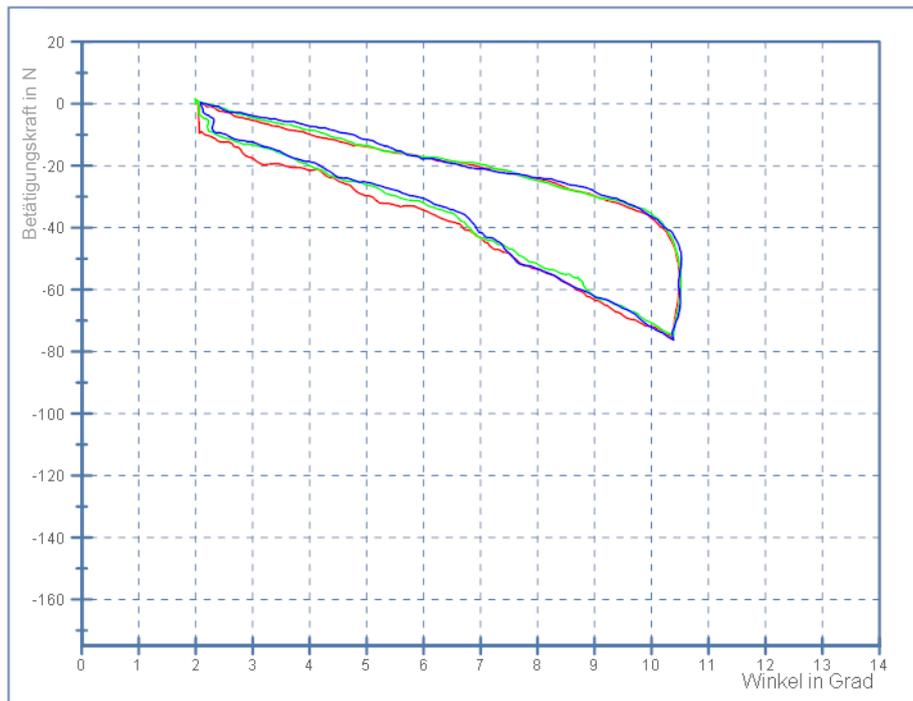


Abbildung 61: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "langer" Koppelstange und "mittlerem" Schuh

#### 4.4.3.3.6 Messungen am Typ-3 Hinterbacken mit "langer" Koppelstange und "hartem" Schuh

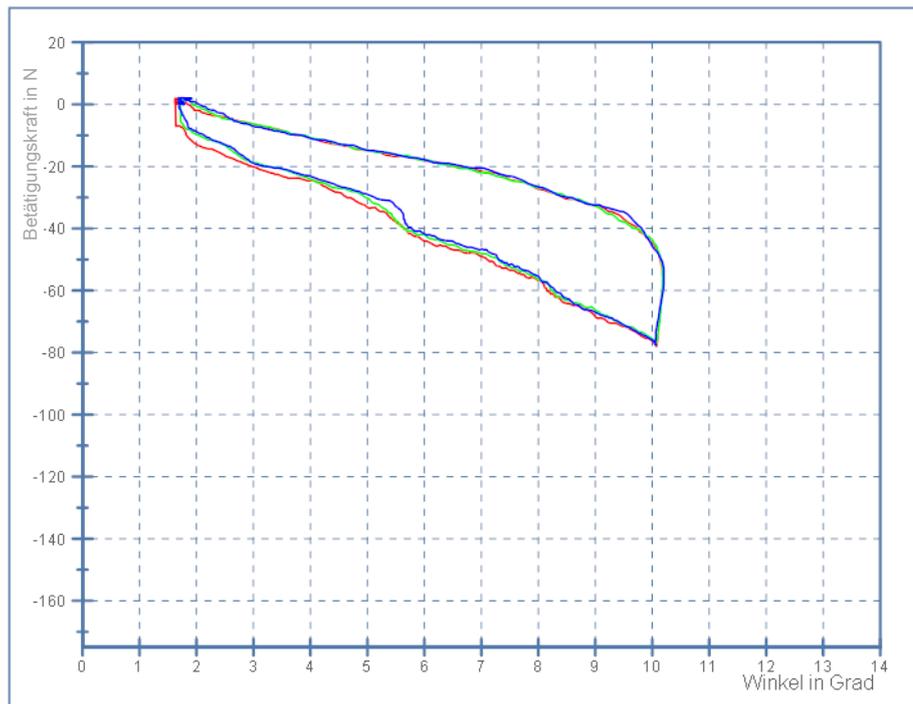


Abbildung 62: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "langer" Koppelstange und "hartem" Schuh

#### 4.4.4 Messung der Zugkraft am Bindungshinterbacken während des Sprunges

Eine Besonderheit der Funktionsweise eines Bindungshinterbackens in dieser speziellen Anwendung ist die Anpassung des zeitlichen Kraftverlaufes zum Heben des Schuhsporns an die komplexen Abläufe während der ersten Sekunde eines Sprunges. Diese Zeitspanne braucht der Athlet um das Flugsystem zu schließen, soll heißen um von der beendeten Absprungbewegung in eine stabile Fluglage zu wechseln. Während dieser Zeitspanne ist das Gesamtsystem Athlet – Schuh – Bindung – Schi sehr stör anfällig. Der Anströmwinkel der Luft zum Athleten und somit zum Schi ist unmittelbar nach dem Absprung sehr flach und somit ist die Luftkraft am Vorderschi, das ist der Teil des Schis der sich vor dem Schuh des Athleten befindet, klein und genau diese Luftkraft führt den Schi zum Körper des Athleten. Mit der Bewegung des Schis zum Körper wird gleichzeitig der Bindungshinterbacken Richtung Hubstopp bewegt. Die notwendige Kraft zum Heben des Bindungsschlittens wird dem Gesamtsystem "entzogen" bzw. zum Teil im Schuh gespeichert. Der Energieaufwand um den Schuh in definierter Weise zu verformen ist Schuh abhängig aber eine fixe Größe. Somit bedarf es eines Bindungssystems das mit möglichst wenigen Verlusten funktioniert und sich in der Initialphase des Fersenhubes so leichtgängig wie möglich bewegen lässt.

Um die auf dem Prüfstand gemessenen Datensätze der Kräfte, die zur Erreichung des Hubstopps des Bindungshinterbackens notwendig sind mit der Realsituation vergleichen zu können ist es

zweckmäßig die Kräfte während des Sprunges zu messen. Dafür ist es notwendig ein passendes Datenerfassungssystem bereitzustellen, ein Bindungssystem zu adaptieren und eine Messsituation an einer Sprunganlage mit einem Athleten zu organisieren.

Das Datenaufzeichnungsgerät sollte den speziellen Umfeldbedingungen angepasst sein, autark die Messdaten erfassen und speichern, klein genug sein um den Athleten nicht zu stören und eine genügend hohe Abtastrate haben um etwaige Kraftspitzen im zeitlichen Kraftverlauf erfassen zu können. Die Speichergröße des Datenloggers wird auf die zu erfassende Datenmenge abgestimmt. Auch sollte es möglich sein die Aufzeichnungen der Messdaten nach dem Sprung den einzelnen Phasen eines Sprunges zuzuordnen. Nach der Landung des Athleten ist die Zugkraft am Hinterbacken des telemarkgeführten, hinter dem Athleten positionierten Schis von besonderem Interesse. Zusätzlich zu den Kräften die auf die Koppelstange des Hinterbackens wirken sollten die Beschleunigungen, in allen drei Achsrichtungen die auf den Springer wirken erfasst werden. Dazu ist auf der Platine des Datenerfassungsgerätes ein Beschleunigungsmesschip integriert. Damit sollte es möglich sein den Zeitpunkt des Absprungs vom Schanzentisch erfassen zu können, da bedingt durch den Sprungablauf zu diesem Zeitpunkt noch keine Zugkräfte auf den Bindungskoppelstab wirken. Weiters ermöglicht die Beschleunigungsmessung die Erfassung des Aufsprungzeitpunktes. Als zusätzliche Informationserfassung und Absicherung werden alle Sprünge videodokumentiert.

#### 4.4.4.1 Auswahl eines passenden Messsystems

Nach umfangreichen Recherchen und Abschätzung der Verfügbarkeit ist ein passendes Messsystem von der Firma lilatec GmbH vom Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik der TU-Graz angekauft und für die Dauer der Messungen zur Verfügung gestellt worden.

Technische Daten des Dataloggers:

physische Größe	25 mm x 35 mm x ~5 mm
Spannungsversorgung	3.7 V Lithium-Ionen Akku, 1000 mAh
Stromverbrauch	~12-50 mA (je nach Messrate)
max. Laufzeit der Messung	~20-80 h
Anschlüsse	3x DMS/ADC, AKKU, USB
Schnittstelle	USB/Virtual-Com-Port, MicroSD-Card-Slot
Speicherkapazität	1-32 GB
Anzahl der Messkanäle	3x ADC, 3x Acceleration, Temperatur, V-Bat (Akku)
Beschleunigungsmessung	+/-2/4/8/16 g (konfigurierbar)
Temperaturmessung	-20°C +125°C
Kontroll-LED	Power-LED, Messung aktiv
Schalter	ON/OFF

Besondere Beachtung erfährt die Applikation der Messausrüstung am Athleten. Diese darf den Bewegungsablauf in keiner Weise beeinträchtigen. Die passende Stelle zur Anbringung des Datenlogger-Gehäuses ist der Lendenwirbelbereich des Athleten, wodurch sich die Kabellänge zu den beiden Koppelstäben der Bindung relativ kurz gestalten. Beide Verbindungskabel werden am jeweiligen Bein, an der Rückseite entlang nach oben zur Datenbox geführt. Am Gehäuse des Gerätes befinden sich zwei Steckerbuchsen zum Anschluss der beiden Kabel zu den Dehnmessstreifen. Da die beiden Dehnmessstreifen mit den Koppelstäben der Bindung verklebt sind und die Bindung mit dem Schi verschraubt ist muss eine zusätzliche Steckverbindung vorgesehen werden, um ein abschnallen der Schi nach dem Sprung, im Auslauf zu ermöglichen. Diese Stecker sollen so nah wie möglich am jeweiligen Koppelstab der Bindung platziert sein. Ein Schalter am Gehäuse dient dazu die Datenaufzeichnungen vor dem Sprung zu starten. Die Datenaufzeichnung beginnt mit einer Verzögerung. Der Zeitversatz vom Einschalten des Schalters bis zum Beginn der Datenaufzeichnung dient dazu die aufgezeichnete Datenmenge zu begrenzen und den Springer während seiner Konzentrationsphase unmittelbar vor dem Sprung so wenig wie möglich zu stören. Ein Signal-LED leuchtet nach dem Einschalten des Gerätes auf und beginnt zu blinken, sobald die Datenaufzeichnung beginnt.

#### 4.4.4.2 Auswahl eines passenden Bindungssystems

Zur Wahl stehen die drei Bindungshinterbacken die als Basisprüflinge dieser Arbeit dienen.

Der Typ-2 Hinterbacken hat ein Scharniergelenk an seiner Verbindungsstelle zum Schi mit einer Parallelstruktur aus Aluminiumprofilen zur Aufnahme der Zugkräfte. Diese konstruktive Besonderheit verdoppelt den Messaufwand und verkompliziert die Auswertung der Messdaten. Die Verbindungsprofile sind durch ihre Dimensionen und Querschnittsformen ungeeignet zur Anbringung von Dehnmessstreifen.

Für den Typ-1 Hinterbacken gelten im Wesentlichen die gleichen Einschränkungen wie für den Typ-2 Bindungsbacken. Auch dieser stützt sich mit zwei Aluminiumprofilen auf das Verbindungsgelenk zum Schi ab. Die Querschnittsprofile sind ähnlich ausgeformt und dimensioniert wie beim Typ-2 Bindungsbacken.

Die Messreihe wird mit einem adaptierten Typ-3 Hinterbacken durchgeführt. Durch seine Bauart eignet er sich am besten zur Messung der Zugkräfte. Der Typ-1 Hinterbacken stützt die Zugkräfte mit einer Koppelstange gegen den Schi ab. Diese Verbindungsstange besteht aus einem Aluminium-Flachmaterial und ist mit der Bindungsbasis gelenkig verbunden. Speziell für diese Messungen wird ein Koppelstab ohne Krümmung verwendet. Dadurch bewegt sich der mit dem Fersensporn des Schuhs verbundene Bindungsschlitten geradlinig bis zum Hubstopp der Bindung. Ein Wechsel der Koppelstange von einer gekrümmten zu einer geraden vereinfacht die Auswertung der Messergebnisse.





Abbildung 65: Wirksame Stirnfläche (Schattenfläche) in Anströmrichtung

Aus

$$F = \frac{(F_{A_v} * v_{F_A} + F_{W_v} * v_{F_W}) - (F_{W_h} * h_{F_W} + F_{A_h} * h_{F_A})}{l_F} \quad (11)$$

mit

$$F_{A_v} = \frac{1}{2} * \rho * A_{A_v} * c_A * w^2 \quad (12)$$

und

$$b = b_{Schi} * \cos \gamma \quad (13)$$

mit

$$A_{A_v} = v * b * \cos \beta \quad (14)$$

mit

$$F_{W_v} = \frac{1}{2} * \rho * A_{W_v} * c_W * w^2 \quad (15)$$

und

$$A_{W_v} = v * b * \sin \beta \quad (16)$$

mit

$$F_{A_h} = \frac{1}{2} * \rho * A_{A_h} * c_A * w^2 \quad (17)$$

und

$$A_{A_h} = h * b_{Schi} * \cos \beta \quad (18)$$

mit

$$F_{W_h} = \frac{1}{2} * \rho * A_{W_h} * c_W * w^2 \quad (19)$$

und

$$A_{W_h} = h * b_{Schi} * \sin \beta \quad (20)$$

mit

$$h_{F_A} = \frac{1}{2} * h * \cos \beta \quad (21)$$

mit

$$h_{F_W} = \frac{1}{2} * h * \sin \beta \quad (22)$$

mit

$$v_{F_A} = \frac{1}{2} * v * \cos \beta \quad (23)$$

mit

$$v_{F_W} = \frac{1}{2} * v * \sin \beta \quad (24)$$

mit

$$c_A = 0,8 [1]$$

und

$$c_W = 1,4 [1]$$

mit

$$\rho = 1,204 \text{ bei } +20 \text{ }^\circ\text{C}$$

und

$$b_{Schi} = 0,105$$

mit

$$h = 1,05$$

und

$$v = 1,55$$

mit

$$w = 35$$

und

$$l_f = 0,245$$

mit

$$\beta = 35$$

und

$$\gamma = 20^\circ$$

ergibt sich

$$F = 191 \text{ N}$$

$F_{A_v}$	... Auftriebskraft, Kraft senkrecht zur Anströmrichtung am Vorderschi	N
$F_{W_v}$	... Widerstandskraft, Kraft in Anströmrichtung am Vorderschi	N
$F_{A_h}$	... Auftriebskraft, Kraft senkrecht zur Anströmrichtung am Hinterschi	N
$F_{W_h}$	... Widerstandskraft, Kraft in Anströmrichtung am Hinterschi	N
F	Betätigungskraft, Zugkraft am Hubbegrenzungsband	N
$A_{A_v}$	Fläche in Auftriebsrichtung des Vorderschies	m <sup>2</sup>
$A_{W_v}$	Fläche in Widerstandsrichtung des Vorderschies	m <sup>2</sup>
$A_{A_h}$	Fläche in Auftriebsrichtung des Hinterschies	m <sup>2</sup>
$A_{W_h}$	Fläche in Widerstandsrichtung des Hinterschies	m <sup>2</sup>
$c_A$	... Luftwiderstandsbeiwert senkrecht zur Anströmrichtung	-

$c_w$	... Luftwiderstandsbeiwert in Anströmrichtung	-
$\rho$	... Dichte des strömenden Mediums	$\text{kg/m}^3$
$A$	... wirksame Stirnfläche, Schattenfläche	$\text{m}^2$
$b_{\text{Schi}}$	... Schibbreite	$\text{m}$
$b$	... wirksame Schibbreite	
$h$	... Hinterschilänge	$\text{m}$
$v$	... Vorderschilänge	$\text{m}$
$w$	... Anströmgeschwindigkeit	$\text{m/s}^2$
$h_{F_A}$	... Abstand am Hinterschi der Auftriebskraft	$\text{m}$
$h_{F_W}$	... Abstand am Hinterschi der Widerstandskraft	$\text{m}$
$v_{F_A}$	... Abstand am Vorderschi der Auftriebskraft	$\text{m}$
$v_{F_W}$	... Abstand am Vorderschi der Widerstandskraft	$\text{m}$
$l_F$	... Abstand der Betätigungskraft, Zugkraft am Hubbegrenzungsband	$\text{m}$
$\beta$	... Anströmwinkel	$^\circ$
$\gamma$	... Winkel der Querachse des Schies zur Waagrechten	$^\circ$

#### 4.4.4.3.2 DMS-Applikation auf die Koppelstäbe

Mit der in Kapitel 4.4.4.3.1 errechneten Zugkraft auf die Koppelstange des Hinterbackens und der aus dem Datenblatt des Dehnmessstreifens vorgegebenen Wert für die Untergrenze der zu messenden Spannung von  $10 \text{ N/mm}^2$  wird der Querschnitt des Aluminiumstabes im Bereich der Dehnmessstreifen-Klebestelle bestimmt.

Aus

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (25)$$

folgt

$$A = \frac{F}{\sigma} \quad (26)$$

mit

$$\text{Kraft } F = 200 \text{ N}$$

und

$$\text{Spannung } \sigma = 10 \text{ N/mm}^2$$

ergibt sich

$$\text{Querschnitt} = 20 \text{ mm}^2$$

Der Querschnitt des ausgewählten Koppelstabes folgt

Aus

$$A = b * d \tag{27}$$

mit

$$\text{Breite } b = 10 \text{ mm}$$

und

$$\text{Dicke } d = 5 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$\text{Querschnitt } A = 50 \text{ mm}^2$$

Da der Querschnitt, um der Vorgabe des Herstellers der Dehnmessstreifen von  $\sigma_{\min} \geq 10 \text{ N/mm}^2$  zu entsprechen aber nur  $20 \text{ mm}^2$  aufweisen soll, muss die Querschnittfläche der Koppelstäbe reduziert werden. Eine beidseitig in die Aluminiumstäbe gefräste Nut wird gefertigt, die in der Länge auf die Geometrie der Dehnmessstreifen abgestimmt und so bemessen ist, dass die DMS außerhalb des Störbereiches der Fertigungskerben liegen. Die Einfürsungen liegen auf den breiteren Flächen des Aluminiumflachprofils und sind symmetrisch zur Längsachse angeordnet. Die Lage dieser Nuten in Koppelstangenlängsrichtung ist so gewählt, dass der Hubschlitten des Bindungshinterbackens auf seiner Bahn während des Sprunges diesen Bereich nicht überstreift. Dabei ist zu berücksichtigen dass die Druckkraft während des Aufsprunges des Athleten auf den Aufsprunghügel den Absatzkeil des Schuhs komprimiert und der Teil des hinter der Bindung liegenden Schis stark durchgebogen wird (siehe Abbildung 30). Durch die Verformungen von Schuh und Schi wird der Koppelstab relativ zum Hubschlitten des Hinterbackens zusätzlich nach oben bewegt, dafür ist zusätzlich Bewegungsfreiraum

für den Hubschlitten vorzusehen. Die Positionen der Dehnmessstreifen werden in einem zusätzlichen Sicherheitsabstand von zehn Millimeter weiter unten auf den Koppelstangen festgelegt.

