

UNIVERSITÄT FREIBURG, SCHWEIZ
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT
DEPARTEMENT FÜR MEDIZIN

In Zusammenarbeit mit der
EIDGENÖSSISCHEN HOCHSCHULE FÜR SPORT MAGGLINGEN

*Welche Imitationssprünge auf dem Messwagen sind im
Kraft-Zeit-Verlauf denen auf der Skisprungschanze am ähnlichsten?*

Abschlussarbeit zur Erlangung des Masters in
Bewegungs- und Sportwissenschaften
Option Unterricht

Referent: Dr. Urs MÄDER
Betreuer-In: Dr. Silvio LORENZETTI, Dr. Klaus HUEBNER

*Sabrina Windmüller
Sargans, April, 2016*

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Danksagung.....	3
Zusammenfassung.....	4
Abkürzungen.....	5
1 Einleitung.....	6
1.1 Einführung in das Thema Skisprung.....	6
1.2 Hintergrund und Ausgangslage.....	8
1.2.1. Skisprungphasen.....	8
1.2.2. Anfahrtsgeschwindigkeit.....	8
1.2.3. Absprung.....	10
1.2.4. Absprungbewegung.....	11
1.2.5. Imitationen als Vorbereitung.....	12
2 Ziel und konkrete Fragestellung.....	13
3 Methoden.....	14
3.1 Untersuchungsdesign.....	14
3.2 Untersuchungsgruppe.....	15
3.3 Untersuchungsinstrumente.....	16
3.3.1. Dynamometrischer Messplatz HS106 Oberstdorf.....	17
3.3.2. Instrumentierter Imitationswagen.....	18
3.3.3. Squat Jump.....	19
3.3.4. Videokamera.....	19
3.4 Versuchsablauf.....	20
3.4.1. Imitationssprünge und Squat Jump.....	20
3.4.2. Schanzensprünge.....	20
3.5 Untersuchungsauswertung.....	21
3.6 Berechnungsgrundlagen.....	22
4 Resultate.....	24
5 Diskussion.....	30
6 Schlussfolgerung.....	33
Abbildungsverzeichnis.....	34
Tabellenverzeichnis.....	35
Literaturverzeichnis.....	36
Anhang A: Athleten Information.....	38
Anhang B: Einverständniserklärung.....	40
Anhang C: Hinweis Datenverarbeitung IAT.....	41
Anhang D: Häufigkeiten.....	43
Anhang E: Korrelation Grafik.....	78
Anhang F: Korrelation SPSS.....	94
Anhang G RMSE Tabelle.....	98
Persönliche Erklärung- und Urheberrechtserklärung.....	101

Danksagung

An dieser Stelle geht mein Dank an alle, die in irgendeiner Form zum Gelingen dieser Masterarbeit beigetragen und mich bei dieser Arbeit unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank geht an meinen Referenten Dr. Urs Mäder, die Betreuer Dr. Silvio Lorenzetti und Dr. Klaus Hübner für das entgegengebrachte Vertrauen und die Betreuung, sowie Fabian Ammann von der wissenschaftlichen Seite von Swiss Ski für die grosse Unterstützung durch die ich zu diesen Resultaten gelangt bin.

Ich danke Stefan Plüss und Florian Schellenberger für ihren Einsatz in Oberstdorf und ihre Unterstützung bei den Auswertungen und die Beantwortung der vielen Fragen, die während den Auswertungen aufgetaucht sind. Ebenfalls geht ein Dank an die Praktikantin Michelle Stoffer, welche mich bei den Auswertungen unterstützte.

Weiter möchte ich mich ganz herzlich bei allen Probanden und Trainern für ihren Einsatz und die Geduld während den Messungen in Oberstdorf bedanken.

Ebenfalls danken möchte ich dem IAT Team und dem Team von Swiss Timing, die den Weg nach Oberstdorf ebenfalls auf sich nahmen und sich um die Messungen an der Schanze kümmerten.

Ein weiteres Dankeschön geht auch an Stefan Diaz der sich mit dem Durchlesen und Korrigieren der Grammatik und Struktur befasst hat.

Zusammenfassung

Hintergrund

Im Skisprung bewirkt eine Erhöhung der Absprunggeschwindigkeit um 0.1 m/s eine längere Sprungweite von 1.2 m (Müller, 2009). So werden Imitationssprünge im Athletiktraining und zur unmittelbaren Vorbereitung von Sprüngen auf der Schanze verwendet, um eine grössere Anzahl Trainingssprünge zu erreichen. Eine Vielzahl von Varianten wird in der Praxis vom Boden oder von Imitationswagen ausgeführt. Die Bewegungsausführung der Imitationssprünge soll dabei der Schanzentechnik möglichst nahe kommen. Ziel dieser Arbeit ist, herauszufinden, welche Form der Imitationssprünge, am ehesten dem Kraft- Zeitverlauf der Schanzensprünge entsprechen.

Methode

Zehn Skispringer absolvierten fünf Sprünge von der Schanze (davon die letzten beiden als Wettkampf) aus, sechs Varianten von Imitationssprüngen von einem instrumentierten Imitationswagen mit je drei Versuchen und drei Squat Jump mit Hallenschuhen auf einer Kraftmessplatte. Die sechs Varianten gliederten sich in drei Imitationssprünge statisch horizontal, sowie rollend auf einer horizontalen und einer mit 4° geneigten Rampe (jeweils eine Serie mit Hallenschuhen sowie eine mit der kompletten Sprung Ausrüstung). Bei allen Sprüngen wurden die Kraft-Zeit-Verläufe durch Kraftmessplatten gemessen (dynamometrischer Messplatz der HS106 Schanze in Oberstdorf, instrumentierter Imitationswagen (Plüss, 2014)). Bei allen Sprungarten wurden durch Video Knievarus/ -valgus Indizes berechnet.

Resultate

Statistisch wurden Korrelationen berechnet und RMSE Analysen erstellt.

Der Korrelationsvergleich zeigt, dass dynamische Imitationssprünge am ehesten im Kraft-Zeit-Verlauf den Sprüngen auf der Schanze entsprechen. Überraschend weist auch der Squat Jump eine sehr gute Korrelation zur Sprungform auf der Schanze auf. Die Resultate der Berechnung des Δd^* Knievarus/-valgus Index zeigt keine verifizierbare Ähnlichkeit zu der Berechnung der Winkel bei den Schanzensprüngen.

Schlussfolgerung

Damit möglichst nahe am Kraft-Zeit-Verlauf trainiert und hierdurch die beste Wirkung auf die Sprungweite erzielt werden kann, ist es bei der Vorbereitung von Vorteil Imitationssprünge dynamisch zu absolvieren. Die Verwendung von Hallen- oder Sprungschuhen scheint eine untergeordnete Rolle zu spielen. Squat Jumps mit Hallenschuhen eignen sich gemäss Resultat auch gut zur Vorbereitung für ein Schanzen Technik Training.

Abkürzungen

CoM	Körperschwerpunkt
fl	flach rollend
Fmax	maximal Kraft
GRF	Bodenreaktionskraft
H	Hallenschuhe
IAT	Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig
kg	Kilogramm
KSP	Körperschwerpunkt
m/s	Meter pro Sekunde
MW	Mittelwert
N	Newton
ne	4° Neigung
pmax	Maximaler Impuls
re/li	Rechts/Links
RMSE	(Root-mean-squared error)
S	Skisprung Schuhe
s	Sekunden
SD	Standartabweichung
st	Statisch
t	Zeit
vmax	Maximale Absprunggeschwindigkeit
W	Watt
%	Prozent
Δd^*	Knievarus/-valgus Index

1 Einleitung

1.1 Einführung in das Thema Skisprung

Skispringen ist eine hoch komplexe Sportart, bei der Fehler beim Absprung in den nachfolgenden Sprungphasen nicht mehr kompensiert werden können. So entscheiden die 0,3 Sekunden des Absprungs über Sieg oder Niederlage. Ein Athlet hat zwar nach dem ersten Sprung eine zweite Chance im Final-Durchgang, bei der er seine Platzierung verbessern kann, um eine Spitzenplatzierung zu erreichen sind allerdings zwei Top-Sprünge notwendig.

Technik, Schnellkraft und kognitive Fähigkeiten können als Schlüsselfaktoren und Basis für den Erfolg in dieser Sportart gesehen werden. Galt früher: "je leichter, umso besser" stehen heute dank der Einführung der Body-Mass-Index-Regel (FIS SKI, 2013), welche die maximale Skilänge in Relation zum BMI festlegt, mehr denn je die Athletik, die kognitiven Fähigkeiten, die körperliche Konstitution, sowie die Abstimmung von Athlet und Material im Vordergrund. Durch diese Einführung des BMI ist die Entwicklung der Kraft und der Schnelligkeit in Verbindung mit der Beweglichkeit ein zentraler Punkt im Anforderungsprofil eines Skispringers geworden. Demzufolge sind eine ausgeprägte Athletik sowie eine saubere Sprungtechnik die Grundlagen für den Erfolg (Schmidt, 2011). Hinzu kommen die zwei Leistungsbestimmenden Faktoren der Absprungrichtung und der Absprunggeschwindigkeit am Schanzenzisch (Müller & Schwameder, 2003).

Skispringen erfordert unter anderem, neben den oben genannten Faktoren, sehr hohe koordinative Fähig- und Fertigkeiten. Wenn der Athlet sich beim Absprung mit 90km/h aufrichtet verändert sich der Luftwiderstand. Trotz dieses starken äusseren Einflusses muss er das Gleichgewicht halten, die Kraft einsetzen und den Körperschwerpunkt sauber beschleunigen. Auf der Schanze werden pro Tag zwischen 10 und 16 Sprünge absolviert. Dies ist für ein effizientes Training der obengenannten Punkte zu wenig. Zudem weiss man, dass 10'000 Übungsstunden erforderlich sind, um die Kompetenzen eines Experten zu erarbeiten. Aus diesem Grund absolvieren die Athleten mehrere Imitationsprünge in einer Trainingseinheit. Die rollenden Sprünge kommen der Absprungbewegung sowie dem -timing auf der Schanze sehr nahe (Müller S., 2012). Die Imitationsprünge sollten eine möglichst hohe Absprungintensität erreichen, um möglichst nahe an die reale Situation an der Schanze zu kommen (Müller S., 2012).

Mit dem instrumentierten Imitationswagen (Plüss, 2014) ist es möglich dem Athleten bei rollenden Imitationen ein Sofortfeedback über den Kraft-Zeitverlauf seines Sprunges zu geben. Zusätzlich fließen Videoaufnahmen und das haptische Feedback der Trainer beim Fangen der Athleten in die Beurteilung der Imitationsqualität ein.

Seit vielen Jahren sind verschiedene Schanzen mit Kraftmessplatten im Absprungbereich ausgerüstet, wodurch es möglich ist die Kraft-Zeitverläufe sowie weitere biomechanische Parameter bei Schanzensprüngen zu erfassen.

Auf der Schanze von Hinterzarten wurden beispielsweise sieben Messplatten im Bereich des Absprungs (Vodicar & Jost, 2010) sowie vier Kraftmessplatten integriert. Sie messen die Bodenreaktionskraft und geben Aufschluss über die Kräfte während des Absprungs. Anschließend kann man auf die Labordaten zurückgreifen und sie mit den Daten der Schanze vergleichen. Es gab jedoch Probleme bei der Kalibrierung der Kraftmessplatte, sodass die Resultate noch nicht reliabel sind.

1.2 Hintergrund und Ausgangslage

1.2.1. Skisprungphasen

Der Bewegungsablauf eines Skisprungs wird von verschiedenen Autoren in unterschiedliche Phasen eingeteilt. So wird er von (Schwameder, 2008) (Müller & Schwameder, 2003) Arndt et al. (1995) (Virmavirta, et al., 2005) in die sechs Phasen Anlauf, Absprung, Übergangsphase, erste Flugphase, stabile Flugphase und Landung, aufgeteilt. Autoren wie (Klauck, 1989) und (M. Dzelalija, N. Rausavljević, B. Jost, 2003) nennen hingegen nur die vier Phasen Anfahrt, Absprung, Flugphase und Landung. Auf dem Technikleitbild von Swiss Ski hingegen ist der Bewegungsablauf eines Skisprungs in 12 verschiedene Phasen unterteilt. (siehe Abbildung 1).

Der Einfluss dieser Phasen auf die Skisprungleistung ist unterschiedlich und z.T. auch kontrovers diskutiert. In den nachfolgenden Kapiteln werden die für das Projekt wichtigen Phasen und deren Einfluss auf die Leistung dargestellt.

1.2.2. Anfahrtsgeschwindigkeit

Im Anlauf versucht der Athlet eine möglichst aerodynamische Position einzunehmen, um die Beschleunigung zu maximieren und den Luftwiderstand zu minimieren. Die Reduzierung des Luftwiderstandes ist eine Frage der Körperkonstruktion und Körperhaltung jedes Athleten, sowie des optimalen Sprunganzuges. Die Eigenschaften der Sprunganzüge werden im Windkanal gemessen (Müller W., 2009). Weiter beschreibt Müller (2009) (Müller W., 2009), dass die biomechanische Geometrie, bestimmt durch Füße, Beine und Hüfte der einzelnen Athleten, einen Einfluss auf die Geschwindigkeit hat. Auf die Generierung einer optimalen Anlaufgeschwindigkeit haben die Sprungschuhe und die Bindung einen wesentlichen Einfluss, da sie die Reibung zwischen Ski und Spur minimieren. Ebenfalls wurde gezeigt, dass eine Erhöhung der Anlaufgeschwindigkeit um 0.1 m/s (0.36 km/h) einen Einfluss auf die Länge des Sprungs hat, und seine Weite um 1,6 Meter steigert (Müller S., 2012) (Müller W., 2009).

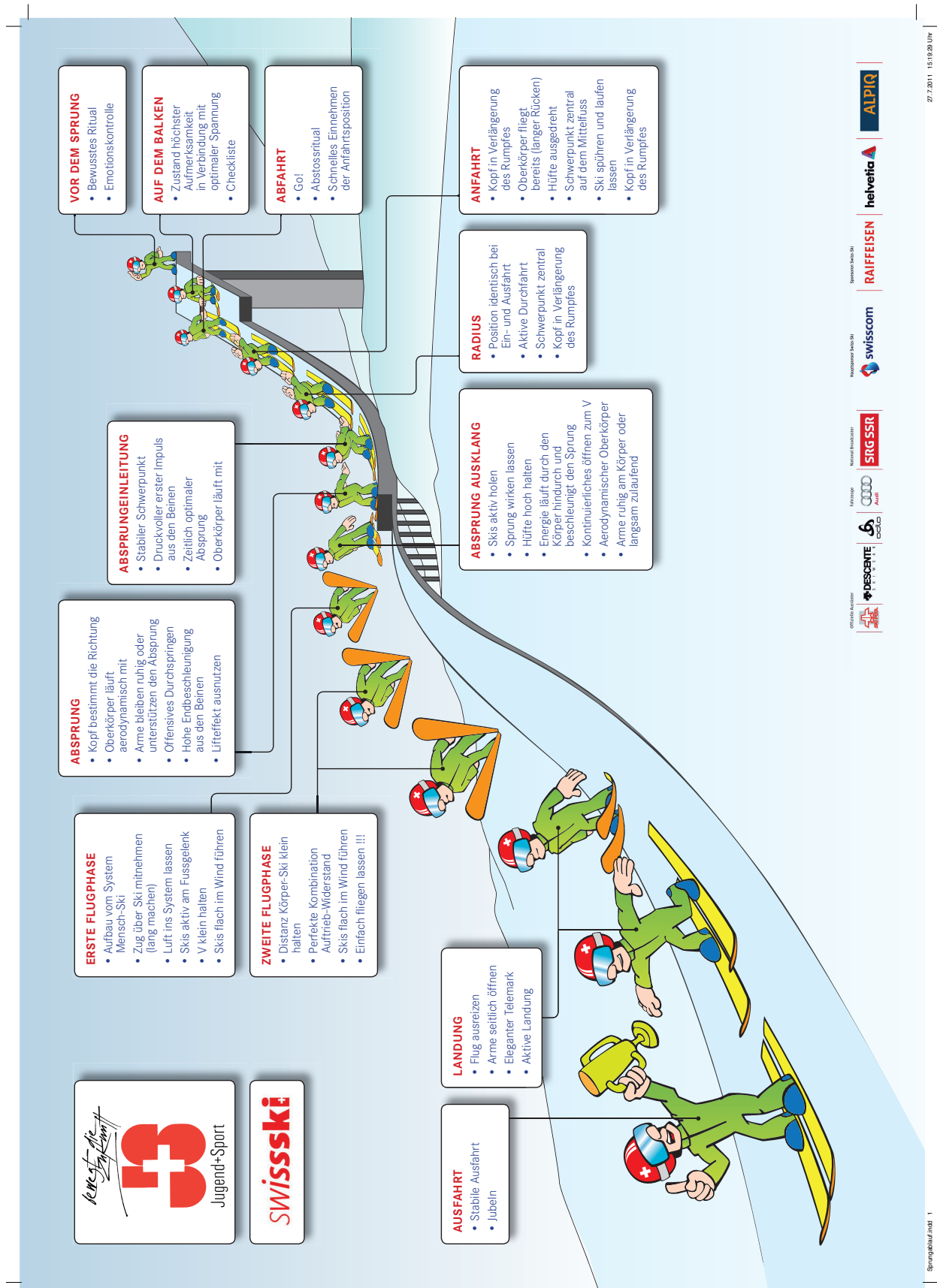


Abb. 1: Technikleitbild (Swiss Ski 2011)

1.2.3. Absprung

Es herrscht Konsens darüber, dass der Absprung die für die Skisprungleistung wichtigste und zugleich schwierigste Phase des Sprungs ist. Der Athlet hat nur 0.3 Sekunden Zeit um bei einer Geschwindigkeit von bis zu 90 km/h, beim Skifliegen bis zu 100 km/h, einen technisch sauberen Absprung aus zu führen. (K. Dickwach H. Wagner, 2004) (Schwameder, 2008) Weiter soll eine möglichst hohe vertikale Beschleunigung des Körperschwerpunkts (KSP) erzielt und so ein vorwärts gerichteter Drehimpuls erzeugt werden (Müller S., 2012) (Müller W., 2009) (Schwameder, 2008). Dabei soll der Absprung so nahe wie möglich an der Schanzentischkante beendet sein. Ein zu früher oder zu später Absprung wirkt sich negativ auf die Sprungweite aus. Bei einem zu frühen Absprung kann sich der Ski nicht entlasten, was heisst, dass der Drehimpuls des Athleten weiter geht, jedoch die Unterstützung des Skis nicht ausgenutzt werden kann. Bei einem zu späten Absprung kann keine explosive Kniestreckung erzielt werden, wodurch keine vertikale Kraft, zur Gewinnung von Höhe, generiert wird (Müller W., 2009).

Desgleichen weist (Müller S., 2012) (Müller W., 2009) darauf hin, dass eine Erhöhung der Absprunggeschwindigkeit um 0.1 m/s eine um 1.6 Meter längere Sprungweite ausmachen kann. Ebenso zeigt er auf, dass eine hohe Sprungkraft, das heisst eine minimale Absprunggeschwindigkeit von 2.5 m/s, benötigt wird um einen guten Sprung zu vollstrecken. Weiter weist er darauf hin, dass eine weitere Steigerung des Kraftimpulses einen hohen Schulungsaufwand bedeutet und dieses Ziel möglicherweise nicht von jedem Athleten erreicht werden kann.

1.2.4. Absprungbewegung

Wie bereits erwähnt, ist Skispringen eine sehr komplexe Sportart mit koordinativen hohen Anforderungen an die Athleten, was eine technisch gute Ausführung erschwert. Um diesen technischen Anforderungen gerecht zu werden und im Wettkampf erfolgreich zu sein, muss die Absprungbewegung in den Vorbereitungen objektiv kontrolliert und korrigiert werden können.

Durch eine biomechanische Analyse der Absprungbewegung sollen kinematische Parameter ersichtlich werden, welche in der Vorbereitung mit einbezogen werden und so geübt werden können (Zanevskyy & Banakh, 2010).

Der Trainer versucht im Training oft die Bewegung des Athleten zu korrigieren und zu verbessern. Dies ist unmöglich ohne die nötigen Qualitätsinformationen, deren Basis die kinematischen Analysen sind (Zanevskyy & Banakh, 2010).

Weil die Weite des Sprungs einen Teil des Wettkampfergebnisses darstellt, wollten Zanevskyy & Banakh, (2010) herausfinden, ob es eine Korrelation zwischen der Sprungweite und der Körperposition beim Absprung gibt. Sie konnten herausfinden, dass die folgenden sechs der untersuchten Parameter eine statistisch signifikante Korrelation ($p < 0,03$) mit der Sprunglänge zeigen: Fussknöchelwinkel, Kniewinkel, Hüftwinkel, Halsgelenkwinkel, Schultergelenkwinkel und Ellbogenwinkel.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurden Empfehlungen zur Optimierung der Körperhaltung während der Absprungbewegung formuliert.

1.2.5. Imitationen als Vorbereitung

(Virmavirta & Komi, 2001) untersuchten Unterschiede in der Absprung-Technik welche entweder mit Trainingsschuhen oder Sprungschuhen absolviert wurden. Ziel dieser Studie war es den Effekt des Absprungs mit Sprungschuhen zu ermitteln. Dies wurde gemessen auf Grundlage der Absprungkraft, der Plantarkraft und des Muskelaktivierungsmusters.

Sie sind davon ausgegangen, dass die kinematischen Parameter umfassendere Informationen über den Absprung mit unterschiedlichen Schuhen liefern.

(Schwameder, H., E. Müller, 1997) verglich Absprünge mit Turnschuhen und Sprungschuhen. Bei den Versuchen mit den Trainingsschuhen war die Dauer des Absprungs 4.8% länger ($p < 0.001$) und die Absprungsgeschwindigkeit 4.3% grösser ($p < 0.001$) als mit den Sprungschuhen. Diesen Unterschied begründete er mit der limitierenden Patellarflexion in Sprungschuhen sowie der Dauer der Kraftnutzung des *musculus gastrocnemius*, welche mit Trainingsschuhen signifikant grösser waren.

Auch Ettema et al. (2015) untersuchten die Wirkung der Absprungrandbedingungen auf Muskelaktivität, Verlauf von Bodenreaktionskraft (GRF) und Körperschwerpunkt (CoM) sowie das kinematischen Resultat anhand von Imitationen, welche statisch und rollend (Neigung 2° , Anfahrtsgeschwindigkeit $1.6 \pm 0.11 \text{ m s}^{-1}$, Gewicht 27 kg) durchgeführt wurden, sowie anhand von Squat Jumps. Alle Sprünge wurden mit Joggingsschuhen ausgeführt. In den Resultaten zeigte sich, dass sich die Orientierung der Bodenreaktionskraft (GRF), zwischen -0.35 und -0.15 s, deutlich zwischen den rollenden und stehen Imitationen unterscheidet. In dieser Phase liegt die GRF vor dem Körperschwerpunkt. Dieser Unterschied gibt sich auch in den Drehmomenten der Knie und Hüfte wieder, welches für die statischen grösser sind als für die rollenden Imitationen.

Im Training wird eine Vielzahl von Varianten der Imitationssprünge eingesetzt (zum Beispiel aus der Ruhe, aus fahrenden Positionen mit und ohne Neigung, mit Hallenschuhen oder mit Sprungschuhen, etc.). So gab es einerseits aus der Trainingspraxis das Bedürfnis mehr Sicherheit zu erhalten, welche Imitationssprünge der sportlichen Technik beim Skisprung auf der Schanze ähnlicher sind, andererseits ist diese Frage auch aufgrund der wenigen Vorstudien nicht endgültig geklärt. Darum wurde folgende Studie durchgeführt.

2 Ziel und konkrete Fragestellung

Ziel dieser Arbeit ist, herauszufinden, welche Formen der Imitationssprünge am ehesten den Schanzensprüngen entsprechen.

Konkrete Fragestellung

Welche Imitationssprünge im Skisprung, statisch oder rollend aus verschiedenen Neigungen und mit verschiedenen Schuhen ausgeführt, sind basierend auf den sieben Parametern, Maximale Kraft ($F_{\max}[\text{N}]$), Maximaler Impuls ($p_{\max}[\text{N/s}]$), Maximale Absprunggeschwindigkeit ($v_{\max}[\text{m/s}]$), Maximale Leistung ($\text{maxLeistung}[\text{W}]$), ($\text{maxAnstieg}[\text{N/s}]$), $t[\text{s}]$ und Rechts/Links (re/li[%]) vom Kraft-Zeitverlauf den Wettkampfsprüngen auf der Schanze am ähnlichsten?

3 Methoden

3.1 Untersuchungsdesign

Die Untersuchung fand mit einer Untersuchungsgruppe von zehn Probanden im Oktober 2015 in Oberstdorf statt. Insgesamt haben die Probanden acht Disziplinen absolviert.

Es wurden fünf Sprünge auf der HS 106 Sprungschanze ausgeführt. Weiter absolvierten die Athleten jeweils drei Imitationssprünge mit Hallenschuhen sowie mit der kompletten Sprung Ausrüstung (Helm, Sprunganzug, -Schuhe und Keile). Dabei wurden die Imitationssprünge rollend auf einer horizontalen, auf einer Schräge von 4° , sowie statisch absolviert. Nebst den Imitationssprüngen wurden weiter drei Squat Jumps auf der Kraftmessplatte mit Hallenschuhen erhoben. Alle Daten wurden parametrisiert und durch Korrelation und RMSE (Root-mean-squared error) miteinander verglichen.



Abb. 2: Statischer Sprung vom Wagen



Abb. 3: Sprung 4° Schräge vom Wagen



Abb. 4: Flach rollend vom Wagen mit Ausrüstung



Abb. 5: Sprung 4° Schräge mit Ausrüstung

3.2 Untersuchungsgruppe

Sieben Skisprung Athleten aus dem Kader von Swiss Ski und drei aus dem DSV (Deutscher Skiverband) konnten zur Teilnahme an dieser Studie (siehe Tabelle 1) rekrutiert werden. Das Leistungsniveau in dieser Gruppe war sehr heterogen. Einige Probanden nahmen bereits an den Olympischen Spielen teil und andere sind bis jetzt erst in den Stufen Alpen Cup oder FIS Cup unterwegs. Die Ethikkommission des Bundesamtes für Sport Magglingen hat die Untersuchung mit den Athleten bewilligt.

Tab. 1: Probandenkollektiv

Proband	Alter	Geschlecht	Gewicht [kg]
P01	20	m	69
P02	24	m	63
P03	18	m	55
P04	20	m	66
P05	34	m	59
P06	22	m	62
P07	20	m	62
P08	18	m	58
P09	18	m	62
P10	18	m	65
MW	21.2	10 m	62.1
SD	4.9		4.1

3.3 Untersuchungsinstrumente

Die Datenerhebung und -aufarbeitung der Schanzensprünge fand auf dem dynamometrischen Messplatz der HS106 in Oberstdorf statt und wurde durch Mitarbeiter des IAT Leipzig durchgeführt. Die Erfassung der Windpunkte wurde vor Ort durch Swiss Timing sichergestellt. Die Schanzensprünge wurden aus der Sagittalen- und der Frontalebene von hinten aufgenommen. Die Aufnahmen wurden durch das IAT Leipzig und die Schweizer Trainer gemacht. Die Kraft-Zeitverläufe bei den Imitationssprüngen wurden mit dem instrumentierten Imitationswagen (Plüss, 2014) erfasst. Die kinetischen Parameter der Squat Jumps wurden mittels einer Quattrojump-Kraftmessplatte (Kistler Typ 9290) erhoben. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der SPSS Software (IBM).

Bei den Imitationssprüngen rollend auf einer horizontalen, auf einer Schräge von 4° , sowie statisch mit Hallen- und Sprungschuhen und den Squat Jumps mit Hallenschuhen wurden die Sprünge aus Sagittaler- und aus der Frontalebene von hinten aufgezeichnet.

3.3.1. Dynamometrischer Messplatz HS106 Oberstdorf

Der dynamometrische Messplatz ist in der FIS-homologierten HS106 Sprungschanze in Oberstdorf mit einem Kalkulationspunkt von 95 m eingebaut. Die Schanze hat eine Anlauf­länge von 95,5 m, eine Anlauf­neigung von 35° sowie eine Tisch­neigung von 11° . Die Schanzen­tiefe misst 2,2 m und der Aufsprunghang hat eine Neigung von 35° (Ski­sprung­chanzen.com). Die Daten­ver­ar­bei­tung der Schanze wird im zeitlichen Verlauf erfasst. Die Mes­sung wird gestartet, wenn der Proband die 18 m Licht­schranke erreicht. Die Aufnahmedauer beträgt eine Sekunde bei einer Aufnahme­fre­quenz von 2000 HZ.

Zur Videoweitenmessung wurden drei digitale Kameras aufgestellt. Zudem vier Gill-Windmesser über Festverkabelung (Swiss Timing).



Abb. 6: Abfahrt Schanze



Abb. 7: Anfahrtsposition

3.3.2. Instrumentierter Imitationswagen

Die Imitationssprünge wurden auf einem instrumentierten Imitationswagen (Institut für Biomechanik, ETH Zürich) absolviert. Dieser Wagen wurde im Rahmen einer Masterarbeit (Plüss, 2014) für Swiss Ski realisiert. Der Wagen misst die Kraft-Zeit-Entwicklung bei den Absprüngen seitengetrent, daraus wird die Anfahrtsbeschleunigung berechnet. Zwei Kraftmessplatten, für jeden Fuss eine, sowie ein dreidimensionaler Beschleunigungssensor wurden in den Wagen gebaut. Betrag, Richtung und Angriffspunkt der Reaktionskräfte werden in Echtzeit bei einer Aufnahmefrequenz von 1200 HZ aufgezeichnet und gespeichert. Die Übertragung auf den Computer erfolgt über WiFi (Plüss, 2014).



Abb. 8: Imitationswagen (Plüss 2014)



Abb. 9: Datenübertragung auf Computer

3.3.3. Squat Jump

Die Squat Jumps wurden auf einer Kraftmessplatte (Typ 9290AD Quattrojump, Kistler, Schweiz) mit einer umfassenden Software-Performanceanalyse durchgeführt. Die Kraftmessplatte misst die vertikale Kraft der Probanden mit einer Aufnahme Frequenz von 500 HZ.

3.3.4. Videokamera

Zur Bestimmung des Δd^* Knievarus/-valgus Index wurden Videokameras Canon LEGRIA HF R66, 25 Hz installiert. Die Sprünge auf der Schanze wurden von hinten durch eine Person und seitlich des Schanzentisches durch eine Fixinstallation aufgezeichnet.

Bei den Imitationssprüngen flach rollend, 4° Neigung, statisch und Quattrojump wurden die Kameras jeweils hinter die jeweiligen Anlagen montiert. Die seitliche Aufnahme fand auf Höhe des Absprungs statt.



Abb. 10: Videoaufnahme frontal hinten



Abb. 11: Videoinstallation frontal hinten

3.4 Versuchsablauf

Die Messungen in Oberstdorf dauerten zwei Tage. Der Ablauf für die Schanzensprünge wurde folgendermassen gestaltet:

Tab. 2: Ablauf der Schanzensprünge

8.00 Uhr, Montag	Einlaufen der Deutschen Probanden.
9.00 Uhr, Montag	Deutsche Athleten starten mit den fünf Schanzensprüngen.
13.30 Uhr, Montag	Einlaufen der Deutschen Probanden für die Imitationssprünge und Squat Jump.
14.00 Uhr, Montag	Start der Deutschen Probanden mit den Messungen der Imitationssprünge und des Squat Jumps.
16.00 Uhr, Montag	Einlaufen der Schweizer Probanden für die Imitationssprünge und Squat Jump.
16.30 Uhr, Montag	Start der Schweizer Probanden mit den Messungen der Imitationssprünge und des Squat Jumps.
8.00 Uhr, Dienstag	Einlaufen der Schweizer Probanden.
9.00 Uhr, Dienstag	Schweizer Athleten starten mit den fünf Schanzensprüngen.