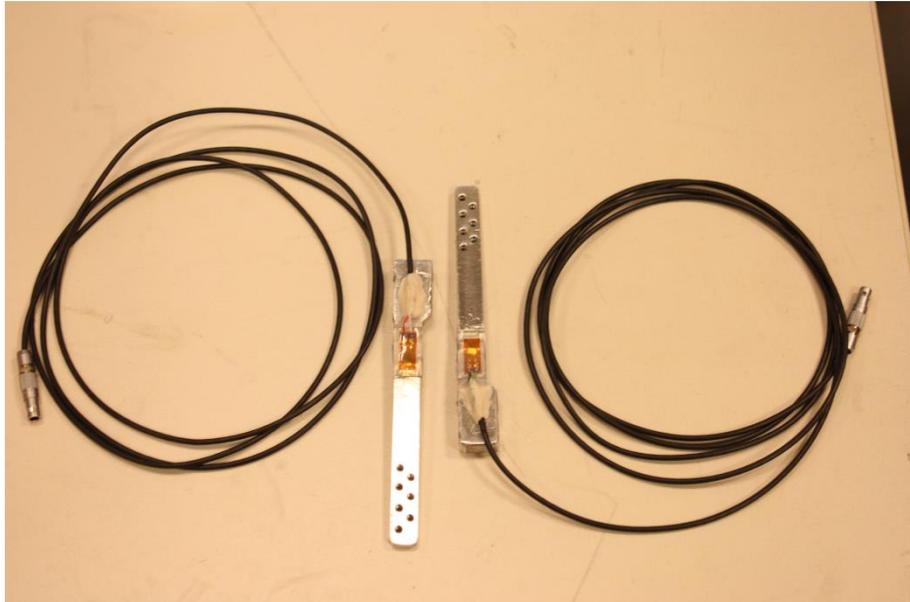


Abbildung 66: Koppelstäbe mit Typ-6/120 LY63 DMS und versorgter Applikationsstelle

Die Anschlusskabel verlaufen von den Lötstellen der Dehnmessstreifen nach unten weg und führen in einer genügend großen Schlaufe direkt an der Schioberfläche wieder nach oben zu den Steckverbindungen auf Höhe des Fersensporns der Schuhe. Diese Steckverbindung ermöglicht beim Abschnallen der Schier die Trennung von der am Athleten befestigten Loggerbox inklusive der zugehörigen Verkabelung. Um den an der Datenbox befindlichen Schalter bedienen zu können, sollte diese außen am Anzug angebracht werden. Dafür wird an ein Startnummernhemd eine Tasche angeschneidert und darin der Logger untergebracht. Die Verbindungskabel werden außen an den Beinrückseiten vom Stecker auf Schuhhöhe bis zum Datenlogger hinauf geführt. Die Kabelführung wird in der Anfahrtshockstellung des Athleten an dessen Körpergeometrie angepasst. Mit einem dafür geeigneten Klebeband werden die Kabel an ausgewählten Punkten so fixiert, dass die Bewegungsbereiche der großen Gelenke, wie Hüft- und Kniegelenk in keiner Weise beeinträchtigt werden, auch sollen die nach der Körperstreckung entstehenden Kabelschlaufen nicht hinderlich oder gar gefährlich sein.

#### 4.4.4.3.3 DMS-Kalibrierung auf Prüfstand

##### 4.4.4.3.3.1 Allgemeines:

DMS werden zur Messung von Kraft, Gewicht, Drehmoment oder der mechanischen Spannung bzw. des Drucks eingesetzt. Die jeweilige mechanische, physikalische Größe, muss aus der Dehnung durch die Wahl der geeigneten DMS-Geometrien ermittelt werden. Die Formeln für die Zusammenhänge zwischen Dehnung und der gewünschten Messgröße sind der Fachliteratur sowie den technischen Unterlagen der DMS-Hersteller zu entnehmen [2, 3]

#### 4.4.4.3.2 Metall-DMS

Hauptbestandteile eines Dehnmessstreifens sind ein Folienträger und eine dünne Metallschicht. Das Folienmaterial ist Polyimid. Polyimide werden in der Elektrotechnik/Elektronik unter anderem wegen ihrer Hitzebeständigkeit und Isoliereigenschaften in Form von hellbräunlichen, halbtransparenten Folien zur Anwendung gebracht. Auf dieser Folie ist die Metallschicht direkt aufgebracht. Das für diese Anwendung geeignete Metall ist Konstantan. Damit ein ausreichend hoher Widerstand erreicht wird, ist die Leiterbahn mäanderförmig ausgeführt, wodurch sich die stromdurchflossene Leitungslänge vergrößert. Der jeweilige Leiterverlauf wird aus der aufgetragenen Metallfolie z.B. herausgeätzt. Die jeweilige Anwendung bestimmt Anordnung und Größe des Gitters und damit vor allem die Querempfindlichkeit. Dabei wird als Querempfindlichkeit jener Fehler bezeichnet, der zu einer Widerstandserhöhung bei einer Deformation quer zur Messrichtung führt. Ein langes Messgitter mit wenig Umkehrstellen weist einen niedrigen, ein kurzes Messgitter mit vielen Umkehrstellen einen hohen Querempfindlichkeitsfaktor auf. Eine Verbreiterung des Querschnittes bei der Umkehrstelle reduziert ebenfalls die Querempfindlichkeit. Die Widerstandsänderungen resultieren bei Metall-DMS aus zwei ähnlich großen Effekten, der Änderung der Leitergeometrie sowie der Änderung des spezifischen Widerstandes.

Der Messstrom im DMS muss so bemessen sein, dass die thermischen Stromverluste  $I^2 \cdot R$  pro Fläche gut abgeführt werden können. Abhängig vom Material des Messobjektes sollte für eine hohe Messgenauigkeit bei statischer Messung diese flächenbezogene Verlustleistung für Aluminium  $< 3.1 \text{ mW/mm}^2$  sein [3]

Kalibriermessungen:

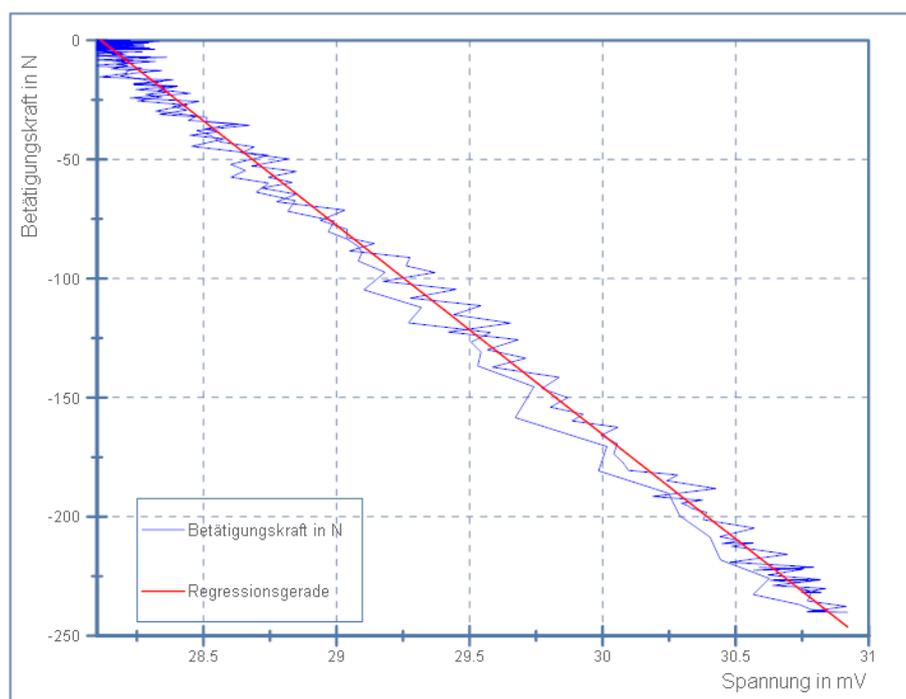


Abbildung 67: Betätigungskraft über Messspannung für Koppelstab links

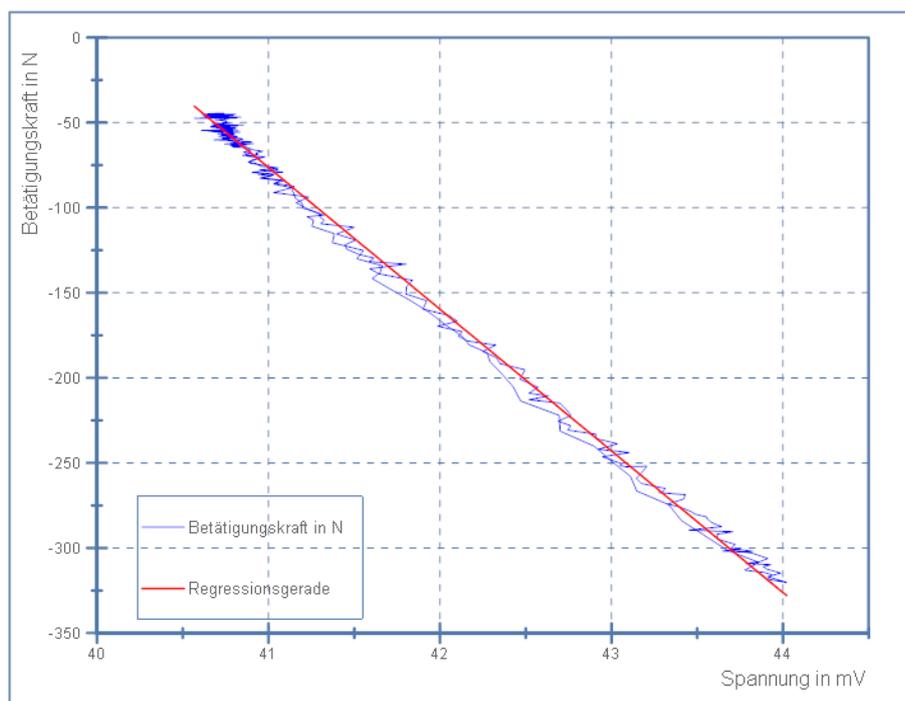


Abbildung 68: Betätigungskraft über Messspannung für Koppelstab rechts

Die Messkurven aus dem Datenlogger (Zeit abhängiges Spannungssignal) und dem Betätigungskraftverlauf aus dem Prüfstand werden für den rechten und linken Koppelstab ausgewertet (siehe Abbildung 67 und Abbildung 68).

Mit beiden im Auswerteprogramm hinterlegten Regressionsgeraden des Kraft-/Spannungsverlaufes werden, aus den während des Fluges aufgezeichneten zeitlichen Spannungsverläufen, die zeitabhängigen Kraftverläufe ermittelt.

#### 4.4.4.4 Messungen an der Schanze

Der typische Turnus des Springerzirkus macht Messungen und Materialtest nur in festgelegten Zeiträumen möglich. Ein kleines Zeitfenster öffnet sich unmittelbar nach dem traditionell letzten Bewerb im slowenischen Planica, nachdem die letzten Testeinheiten auf Schnee möglich sind. Die danach folgende Pause und die sprunghfreie Vorbereitungszeit im April und Anfang Mai machen Messungen während eines Sprunges unmöglich.

Da die Vorbereitungen der Messtechnik Ende März noch nicht weit genug fortgeschritten war und die im folgenden Frühsommer seltenen Sprünge auf den für die Messungen vorgesehenen großen mattenbelegten Sprungschanzen durch die spezielle Wettersituation verhindert wurden, werden die Messungen von den Herrn Rene Hofstätter und Martin Kranawetter im Zuge deren Bachelorarbeit mit dem Titel "Schisprungsport: Messungen der Zugkräfte an Bindungskomponente während des Sprungs" ausgeführt und ausgewertet.

Die nachfolgenden Auswertungen beziehen sich auf die Messungen die im Zuge der Diplomarbeit gemacht wurden.

## 4.5 Auswertung

Dem Athleten soll ein so leichtgängig wie möglich funktionierender Hinterbacken zur Verfügung gestellt werden. Das messtechnische Äquivalent zur vom aerodynamischen System aufzubringenden Hubkraft ist die am Prüfstand notwendige Betätigungskraft um den Schuh bis zum Hubstopp zu bewegen. Die Betätigungskraft ist von mehreren Parametern abhängig. In den Auswertungen der gemessenen Daten soll ein Zusammenhang zwischen der Betätigungskraft und dem sich einstellenden Torsionswinkel für alle Hinterbackensysteme erarbeitet werden. Auch interessiert der Einfluss des Schuhs und dessen Montagesituation. Genauere Betrachtung erfährt auch der Schuhzustand.

In der untersuchten Anwendung interessiert vom Gesamtzyklus vor allem das Hubintervall, das ist der Bereich vom Hubstart bis zum Hubstopp. Die Qualität des Weges zurück zum Standkeil wird vom Athleten, unter der Wirkung der Aufsprungkräfte nicht wahrgenommen. Somit wird das Hubintervall aus dem Bereich der gemessenen Daten extrahiert und mit einer Regressionsgeraden angenähert. Die Steigung der Regressionsgeraden stellt dabei die Federkonstante der Torsionsfeder (bildet die Verdrehung der Schuhsohle um die Längsachse nach) dar. Dazu einige theoretische Überlegungen:

Aus

$$\tau = G * \gamma \quad (28)$$

und

$$\tau = \frac{M_t}{I_t} * e \quad (29)$$

folgt

$$M_t = \frac{G * I_t}{l} * \phi \quad (30)$$

mit

$$c_t = \frac{G * I_t}{l} \quad (31)$$

$\tau$	... Schubspannung	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma$	... Verformung des Oberflächenelementes	-
$G$	... Schubmodul, es gilt: $E = 2*(1+\nu)*G$	N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	... Querkontraktionszahl	-
$M_t$	... Drehmoment	Nmm
$I_t$	... Flächenträgheitsmoment der Torsion	mm <sup>4</sup>
$l$	... Stablänge	mm

$e$	... Abstand zur neutralen Faser	mm
$\phi$	... Verdrehwinkel	rad
$c_t$	... Federkonstante der Torsion	Nmm/rad

Die Regressionsgerade wird für alle gemessenen Kombinationen aus Bindungsvariante, Schuhart und Schuhmontage ermittelt. Danach setzt man einen repräsentativen Wert für einen Torsionswinkel ein und errechnet daraus den Kraftaufwand um diesen Winkel zu erreichen. Die Reihung der Größe nach soll die Bindungsvarianten klassifizieren. Basis für alle folgenden Vergleichsbetrachtungen ist der Datensatz aus der Messanordnung zur Bestimmung der Kenngrößen der Sohlentorsion (siehe 4.2.4). Das ist die Messanordnung bei der der abzubildende Torsionswinkel, bei vorgegebener Hubhöhe mit der niedrigsten Betätigungskraft erreicht wird.

#### 4.5.1 Regressionsgerade für Typ-0 Hinterbacken mit "weichem" Schuh

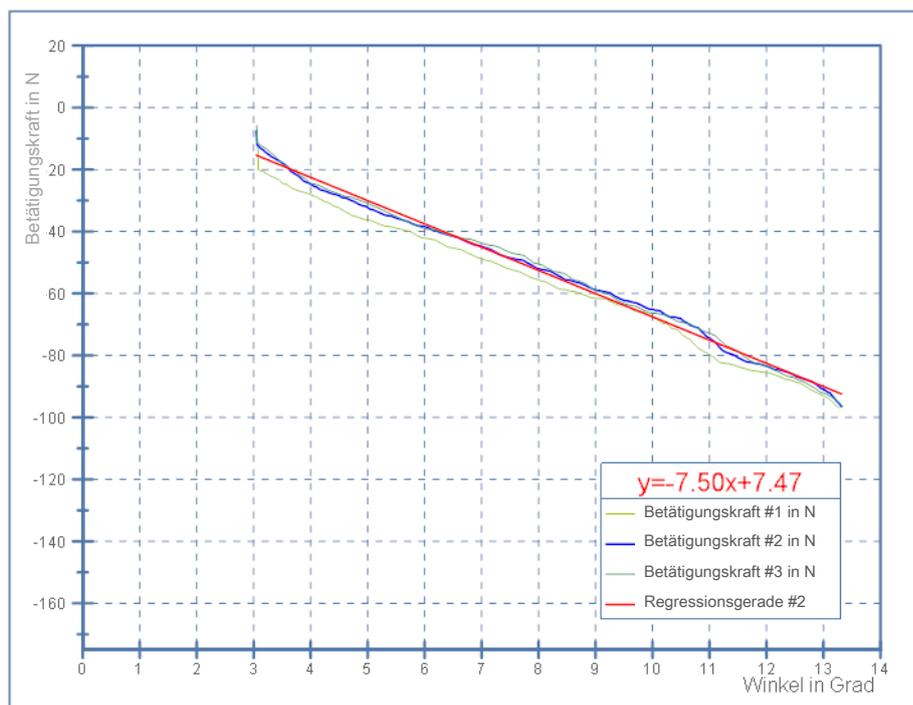


Abbildung 69: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-0, "weicher" Schuh

#### 4.5.2 Regressionsgerade für Typ-0 Hinterbacken mit "mittlerem" Schuh

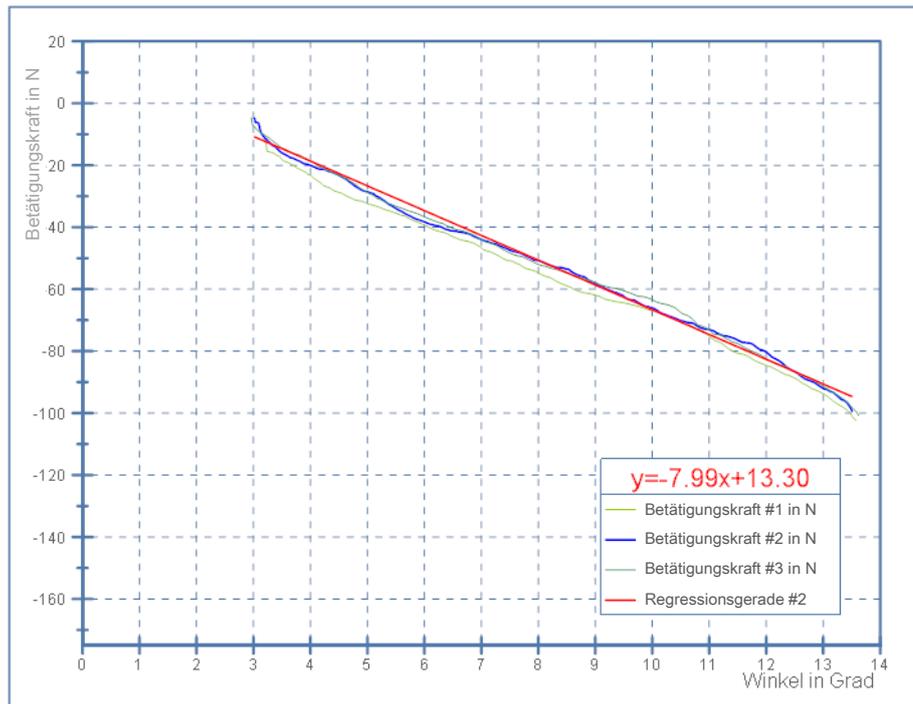


Abbildung 70: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-0, "mittlerer" Schuh