3.4.1. Imitationssprünge und Squat Jump

Es standen sieben Disziplinen an (Sprungschuh: Flach rollend, 4° Neigung, Statisch, Hallenschuh: Flach rollend, 4° Neigung, Statisch und ein Squat Jump mit Hallenschuhen), pro Disziplin absolvierten die Probanden drei Sprünge. Dabei wurden die Disziplin randomisiert. Die Sprünge mit den Sprungschuhen, wurden in der kompletten Skisprungausrüstung (Schuh, Helm, Anzug) durchgeführt. Damit die Probanden die Kleidung nicht immer wechseln mussten, ist jeweils ein Proband mit der Ausrüstung gestartet und der andere mit den Hallenschuhen, danach wurde gewechselt.

3.4.2. Schanzensprünge

Die Athleten absolvierten insgesamt fünf Sprünge. Die ersten drei Sprünge waren Trainings sprünge, bei denen die Athleten die Startluken selbständig wählen konnten. Die letzten beiden Sprünge wurden als Wettkampfsprünge ausgeführt.

3.5 Untersuchungsauswertung

Für die Datenerhebung und -aufbereitung wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Excel (Microsoft Excel für Mac 2011, Microsoft Corporation, Redmond, USA) verwendet. Die Kraftdaten, welche auf der Schanze entstanden, sowie die Kraftdaten des Imitationswagens und des Squat Jumps wurden parametrisiert, über dieselben Zeitfenster gemittelt und über Korrelation und RMSE (Root-mean-squared error) miteinander verglichen. Der RMSE sagt aus wie viel die Schätzung im Durchschnitt von der Messung abweicht, wodurch das geeignetste Schätzverfahren ermittelt wurde.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Aus den drei Sprungversuchen, welche jeder Proband pro Imitationssprungart (Sprungschuh: Flach rollend, 4° Neigung, Statisch, Hallenschuh: Flach rollend, 4° Neigung, Statisch und ein Squat Jump mit Hallenschuhen) durchgeführt hat, wurde jeweils der mit der grössten Absprunggeschwindigkeit v [m/s] zur statistischen Auswertung verwendet.

Bei der Auswahl der Schanzensprünge wurde der Sprung mit dem besten Windweitenpunkt angewendet.

3.6 Berechnungsgrundlagen

Die sieben Parameter, Maximale Kraft ($F_{\max}[\text{N}]$), Maximaler Impuls ($p_{\max}[\text{N/s}]$), Maximale Absprunggeschwindigkeit ($v_{\max}[\text{m/s}]$), Maximale Leistung ($\text{maxLeistung}[\text{W}]$), ($\text{maxAnstieg}[\text{N/s}]$), $t[\text{s}]$ und Rechts/ Links ($\text{re/li}[\%]$), wurden alle aus den gemessenen Kraft-Zeitverläufen der Schanze, des Imitationswagens und des Quattrojumps berechnet.

Der Δd^* Knievarus/-valgus Index wurde aus der Sagittal- und aus der Frontalebene von hinten aus der Videoaufzeichnungen bei den Schanzen-, Imitations- und Squat Jump-Sprüngen heraus gelesen.

Schanze:

Das IAT stellte Messdaten zur Schanzentischdynamometrie zur Verfügung. Diese definieren die Passivkraftkurve, welche aus der Zentrifugalkraft und der wirksamen Gewichtskraft des Sportlers berechnet (siehe Anhang C) wird und die Eigenschaften der Sprungschanze erklären. Die Rohdaten wurden über 100 Werte geglättet.

Imitationswagen:

Der Imitationswagen liefert die Rohdaten in einem txt. File. Die Daten der Spalte FZ_L und FZ_R wurden für die Weiterverarbeitung der sieben Parameter verwendet. Die Daten wurden über 60 Werte geglättet, damit alle Daten über dasselbe Zeitfenster gemittelt sind.

Squat Jump:

Die Software der Kraftmessplatte von Kistler liefert die Rohdaten Zeit[t] und Kraft[N/BW]. Für die Weiterverarbeitung der sieben Parameter wurden diese Rohdaten verwendet und über 25 Werte geglättet, damit auch diese Daten über das selbe Zeitfenster gemittelt sind.

Δd^* Knievarus/-valgus Index:

Für die Auswertung der Beinachsen während den Schanzensprüngen, den Imitationen und dem Squat Jump wurden die Abstände zwischen den Kniegelenkszentren und zwischen den Fussgelenkszentren zum Zeitpunkt des Absprungs verglichen.

Für die Berechnung des Δd^* Knievarus/-valgus Index wurde das Programm Kionovea verwendet.

Ein Kniewinkel von 0° ist definiert als vollständige Kniestreckung.

Zur Bestimmung der Art der Beinachsenstellung wurde der Knievarus/-valgus Index Δd^* bestimmt:

$$\Delta d^* = \frac{k - a}{a}$$

Dabei steht k für den Abstand der Kniegelenkszentren zum Zeitpunkt des maximalen Knieflexionswinkels und a für den Abstand der Fussgelenkszentren zum Zeitpunkt des maximalen Kniewinkels. Der Index ist einheitslos.

Ein Δd^* von 0 würde demnach einer Ausführung mit vollständig geraden Beinachsen gleichstehen. Ein kleines Δd^* bedeutet, dass es zur sogenannten Valgusstellung kommt. Andererseits deutet ein grosses Δd^* auf eine Varusstellung hin.

4 Resultate

Die Leistungsparameter für die Schanze (Tabelle 2), für den Imitationswagen ohne (Tabelle 3) und mit Sprungschuhen (Tabelle 4) und dem Squat Jump (Tabelle 5) haben typische Standardabweichungen von 5-200 %. Dabei hat der Parameter re/li% die grösste Standardabweichung.

Tab. 3: Mittelwert und Standardabweichung der Leistungsparameter Schanze

Schanze		
	MW	Sd
Fmax [N]	1431	118
pmax [N/s]	188	26
vmax [m/s]	2.63	0.28
max Leistung [W]	3197	481
max Anstieg [N/s]	11020	1633
t [s]	0.317	0.018
re/li [%]	1.85	4.12

Tab. 4: Mittelwert und Standardabweichung der Leistungsparameter der Disziplin Flach Rollend, 4° Neigung, Statisch mit Hallenschuh im Vergleich zur Schanze.

Hallenschuh	flach rollend		4° Neigung		statisch	
	MW	Sd	MW	Sd	MW	Sd
Fmax [N]	1420	110	1404	120	1436	124
pmax [N/s]	188	17	193	22	179	21
vmax [m/s]	3.01	0.23	3.10	0.22	2.90	0.21
max Leistung [W]	3853	603	3782	509	3561	513
max Anstieg [N/s]	5667	2096	6324	1753	5093	1518
t [S]	0.394	0.034	0.402	0.034	0.433	0.041
re/li [%]	0.03	1.82	-0.05	1.81	0.84	2.25

Tab. 5: Mittelwert und Standardabweichung der Leistungsparameter der Disziplin Flach Rollend, 4° Neigung, Statisch mit Sprungschuh im Vergleich zur Schanze.

Sprungschuh	flach rollend		4° Neigung		statisch	
	MW	Sd	MW	Sd	MW	Sd
Fmax [N]	1420	107	1406	109	1456	131
pmax [N/s]	192	45	197	51	168	20
vmax [m/s]	2.70	0.16	2.77	0.17	2.61	0.19
max Leistung [W]	3712	441	3720	489	3428	496
max Anstieg [N/s]	5844	1376	6132	1597	5354	2371
t [S]	0.370	0.028	0.369	0.018	0.413	0.036
re/li [%]	-0.4	1.5	-0.7	2.3	0.1	1.8

Tab. 6: Mittelwert und Standardabweichung der Leistungsparameter der Disziplin Squat Jump mit Hallenschuhen im Vergleich zur Schanze.

Hallenschuh	SJ	
	MW	Sd
Fmax [N]	1374	118
pmax [N/s]	195	19
vmax [m/s]	3.13	0.16
max Leistung [W]	3798	454
max Anstieg [N/s]	7396	1712
t [S]	0.25	0.11

Die Korrelation der einzelnen Parameter mit den entsprechenden Werten der Schanze beträgt -0.015 bis 0.946 (Tabelle 5). Für den Impuls wurden hochsignifikante Korrelationen für Hallenschuh flach rollend (H_fl), Hallenschuh 4° Neigung (H_ne), Hallenschuh statisch (H_st), Sprungschuh statisch (S_st), Hallenschuh Squat Jump (H_sq) berechnet. Für den Parameter Zeit und re/li% wurden keine Korrelationen gefunden.

Tab. 7: Die Leistungsparameter Fmax, pmax, vmax, max Leistung, max Anstieg, t, re/li der Disziplinen Hallenschuh flach rollend (H_fl), Sprungschuh flach rollend (S_fl), Hallenschuh 4° Neigung (H_ne), Sprungschuh 4° Neigung (S_ne), Hallenschuh statisch (H_st), Sprungschuh statisch (S_st) und Hallenschuh Squat Jump (H_sq) im Vergleich zur Schanze als Korrelation.

Korrelationen zu Schanze							
Disziplin	Fmax	pmax	vmax	max Leistung	max Anstieg	t	re/li%
H_fl	0.795**	0.946**	0.788**	0.903**	0.390	0.370	0.227
S_fl	0.670*	0.049	0.739*	0.837**	0.692*	0.196	0.226
H_ne	0.715*	0.836**	0.694*	0.864**	0.310	0.204	-0.027
S_ne	0.815**	0.052	0.782**	0.921**	0.425	0.310	0.079
H_st	0.756*	0.815**	0.666*	0.903**	0.096	-0.033	-0.096
S_st	0.778**	0.796**	0.623	0.869**	0.017	0.126	-0.015
H_sq	0.790**	0.809**	0.733*	0.945**	0.570	-0.080	-

* Signifikanter Unterschied von < 0.05, ** Signifikanter Unterschied von < 0.01

Im ersten Rang der Rangpunkte war Hallenschuh flach rollend (H_fl), Sprungschuh 4° Neigung (S_ne) und Hallenschuh Squat Jump (H_sq) teilen sich Rang 2.

Tab. 8: Rangpunkte Verteilung der Disziplinen Hallenschuh flach rollend (H_fl), Sprungschuh flach rollend (S_fl), Hallenschuh 4° Neigung (H_ne), Sprungschuh 4° Neigung (S_ne), Hallenschuh statisch (H_st), Sprungschuh statisch (S_st) und Hallenschuh Squat Jump (H_sq) durch den Korrelation Vergleich.

Rangpunkte									
Disziplin	Fmax	pmax	vmax	max Leistung	max Anstieg	t	re/li%	Summe	Rang
H_fl	2	1	1	3	7	7	7	26	1
S_fl	7	7	3	7	1	7	7	32	5
H_ne	6	2	5	6	7	7	7	34	6
S_ne	1	7	2	2	7	7	7	32	2
H_st	5	3	6	3	7	7	7	33	4
S_st	4	5	7	5	7	7	7	38	7
H_sq	3	4	4	1	7	7	7	30	2

Beim RMSE Messerverfahren bedeutet ein kleinerer RMSE als das bessere Resultat.

Folglich erzielte das beste Ergebnis bei Fmax Sprungschuh 4° Neigung (S_ne), bei pmax Hallenschuh flach rollend (H_fl), bei vmax Sprungschuh flach rollend (S_fl), bei max Leistung Sprungschuh statisch (S_st), bei Anstieg Hallenschuh Squat Jump (H_sq), bei der Zeit Sprungschuh flach rollend (S_fl), bei re/li Hallenschuh flach rollend (H_fl) und bei Δd^* schnitt Hallenschuh 4° Neigung (H_ne) am besten ab.

Tab. 9: Leistungsparameter Fmax, pmax, vmax, max Leistung, max Anstieg, t, re/li über der Disziplinen Hallenschuh flach rollend (H_fl), Sprungschuh flach rollend (S_fl), Hallenschuh 4° Neigung (H_ne), Sprungschuh 4° Neigung (S_ne), Hallenschuh statisch (H_st), Sprungschuh statisch (S_st) und Hallenschuh Squat Jump (H_sq) aller 10 Probanden mit dem RMSE (Root-mean-squared error) verglichen.

RMSE								
Disziplin	Fmax	pmax	vmax	max Leistung	max Anstieg	t	re/li%	Δd^*
H_fl	60.8	10.7	0.416	703	5710	0.083	4.30	0.056
S_fl	75.7	48.7	0.194	561	5301	0.060	4.45	0.116
H_ne	73.1	14.3	0.511	635	5062	0.092	4.71	0.044
S_ne	55.4	54.1	0.222	554	5156	0.056	5.04	0.064
H_st	70.7	17.3	0.334	420	6258	0.124	4.74	0.063
S_st	77.7	25.1	0.208	332	6280	0.103	4.62	0.090
H_sq	84.2	15.9	0.530	619	3911	0.129	4.32	0.086

Im ersten Rang der Rangpunkte war Hallenschuh flach rollend (H_fl), Sprungschuh 4° Neigung (S_ne) und Hallenschuh Squat Jump (H_sq) teilen sich Rang 2.

Tab. 10: Rangpunkte Verteilung der Disziplinen Hallenschuh flach rollend (H_fl), Sprungschuh flach rollend (S_fl), Hallenschuh 4° Neigung (H_ne), Sprungschuh 4° Neigung (S_ne), Hallenschuh statisch (H_st), Sprungschuh statisch (S_st) und Hallenschuh Squat Jump (H_sq) durch den RMSE (Root-mean-squared error) Vergleich.

Rangpunkte										
Disziplin	Fmax	pmax	vmax	max Leistung	max Anstieg	t	re/li%	dd	Summe	Rang
H_fl	2	1	5	7	5	3	1	2	26	1
S_fl	5	6	1	4	4	2	3	7	32	4
H_ne	4	2	6	6	2	4	5	1	30	3
S_ne	1	7	3	3	3	1	6	4	28	2
H_st	3	4	4	2	6	6	7	3	35	5
S_st	6	5	2	1	7	5	4	6	36	6
H_sq	7	3	7	5	1	7	2	5	37	7

Die Kurve zeigt einen typischen Kraft-Zeitverlauf über alle Disziplinen, die Schanze Absolut zeigt die grössten Kraftwerte. Visuell beurteilt ist die Kraftanstiegsrate unterschiedlicher als beim Kraftabfall. Zudem ist der Kraftverlauf beim ersten Peak unterschiedlicher als beim zweiten.

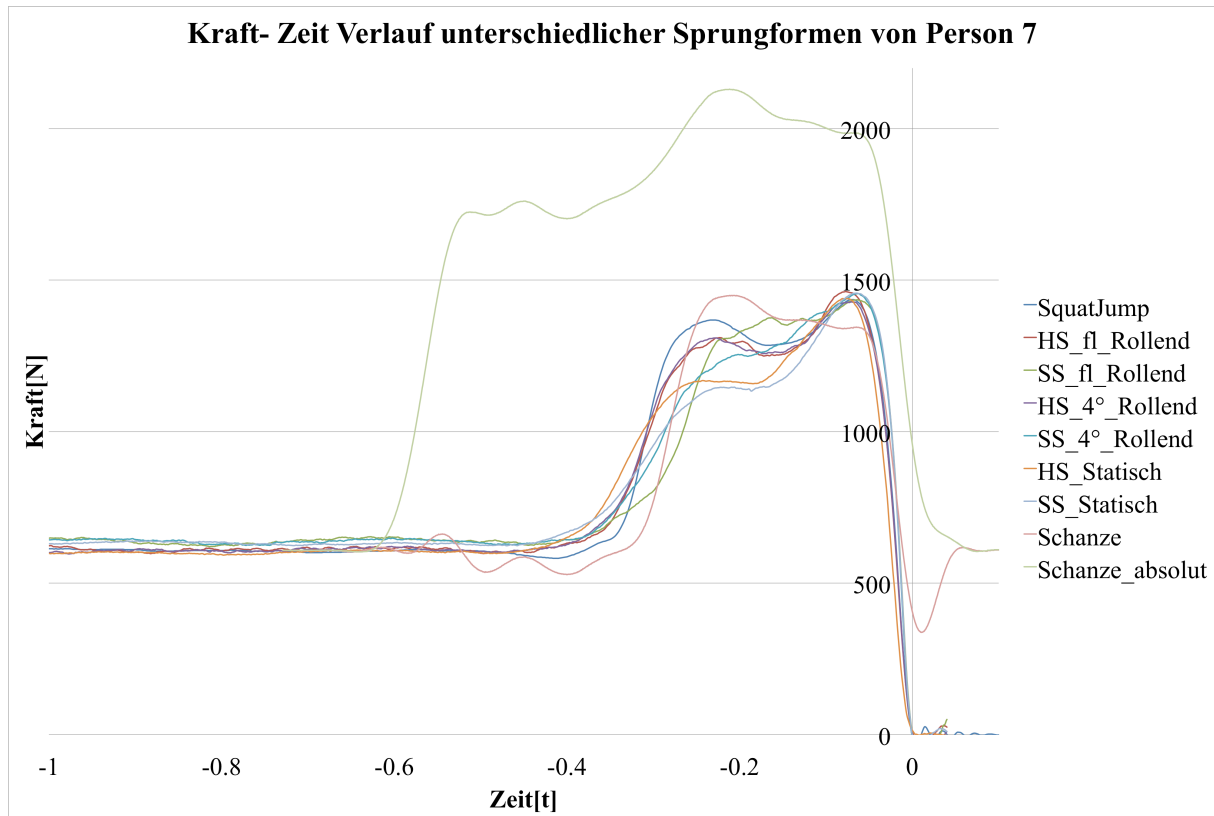


Abb:12 Kraft- Zeit Verlauf der neun Sprungformen.

Das Säulen Diagramm zeigt den Wert des Δd^* Knievarus/-valgus Index. Die Säulen entsprechen den acht unterschiedlichen Sprungformen der zehn Probanden.

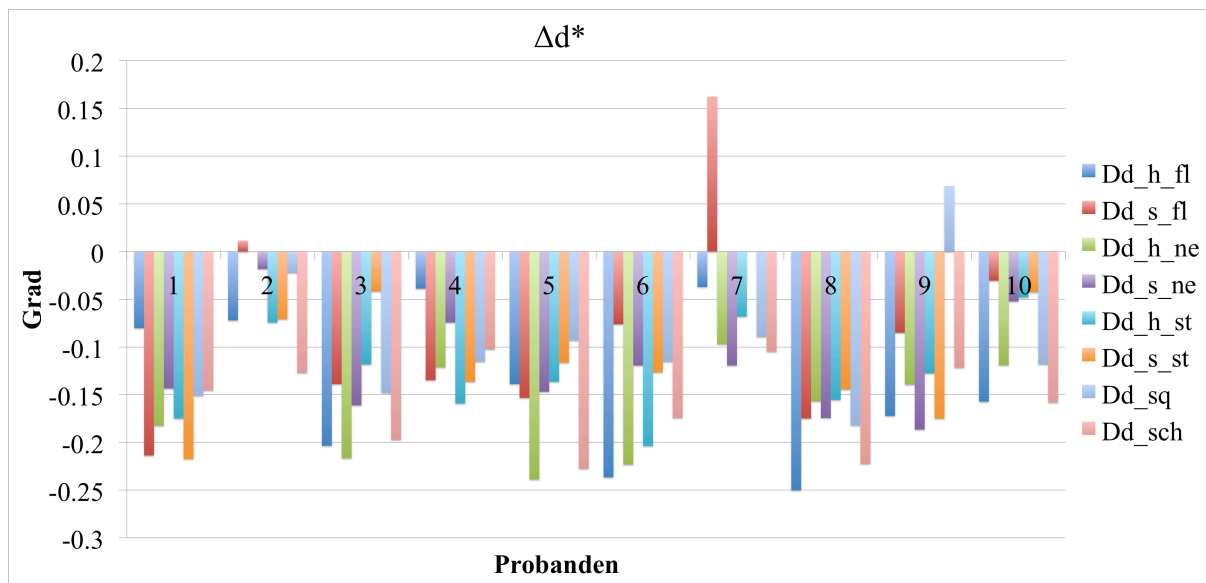


Abb:13 Δd^* Knievarus/-valgus Index der acht Sprungformen.

5 Diskussion

Imitationssprünge sind als Trainingsmethode und Vorbereitung zum Wettkampf in der Sportart Skispringen allgegenwärtig. Es werden viele Imitationssprünge in verschiedensten Varianten ausgeführt. Ob diese Sprünge jedoch etwas für die Schanzenpraxis bringen, war bis anhin unklar. Aus diesem Grund kam es zum Bedürfnis mehr über die verschiedenen Imitationssprünge in Bezug zu den Schanzensprüngen zu erfahren.

Der Korrelationsvergleich in dieser Studie zeigt, dass dynamische Imitationssprünge am ehesten den Sprüngen auf der Schanze entsprechen. So schneidet der Sprung mit Hallenschuhen, rollend auf einer ebenen Fläche am besten ab. Schwameder (1997) hat bereits eine ähnliche Studie durchgeführt und ebenfalls festgestellt, dass mit Hallenschuhen bessere Testergebnisse in Bezug auf Kraft- und Geschwindigkeit erzielt werden.

Am zweibesten schnitt der Sprung mit Sprungschuhen, rollend auf einer Rampe mit einer Neigung von 4° , ab. Das drittbeste Ergebnis wurde hingegen überraschenderweise beim Squat Jump, mit Hallenschuhen aus dem Stand, erzielt. Diese Rangierung ist ziemlich robust im Bezug zur Wahl der Statistik. Beim Vergleich mit der RMSE Analyse zeigt sich das gleiche Resultat für den Rang 1 und 2, gefolgt vom Sprung mit Hallenschuhen, rollend ab einer Neigung von 4° .

Die Resultate der Berechnung des Δd^* Knievarus/-valgus Index zeigt keine verifizierbare Ähnlichkeit zu den Schanzensprüngen. Vergleicht man den Δd^* Knievarus/-valgus Index der Athleten untereinander, ist keine Ähnlichkeit über alle Sprungformen ersichtlich.

Die Vergleiche Sprungschuh und Hallenschuh sind sich mechanisch im Sinne des Kraft- Zeit-Verlaufes ähnlich, aber die Winkelveränderungen im Fuss- Knie- und Hüftwinkel sind bei den Ausführungen der verschiedenen Sprungformen wahrscheinlich nicht gleich.

Die Erwartung, dass der dynamische Imitationssprung bei Neigung mit Sprungschuhen am ehesten dem Kraft-Zeitverlauf auf der Sprungschanze entspricht, konnte nicht belegt werden. Dennoch erreichte dieser Imitationssprung bei beiden Methodenauswertungen die zweithöchste Wertung.

Die Grafik des Kraft-Zeitverlaufs stellt zusätzlich dar, dass der Squat Sprung am ehesten der Sprungform auf der Schanze in Bezug auf den Kraftzeitverlauf entspricht.

Generell spielt es beim Kraftzeitverlauf demnach keine grosse Rolle, ob nun mit Hallenschuhen oder Sprungschuhen gesprungen wird.

Die Videobilder wurden in dieser Arbeit nicht ausgewertet, es lässt sich jedoch vermuten, dass bei den Sprüngen mit den Hallenschuhen die Probanden mehr mit den Sprunggelenken arbeiten. Folglich scheint der Körperschwerpunkt bei dynamischen Sprüngen besser mit dem Sprung auf der Schanze zu korrelieren, wie auch von Schwameder (1997) beobachtet. Generell zeigen die hier erhobenen Resultate bessere Werte mit dem Hallenschuh. Günstiger erscheint jedoch die Imitations sprünge flach rollend mit den Sprungschuhen auszuführen, denn auf der Schanze werden ebenfalls die Sprungschuhe gebraucht.

Laut den Resultaten ist es also im Sinne der Dynamik nicht unzweckmässig, für ein Imitationstraining die Hallenschuhe zu tragen. Sprünge mit den Sprungschuhen scheinen dann sinnvoll zu sein, wenn der Schwerpunkt in der Einhaltung der Gelenkwinkel (Fuss-, Knie- und Hüftgelenk), in einer spezifischen Phase oder zur Angewöhnung an den Schuh liegt.

Auch kann sein, dass das Absprunggefühl mit Hallenschuhen und Sprungschuhen nicht das Selbe ist, ist der Athlet doch relativ eingeschränkt durch die Bauweise des Sprungschuhs. Dieser hat einen steifen Schaft welcher etwas nach vorne gebeugt ist und bis in etwa zum Ende der Wade geht. Durch die Form des Sprungschuhs ist die Vorgabe der Anfahrtsposition bereits etwas gegeben. So lässt sich es nicht gleich gut mit dem Sprunggelenk arbeiten wie bei dem Hallenschuh. Der Hallenschuh hingegen lässt durch seine Bauweise noch mehr Beweglichkeit zu.

Squat Jumps mit Hallenschuhen eignen sich gemäss Resultat auch gut zur Vorbereitung für ein Schanzen-Techniktraining. Gemäss Resultat der Korrelation eignen sich aber dynamische Sprünge besser. Das gute Abschneiden der Squat Sprünge könnte auch einen Zusammenhang mit der grossen Erfahrung der Probanden mit dieser Trainingsübung stehen. So wird diese Übung im Konditions-Krafttraining, in unterschiedlichen Variationen, sowie in Leistungstests ausgeführt.

Voraussetzung, damit möglichst der gleiche Kraft-Zeit-Verlauf beim Training generiert wird, ist die Kontrolle über die Beinachsensteuerung. Nur wenn der Winkel konstant bleibt, kann die Kraft möglichst effizient vom Athleten eingesetzt werden.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Probanden relativ klein und heterogen war, da das Leistungsniveau von Olympiateilnehmern bis zu Probanden reichte, welche sich auf FIS-Cup Niveau bewegen, variiert. So kann eine grosse Streuung in Bezug auf die Beherrschung der sportlichen Technik im Skisprung vorausgesetzt werden. Auf Grund der Probandenvoraussetzungen könnte angenommen werden, dass die Leistungsparameter eine untergeordnete Rolle spielen im Vergleich zur Körperposition während der Flugphase.

Für ein präziseres Ergebnis müsste in Zukunft die Probandenzahl höher sein, falls es immer noch eine kleine Probandenzahl wäre, müsste evtl. berücksichtigt werden, dass alle Probanden in den Top 50 der Weltrangliste sind. Weiter erscheint es als sinnvoll, die Kraft- Zeitverläufe mit Messungen der grossen Winkel zu kombinieren, um herauszufinden, ob der Körper überhaupt in die richtige Richtung fliegt. Denn nur wenn der Absprung durch eine harmonische Übergangsphase in die perfekte Fluglage verbunden wird, resultieren hervorragende Weiten.

6 Schlussfolgerung

Damit möglichst nahe am Kraft-Zeit-Verlauf des Absprunges auf der Schanze trainiert wird und hierdurch die beste Wirkung auf die Sprungweite erzielt werden kann, erscheint es bei der Vorbereitung von Vorteil zu sein, Imitationssprünge dynamisch (also rollend) zu absolvieren. Die Verwendung von Hallen- oder Sprungschuhen scheint eine untergeordnete Rolle zu spielen beziehungsweise vom Hauptziel des jeweiligen Trainings (Erhöhung der Dynamik der Sprunges oder Einhaltung der sportartspezifischen Gelenkwinkel) abzuhängen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Technikleitbild Swiss Ski 2011.....	S.9
Abbildung 2: Statischer Sprung vom Wagen.....	S.14
Abbildung 3: Sprung 4° Schräge vom Wagen.....	S.14
Abbildung 4: Flach rollend vom Wagen mit Ausrüstung.....	S.14
Abbildung 5: Sprung 4° Schräge mit Ausrüstung.....	S.14
Abbildung 6: Abfahrt Schanze.....	S.17
Abbildung 7: Anfahrtsposition.....	S.17
Abbildung 8: Imitationswagen Plüss 2014.....	S.18
Abbildung 9: Datenübertragung auf Computer.....	S.18
Abbildung 10: Videoaufnahme Frontal hinten.....	S.19
Abbildung 11: Videoinstellation Frontal hinten.....	S.19
Abbildung 12: Kraft- Zeit Verlauf der neun Sprungformen.....	S.28
Abbildung 13: Δd^* Knievarus/-valgus Index der acht Sprungformen.....	S.29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Probandenkollektiv.....	S.15
Tabelle 2 : Ablauf der Schanzensprünge.....	S.20
Tabelle 3: Mittelwert und Standardabweichung der Leistungsparameter Schanze.....	S.24
Tabelle 4: : Mittelwert und Standardabweichung der Leistungsparameter der Disziplin Flach Rollend, 4° Neigung, Statisch mit Hallenschuh im Vergleich zur Schanze.....	S. 24
Tabelle 5: Mittelwert und Standardabweichung der Leistungsparameter der Disziplin Flach Rollend, 4° Neigung, Statisch mit Sprungschuh im Vergleich zur Schanze.....	S.25
Tabelle 6: Mittelwert und Standardabweichung der Leistungsparameter der Disziplin Squat Jump mit Hallenschuhen im Vergleich zur Schanze.....	S.25
Tabelle 7: Leistungsparameter Vergleich von Korrelation.....	S.26
Tabelle 8: Leistungsparameter Rangpunkte Vergleich von Korrelation.....	S.26
Tabelle 9: Leistungsparameter Vergleich RMSE.....	S.27
Tabelle 10: Leistungsparameter Rangpunkte RMSE.....	S.27

Literaturverzeichnis

- Arndt, A., Bruggemann, G.-P., Virnavirta, M., & Komi, P. (1995). Techniques used by Olympic ski jumpers in the transition from takeoff to early flight. *Journal of Applied Biomechanics*, 11(2), 224–237.
- Ettema, G., Hooiveld, J., Braaten, S., & Bobbert, M. (2015). How do elite ski jumpers handle the dynamic conditions in imitation jumps ?, 0414(December). <http://doi.org/10.1080/02640414.2015.1088660>
- FIS SKI. (2013). *SPECIFICATIONS FOR COMPETITION EQUIPMENT AND COMMERCIAL* (Bd. 14).
- Dickwach H. Wagner. (2004). Neue Möglichkeiten der Analyse und Technik- korrektur im Skispringen durch die Kopplung visueller Informationen mit Kraftverläufen, 12–17.
- Klauck, J. (1989). *Biomechanik der Sportarten*. (J. Klauck, Hrsg.) (Hamburg Ro). K. Willimczik.
- Dzelalija, M., Rausavljević, N., Jost, B. (2003). Mi le D ž Ž e l a l i j a 1 * N i k o l a R a u s a v l j e v i ć 1 B o j a n J o š t 2 S K A K A L C A P R I S M U Č A R S K I H S K O K I H applied science with a vast array of measurements and modelling techniques . The ear-model for the wind tunnel me, 79, 70–79.
- Müller, E., & Schwameder, H. (2003). Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping. *Journal of sports sciences*, 21(9), 679–692. <http://doi.org/10.1080/0264041031000140284>
- Müller, S. (2012). Optimierung der Absprungbewegung im Skispringen. Berlin: Lehmanns Media.
- Müller W. (2009). <Determinants of Ski-Jump Performance and Implications for Health, Safety and Fairness.pdf>. *Sports Med*, 39(2), 85–106.
- Plüss, S. (2014). *Development of an instrumented vehicle to perform imitation jumps in ski jumping*.
- Schmidt, S. L. (2011). Adler sind keine Fliegengewichte mehr. Inspiring Personalities. D-65375 Oestrich-Winkel, Institute for Sports, Business & Society / Universität für Wirtschaft und Recht. *ISBS Research Series Issue 3*, 6–17.
- Schwameder, H. (2008). Biomechanics research in ski jumping, 1991-2006. *Sports biomechanics / International Society of Biomechanics in Sports*, 7(1), 114–136. <http://doi.org/10.1080/14763140701687560>
- Schwameder, H., E. Müller, C. R. and F. B. (1997). *Aspects of technique-specific strength training in ski jumping*. (E. K. and C. R. E. Müller, H. Schwameder, Hrsg.) (1. Aufl.). London: Chapman & Hall.
- Skisprungschancen.com. (o. J.). Erdinger Arena, Oberstdorf » Skisprungschancen-Archiv » skisprungschancen.
- Virnavirta, M., Isolehto, J., Komi, P., Brüggemann, G. P., Müller, E., & Schwameder, H. (2005). Characteristics of the early flight phase in the Olympic ski jumping competition. *Journal of Biomechanics*, 38(11), 2157–2163. <http://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.10.004>

- Virmavirta, M., & Komi, P. V. (2001). Ski jumping boots limit effective take-off in ski jumping. *Ski jumping boots limit effective take-off in ski jumping*, 0414(March). <http://doi.org/10.1080/026404101317108462>
- Vodicar, J., & Jost, B. (2010). The Factor Structure of Chosen Kinematic Characteristics of Take-Off in Ski Jumping by, 23, 37–45. <http://doi.org/10.2478/v10078-010-0005-6>
- Zanevskyy, I., & Banakh, V. (2010). Dependence of ski jump length on the skier's body pose at the beginning of take-off, 12(4).