#### 4.5.3 Regressionsgerade für Typ-0 Hinterbacken mit "hartem" Schuh

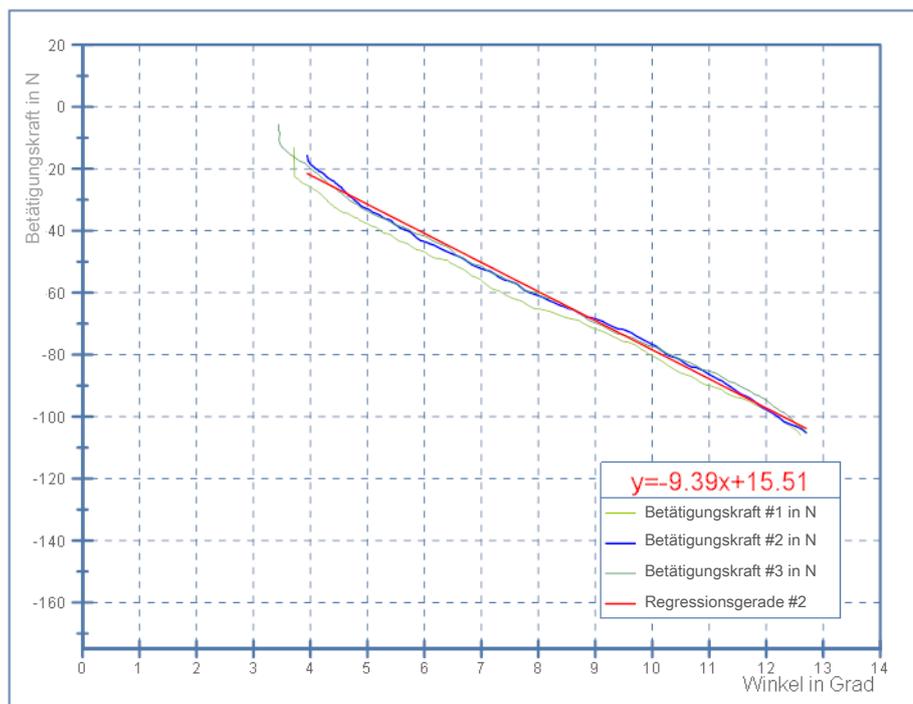


Abbildung 71: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-0, "harter" Schuh

#### 4.5.4 Regressionsgerade für Typ-1 Hinterbacken mit "weichem" Schuh

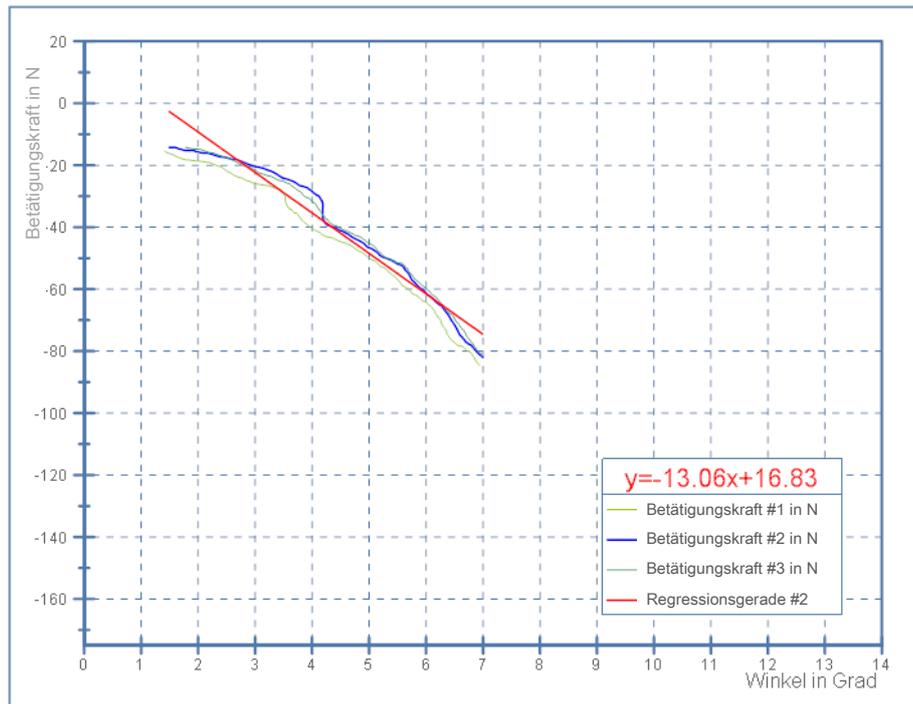


Abbildung 72: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-1, "weicher" Schuh

#### 4.5.5 Regressionsgerade für Typ-1 Hinterbacken mit "mittlerem" Schuh

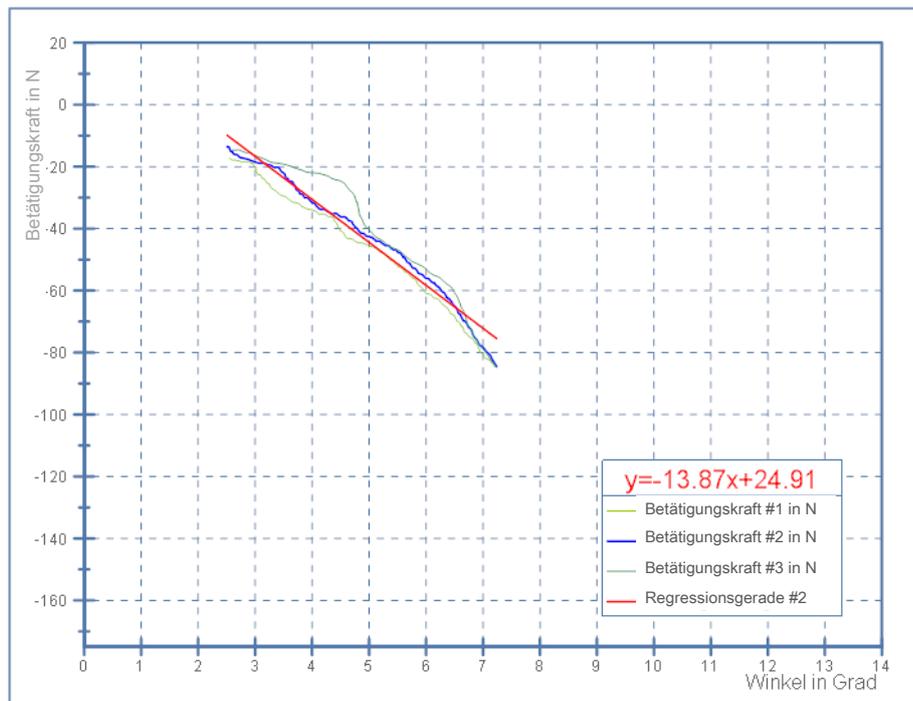


Abbildung 73: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-1, "mittlerer" Schuh

#### 4.5.6 Regressionsgerade für Typ-1 Hinterbacken mit "hartem" Schuh

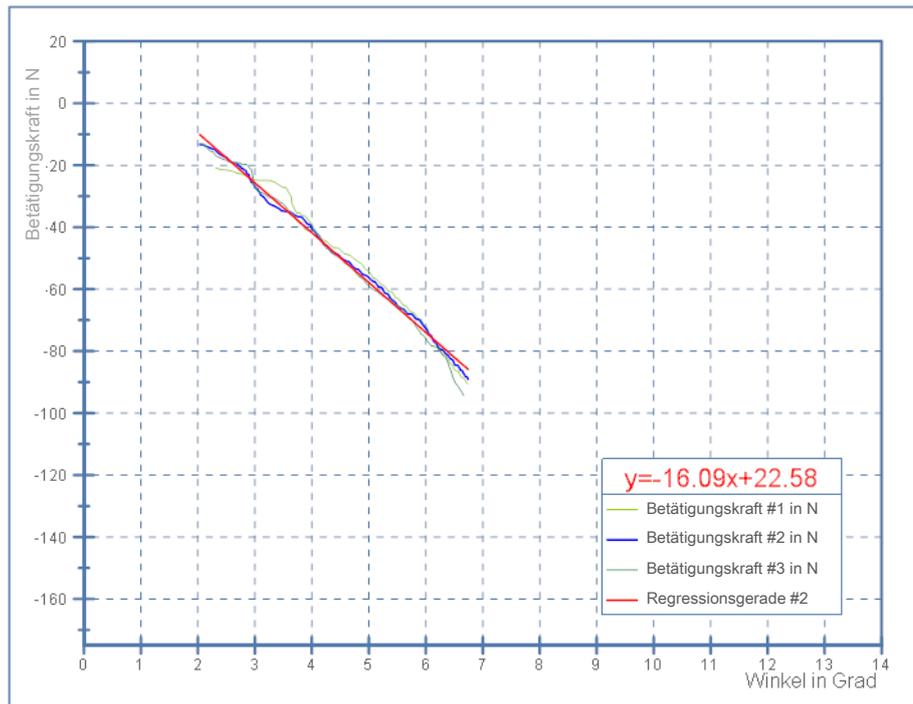


Abbildung 74: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-1, "harter" Schuh

#### 4.5.7 Regressionsgerade für Typ-2 Hinterbacken mit "weichem" Schuh

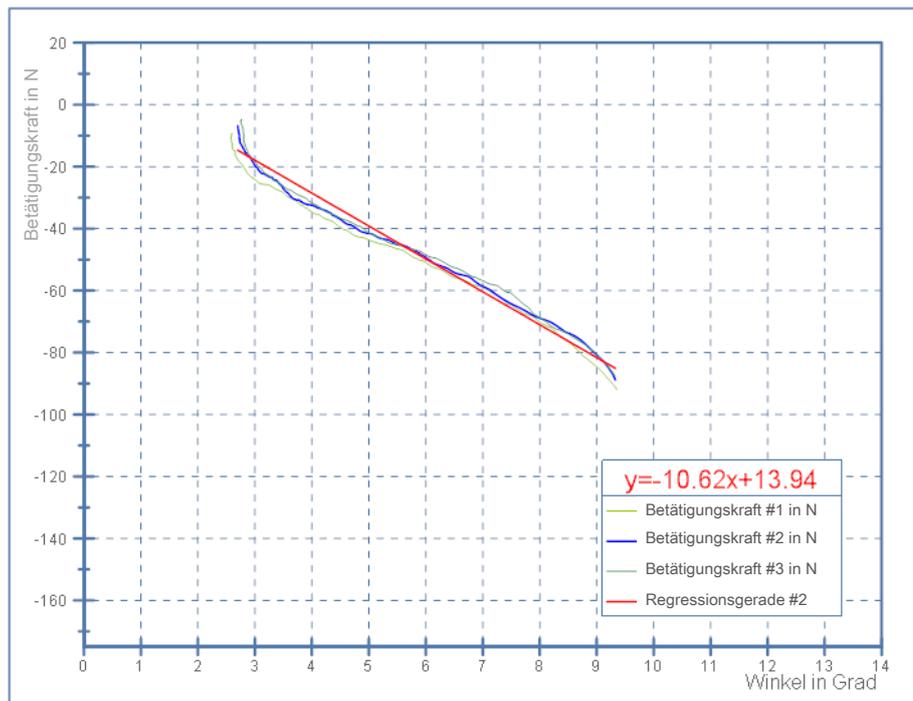


Abbildung 75: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-2, "weicher" Schuh

#### 4.5.8 Regressionsgerade für Typ-2 Hinterbacken mit "mittlerem" Schuh

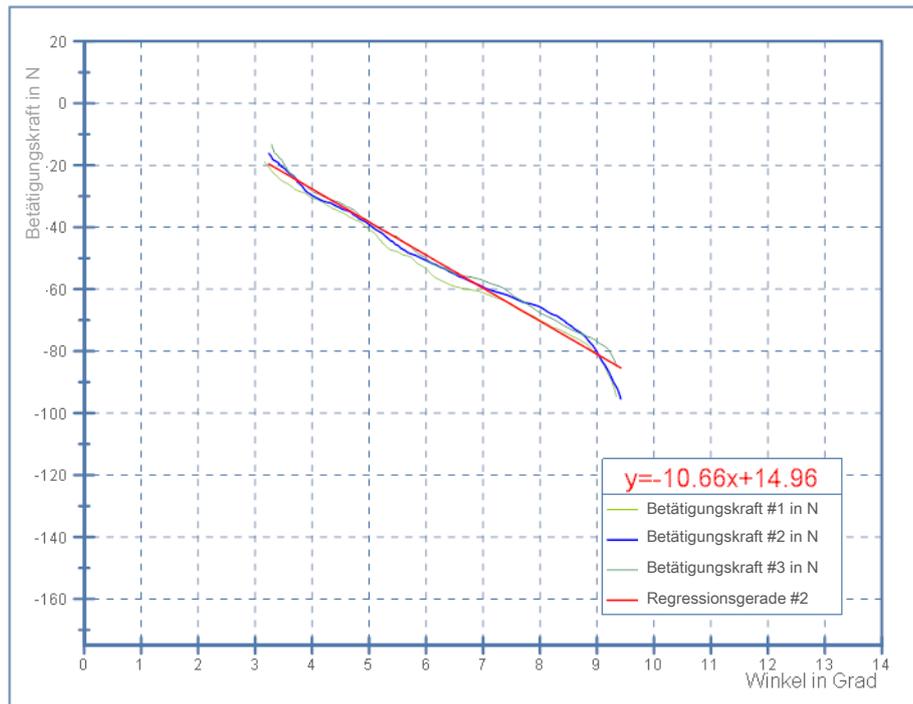


Abbildung 76: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-2, "mittlerer" Schuh

#### 4.5.9 Regressionsgerade für Typ-2 Hinterbacken mit "hartem" Schuh

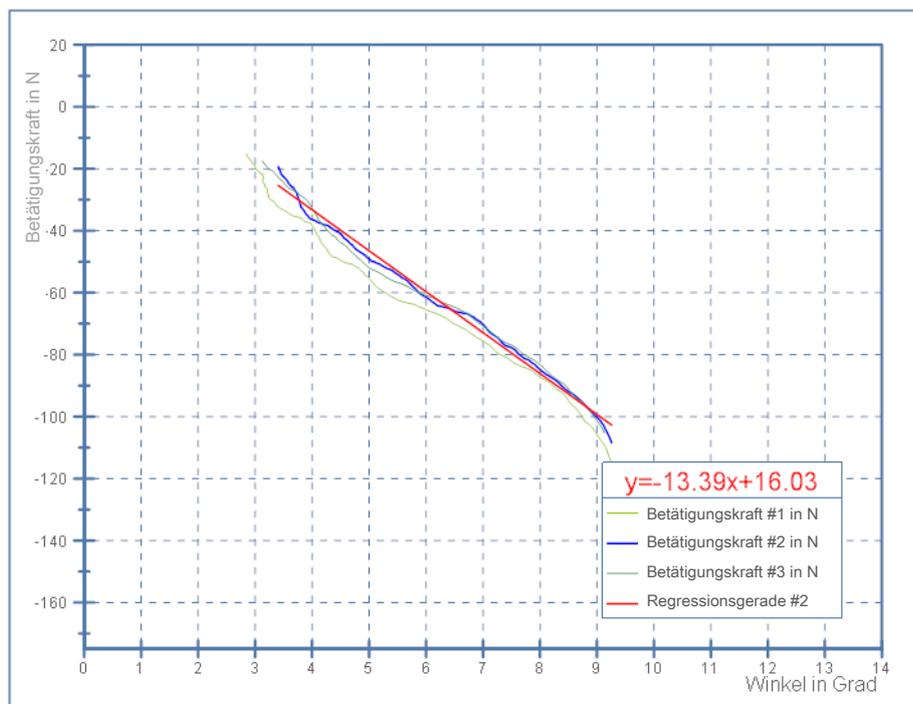


Abbildung 77: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-2, "harter" Schuh

#### 4.5.10 Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit “kurzer“ Koppelstange und “weichem“ Schuh

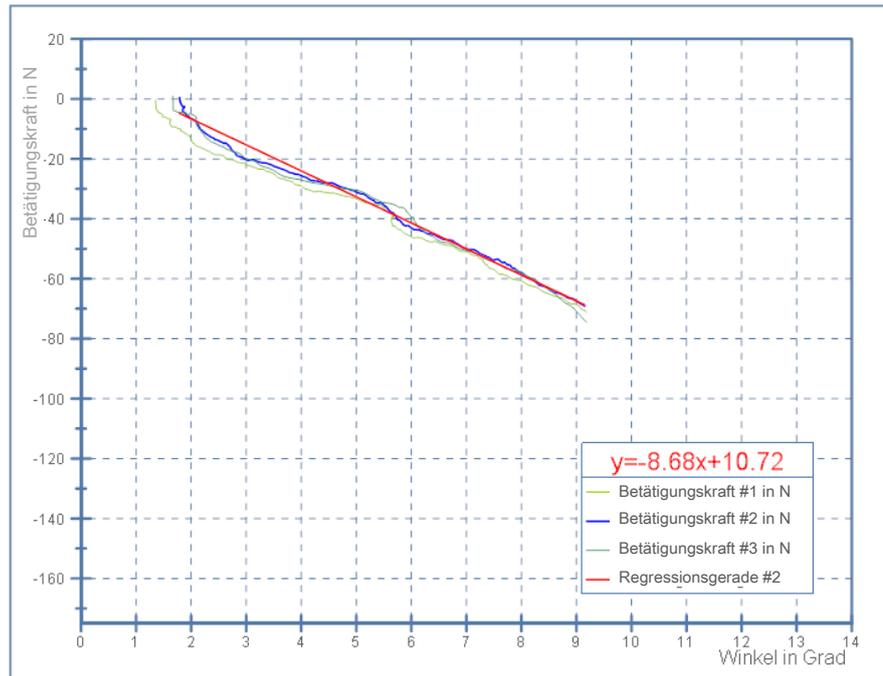


Abbildung 78: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel mit Typ-3, “kurze“ Koppelstange, “weicher“ Schuh

#### 4.5.11 Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit “kurzer“ Koppelstange und “mittlerem“ Schuh

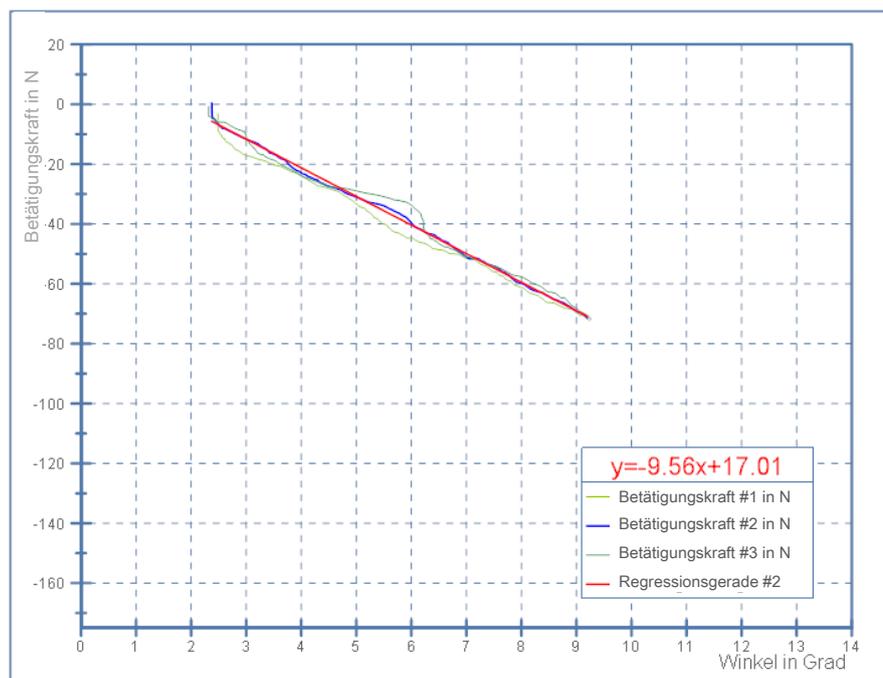


Abbildung 79: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-3, “kurze“ Koppelstange “mittlerer“ Schuh