Anhang A: Athleten Information

Athleten Information

Liebe Athleten und Trainer,

vielen Dank für die Teilnahme an der Messung.

In den folgenden Zeilen werde ich euch über die Tests, die wir im Oktober zusammen in Oberstdorf absolvieren werden, informieren.

Die Mess- Tage in Oberstdorf haben wir organisiert, um Daten für eine Studie zu generieren. Dabei geht es um die trainingsmethodisch relevante Fragestellung.

Ziel der Studie ist es herauszufinden, welche Imitationssprünge (statisch oder rollend aus verschiedenen Neigungen) im Skisprung vom Kraft-Zeitverlauf den Wettkampfsprüngen auf der Schanze am ähnlichsten sind.

Diese Messungen sollen möglichst unkompliziert, jedoch Wettkampfnah ablaufen.

Für diese Erfassung der Daten werden wir wie folgt vorgehen.

Studienablauf:

- Am Morgen werdet ihr fünf Sprünge auf der HS 106 absolvieren. Ihr bereitet euch wie gewohnt auf die Schanzensprünge vor. Vor dem Start werdet ihr mit einer Startnummer ausgerüstet. Nachdem ihr oben im Turm angekommen seid, werden wir euch wägen inkl. Ski. Danach könnt ihr an den Start und euer Coach wird euch freigeben.
- Weiter absolviert ihr vier verschiedene Sprungformen auf dem Imitationswagen und einer Kraftmessplatte. Dies sind Squat Jumps, statische und rollende Imitationen, dabei werden die rollenden auf einer horizontalen und einer schrägen Unterlagen durchgeführt. Es werden jeweils 3 Sprünge gemessen. Für diese Sprünge sind die **Sprungschuhe und Hallenschuhe obligatorisch** also bringt sie bitte mit.

Vertraulichkeit der Daten:

In dieser Studie werden persönliche Daten von euch erfasst. Diese Daten werden anonymisiert. Nur der Studienleiter kennt die Verschlüsselung der Daten. Die anonymisierten Daten sind nur für Fachleute zur wissenschaftlichen Auswertung zugänglich.

Ebenso kann die Kantonale Ethikkommission Bern Einsicht in die Originaldaten nehmen. Während der ganzen Studie und bei den erwähnten Kontrollen wird die Vertraulichkeit strikt gewahrt. Euer Name wird in keiner Weise in Rapporten oder Publikationen, die aus der Studie hervorgehen, veröffentlicht.

Freiwilligkeit der Teilnahme:

Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Wenn ihr auf die Teilnahme an dieser Studie verzichtet, ergeben sich keine Folgen für euch. Dies gilt auch, wenn ihre eure Einwilligung zu einem späteren Zeitpunkt widerruft. Diese Möglichkeit besteht jederzeit. Einen allfälligen Widerruf eurer Einwilligung bzw. den Rücktritt von der Studie muss nicht begründet werden.

Ich bitte euch die im Anhang verfügbare Einverständniserklärung auszufüllen zu unterschreiben und an mich sabrina.windi@gmail.com zu returnieren.

Besten Dank für eure Teilnahme an der Studie. Bitte zögert nicht bei Fragen Sabrina Windmüller sabrina.windi@gmail.com zu kontaktieren.

Wir sehen uns an der Schanze.

Anhang B: Einverständniserklärung

Sabrina Windmüller, 19.10.2015

Einverständniserklärung

Name und Email-Adressen des Projektteams:

Sabrina Windmüller: sabrina.windi@gmail.com

Bitte ankreuzen

Ich bestätige, dass der Projektleiter mich vor der Messung über die Studie informiert hat. Ich hatte die Gelegenheit Fragen zu stellen und diese wurden zufriedenstellend beantwortet.	<input type="checkbox"/>
Ich verstehe, dass meine Teilnahme freiwillig ist, und dass ich jederzeit ohne Begründung aussteigen kann. Mir ist klar, dass ein Ausstieg aus der Studie keinen Einfluss auf meine zukünftige Sport Karriere hat.	<input type="checkbox"/>
Mir ist klar, dass ich mich bei einer Beschwerde an die EHSM in Magglingen wenden kann.	<input type="checkbox"/>
Ich bin mit der Teilnahme an dieser Studie einverstanden.	<input type="checkbox"/>

Name der/des Probanden

Unterschrift Datum

Anhang C: Hinweis Datenverarbeitung IAT

IAT Leipzig
FB Kraft-technik
FG Skispringen /NK
Dr. S. Müller



15.12.15

Hinweise zur Datenverarbeitung im Messplatz Schanzentischdynamometrie

Mit dem Messsystem wird Absolutkraft im zeitlichen Verlauf erfasst. Die Messung beginnt, wenn der Sportler die 18 m Lichtschranke reißt. Die Aufnahmedauer beträgt eine Sekunde bei einer Aufnahmefrequenz von 2 kHz. Die Datenglättung erfolgt in zwei Schritten jeweils mit einem Savitzky-Golay Filter. Zunächst werden die Einzelkanäle über 25 Werte geglättet. Anschließend wird die Summenkurve berechnet und über 100 Werte geglättet.

Neben den Kraftdaten werden die Lichtschrankenticks an den Positionen 10 m und 7 m vor der Schanzentischkante sowie unmittelbar an der Schanzentischkante gemessen. Dabei ist zu beachten, dass die letzte Lichtschranke 1.1 m vor der eigentlichen Schanzentischkante montiert ist. Anhand der geschätzten Sportlergeschwindigkeit wird im Erfassungs-PC deren Auslösezeitpunkt entsprechend korrigiert, sodass der Wert, der in der Exportdatei steht, der Sportlerposition an der Schanzentischkante entspricht.

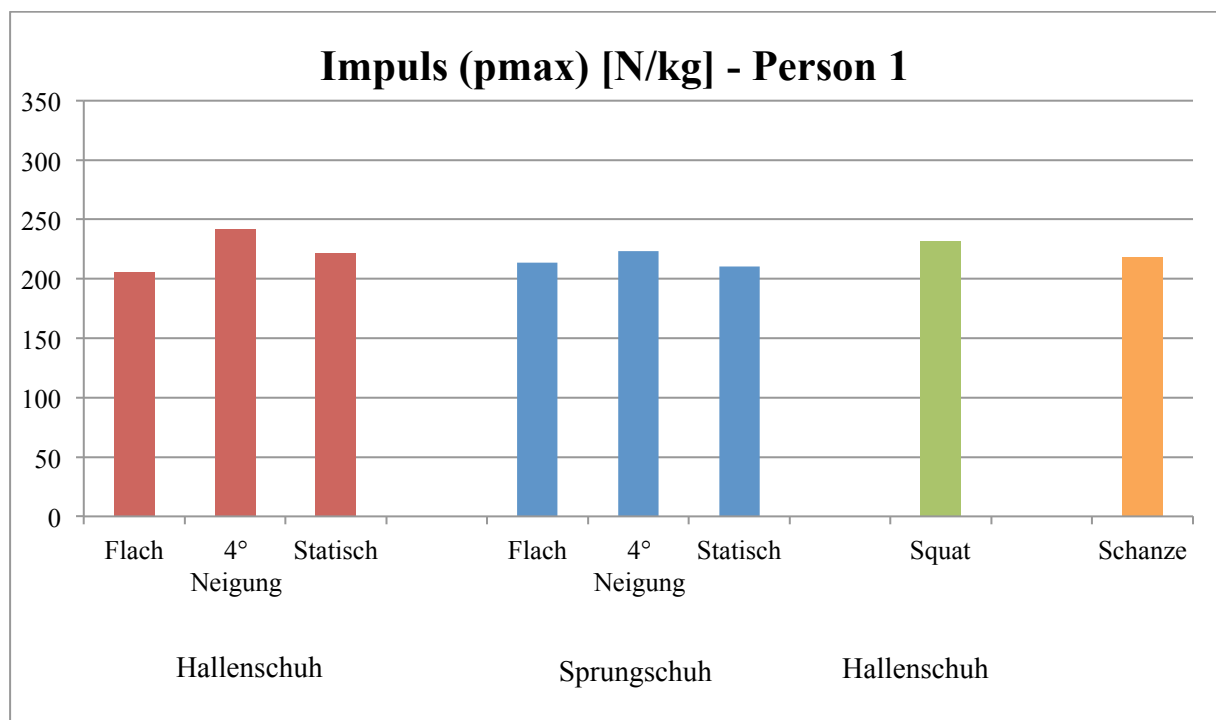
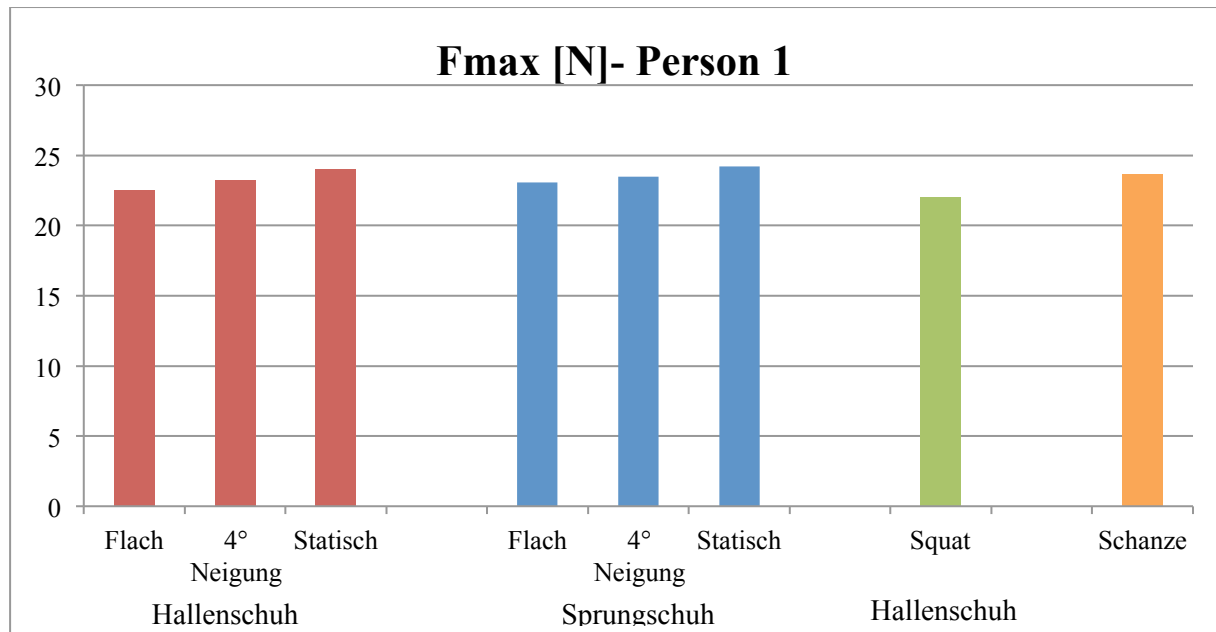
Anhand der Lichtschrankenticks 18, 10, 7 und 0 m wird der Zeit-Weg-Verlauf mittels linearer Interpolation berechnet. Auf Basis des Wegs wird eine sogenannte Passivkraftkurve konstruiert, welche aus der Zentrifugalkraft und der wirksamen Gewichtskraft des Sportlers berechnet wird. Dabei gelten folgende Annahmen:

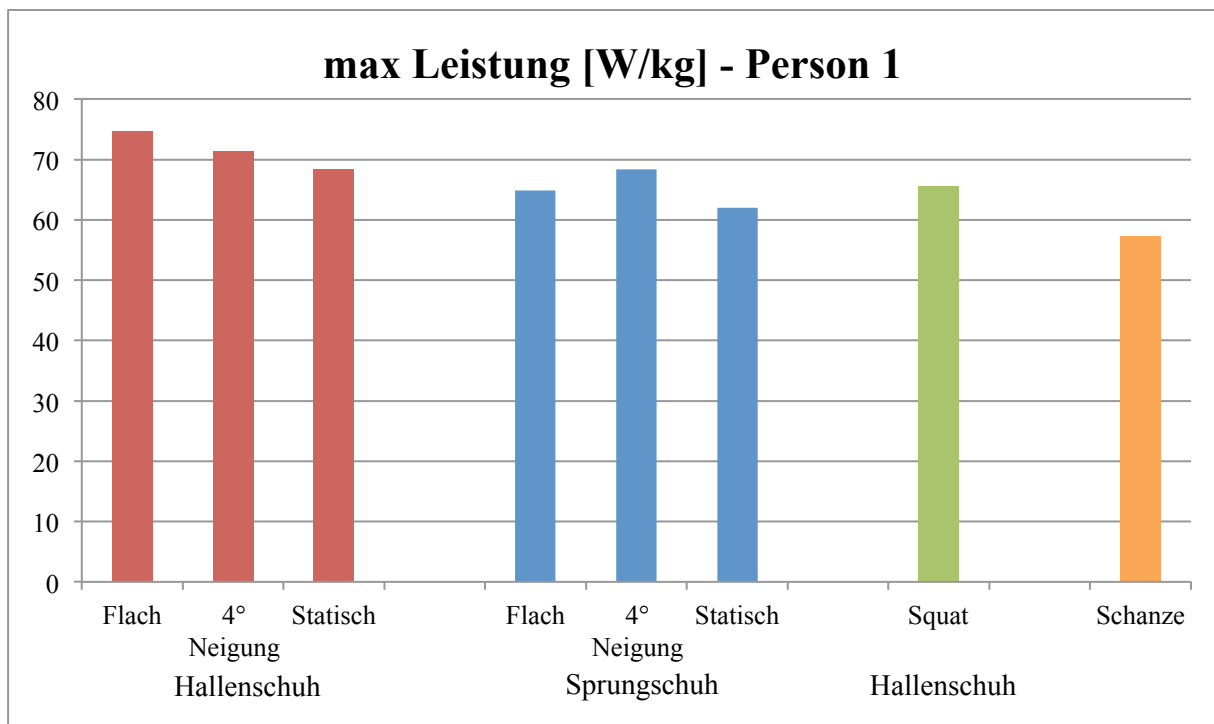
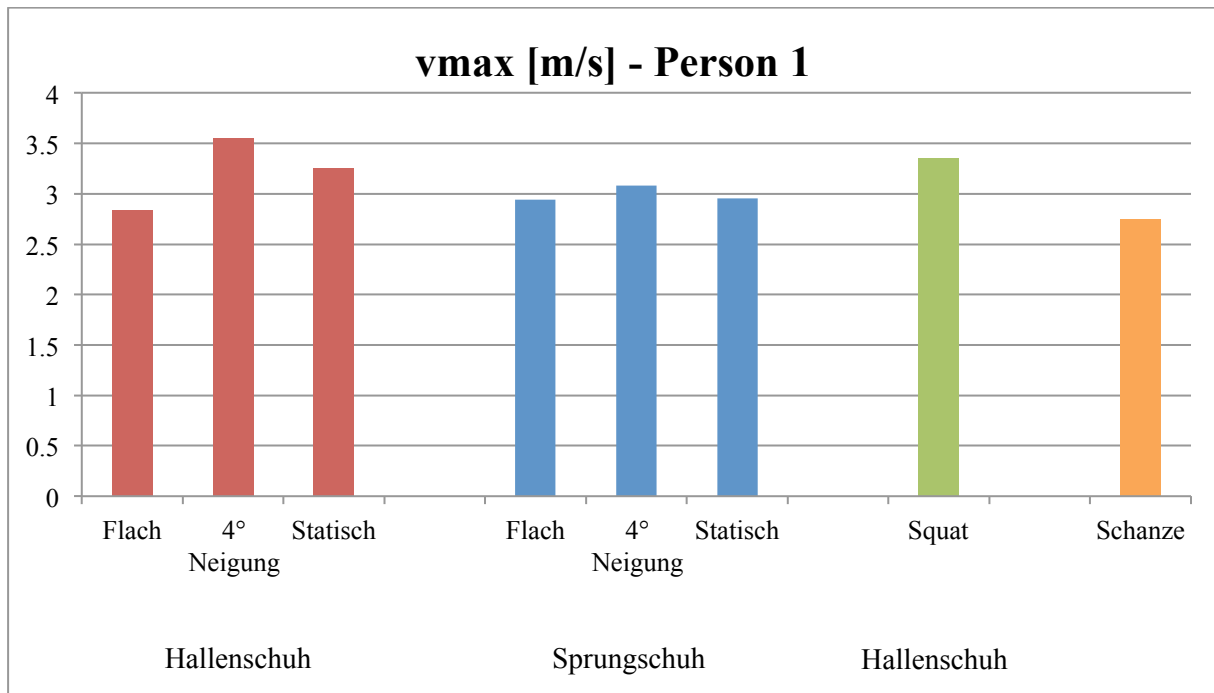
- $F_{\text{gewicht}} = F_{\text{masse}} \cdot \cos(\text{Modulneigung})$
- $F_{\text{zent}} = m \cdot v^2 / r$ mit m = Sportlermasse, v = mittlere Geschwindigkeit zwischen LS 18 & LS 7 und r = Schanzenradius lt. Zertifikat
- im Bereich des Radius (-14m bis -7m) gilt $F_{\text{passiv}} = F_{\text{gewicht}} + F_{\text{zent}}$
- auf dem Schanzentisch gilt: $F_{\text{passiv}} = F_{\text{gewicht}}$
- die Auffahrt wird als lineare Interpolation über 1.2 m gestaltet (-14.6m bis -13.4m) analog dazu das Radiusende (-7.6 bis -6.4 m)
- Passivkraft verringert sich aufgrund von Luftauftrieb
 - bis zum Radiusende um 2.5%;
 - auf dem Tisch um 2.5% bis 12% an der Schanzentischkante (linear größer werdender Betrag).

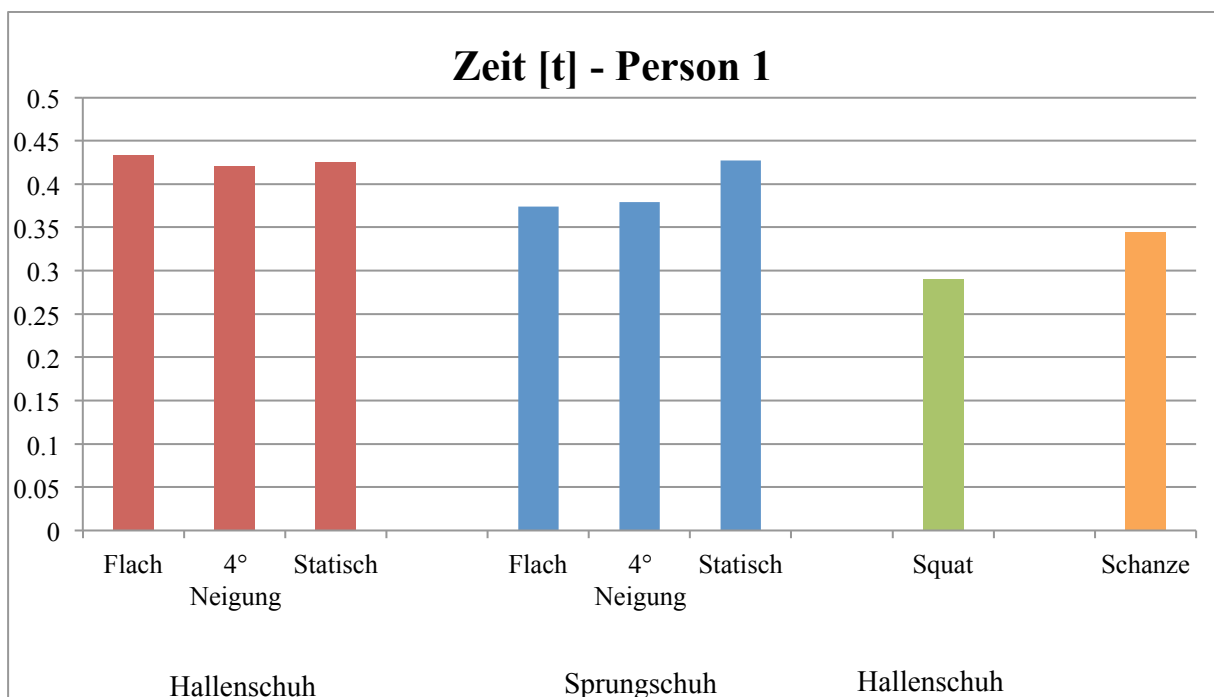
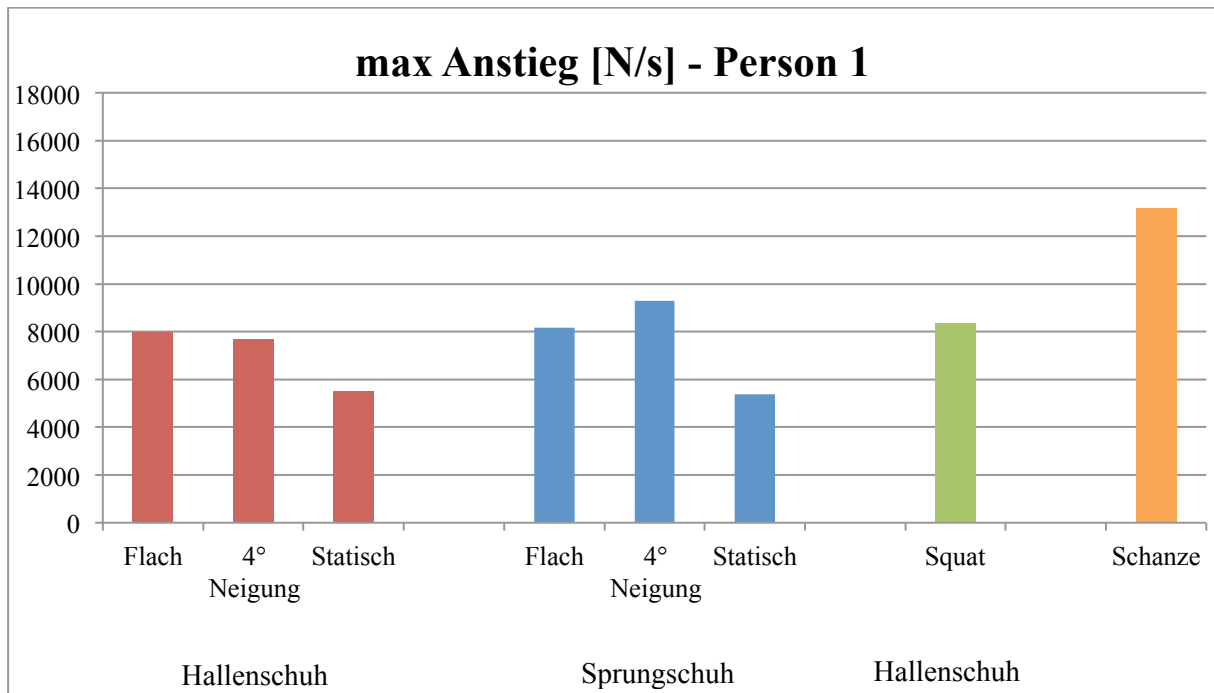
Die Resultierende Kraft ergibt sich aus der Differenz zwischen gemessener Absolutkraft und berechneter Passivkraft. Diese Kraft wird zur Berechnung der weiteren Werte zugrunde gelegt. Die Absprunggeschwindigkeit berechnet sich aus der Integration der resultierenden Kraft dividiert durch die Masse ab 12 m vor der Schanzentischkante.

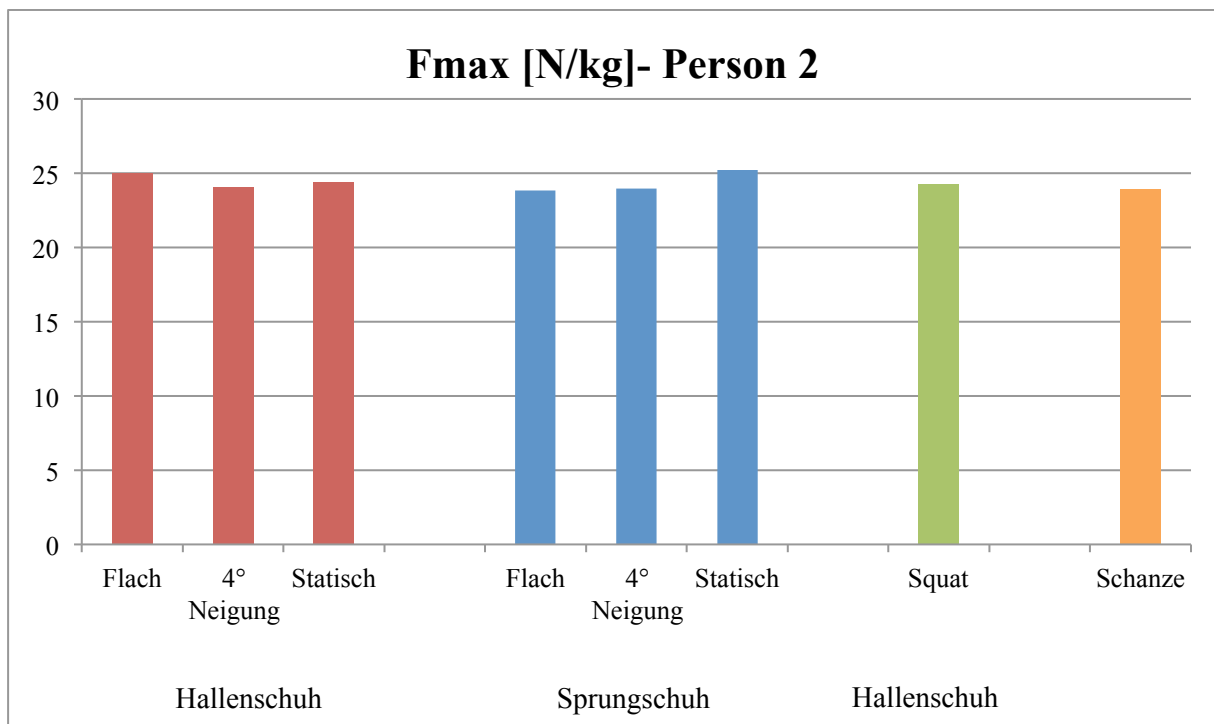
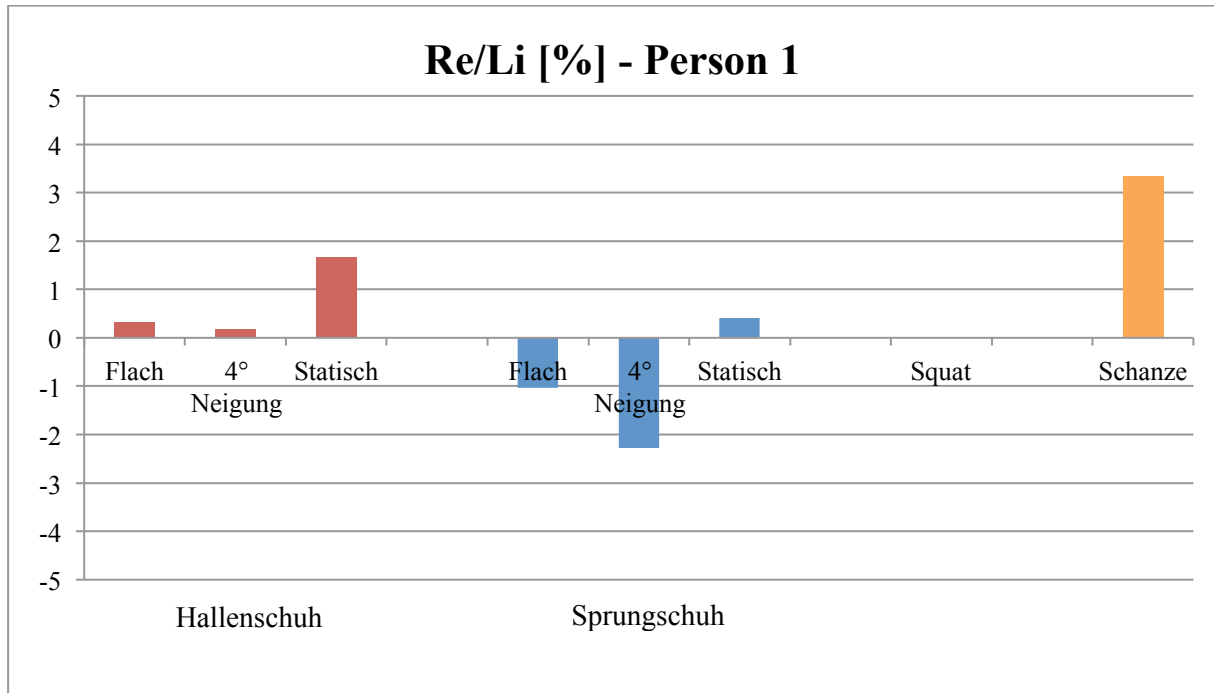
Die Absprunggenauigkeit gibt den Wert des Weges an, an dem die resultierende Kraft wieder unter die Nulllinie sinkt. Der Streckweg wird ab dem Nulldurchgang bzw. bei Überschreiten einer 50 N Schwelle berechnet. Eine eventuelle Auftaktbewegung wird erkannt, wenn sie 5 Ns überschreitet. Dann wird eine Anfangskraft bestimmt und der Beginn des Streckwegs entsprechend verschoben.

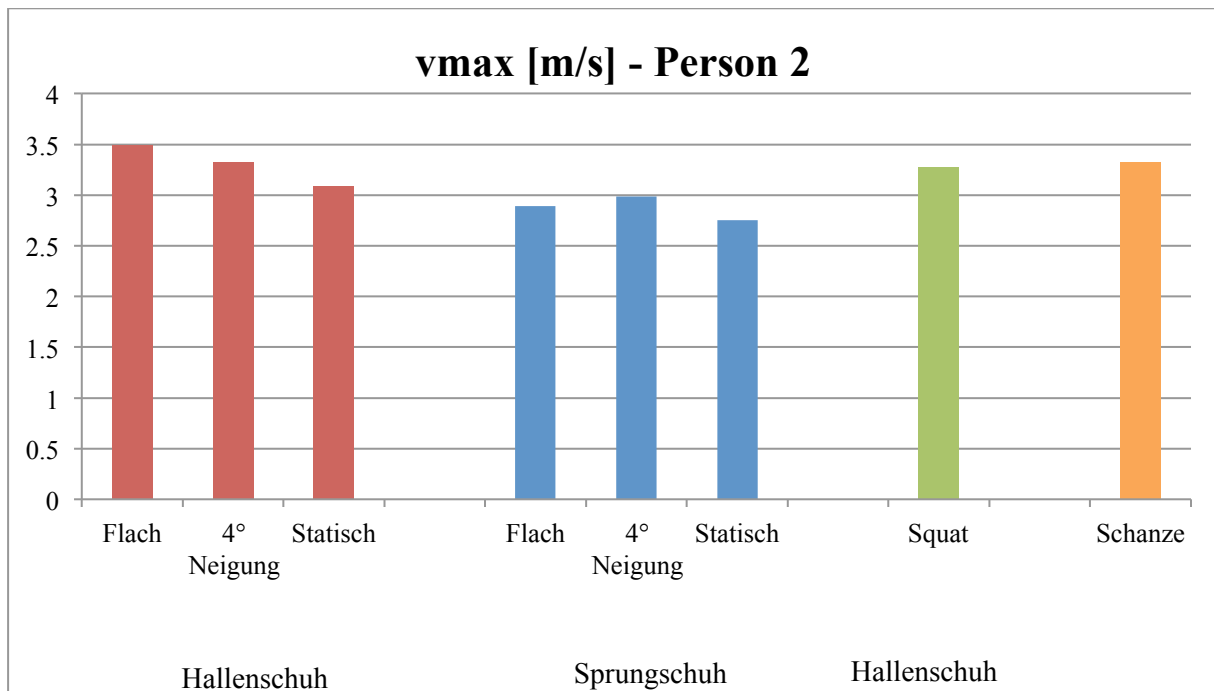
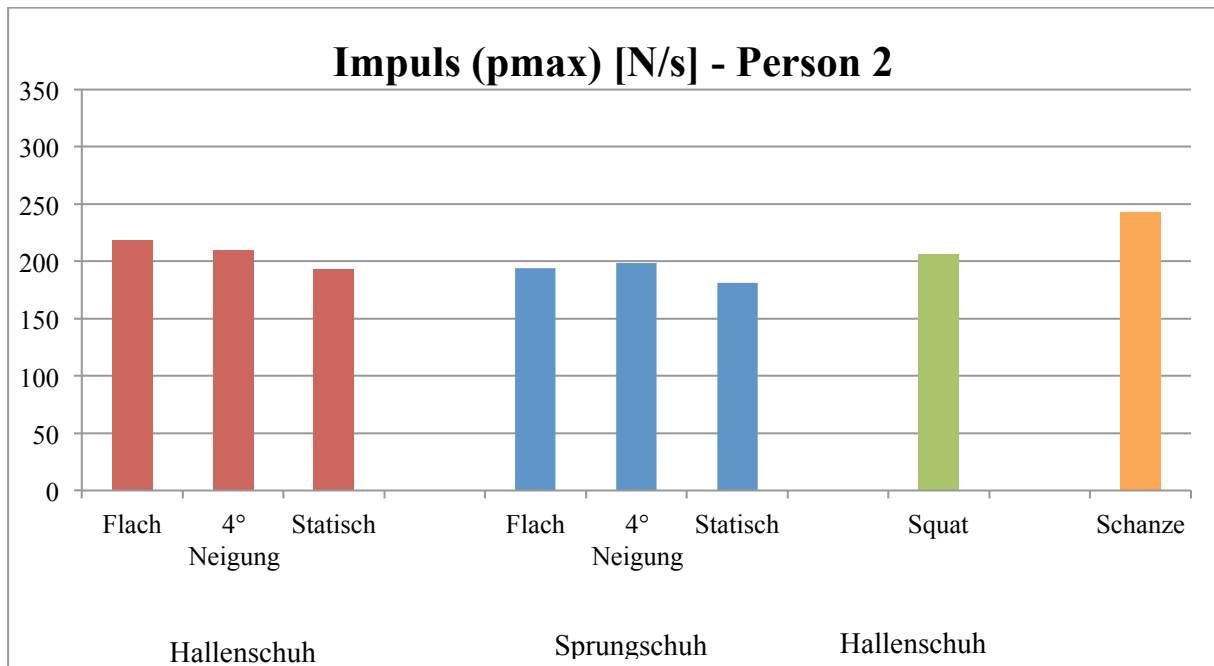
Die Daten in den Textdateien können als Matrix aufgefasst werden. Die einzelnen Messgrößen befinden sich in den Spalten. Die einander entsprechenden Werte befinden sich in den Zeilen. Dabei ist zu beachten, dass die Abstände der Weg Spalte nicht durchgehend äquidistant sind, sondern aufgrund der linearen Interpolation zwischen den Lichtschranken in drei Bereiche geteilt sind (18-10; 10-7; 7-0). Die Absolutkraft, die in der Textdatei angegeben ist, enthält die bereits gefilterten Werte.