#### 4.5.12 Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit "kurzer" Koppelstange und "hartem" Schuh

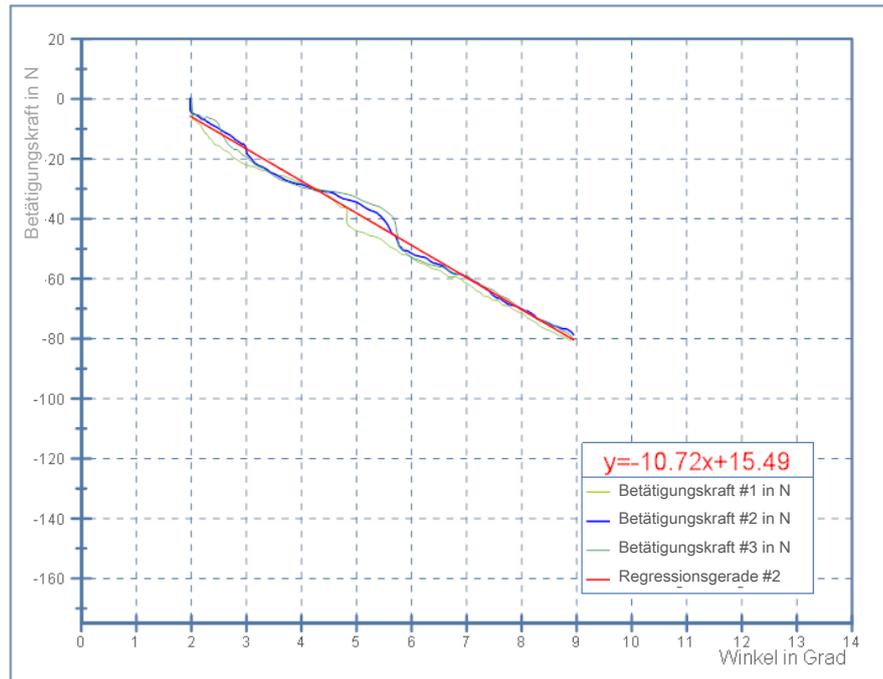


Abbildung 80: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-3, "kurze" Koppelstange, "harter" Schuh

#### 4.5.13 Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit "langer" Koppelstange und "weichem" Schuh

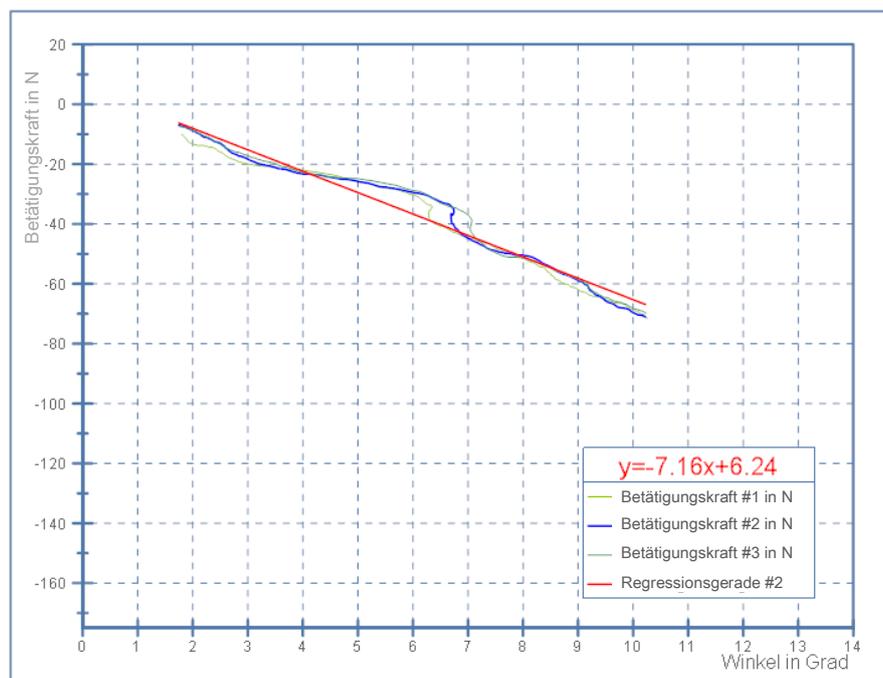


Abbildung 81: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel mit Typ-3, "lange" Koppelstange, "weicher" Schuh

#### 4.5.14 Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit "langer" Koppelstange und "mittlerem" Schuh

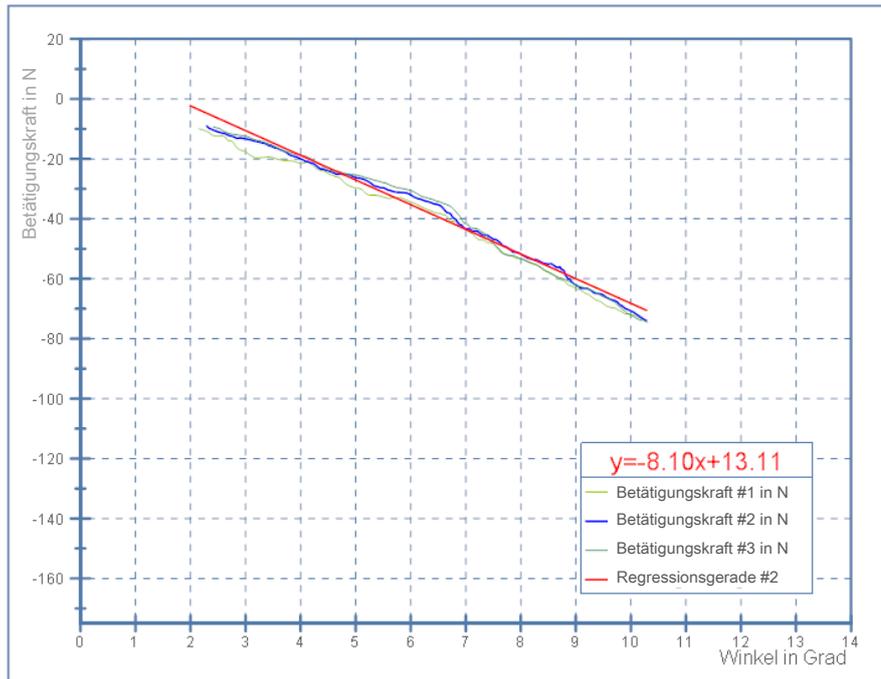


Abbildung 82: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-3, "lange" Koppelstange, "mittlerer" Schuh

#### 4.5.15 Regressionsgerade für Typ-3 Hinterbacken mit "langer" Koppelstange und "hartem" Schuh

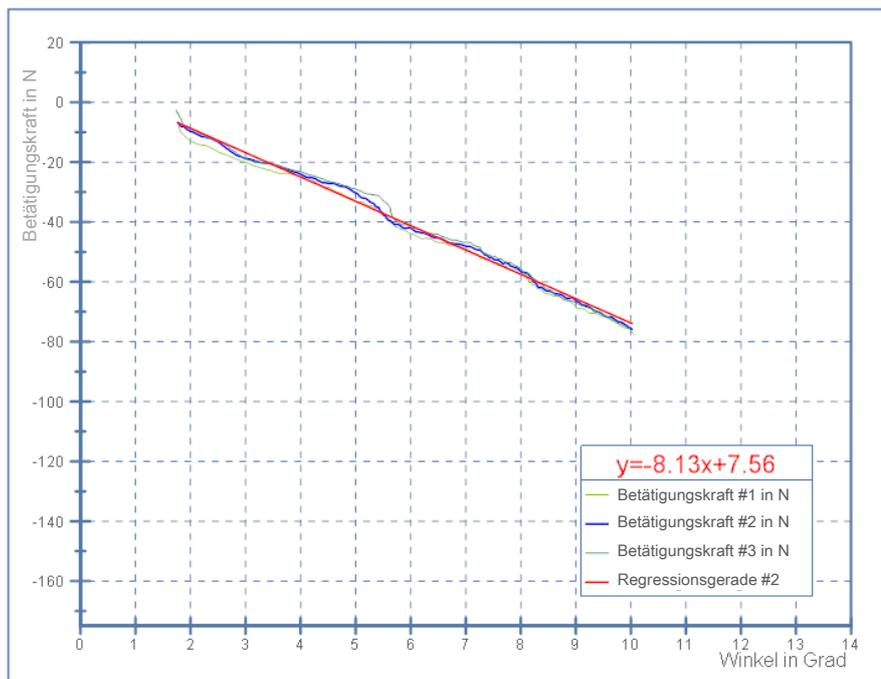


Abbildung 83: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-3, "lange" Koppelstange, "harder" Schuh

#### 4.5.16 Gegenüberstellung der Bindungstypen und Schuharten

In Tabelle 3 werden die bei den Messungen ermittelten Regressionsgeraden, die zur Erzielung unterschiedlicher Wirkwinkel notwendigen Betätigungskräfte sowie die Reihung der Bindungen bei Verwendung eines mittleren Schuhs zusammengefasst.

	Koppel- -stange	Schuh- steifigkeit	Regressions- gerade	Rang	Betätigungskraft in N bei einem Wirkwinkel von		
					0,5°	5°	9°
Typ-1		weich	$y=-13,06x+16,83$		-10,3	-48,47	-100,7
Typ-1		mittel	$y=-13,87x+24,91$	4	-18	-44,44	-100
Typ-1		hart	$y=-16,09x+22,58$		-14,5	-61,92	-122,2
Typ-2		weich	$y=-10,62x+13,94$		-8,6	-39,16	-81,6
Typ-2		mittel	$y=-10,66x+14,96$	3	-9,63	-38,34	-81
Typ-2		hart	$y=-13,39x+16,03$		-9,3	-50,92	-104,5
Typ-3	kurz	weich	$y=-8,68x+10,72$		-6,38	-32,68	-67,4
Typ-3	kurz	mittel	$y=-9,56x+17,01$	2	-12,23	-30,79	-69,03
Typ-3	kurz	hart	$y=-10,72x+15,49$		-10,13	-38,11	-81
Typ-3	lang	weich	$y=-7,16x+6,24$		-2,66	-29,56	-58,2
Typ-3	lang	mittel	$y=-8,10x+13,11$	1	-9,06	-27,39	-57,8
Typ-3	lang	hart	$y=-8,13x+7,56$		-3,5	-33,09	-65,6
Typ-0		weich	$y=-7,50x+7,47$		-3,72	-30,03	-60
Typ-0		mittel	$y=-7,99x+13,30$		-9,3	-26,65	-58,6
Typ-0		hart	$y=-9,39x+15,51$		-10,8	-33,65	-69

Tabelle 3: Typ-Vergleich bei 5° Wirkwinkel und Reihung beispielhaft für den "mittleren" Schuh, erweitert durch die Betätigungskraft bei 0,5° und 9° Wirkwinkel

Festlegungen:

- Definitionsgemäß ist die positive z-Achse des Prüfstandes in Richtung der Gewichtskraft, damit folgen der Fersenhub und die Betätigungskraft der negativen z-Achsrichtung.
- Der Typ-0 wird in Vergleichen, Tabellen und Abbildungen auch als Referenz-Typ bezeichnet.

##### 4.5.16.1 Betätigungskraftvergleich der Bindungstypen bei Verwendung jeweils einer Schuhsteifigkeit

Einen weiteren interessanten Vergleich erhält man, wenn man die Regressionsgeraden für eine bestimmte Schuhsteifigkeit in einem Diagramm zusammenfasst. Man erkennt daraus den Einfluss der Bindungsvariante auf die Betätigungskraft.

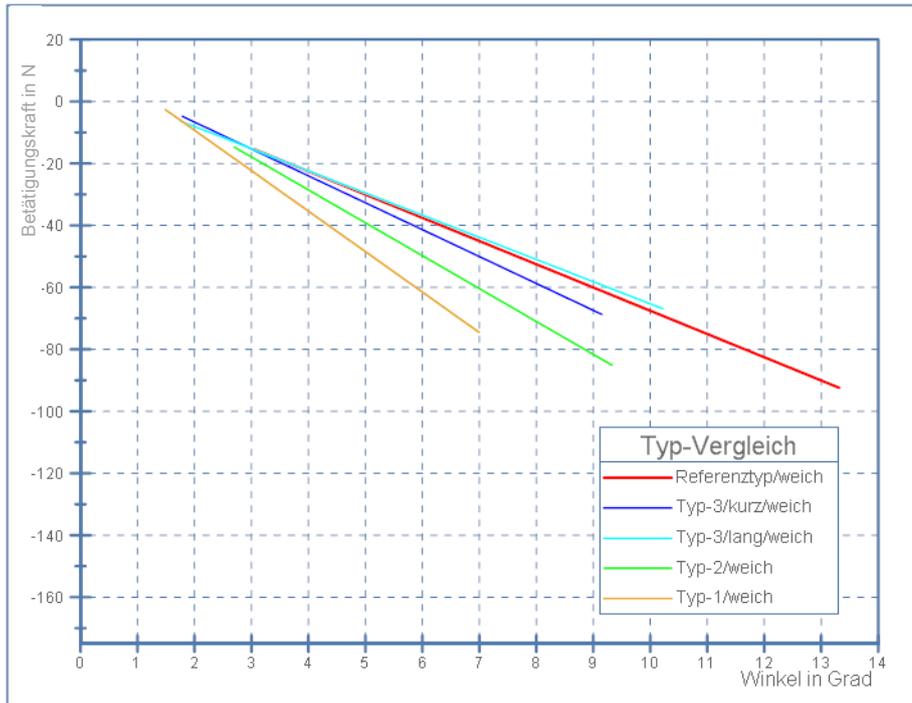


Abbildung 84: Regressionsgeraden für Betätigungskraft über Winkel für alle Bindungstypen und "weichem" Schuh

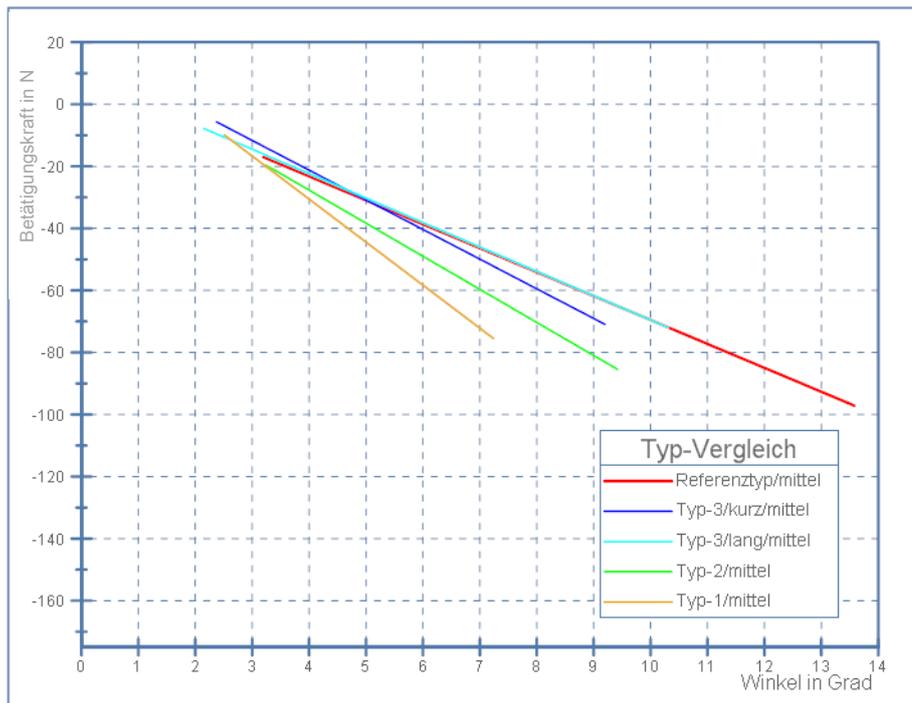


Abbildung 85: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für alle Bindungstypen und "mittlerem" Schuh

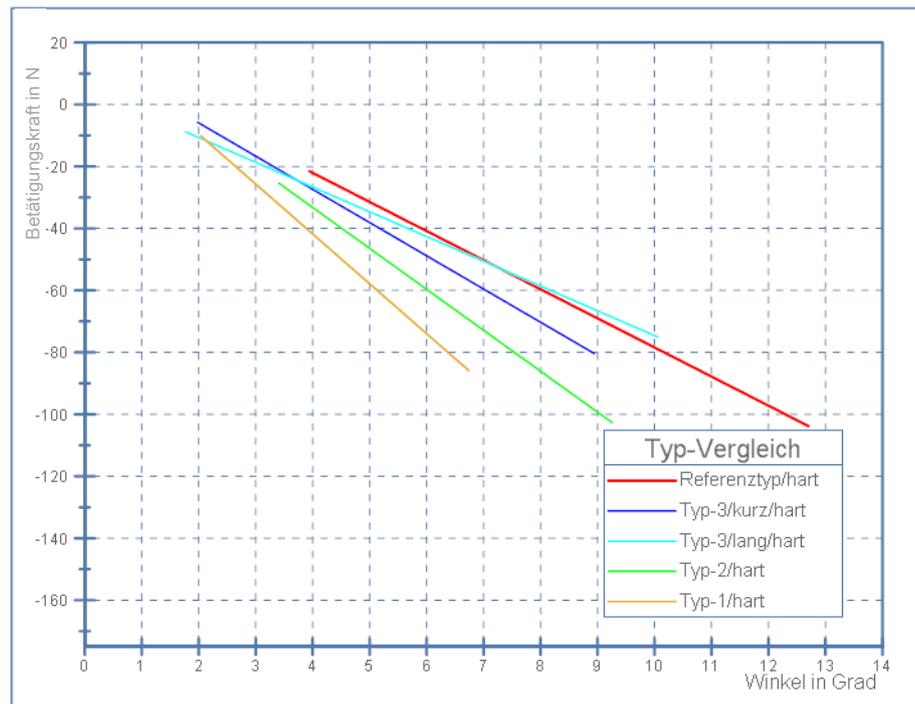


Abbildung 86: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für alle Bindungstypen und "hartem" Schuh

#### 4.5.16.2 Betätigungskraftvergleich eines Bindungstyps bei Verwendung der einzelnen Schuhsteifigkeiten

Einen weiteren interessanten Vergleich erhält man, wenn man die Regressionsgeraden eines bestimmten Bindungstyps in einem Diagramm zusammenfasst. Man erkennt daraus den Einfluss der Schuhsteifigkeit auf die Betätigungskraft.

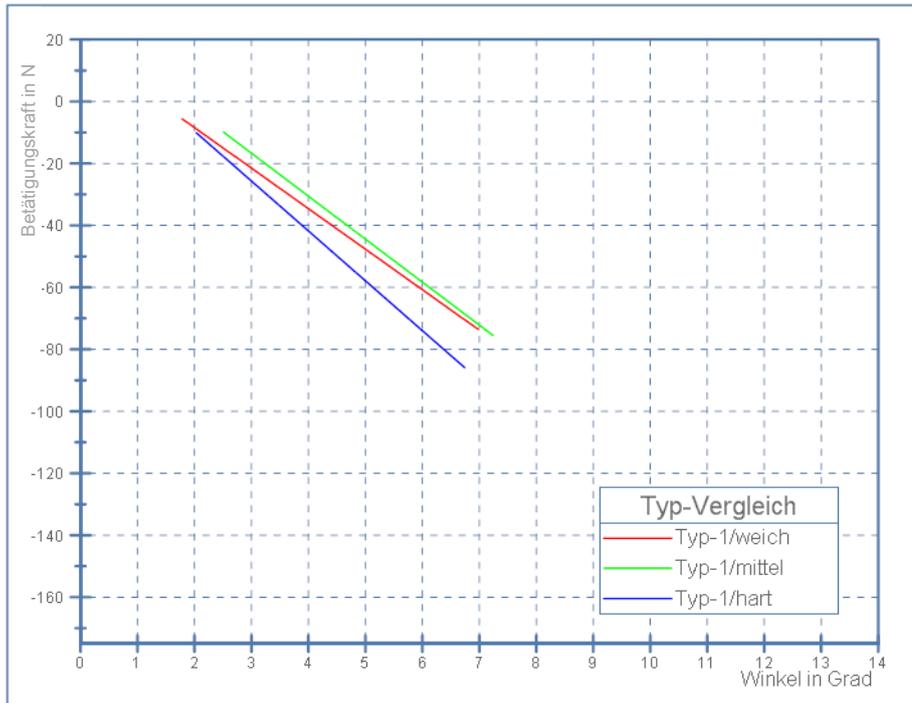


Abbildung 87: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für den Typ-1 und alle Schuhtypen

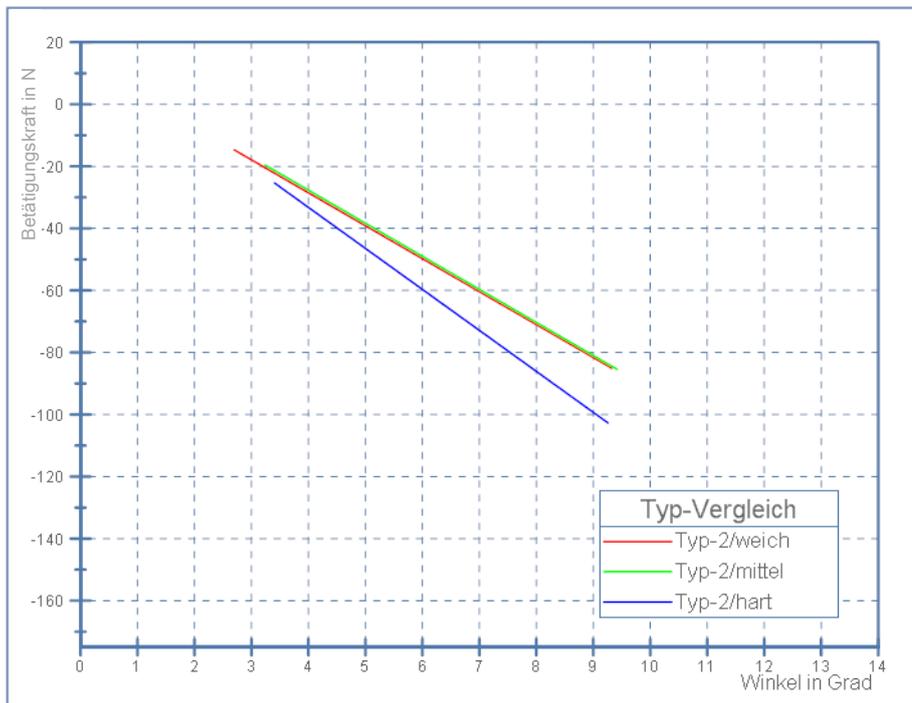


Abbildung 88: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für den Typ-2 und alle Schuhtypen

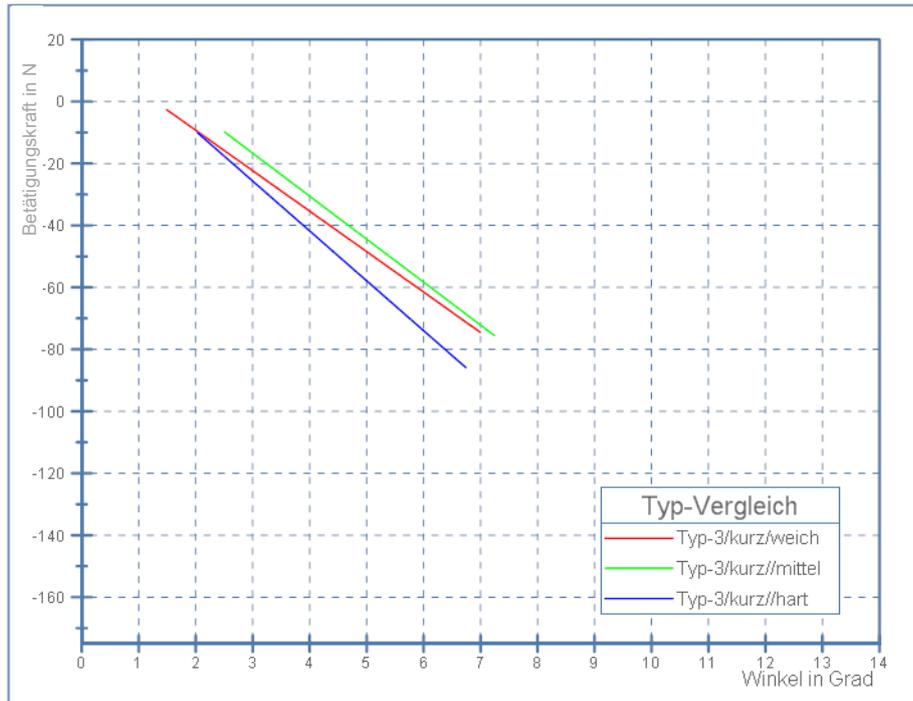


Abbildung 89: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für den Typ-3 kurz und alle Schuhtypen

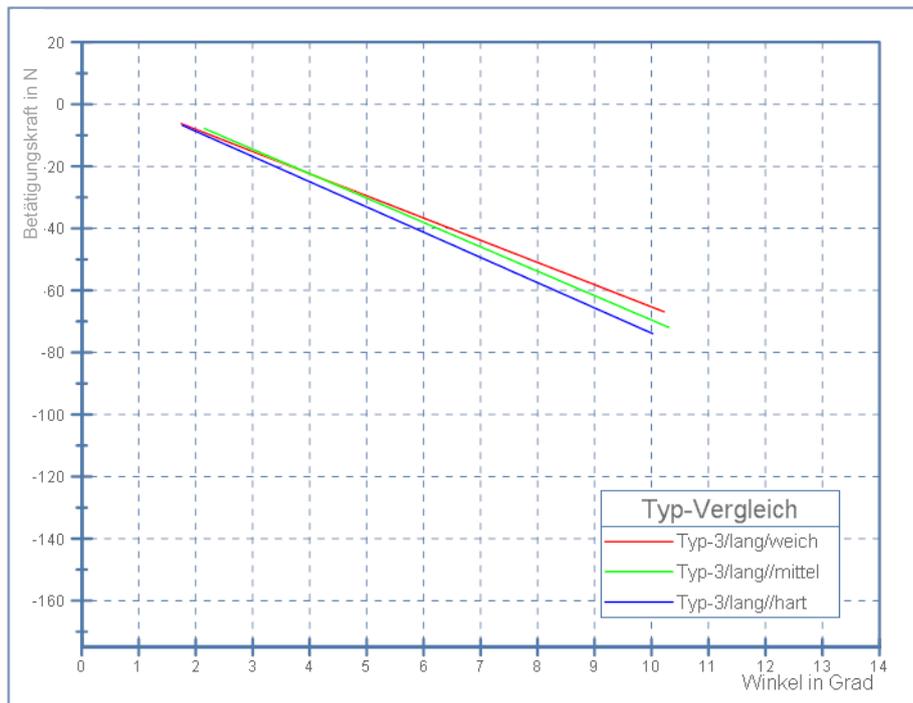


Abbildung 90: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für den Typ-3 lang und alle Schuhtypen

## 4.6 Bewertung der drei Bindungstypen

### 4.6.1 Erläuterung der Bewertungskriterien

In Tabelle 4 ist die Bewertung der drei Bindungstypen zusammengefasst.

Kriterium	Typ-1	Typ-2	Typ-3	
			kurzer Koppelstab	langer Koppelstab
Gewicht <sup>1</sup>	3	5	1	2
Verriegelungshandling <sup>2</sup>	4	3	2	1
Verriegelungsrückmeldung <sup>2</sup>	3	4	1	1
Ausstiegshandling <sup>2</sup>	1	2	4	3
Losbrechkraft <sup>3</sup>	1	4	2	3
Kraft nahe Hubstart <sup>3</sup>	1	4	2	3
Kraft nahe Hubstopp <sup>3</sup>	4	3	2	1
unabhängiger Versatz <sup>4</sup>	1	5	5	5
Robustheit <sup>5</sup>	4	3	1	2
einfacher Aufbau <sup>5</sup>	4	3	1	1
max. Wirkwinkel <sup>6</sup>	1	2	4	3
0°-Einstellung <sup>7</sup>	4	1	2	2
Einstellung der Hubhöhe <sup>8</sup>	1	4	2	2
Einfluss der Schuhsteifigkeit <sup>9</sup>	3	4	2	1
<b>Summe</b>	<b>35</b>	<b>47</b>	<b>31</b>	<b>30</b>
<b>Ranking</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Tabelle 4: Bewertungskriterien zum Typ-Vergleich aktueller Strukturen

#### Erklärung:

Die Reihung der obigen Bindungssysteme erfolgt nach Kriterien und einem Punktesystem im Schulstandard von EINS als bestmögliche Bewertung und FÜNF als schlechteste Note. Für die Reihung über alle Bewertungskriterien erfolgt eine Summenbildung für die einzelnen Spalten.

- ad <sup>1</sup>: Das Gewicht wird auf einer Waage der Fehlerklasse 0,5 % gemessen.
- ad <sup>2</sup>: Ein mehrstufiger Prozess erfasst Verriegelungshandling, Verriegelungsrückmeldung und das Ausstiegshandling. Eine Kombination aus Selbstversuch, Athletenaussagen und Videoanalysen ergibt eine realistische Reihung.
- ad <sup>3</sup>: Für die Losbrechkraft, Kraft nahe Hubstart und Kraft nahe Hubstopp wird in die Schar der Regressionsgeraden ein sehr kleiner(0,5°), kleiner(5°) und größer(9°) Wert für den Wirkwinkel eingesetzt (siehe Tabelle 3).

- ad <sup>4</sup>: Der Typ-1 Hinterbacken ist der einzige der aktuellen Konstruktionen der den Versatz unabhängig von Hub und Wirkwinkel darstellen kann.
- ad <sup>5</sup>: Robustheit und einfacher Aufbau spiegeln sich am besten im Logistikaufwand für die Ersatzteilbereitstellung wider.
- ad <sup>6</sup>: Als maximaler Wirkwinkel gilt der, der von den Athleten in Testsprüngen mit dem jeweiligen Bindungstyp gesprungen wurde.
- ad <sup>7</sup>: Bewertungsgrundlage ist der Aufwand mit dem eine 0°-Einstellung möglich ist.
- ad <sup>8</sup>: Die Einstellung der Hubhöhe erfolgt immer werkzeuglos und muss auch ohne Messinstrument vom Athleten, der Größe nach erfassbar sein.
- ad <sup>9</sup>: Aus der Schar der Regressionsgeraden und dem Einsetzen des gleichen Winkels in die Geradengleichung der verschiedenen Typen und Schuhsteifigkeiten ergibt sich ein Maß für den Einfluss der Schuhhärte auf die Betätigungskraft (siehe Tabelle 3).

Mit all den messtechnisch bestätigten Annahmen und neuerworbenen Erkenntnissen wird die Basis für einige neue Umsetzungen der geometrischen Grundforderungen und der Anforderungen aus dem Athleten- und Wettkampfumfeld gelegt. Eine leichte, robuste und bedienungsfreundliche Konstruktion mit dem Zusatz der unabhängigen geometrischen Abstimmbarkeit soll das Ziel für die Neuentwürfe sein, aber auch die Beachtung der Umwelteinflüsse ist ein wesentlicher Punkt im Anforderungskatalog.

## 5 Neue mechanische Umsetzungen

Aufbauend auf die durchgeführten Messungen und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse wurden vier neue Konzepte zur Positionierung der Schier relativ zur anströmenden Luft erarbeitet. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Konstruktionsgrundlage, Komplexität, Gewicht und Bedienbarkeit und werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

### 5.1 Beschreibung des Typ-4 Hinterbackens

Der Typ-4 Hinterbacken ist als Abwälztyp konzipiert, zwei Übersetzungsstufen realisieren die Umsetzung der geometrischen Randbedingungen. Die erste Übersetzungsstufe ist eine Zahnstange-Zahnrad-Stufe, bei der Zweiten handelt es sich um eine Stirnradstufe. Der Fersenadapter ist mit dem Abtriebsstirnrad des zweiten Radsatzes in geeigneter Weise verschraubt.

#### 5.1.1 Teile und deren Bezeichnung

Die wesentlichen Bestandteile des Typ-4 Hinterbackens (siehe Abbildung 91) sind:

- Bindungsbasis
- Koppelstange: zylindrische Zahnstange mit gelenkiger Verbindung zur Bindungsbasis
- Getriebeträger
- Übersetzungsstufen
- Fersenadapter

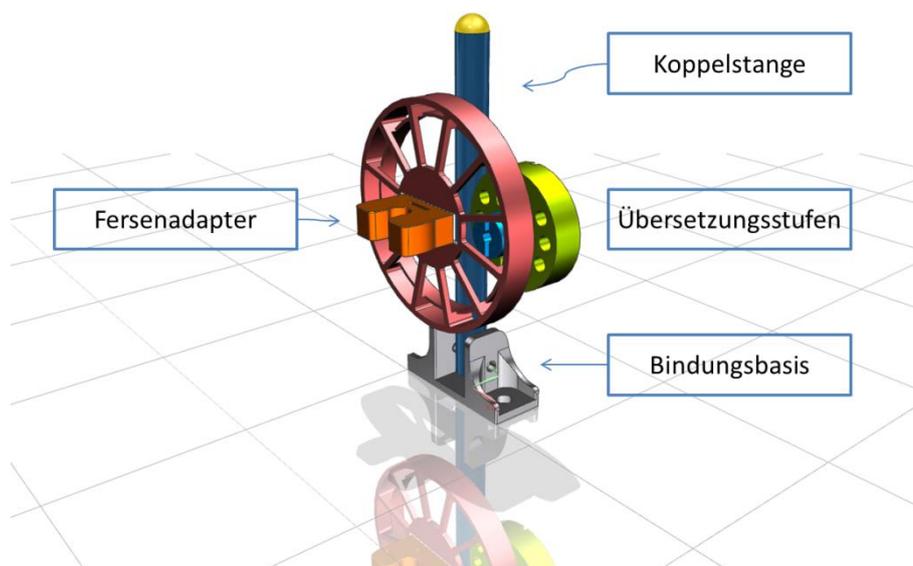


Abbildung 91: Typ-4 Hinterbacken mit Fersenadapter

### 5.1.2 Annahmen zur Grundgeometrie

Als Basisabstimmung wird von einer Hubhöhe von 30 mm ausgegangen. Der dabei umgesetzte Wirkwinkel soll 20 Grad betragen. Der kleinste dabei verwendete Zahnradradius beträgt 14 mm und der größte soll 70 mm nicht überschreiten. Die Hubstarthöhe wird mit dem dafür üblichen Maß mit 68 mm angenommen. Der Durchmesser der Koppelstange beträgt 11 mm, deren Länge 120 mm.

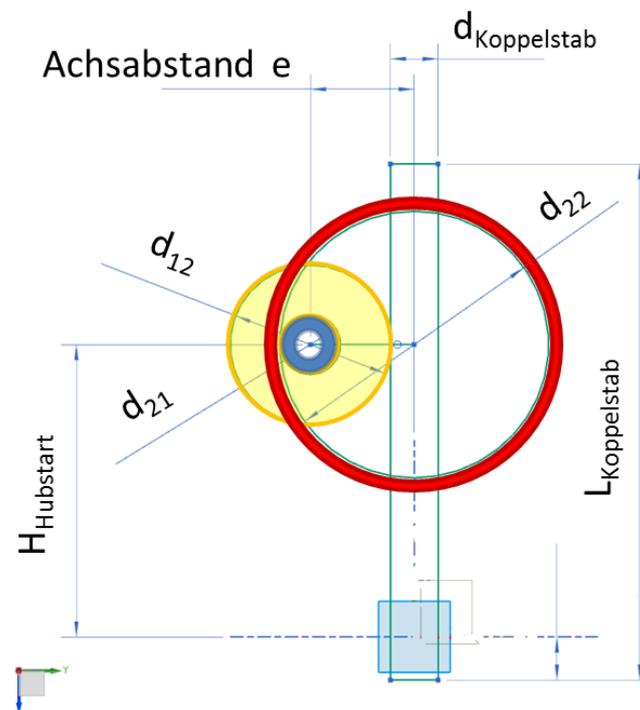


Abbildung 92: Prinzipskizze der Typ-4 Mechanik

$d_{12}$	...	Nennradius Stirnrad 12	mm
$d_{21}$	...	Nennradius Stirnrad 21	mm
$d_{22}$	...	Nennradius Stirnrad 22	mm
$e$	...	Achsenabstand Übersetzungsstufe 2	mm
$\alpha$	...	Wirkwinkel	Grad
$b$	...	Bogenlänge	mm

Aus

$$\alpha = \frac{h * 180}{r * \pi} \quad (32)$$

mit

$$b = h$$

folgt

$$b = \frac{r * \pi * \alpha}{180} \quad (33)$$

Aus (32)

mit

$$h = 30 \text{ mm}$$

und

$$r_{12} = 19 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$\alpha_{12} = 90,47^\circ$$

Aus (33)

mit

$$r_{21} = 7 \text{ mm}$$

und

$$\alpha_{12} = \alpha_{21}$$

ergibt sich

$$b_{21} = 11,05 \text{ mm}$$

Aus

$$e = \frac{d_{Koppel}}{2} + \frac{d_{12}}{2} \quad (34)$$

mit

$$d_{Koppel} = 11 \text{ mm}$$

und

$$d_{12} = 38 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$e = 24,5 \text{ mm}$$

Aus

$$r_{22} = e + r_{12} \quad (35)$$

mit

$$e = 24,5 \text{ mm}$$

und

$$r_{12} = 7 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$r_{22} = 31,5 \text{ mm}$$

Aus (32)

mit

$$b_{21} = b_{22}$$

ergibt sich

$$\alpha_{22} = 20,09^\circ$$

### 5.1.3 Funktionsweise

Da es sich beim Typ-4 Hinterbacken um einen Abwälztyp handelt, ist der Hub mit der Bildung des Wirkwinkels verknüpft. Bei der in dieser Arbeit konzipierten Ausführung wird die Möglichkeit einer Querauslösung berücksichtigt, nicht aber die Unabhängigkeit von Hub und Wirkwinkel. Ausgehend

von der Typ-1 Hinterbacken Lösung, werden beim Typ-4 die Getriebestufen nicht auf einem Getriebechassis montiert und in einem Gehäuse geführt, sondern mit einem um die Koppelstange drehbar angeordneten Getriebestufenträger realisiert.

Zur Einstellung eines waagrechten Fersenadapters auf Höhe des Hubstarts können die Getrieberäder in unterschiedlichen Eingriff gebracht werden.

Der Umsetzung der Forderung eines unabhängig einstellbaren Querversatzes des Fersenadapters wird mit einem Lochraster am Getriebeausgangszahnrad genüge getan.

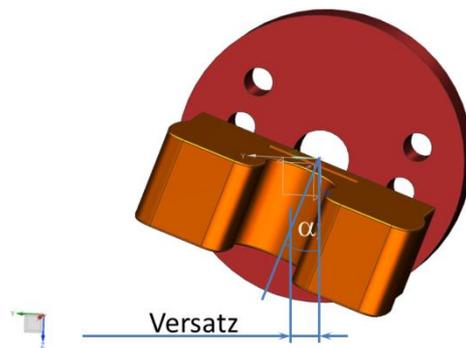


Abbildung 93: Prinzip der Umsetzung eines unabhängigen Querversatzes

#### 5.1.4 Abschätzung des Strukturgewichtes

Das Gewicht der einzelnen Komponenten wird mit Hilfe des im CAx-Software Paket Siemens PLM NX 8.0 realisierten Modells ermittelt.

Bauteil	Gewicht in g
Adapter	3,92
Basis	16,43
Koppelstange	33,3
Rad 12	24,87
Rad 21	3,72
Rad 22	24
Träger	~20
<b>Gesamtgewicht</b>	<b>126,2</b>

Tabelle 5: Komponenten- und Gesamtgewicht des Typ-4 Hinterbackens

## 5.2 Beschreibung der Typ-5 Mechanik

Dient der Typ-4 Hinterbacken, neben der Umsetzung anderer Forderungen zu aller erst zur Darstellung der Möglichkeit einer Sicherheitsauslösung in Querrichtung, erfüllt die Typ-5 Mechanik zusätzlich die Forderung nach möglichst wenig Gewicht. Auch der Typ-5 Hinterbacken ist als Abwälztyp konzipiert, wobei zwei Übersetzungsstufen die Umsetzung der geometrischen Randbedingungen realisieren. Die erste Übersetzungsstufe ist eine Zahnstange-Zahnrad-Stufe, bei der Zweiten handelt es sich um eine Stirnradstufe. Der Fersenadapter ist mit dem Abtriebsstirnrad des zweiten Radsatzes verschraubt.