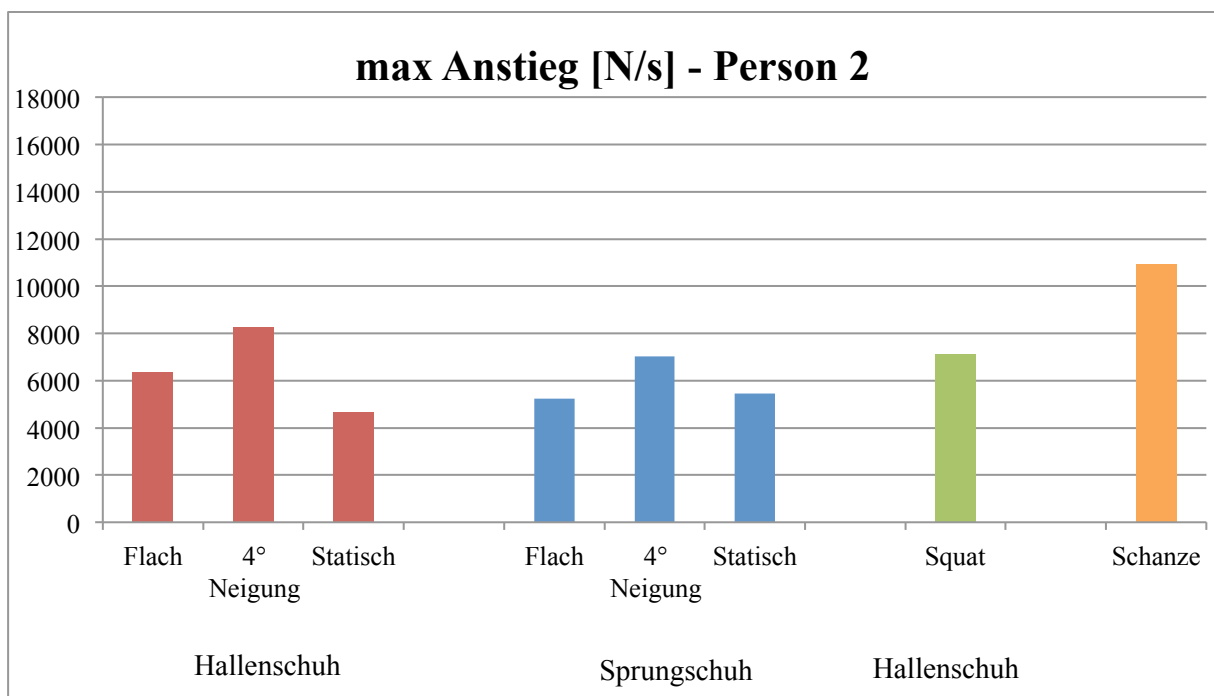
Anhang D: Häufigkeiten

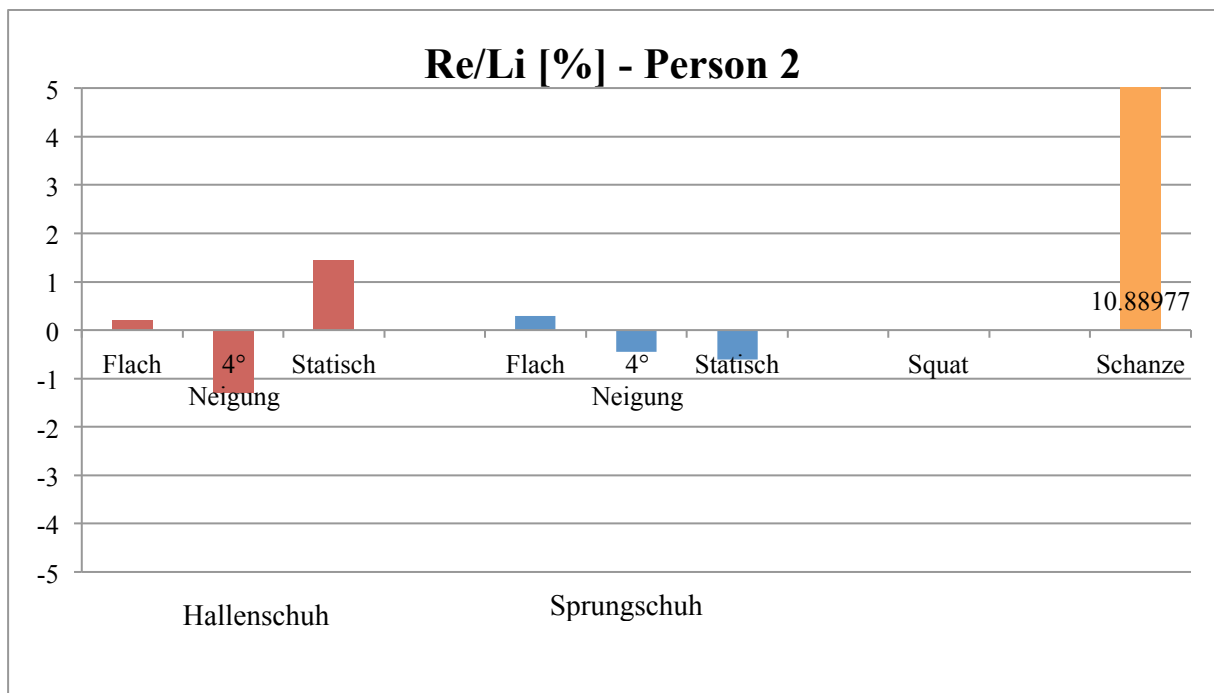
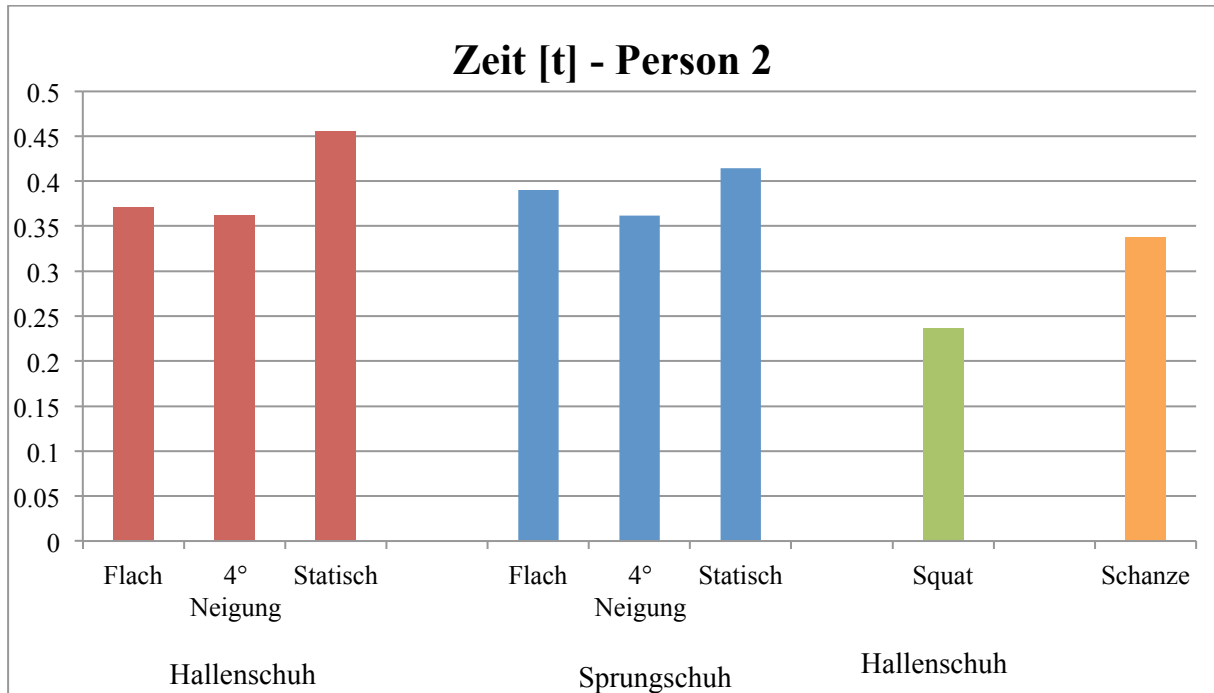


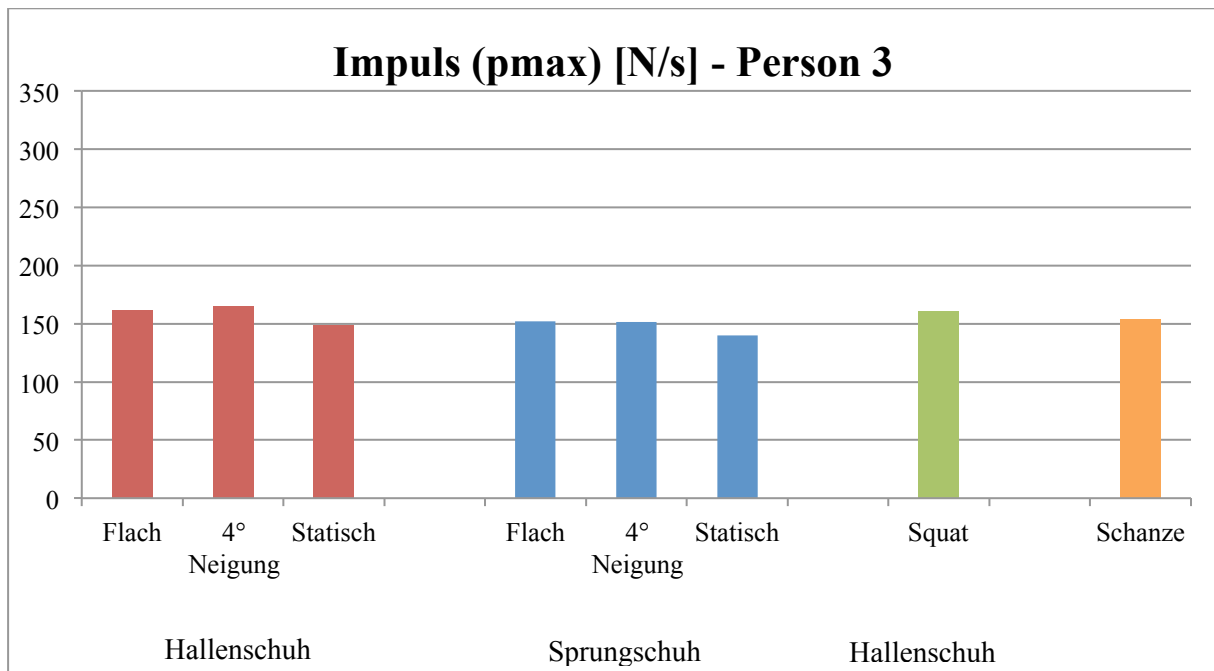
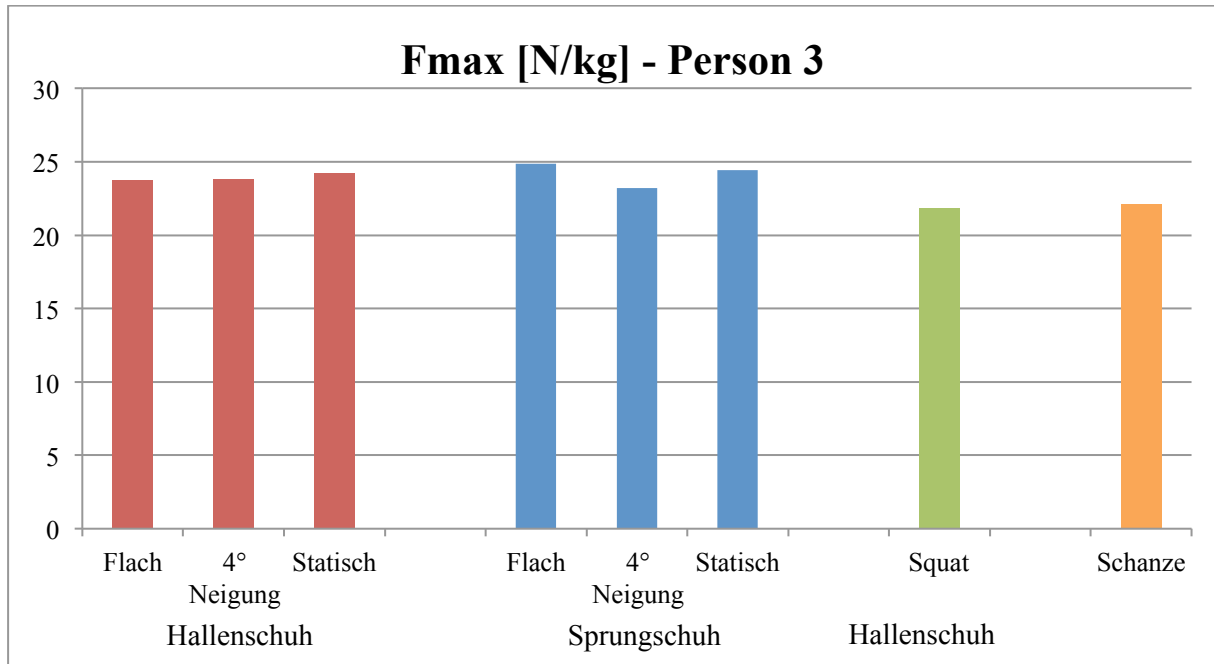