Der wesentlicher Unterschied zum Typ-4 Hinterbacken ist die Sektionierung der Zahnräder, wobei nur jene Sektionen der Zahnräder gefertigt werden die für die Umsetzung des Wirkwinkels über den Hub notwendig sind.

### 5.2.1 Teile und deren Bezeichnung

Die wesentlichen Bestandteile des Typ-5 Hinterbackens (siehe Abbildung 94) sind:

- Bindungsbasis
- Koppelstange: zylindrische Zahnstange mit gelenkiger Verbindung zur Bindungsbasis
- Getriebeträger
- Übersetzungsstufen
- Fersenadapter

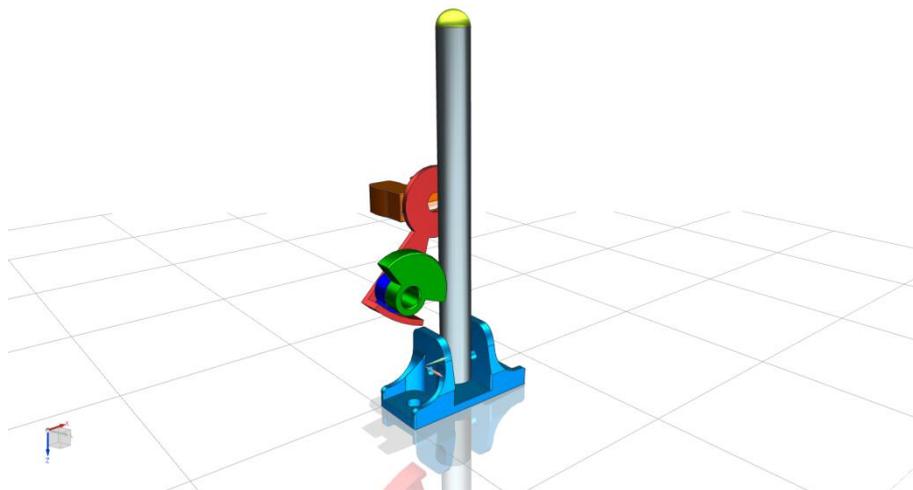


Abbildung 94: Typ-5 Hinterbacken

### 5.2.2 Annahmen zur Grundgeometrie

Die Grundgeometrie bleibt gleich wie bei Typ-4, die Festlegung des Hubes mit 30mm und ein Wirkwinkel von 20 Grad bleiben unverändert. Die Geometrien die sich daraus ergeben werden aus Kapitel 5.1.2 übernommen.

Stirnrad 12	$d_{12} = 38 \text{ mm}$
Stirnrad 21	$d_{21} = 14 \text{ mm}$
Stirnrad 22	$d_{22} = 63 \text{ mm}$
Winkel 12	$\alpha_{12} = 90,47^\circ$
Wirkwinkel	$\alpha_{22} = 20,09^\circ$

Es wird eine Gangreserve von 15 Grad in beide Drehrichtungen vorgesehen (Abbildung 95). Die Gangreserve gegen die Hubrichtung dient dazu den in Abbildung 30 gezeigten und folgend beschriebenen Auswirkungen der Schi- und Schuhverformung genügend Bewegungsraum zu geben. Diese Gangreserve verkleinert sich bei der nächsten Getriebestufe im Verhältnis der Übersetzung der jeweiligen Zahnradstufe.

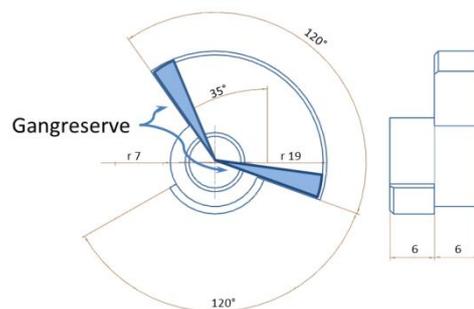


Abbildung 95: Typ-5 Hinterbacken: Kombinationstirnrad 12/21 mit 15° Gangreserve

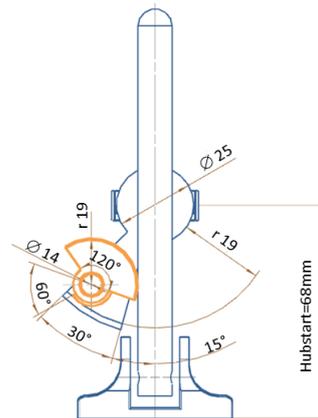


Abbildung 96: Typ-5 Hinterbacken: Winkel inkl. Gangreserven

### 5.2.3 Abschätzung des Strukturgewichtes

Das Gewicht der einzelnen Komponenten wird mit Hilfe des im CAx-Software Paket Siemens PLM NX 8.0 realisierten Modells ermittelt.

Bauteil	Gewicht in g
Adapter	3,92
Basis	16,43
Koppelstange	33,3
Rad 12/21	6,55
Rad 22	7,2
Träger	~20
<b>Gesamtgewicht</b>	<b>87,4</b>

Tabelle 6: Komponenten- und Gesamtgewicht des Typ-5 Hinterbackens

## 5.3 Beschreibung der Typ-6 Mechanik.

Wie Typ-4 und Typ-5 stellt auch der Typ-6 Hinterbacken eine Weiterentwicklung des Typ-1 Prinzips Zahnrad-Zahnstange dar.

### 5.3.1 Teile und deren Bezeichnung

Die wesentlichen Bestandteile des Typ-6 Hinterbackens (siehe Abbildung 97) sind:

- Bindungsbasis
- Koppelstange: zylindrische Zahnstange mit gelenkiger Verbindung zur Bindungsbasis
- Getriebeträger
- Stirnradstufe
- Schneckenrad
- Schneckenwelle
- Vorrichtung um den Hub zu begrenzen
- Fersenadapter

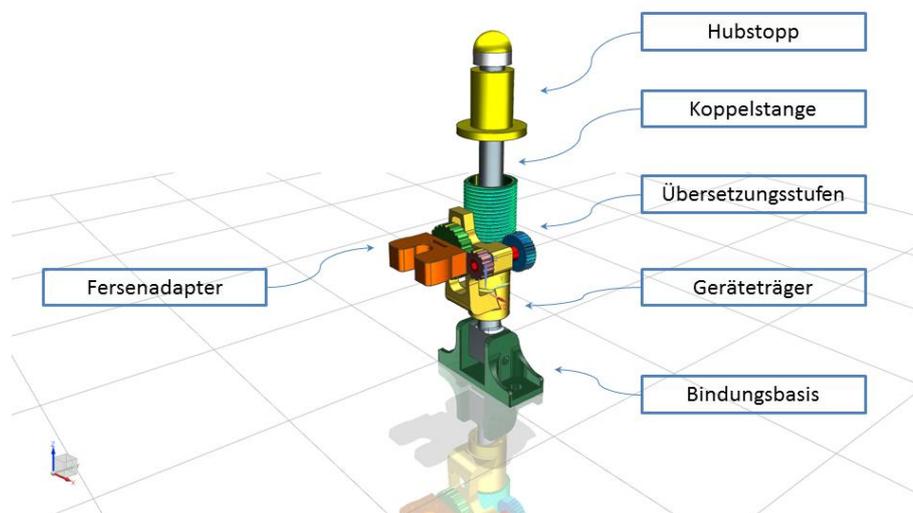


Abbildung 97: Typ-6 Hinterbacken

### 5.3.2 Beschreibung der Funktionsweise

Es handelt sich bei diesem Hinterbackentyp um einen Abwälzmechanismus. Eine Übersetzungsstufe funktioniert nach dem Zahnstange-Zahnradprinzip (in Abbildung 97 die grün eingefärbte Hülse und das blaue Zahnrad). Die zweite Stufe ist eine Stirnradstufe (in Abbildung 97 die braun bzw. Grün eingefärbten Zahnräder). Die gelb markierte Haltestruktur ist entlang der Koppelstange verschiebbar und realisiert den Hub als einen Parameter der Bindung. Der Hub wird am oberen Ende der Koppelstange durch einen, entlang eines Gewindes verdrehbaren Hubeinsteller begrenzt. Die Kappe am obersten Endes der Koppelstange dient der Athletensicherheit. Der orange markierte und als Fersenadapter bezeichnete Teil realisiert die lösbare Kupplung der Bindung mit dem Schuh. Die Zahnräder "Blau" und "Braun" sitzen fest auf ihrer gemeinsamen Welle. Die Lagerung des grünen

Stirnrad ist als Zapfenlagerung am in Abbildung 97 gelb gefärbten Geräteträger ausgeführt. Der Fersenadapter ist direkt mit dem "grünen" Stirnrad verschraubt.

Die Koppelstange ist mit der Bindungsbasis gelenkig gelagert verbunden und die Basis mit zwei speziellen für die Bindungsmontage vorgesehenen Schrauben auf dem Ski in der richtigen Position fixiert. Die Wangen der Bindungsbasis verringern mit Hilfe des quaderförmigen unteren Endes der Koppelstange den Winkelverlust der durch eine seitliche Kippbewegung der Koppelstange, durch ihre gelenkige Lagerung entstehen würde.

Als konstruktive Besonderheit ist bei dieser Bindungsvariante die erste Übersetzungsstufe als Schneckengetriebestufe ausgeführt. Wird die Schneckenwelle relativ zum in Abbildung 97 gelb dargestellten Geräteträger in der z-Achsrichtung bewegt, wird eine Rotation bis zum Abtriebsrad der zweiten Getriebestufe umgesetzt. Der mit diesem Getrieberad verschraubte Fersenadapter der Bindung zwingt dem Schuh die gewünschte Verformung auf. Diese axiale Bewegung der Schneckenwelle wird im Normalbetrieb durch den Hubbegrenzer eingeleitet. Bei genauerer Betrachtung der Bindung fällt allerdings auf, dass dieser Kontakt erst am oberen Ende eines Leerhubes entsteht. Durch diese zweite Besonderheit wird der Gesamthub in einen Leerhub und einen Wirkhub aufgeteilt.

Das vereint die Vorteile dass der Athlet von der Absprungkante weg einen gewünscht "losen" Ski hat und dass sich Wirkwinkel und Hub unabhängig voneinander einstellen lassen. Die zur Umsetzung des gewünschten Hub-/Wirkungsverhältnisses erforderlichen Übersetzungsverhältnisse lassen sich mit kleineren Zahnrädern realisieren, da das Gesamtübersetzungsverhältnis der Bindung grösser gewählt werden kann. Als kleinster Raddurchmesser wird 12 mm festgelegt, das macht eine Gleitlagerung mit Kunststofflagerbuchse und genügend großer Restwandstärke des Zahnrades bei erforderlichen Lagerzapfen- oder Wellendurchmesser möglich. Durch die insgesamt geringere Baugröße ist es einfacher die geforderten Steifigkeiten mit kleineren Strukturquerschnitten in einer möglichst leichten Konstruktion umzusetzen.

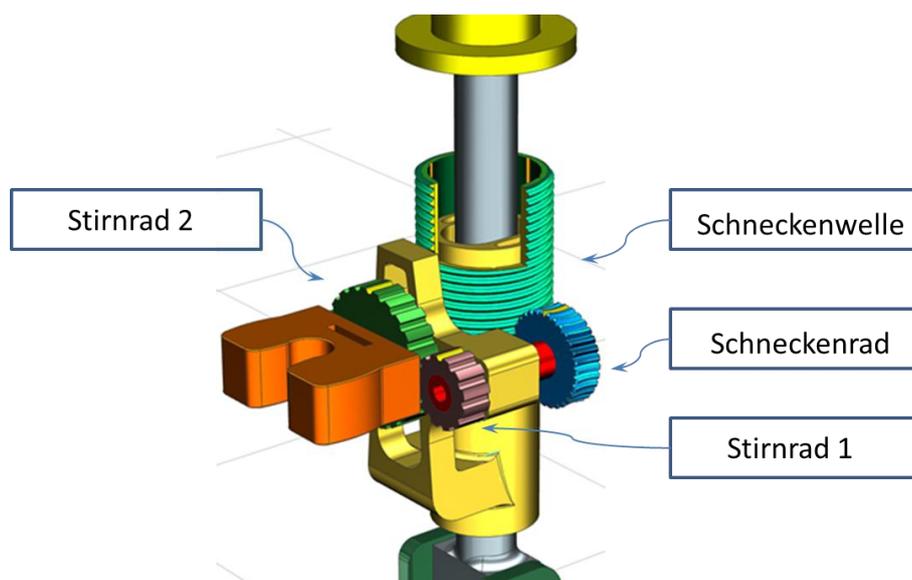


Abbildung 98: Typ-6 Hinterbackenkomponenten: Schneckenwelle mit Schnittdetail

### 5.3.3 Berechnung der Radsatzgeometrien

$m$	... Modul	-
$p$	... Steigung	mm
$z$	... Zähnezahl	-
$d_{k11}$	... Kopfkreisdurchmesser Schneckenwelle	mm
$d_{11}$	... Nenndurchmesser Schneckenwelle	mm
$d_{21}$	... Nenndurchmesser Schneckenrad	mm
$d_{12}$	... Nenndurchmesser Stirnrad 1	mm
$d_{22}$	... Nenndurchmesser Stirnrad 2	mm
$a_1$	... Achsabstand Übersetzungsstufe 1	mm
$a_2$	... Achsabstand Übersetzungsstufe 2	mm
$d_{1131}$	... Teilkreisdurchmesser Schneckenwelle/ $z=31$	mm
$d_{1231}$	... Teilkreisdurchmesser Schneckenrad/ $z=31$	mm
$c$	... Anzahl der Rastungen	-
$\varepsilon$	... Winkel zwischen zwei Rastungen	Grad
$\alpha$	... Wirkwinkel	Grad
$b$	... Bogenlänge	mm

Die Abwälzung des Schneckenrads an der Schneckenwelle wird wie folgt berechnet:

Aus (32)

mit

$$h_{11} = 10 \text{ mm}$$

und

$$r_{12} = 7,5 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$\alpha_{12} = 76,4^\circ$$

Aus (33)

mit: Rad 12 (Schneckenrad) und Rad 21 auf gemeinsamer Welle

$$\alpha_{12} = \alpha_{21}$$

und

$$r_{21} = 6 \text{ mm}$$

mit

$$\alpha_{21} = 76,4^\circ$$

ergibt sich

$$b_{21} = 8 \text{ mm}$$

Aus (32)

mit

$$b_{22} = b_{21}$$

und

$$r_{22} = 11,5 \text{ mm}$$

mit

$$b_{22} = 8 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$\alpha_{22} = 39,86^\circ$$

Bei einem Schneckenwellenhub von 10mm ergibt sich ein Ausgangswinkel von 39,86°.

Durch eine Verdrehung der Schneckenwelle relativ zum Schneckenrad kann der Ausgangswinkel verstellt werden. Um ein definiertes Verstellverhalten umzusetzen sollte die Drehung der Schneckenwelle in geeigneter Weise gerastet werden.

mit

$$h = 10 \text{ mm}$$

und

$$\alpha_{22} = 39,86^\circ$$

mit

$$p = 1,5 \text{ mm}$$

Eine volle Umdrehung der Schneckenwelle entspricht  $360^\circ$  und 1,5mm Hub (Steigung).

Aus

$$c = \frac{\alpha_{22} * p}{h} \quad (36)$$

ergibt sich

$$c = 5,979 \cong 6$$

Mit  $360^\circ$  und 6 Rastungen folgt der Winkel  $\varepsilon$  zwischen diesen

Aus

$$\varepsilon = \frac{360}{c} \quad (37)$$

ergibt sich

$$\varepsilon = 60^\circ$$

Wird alle  $60^\circ$  eine Rastung vorgesehen, lässt sich der Ausgangswinkel in  $\pm 1^\circ$  Schritten verstellen.

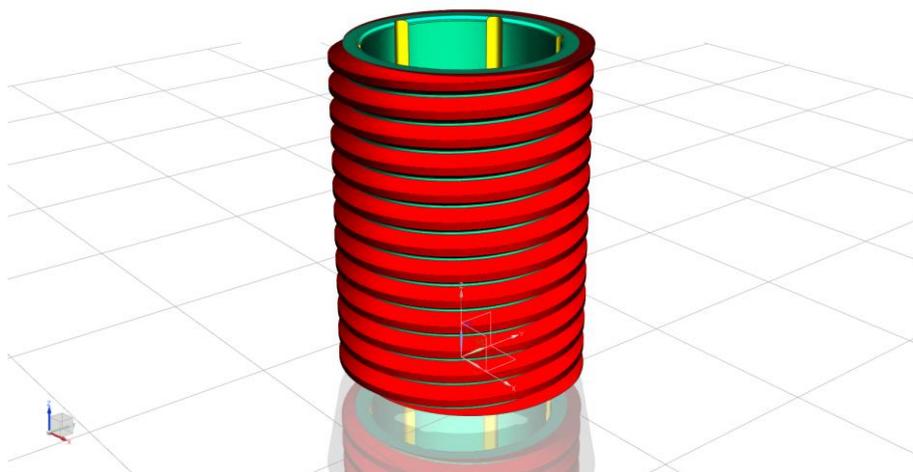


Abbildung 99: Typ-6 Hinterbackendetail: Schneckenwelle mit Rastungsnuten (gelb)

Berechnung der Geometrie des Schneckenradsatzes:

Aus

$$a_2 = r_{21} + r_{22} \quad (38)$$

mit

$$r_{21} = 6 \text{ mm}$$

und

$$r_{22} = 11,5 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$a_2 = 17,5 \text{ mm}$$

mit

$$a_1 = a_2$$

Aus

$$m = \frac{p}{\pi} \quad (39)$$

mit

$$p = 1,5 \text{ mm}$$

und

$$r_{22} = 11,5 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$m = 0,4775$$

Aus

$$z = \frac{d}{m} \quad (40)$$

mit

$$\text{Annahme: } d_{11} = 20 \text{ mm}$$

und

$$m = 0,4775$$

ergibt sich

$$z = 31,416$$

Aus

$$d = z * m \tag{41}$$

mit

$$\text{Annahme: } z = 31$$

und

$$m = 0,4775$$

ergibt sich

$$d = 14,8 \text{ mm}$$

Aus

$$a = \frac{d_{1231} * d_{1131}}{2} \tag{42}$$

folgt

$$d_{1131} = 2a - d_{1231} \tag{43}$$

mit

$$a = 17,5 \text{ mm}$$

und

$$d_{1231} = 14,8 \text{ mm}$$

ergibt sich

$$d_{1131} = 20,2 \text{ mm}$$

Aus (32)

mit

$$h = b = 10\text{mm}$$

und

$$r_{1231} = 17,4\text{mm}$$

ergibt sich

$$\alpha_{21} = 77,43^\circ$$

Aus (33)

mit

$$\alpha_{12} = \alpha_{21} = 77,43^\circ$$

und

$$r_{21} = 6\text{mm}$$

ergibt sich

$$b_{21} = b_{12} = 8,10810$$

Aus (32)

mit

$$b_{21} = b_{12} = 8,10810$$

und

$$r_{22} = 11,5\text{mm}$$

ergibt sich

$$\alpha_{22} = 40,39^\circ$$

### 5.3.4 Einstellstrategien Leerhub / Wirkhub als Anteile des Gesamthubes

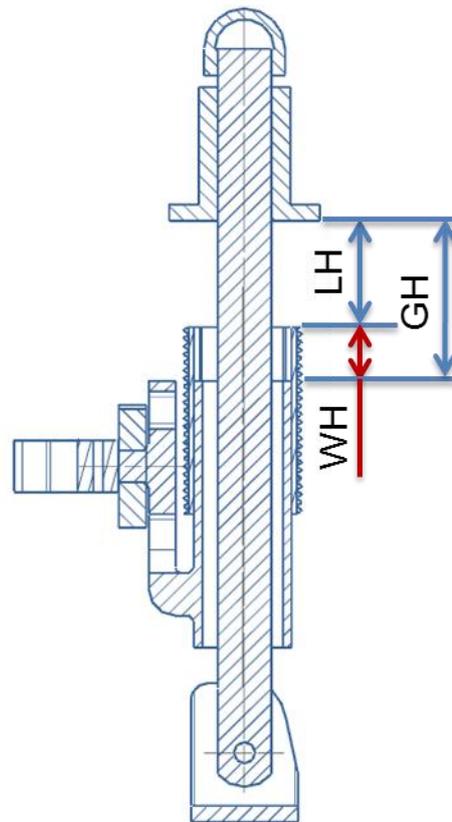


Abbildung 100: Schnitt durch Typ-6 Hinterbacken mit Hubdefinitionen

LH	... Leerhub	mm
WH	... Wirkhub	mm
GH	... Gesamthub	mm

Für den Gesamthub gilt:

$$GH = LH + WH \quad (44)$$

Dieser Zusammenhang kann in einem Diagramm dargestellt werden, das es ermöglicht die Abstimmungsmöglichkeiten einfach abzulesen (Abbildung 101).

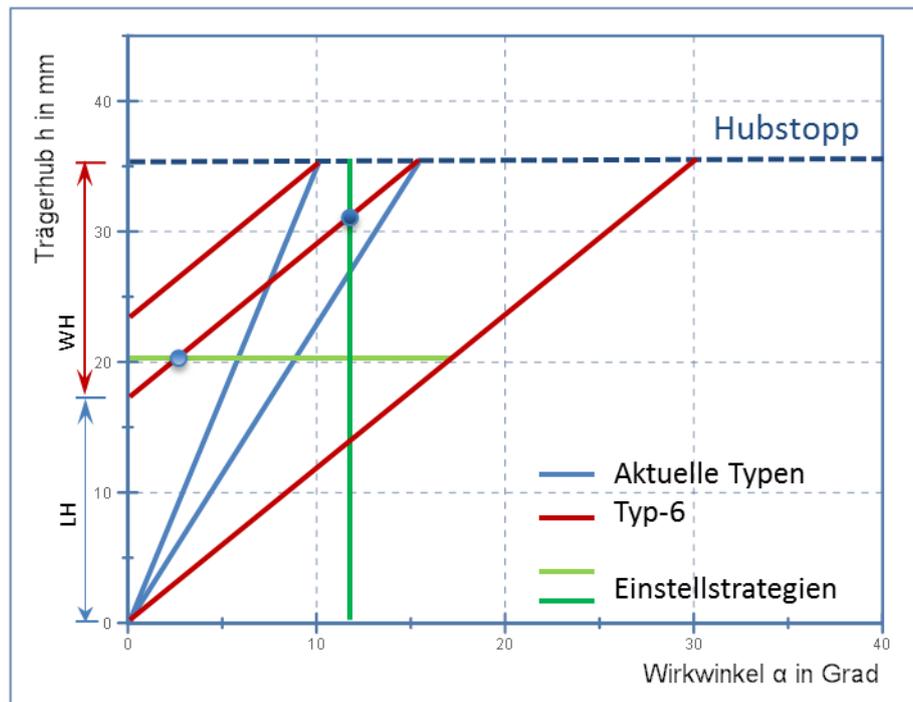


Abbildung 101: Typ-6 Abstimmungsmöglichkeiten

Eine konventionelle Abwälzlösung (im Diagramm blau dargestellt) muss, um bei gleichem Hub (horizontale dunkelblaue Hubstopplinie) verschiedene Wirkwinkel abbilden zu können, mit einer Änderung der Gesamtübersetzung komplett umgebaut bzw. umkonstruiert werden.

Der Typ-6 Hinterbacken gestaltet diese Anpassung wesentlich einfacher und in Grenzen stufenlos (wenn keine Rastung vorgesehen ist). Da der Gesamthub in Leer- und Wirkhub aufgetrennt ist, kann man durch unterschiedliche Aufteilungen verschiedene Wirkwinkel einstellen. Konstruktiv wird die Gesamtübersetzung so ausgelegt, dass sie der roten Linie durch den Koordinaten-Nullpunkt im Diagramm folgt.

Sollen die Wirkwinkel der beiden konventionellen Hinterbacken mit dem Typ-6 Hinterbacken dargestellt werden, genügt es die jeweiligen Leerhubanteile so zu wählen, dass die unteren Schnittpunkte der parallelen roten Linien mit der y-Achse die Startpunkte der Wirkungslinien (rot eingezeichnet) bilden.

Damit kann der Nutzer beliebige Einstellungen ohne Umbauarbeiten vornehmen, oder zwei Einstellstrategien verfolgen. Zum einen ist es leicht möglich bei konstantem Hub verschiedene Wirkwinkel zu springen (grün waagrecht) zum anderen lassen sich bei konstantem Wirkwinkel verschiedene Gesamthübe erzielen (grün senkrecht).

Um die Einstellbarkeit des Wirkwinkels zu strukturieren ist eine  $60^\circ$ -Rastung der Schneckenwellendrehung konstruktiv umgesetzt und die Auslegung der Gesamtübersetzung auf eine Abstufung der Wirkwinkelverstellung auf  $\pm 1^\circ$ -Schritte erfolgt.

### 5.3.5 Abschätzung des Strukturgewichtes

Das Gewicht der einzelnen Komponenten wird mit Hilfe des im CAx-Software Paket Siemens PLM NX 8.0 realisierten Modells ermittelt.

Bauteil	Gewicht in g
Adapter	3,92
Basis	16,43
Koppelstange	32,72
Schneckenrad 12	6,15
Schneckenwelle	19,13
Rad 21	1
Rad 22	4,97
Träger	25,8
Welle	4,23
Hubstopp	13,22
Kappe	2,78
<b>Gesamtgewicht</b>	<b>103,2</b>

Tabelle 7: Komponenten- und Gesamtgewicht des Typ-6 Hinterbackens

## 5.4 Beschreibung der Typ-7 Mechanik

Hierbei handelt es sich um einen völlig neuen Typ der auf der Verwendung eines Planetenrads beruht.

### 5.4.1 Teile und deren Bezeichnung

Die wesentlichen Bestandteile des Typ-7 Hinterbackens (siehe Abbildung 102) sind:

- Bindungsbasis
- Koppelstange in doppelter Ausführung
- Planetenträger
- Planetenrad in doppelter Ausführung
- Sonnenrad
- Hohlrad

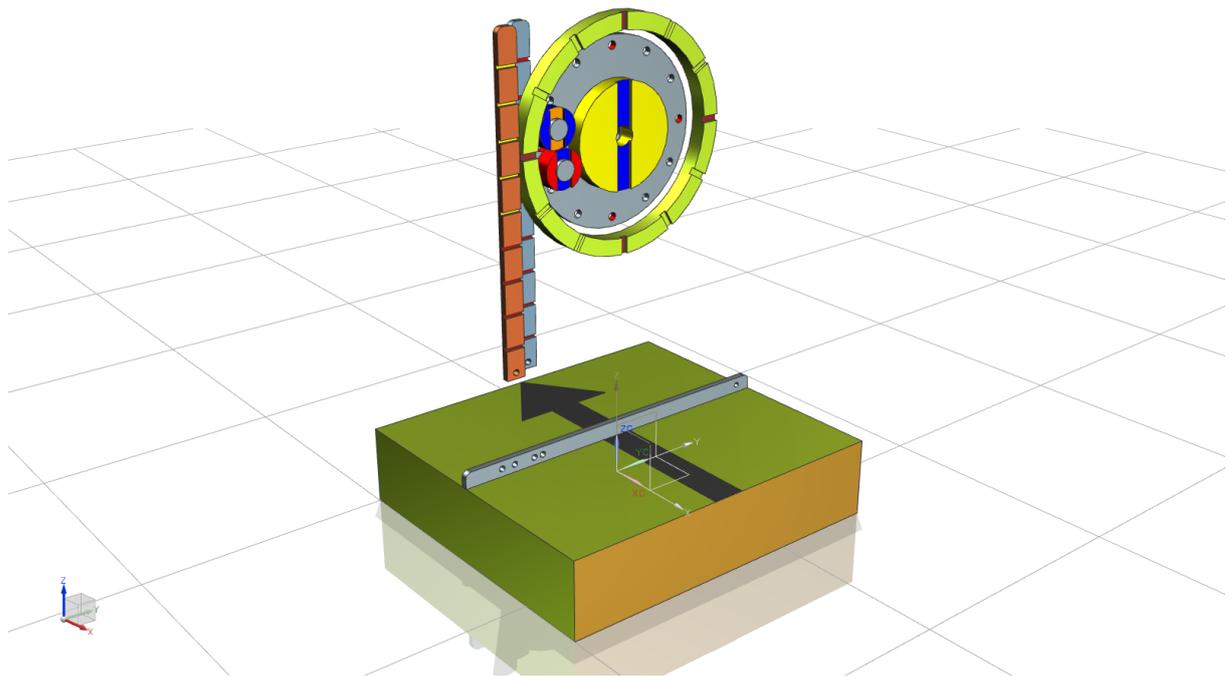


Abbildung 102: Typ-7 Hinterbacken

#### 5.4.2 Beschreibung der Funktionsweise

Aus der Überlegung das für die Sohlentorsion notwendige Drehmoment am Fersensporn des Schuhs durch einen am Schi abgespannten Hebel zu erzeugen, entstand der Typ-7 Hinterbacken. Nachteil der Hebellösung war die durch die Verdrehung des Fersensporns bei einer Anhebung sich verkürzende Länge des Hebels. Weitere Einschränkungen durch die Schibbreite und durch die Regulativbestimmung dass kein Ausrüstungsteil die Schibbreite überragen darf, hätten zu einem kurzen Hebel mit zu großem umgesetzten Winkel geführt. Besser – aber mit dem gleichen Geometrieproblem behaftet – wäre eine Umsetzung der Hub-/Torsion-Forderung mit einer am Schi abgespannten Scheibe gewesen. Diese Realisierungsvariante hätte den Vorteil einer gleichbleibenden Hebellänge geboten, da die Abwicklung des über dem Umfang der Scheibe montierten Haltebandes während der Hubbewegung mit konstantem Abstand zum Mittelpunkt der Scheibe abläuft. Die prinzipielle Funktionsweise ist in Kapitel 4.2.4, die messtechnische Absicherung der Funktionsweise ist in Kapitel 4.4.2.2 und deren geometrische Grundauslegung in Kapitel 2.2 nachzulesen.

Um die an die neue Situation angepassten geometrischen und kinematischen Randbedingungen umsetzen zu können ist eine Übersetzungsstufe zwischen der eingeleiteten und mit dem Hub des Fersensporns verknüpften Drehbewegung und der Drehbewegung des Fersensporns selbst nötig. In diesem speziellen Fall wird diese Übersetzung durch ein Planetengetriebe realisiert wobei eine Konfiguration mit zwei Planeten notwendig ist. Die Rotation wird über ein am Schi befestigtes Band über die Außenseite des Hohlrades während dessen Hubbewegung eingeleitet. Die Einkoppelstelle

der Gesamtmechanik am Fersensporn des Schuhs ist der Drehpunkt der Sonne, der Bindungsadapter stellt die lösbare Anbindung sicher.

Da der Außendurchmesser des Hohlrades mit 70 mm angenommen wurde, ist die mit der Hubbewegung verknüpfte Winkelbewegung, für den Fall eines mit dem Hohlrad drehblockiert verbundenen Planetenträgers zu groß.

Wird die Geometrie des Planetenträgers so ausgelegt, dass auch an dessen Umfang ein mit dem Schi verbundenes Band die Hubbewegung in eine Drehbewegung umsetzt, so ist es möglich, bei festgehaltenem Hohlrad eine, der oben definierten Rotationsrichtung der Sonne gegenläufige Rotation zu generieren. So kann mit der geeigneten Grundauslegung des Planetengetriebes die Abbildung eines gewünschten Verhältnis von Hub-zu Drehbewegung erzielt werden.

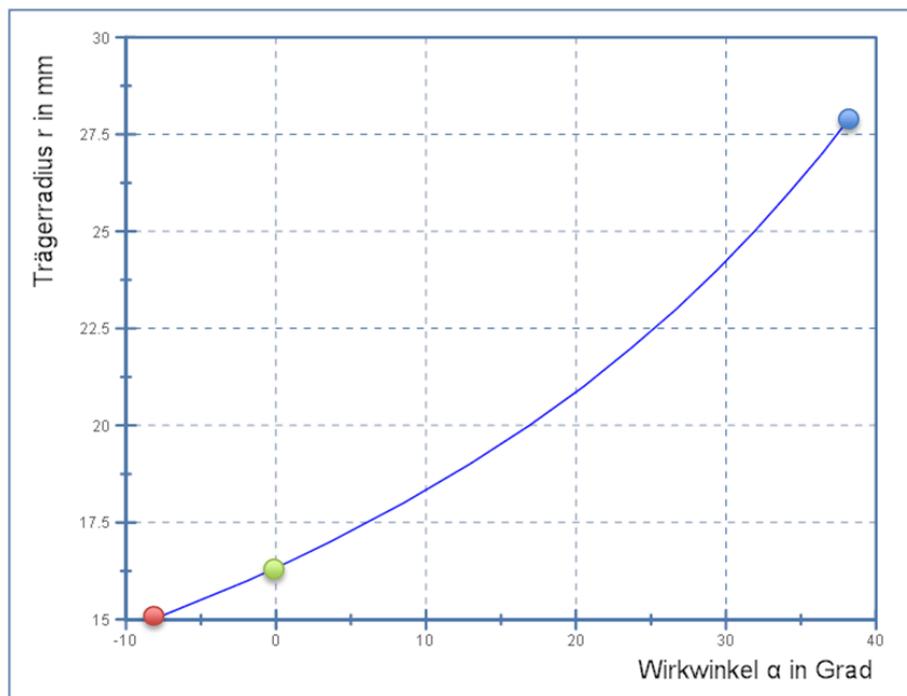


Abbildung 103: Typ-7 Abstimmungsmöglichkeiten

Folgend sind einige Übersetzungsverhältnisse des Hohlrad-Planetenträgerdurchmessers abgebildet. Bei konstantem Hohlradaußendurchmesser und einer Trägerradiusvariation zwischen 15 mm und 28 mm ist der Typ-7 Hinterbacken in der Lage den Wirkwinkel zwischen  $-10^\circ$  und  $38^\circ$  abzubilden (siehe Abbildung 103).

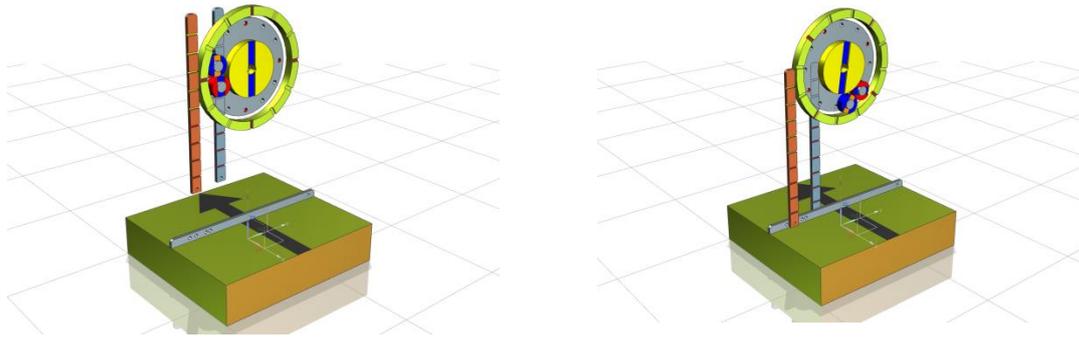


Abbildung 104: Typ-7 Abstimmung für “-10 Grad“ mit Trägerradius 15mm  
(in Abbildung 103 “roter“ Punkt)

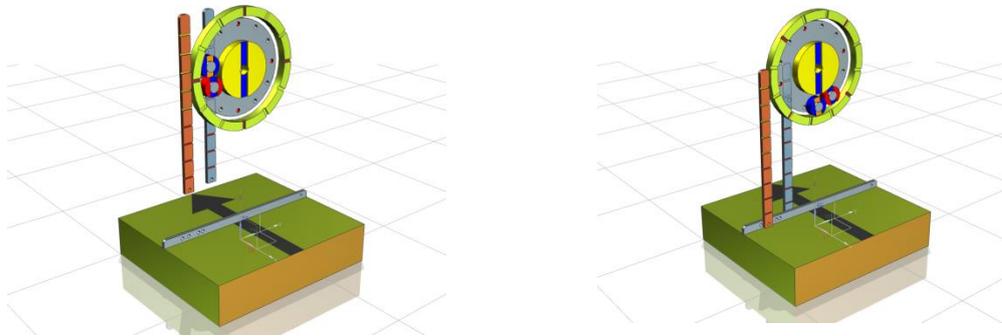


Abbildung 105: Typ-7 Abstimmung für “0 Grad“ mit Trägerradius 16,5mm  
(in Abbildung 103 “grüner“ Punkt)

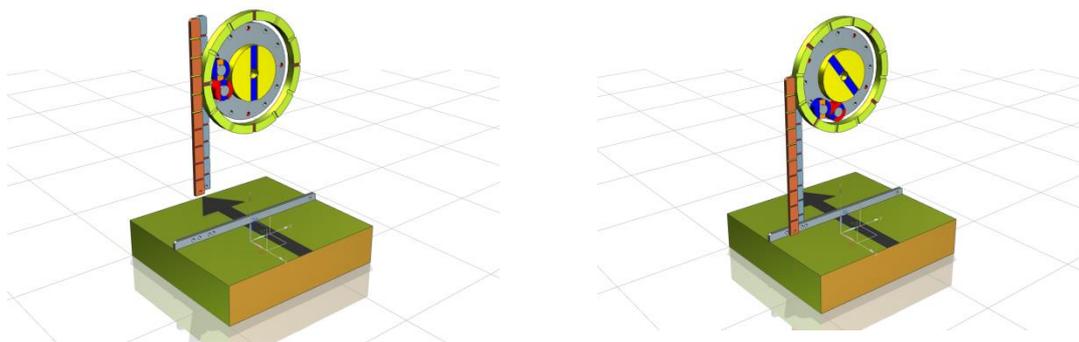


Abbildung 106: Typ-7 Abstimmung für “38 Grad“ mit Trägerradius 28 mm  
(in Abbildung 103 “blauer“ Punkt)

Zur Umsetzung der unabhängig einstellbaren Versatzgröße siehe Abbildung 93.

### 5.4.3 Abschätzung des Strukturgewichtes

Das Gewicht der einzelnen Komponenten wird mit Hilfe des im CAx-Software Paket Siemens PLM NX 8.0 realisierten Modells ermittelt.

Bauteil	Gewicht in g
Adapter	3,92
Basis	~15
Koppelstange grau	3,08
Koppelstange braun	3,08
Hohlrاد	13,51
Sonne	10,16
Planet 1	1,06
Planet 2	1,06
Träger	13,8
Deckel	~11
<b>Gesamtgewicht</b>	<b>69,5</b>

Tabelle 8: Komponenten- und Gesamtgewicht der Typ-7 Mechanik

## 5.5 Gegenüberstellung der Neuentwürfe und der aktuellen Bindungstypen

Ein abschließender, anhand der relevanten Zielvorgaben durchgeführter Vergleich des Typ-6 Hinterbackens als vielversprechende Variante und potenzieller Versuchsträger mit aktuellen Bindungstypen ergibt folgendes:

- **Gewichtvergleich**
  - Typ 2: 260g
  - Typ 3: 85g
  - Typ 6: 103g

Der Typ-3 Hinterbacken weist zwar das geringste Gewicht auf, angesichts der im Typ-6 Hinterbacken realisierten Zusatzfunktionen, ist die Gewichts Differenz von 18 g oder 21% als Startwert für zukünftige Weiterentwicklungen akzeptabel.

- **Möglichkeit einer Sicherheitsauslösung** ✓

Durch die zylindrische Auslegung der Koppelstange und der Zusammenfassung der Übersetzungsstufen auf einen Geräteträger der sich um die Koppelstange, in der relevanten Ebene frei drehen lässt, wird eine Querauslösung nicht behindert.

- **geringe Störempfindlichkeit auf Umweltbedingungen** ✓

Durch die offene Bauart, die auf ein Gehäuse verzichtet und keine sackartigen Konstruktionsmerkmale beinhaltet, ist die Gefahr der Blockierung von Funktionen durch Vereisung so gering wie möglich gehalten. Auch ist es für den Athleten leicht möglich, vor einem Sprung die Mechanik mit der Hand zu betätigen und augenscheinliche Fehlfunktionen zu beurteilen und zu beheben.

- **robuste Konstruktion** ✓

Die Konstruktionen wurden mit Hilfe von Berechnungsprogrammen auf ihre Festigkeit geprüft. Als Last dienten dabei aus dem Testbetrieb bekannte Werte. Zusätzlich wurden Vergleiche mit den im Wettbewerb bewährten Typen durchgeführt.

- **unabhängige Einstellbarkeit der Bindungsparameter** ✓

Wie in Kapitel 5.3 und 5.4 der Arbeit gezeigt, sind alle relevanten und geforderten Unabhängigkeiten in den Bindungstypen 6 und 7 umgesetzt.

- **kein Sondertyp für jeden Springer und jeden Parameter mehr nötig** ✓

Da der Gesamthub auch einen frei wählbaren Leerhubanteil beinhaltet, kann dieser auch dafür genutzt werden um den Hinterbacken auf verschiedene Standkeilhöhen abzustimmen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Da sich bei allen neu entwickelten Hinterbackenmechanismen die Bindungsparameter unabhängig darstellen lassen, deren Einstellbereich sich von null bis über die bis dato gemachten Erfahrungswerte erstreckt, ist es ein Leichtes deren Einflüsse auf den gesamten Sprungablauf heraus zu springen. Als weitere Besonderheit der technischen Umsetzung ist die Möglichkeit erwähnenswert, dass eine unabhängige Parametervariation möglich ist. Das erlaubt die Position der Schier zum Körper konstant zu halten und nur den Wirkwinkel zu ändern, oder umgekehrt den Wirkwinkel unverändert zu lassen und sich mit der Schiposition zu beschäftigen.

Auch interessiert der Einfluss des Parameterspiels auf den Anstellwinkel des Gesamtsystems und es ist brennend interessant sich in Trainingseinheiten einem neuen Grenzbereich zu nähern und die Einflüsse der neuen Mechanismen auf den Sprungablauf und umgekehrt den Eingriff der Athleten auf die Weiterentwicklung der Bindungskomponenten aus der ersten Reihe mit zu verfolgen.

Die Typen 4 und 5 sind als Varianten für die Athleten gedacht, die im Wettbewerb ein fixes, in der Saisonvorbereitung heraus gesprungenes Setup, bei größtmöglicher Simplizität der Konstruktion verwenden wollen.

Sollte sich das zur Umsetzung der erdachten Bindungskomponenten benötigte Umfeld als günstig erweisen, steht einer Realisierung der Mechanismen nichts im Wege.

Ein normaler Entwicklungszyklus, beginnend mit der Fertigung von Versuchsträgern gefolgt von Prüfstandläufen und Testsprüngen führt zu weiteren Verbesserungs- und Anpassungsschleifen.

Wenn das alles wie gewünscht funktioniert ist der nächste Schritt die Planung der Kleinserienfertigung.

## Literaturverzeichnis

- [1] Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau, Berlin: Springer, 1990, pp. B60, Tabelle 2.
- [2] K.Hoffmann, Eine Einführung in die Technik des Messens mit Dehnmessstreifen, Anwendung und Einbau von Wägezellen, Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, 2000.
- [3] Vishay, DMS Messtechnologie, München: Measurements Group Messtechnik, 1991.
- [4] „<http://www.hbm.com/de>,“ HBM, [Online]. Available: [http://www.hbm.com/de/menu/produkte/dehnmessstreifen-zubehoer/dehnmessstreifen-fuer-die-spannungsanalyse/ly-linear/?geoip\\_cn=10](http://www.hbm.com/de/menu/produkte/dehnmessstreifen-zubehoer/dehnmessstreifen-fuer-die-spannungsanalyse/ly-linear/?geoip_cn=10). [Zugriff am 25 04 2013].
- [5] HBM, *Datenblatt für Dehnmessstreifen 6/120 LY63*, 812055013.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schibindung und Schisprungbindung 19.Jahrhundert, rechts ein Vorläufer der Seilzugbindung (Norheim) .....	2
Abbildung 2: Optrakke-Stil mit angezogenen Beinen_1905.....	2
Abbildung 3: Mutig Namenlos vor 1900 .....	2
Abbildung 4: Holmenkollen - 1890 .....	3
Abbildung 5: Holmenkollen - 1940 – Erster Wettbewerb nach WW2 bekannt als “Fredsrennet“ 106000 Zuschauer.....	4
Abbildung 6: Sepp Bradl 1936 in Planica, SLO.....	4
Abbildung 7: Toni Nieminen 1994 in Planica,SLO .....	4
Abbildung 8: Los Angeles Coliseum Januar 1939.....	5
Abbildung 9: 1954: Soldier Field, Chicago (li) 1958: Empire Stadium, Vancouver (re).....	5
Abbildung 10: Trampolin in Nizny Novgorod, RUS (li) Springerzentrum Lahti, FIN (re).....	6
Abbildung 11: Schema einer Sprungschanze mit Legende .....	6
Abbildung 12: Birger Ruud, 1940 Kongsberg NOR (li) Mutig Namenlos (re).....	7
Abbildung 13: Toni Innauer, 1980 Lake Placid, USA.....	8
Abbildung 14: Jens Weisflog, 1991 Oberstdorf D .....	8
Abbildung 15: Toni Nieminen, 1992 Albertville F (li) Kazuyoshi Funaki, 1998 Nagano J (re).....	9
Abbildung 16: Jakub Janda, 2008 .....	9
Abbildung 17: Bison Bindungssystem von Ilkka Tuomikoski (Low Bind Oy) FIN .....	10
Abbildung 18: Typische V-Stil Schiführung bis 2010.....	10
Abbildung 19: V-Stil Schiführung 6.01.2010 (li) V-Stil Schiführung 3.01.2011 (re) .....	11
Abbildung 20: Typ-3 Hinterbacken mit den charakteristischen Parametern.....	12
Abbildung 21: Auslösetest mit WINAIR-Vorderbacken und Typ-3 Hinterbacken.....	13
Abbildung 22: Typ-3 Mechanik mit Fersenadapter auf Hubschlitten in Hubstartstellung.....	14
Abbildung 23: Standkeil – Schuh Geometrie mit dem durch die Hubbewegung generierten Abstand .....	15
Abbildung 24: Typ-1 Hinterbacken .....	18
Abbildung 25: Typ-2 Hinterbacken .....	21
Abbildung 26: Typ-2 Hinterbacken in Hubstopposition.....	23
Abbildung 27: Typ-3 Hinterbacken mit Flachstab.....	24
Abbildung 28: Realisierung des einstellbaren Querversatzes.....	25

---

Abbildung 29: Mögliche Belastungsspitzen beim Aufsprung .....	27
Abbildung 30: Schiverformung beim Aufsprung.....	27
Abbildung 31: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit langer Koppelstange und hartem Schuh (links gemessener Verlauf, rechts aufbereiteter Verlauf).....	29
Abbildung 32: Vergleich von Einlegesohle und Fussumriss .....	32
Abbildung 33: Position der Schnabelniete .....	32
Abbildung 34: Aufbau zur Messung des Aufwandes für die Sohlentorsion.....	33
Abbildung 35: Prüfstand Gesamtansicht.....	35
Abbildung 36: Schuhplattform des Prüfstandes.....	36
Abbildung 37: Hinterbackenchassis des Prüfstandes .....	37
Abbildung 38: Prüfstand und damit gemessene Kräfte .....	37
Abbildung 39: Drehpunktaxiale Seilführung .....	38
Abbildung 40: Prüfstand und Messsystem.....	39
Abbildung 41: Messanordnung zur Längen- bzw. Winkelmessung.....	40
Abbildung 42: Messaufbau mit Messplatz und Werkbank .....	41
Abbildung 43: Bedienoberfläche des Messcomputers.....	42
Abbildung 44: Betätigungskraft über Winkel bei Typ 2 mit "hartem" Schuh - 10 Zyklen .....	44
Abbildung 45: Betätigungskraft über Winkel / Sohlenbiegung mit "weichem" Schuh.....	46
Abbildung 46: Betätigungskraft über Winkel / Sohlenbiegung mit "mittlerem" Schuh .....	46
Abbildung 47: Betätigungskraft über Winkel / Sohlenbiegung mit "hartem" Schuh.....	47
Abbildung 48: Betätigungskraft über Winkel für die Sohlentorsion mit "weichem" Schuh.....	48
Abbildung 49: Betätigungskraft über Winkel für die Sohlentorsion mit "mittlerem" Schuh .....	48
Abbildung 50: Betätigungskraft über Winkel für die Sohlentorsion mit "hartem" Schuh .....	49
Abbildung 51: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-1 mit "weichem" Schuh .....	50
Abbildung 52: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-1 mit "mittlerem" Schuh.....	51
Abbildung 53: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-1 mit "hartem" Schuh.....	51
Abbildung 54: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-2 mit "weichem" Schuh .....	52
Abbildung 55: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-2 mit "mittlerem" Schuh.....	52
Abbildung 56: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-2 mit "hartem" Schuh.....	53
Abbildung 57: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "kurzer" Koppelstange und "weichem" Schuh.....	53

Abbildung 58: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "kurzer" Koppelstange und "mittlerem" Schuh .....	54
Abbildung 59: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "kurzer" Koppelstange und "hartem" Schuh .....	54
Abbildung 60: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "langer" Koppelstange und "weichem" Schuh .....	55
Abbildung 61: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "langer" Koppelstange und "mittlerem" Schuh .....	55
Abbildung 62: Betätigungskraft über Winkel bei Typ-3 mit "langer" Koppelstange und "hartem" Schuh .....	56
Abbildung 63: Springer im Flug (Gesamtsystem).....	59
Abbildung 64: Aus dem Gesamtsystem freigeschnittener Schi.....	59
Abbildung 65: Wirksame Stirnfläche (Schattenfläche) in Anströmrichtung .....	60
Abbildung 66: Koppelstäbe mit Typ-6/120 LY63 DMS und versorgter Applikationsstelle .....	65
Abbildung 67: Betätigungskraft über Messspannung für Koppelstab links .....	66
Abbildung 68: Betätigungskraft über Messspannung für Koppelstab rechts.....	67
Abbildung 69: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-0, "weicher" Schuh.....	69
Abbildung 70: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-0, "mittlerer" Schuh ....	70
Abbildung 71: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-0, "harter" Schuh.....	70
Abbildung 72: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-1, "weicher" Schuh.....	71
Abbildung 73: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-1, "mittlerer" Schuh ....	71
Abbildung 74: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-1, "harter" Schuh.....	72
Abbildung 75: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-2, "weicher" Schuh.....	72
Abbildung 76: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-2, "mittlerer" Schuh ....	73
Abbildung 77: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-2, "harter" Schuh.....	73
Abbildung 78: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel mit Typ-3, "kurze" Koppelstange, "weicher" Schuh.....	74
Abbildung 79: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-3, "kurze" Koppelstange "mittlerer" Schuh .....	74
Abbildung 80: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-3, "kurze" Koppelstange, "harter" Schuh.....	75
Abbildung 81: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel mit Typ-3, "lange" Koppelstange, "weicher" Schuh.....	75

Abbildung 82: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-3, "lange" Koppelstange, "mittlerer" Schuh.....	76
Abbildung 83: Regressionsgerade für Betätigungskraft über Winkel für Typ-3, "lange" Koppelstange, "harter" Schuh .....	76
Abbildung 84: Regressionsgeraden für Betätigungskraft über Winkel für alle Bindungstypen und "weichem" Schuh.....	78
Abbildung 85: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für alle Bindungstypen und "mittlerem" Schuh.....	78
Abbildung 86: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für alle Bindungstypen und "hartem" Schuh .....	79
Abbildung 87: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für den Typ-1 und alle Schuhtypen .....	80
Abbildung 88: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für den Typ-2 und alle Schuhtypen .....	80
Abbildung 89: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für den Typ-3 kurz und alle Schuhtypen .....	81
Abbildung 90: Regressionsgeraden: Betätigungskraft über Winkel für den Typ-3 lang und alle Schuhtypen .....	81
Abbildung 91: Typ-4 Hinterbacken mit Fersenadapter .....	84
Abbildung 92: Prinzipskizze der Typ-4 Mechanik.....	85
Abbildung 93: Prinzip der Umsetzung eines unabhängigen Querversatzes.....	88
Abbildung 94: Typ-5 Hinterbacken.....	89
Abbildung 95: Typ-5 Hinterbacken: Kombinationstirnrad 12/21 mit 15° Gangreserve .....	90
Abbildung 96: Typ-5 Hinterbacken: Winkel inkl. Gangreserven .....	91
Abbildung 97: Typ-6 Hinterbacken.....	92
Abbildung 98: Typ-6 Hinterbackenkomponenten: Schneckenwelle mit Schnittdetail .....	93
Abbildung 99: Typ-6 Hinterbackendetail: Schneckenwelle mit Rastungsnuten (gelb) .....	96
Abbildung 100: Schnitt durch Typ-6 Hinterbacken mit Hubdefinitionen.....	100
Abbildung 101: Typ-6 Abstimmungsmöglichkeiten.....	101
Abbildung 102: Typ-7 Hinterbacken.....	103
Abbildung 103: Typ-7 Abstimmungsmöglichkeiten.....	104
Abbildung 104: Typ-7 Abstimmung für "-10 Grad" mit Trägerradius 15mm.....	105
Abbildung 105: Typ-7 Abstimmung für "0 Grad" mit Trägerradius 16,5mm .....	105
Abbildung 106: Typ-7 Abstimmung für "38 Grad" mit Trägerradius 28 mm.....	105



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erforderliche Betätigungskraft im Vergleich bei verschiedenen Schuhtypen .....	47
Tabelle 2: Erforderliche Querkraft im Vergleich bei verschiedenen Schuhtypen .....	49
Tabelle 3: Typ-Vergleich bei 5°Wirkwinkel und Reihung beispielhaft für den “mittleren“ Schuh, erweitert durch die Betätigungskraft bei 0,5° und 9° Wirkwinkel .....	77
Tabelle 4: Bewertungskriterien zum Typ-Vergleich aktueller Strukturen .....	82
Tabelle 5: Komponenten- und Gesamtgewicht des Typ-4 Hinterbackens.....	88
Tabelle 6: Komponenten- und Gesamtgewicht des Typ-5 Hinterbackens.....	91
Tabelle 7: Komponenten- und Gesamtgewicht des Typ-6 Hinterbackens.....	102
Tabelle 8: Komponenten- und Gesamtgewicht der Typ-7 Mechanik .....	106

## Abkürzungsverzeichnis

	Benennung	Einheit
s	... Weg	m
t	... Zeit	s
a	... Beschleunigung	m/s <sup>2</sup>
h	... Hubhöhe	mm
$\alpha$	... Winkel	°
r	... Radius	mm
m	... Modul	-
p	... Steigung	mm
z	... Zähnezahl	-
$F_{A_v}$	... Auftriebskraft, Kraft senkrecht zur Anströmrichtung am Vorderschi	N
$F_{W_v}$	... Widerstandskraft, Kraft in Anströmrichtung am Vorderschi	N
$F_{A_h}$	... Auftriebskraft, Kraft senkrecht zur Anströmrichtung am Hinterschi	N
$F_{W_h}$	... Widerstandskraft, Kraft in Anströmrichtung am Hinterschi	N
F	Betätigungskraft, Zugkraft am Hubbegrenzungsband	N
$A_{A_v}$	Fläche in Auftriebsrichtung des Vorderschies	m <sup>2</sup>
$A_{W_v}$	Fläche in Widerstandsrichtung des Vorderschies	m <sup>2</sup>
$A_{A_h}$	Fläche in Auftriebsrichtung des Hinterschies	m <sup>2</sup>
$A_{W_h}$	Fläche in Widerstandsrichtung des Hinterschies	m <sup>2</sup>
cA	... Luftwiderstandsbeiwert senkrecht zur Anströmrichtung	-
cW	... Luftwiderstandsbeiwert in Anströmrichtung	-
$\rho$	... Dichte des strömenden Mediums	kg/m <sup>3</sup>
A	... wirksame Stirnfläche, Schattenfläche	m <sup>2</sup>

$b_{\text{SCH}}$	... Schibbreite	m
$b$	... wirksame Schibbreite	
$h$	... Hinterschilänge	m
$v$	... Vorderschilänge	m
$w$	... Anströmgeschwindigkeit	$\text{m/s}^2$
$h_{\text{FA}}$	... Abstand am Hinterschi der Auftriebskraft	m
$h_{\text{FW}}$	... Abstand am Hinterschi der Widerstandskraft	m
$v_{\text{FA}}$	... Abstand am Vorderschi der Auftriebskraft	m
$v_{\text{FW}}$	... Abstand am Vorderschi der Widerstandskraft	m
$l_{\text{F}}$	... Abstand der Betätigungskraft, Zugkraft am Hubbegrenzungsband	m
$\beta$	... Anströmwinkel	°
$\gamma$	... Winkel der Querachse des Schies zur Waagrechten	°
$\tau$	... Schubspannung	$\text{N/mm}^2$
$\gamma$	... Verformung des Oberflächenelementes	-
$G$	... Schubmodul, es gilt: $E = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G$	$\text{N/mm}^2$
$\nu$	... Querkontraktionszahl	-
$M_{\text{t}}$	... Drehmoment	$\text{Nmm}$
$I_{\text{t}}$	... Flächenträgheitsmoment der Torsion	$\text{mm}^4$
$l$	... Stablänge	mm
$e$	... Abstand zur neutralen Faser	mm
$\phi$	... Verdrehwinkel	rad
$c_{\text{t}}$	... Federkonstante der Torsion	$\text{Nmm/rad}$
$d_{12}$	... Nenndurchmesser Stirnrad 12	mm
$d_{21}$	... Nenndurchmesser Stirnrad 21	mm
$d_{22}$	... Nenndurchmesser Stirnrad 22	mm
$e$	... Achsabstand Übersetzungsstufe 2	mm
$\alpha$	... Wirkwinkel	Grad
$b$	... Bogenlänge	mm

---

$d_{k11}$	...	Kopfkreisdurchmesser Schneckenwelle	mm
$d_{11}$	...	Nenndurchmesser Schneckenwelle	mm
$d_{21}$	...	Nenndurchmesser Schneckenrad	mm
$d_{12}$	...	Nenndurchmesser Stirnrad 1	mm
$d_{22}$	...	Nenndurchmesser Stirnrad 2	mm
$a_1$	...	Achsabstand Übersetzungsstufe 1	mm
$a_2$	...	Achsabstand Übersetzungsstufe 2	mm
$d_{1131}$	...	Teilkreisdurchmesser Schneckenwelle/ $z=31$	mm
$d_{1231}$	...	Teilkreisdurchmesser Schneckenrad/ $z=31$	mm
$c$	...	Anzahl der Rastungen	-
$e$	...	Winkel zwischen zwei Rastungen	Grad
$\alpha$	...	Wirkwinkel	Grad
$b$	...	Bogenlänge	mm
LH	...	Leerhub	mm
WH	...	Wirkhub	mm
GH	...	Gesamthub	mm

## **Anhang**

**Anhang 1: Titel des Anhangs 1 ..... 120**

**Anhang 2: Titel des Anhangs 2..... 121**

## **Anhang 1:** Titel des Anhangs 1

Text bzw. Grafik

## **Anhang 2:** Titel des Anhangs 2

Text bzw. Grafik