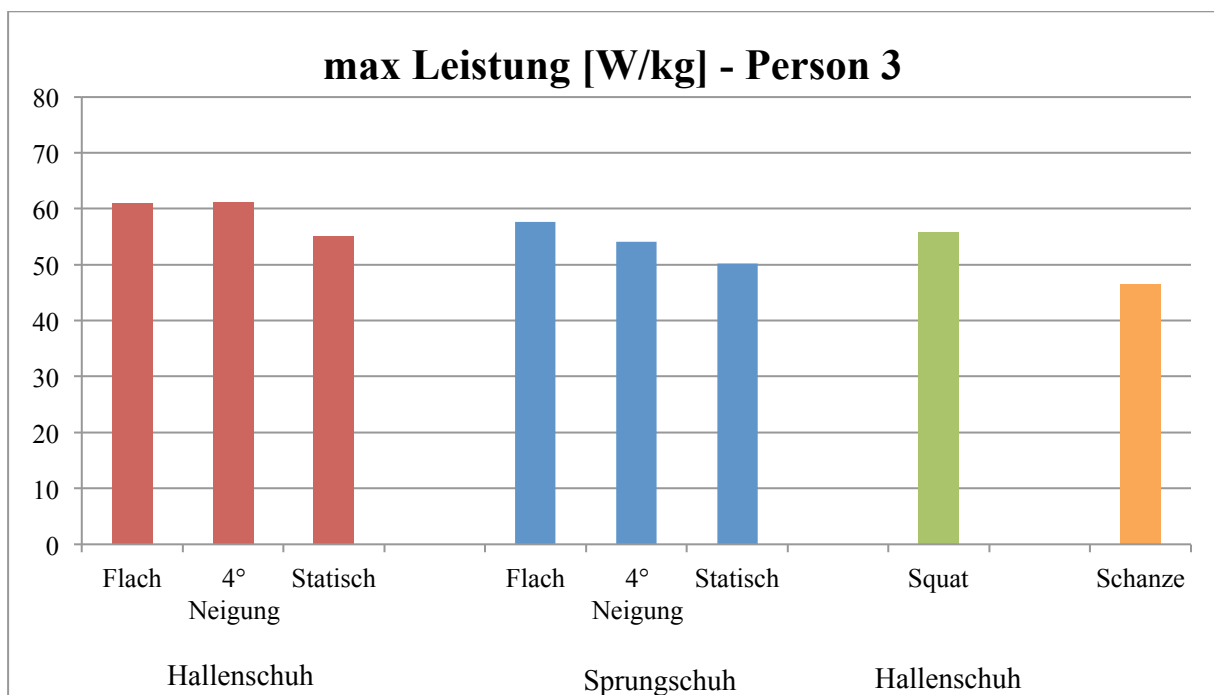
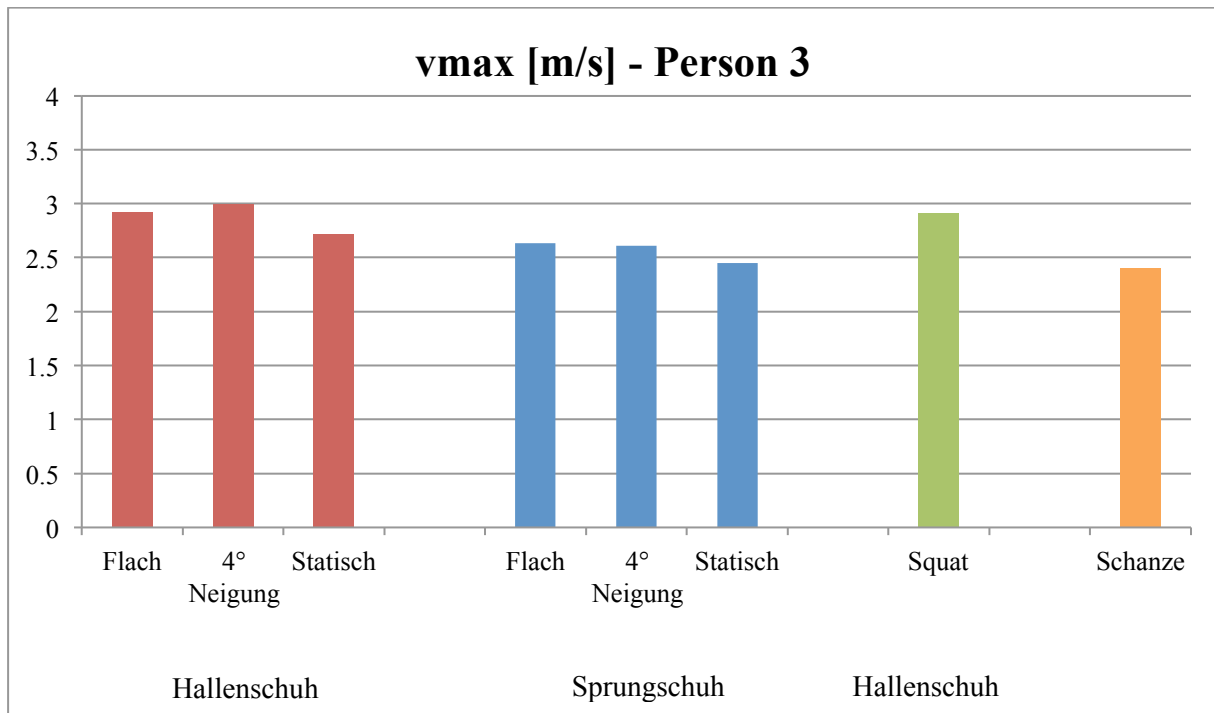


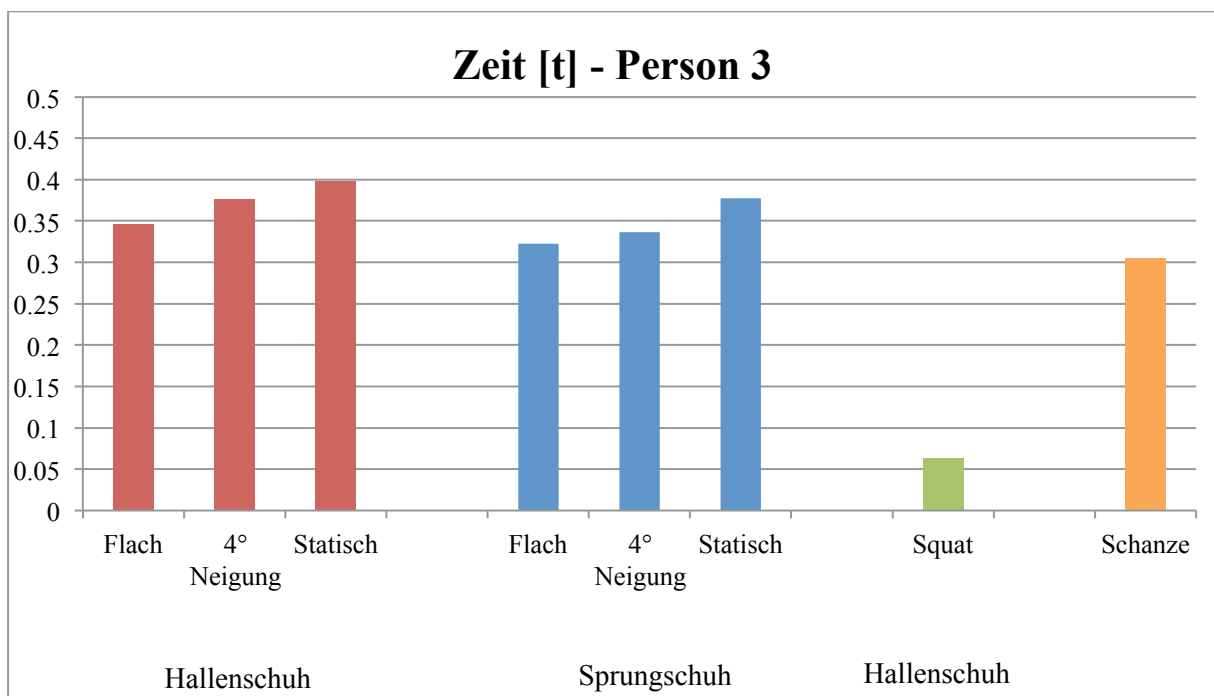
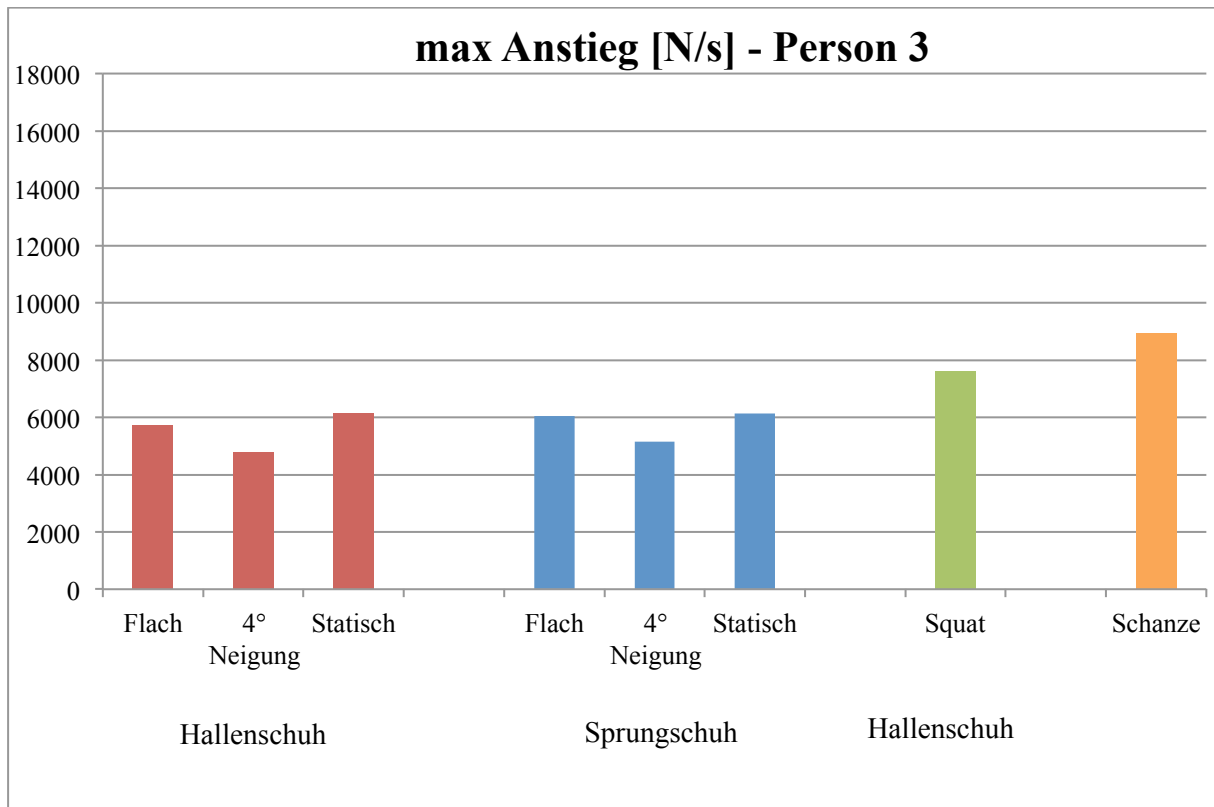


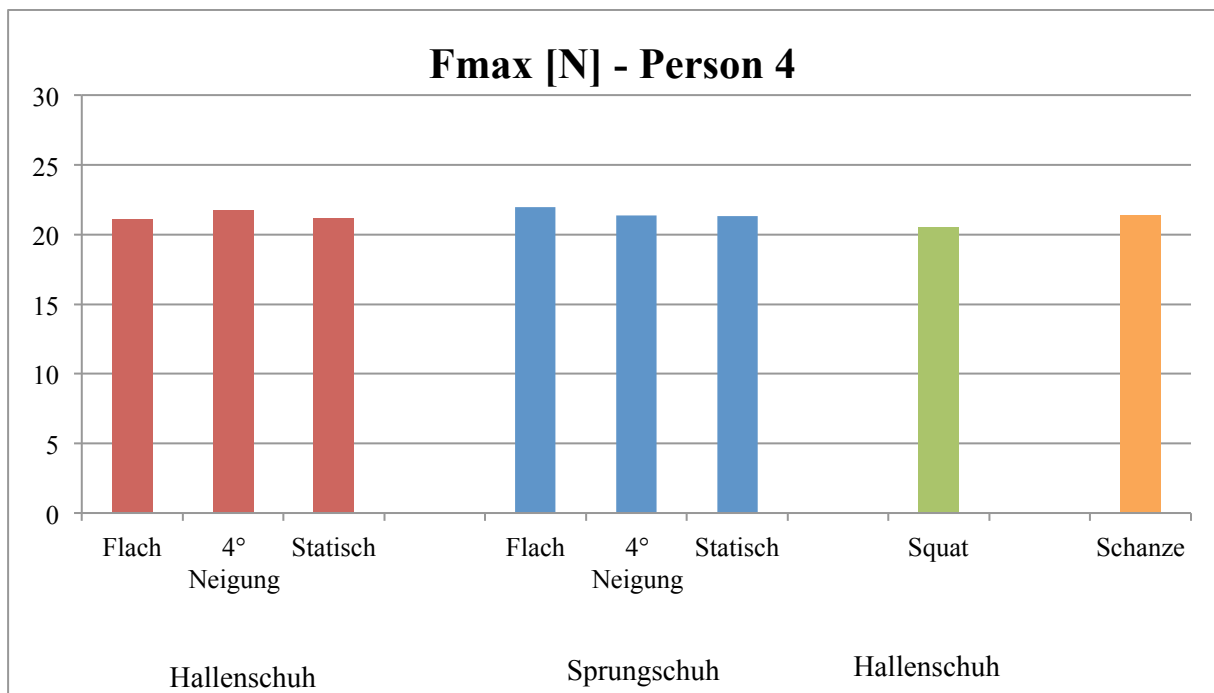
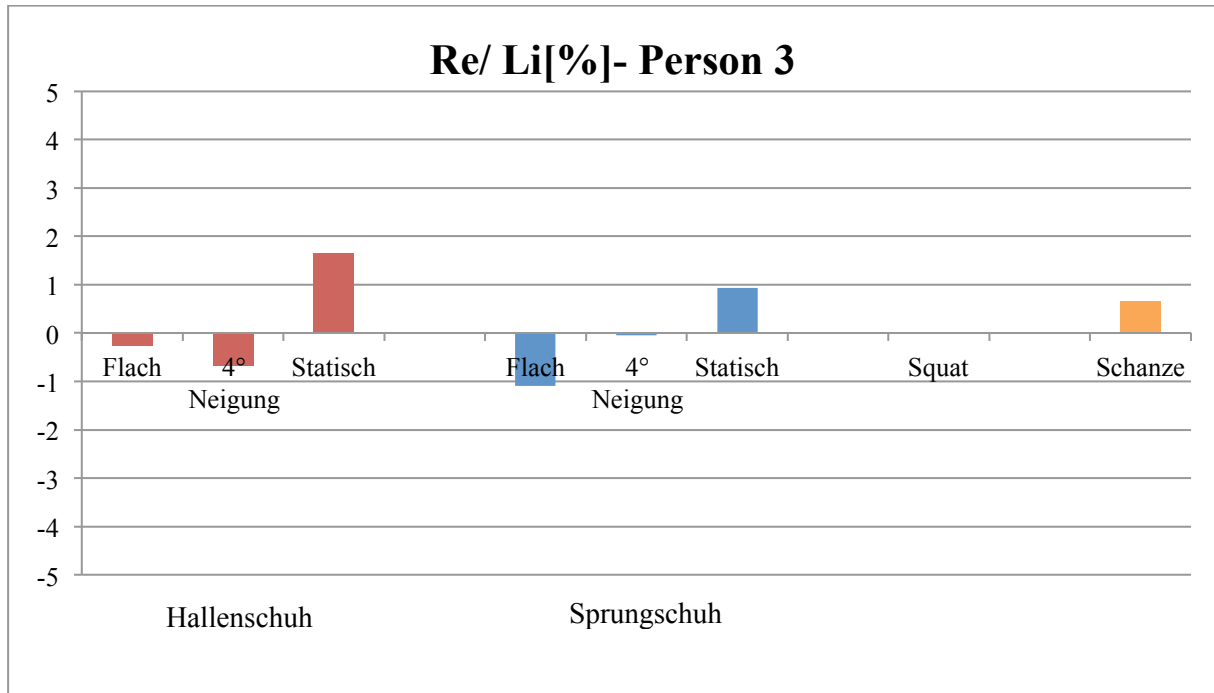


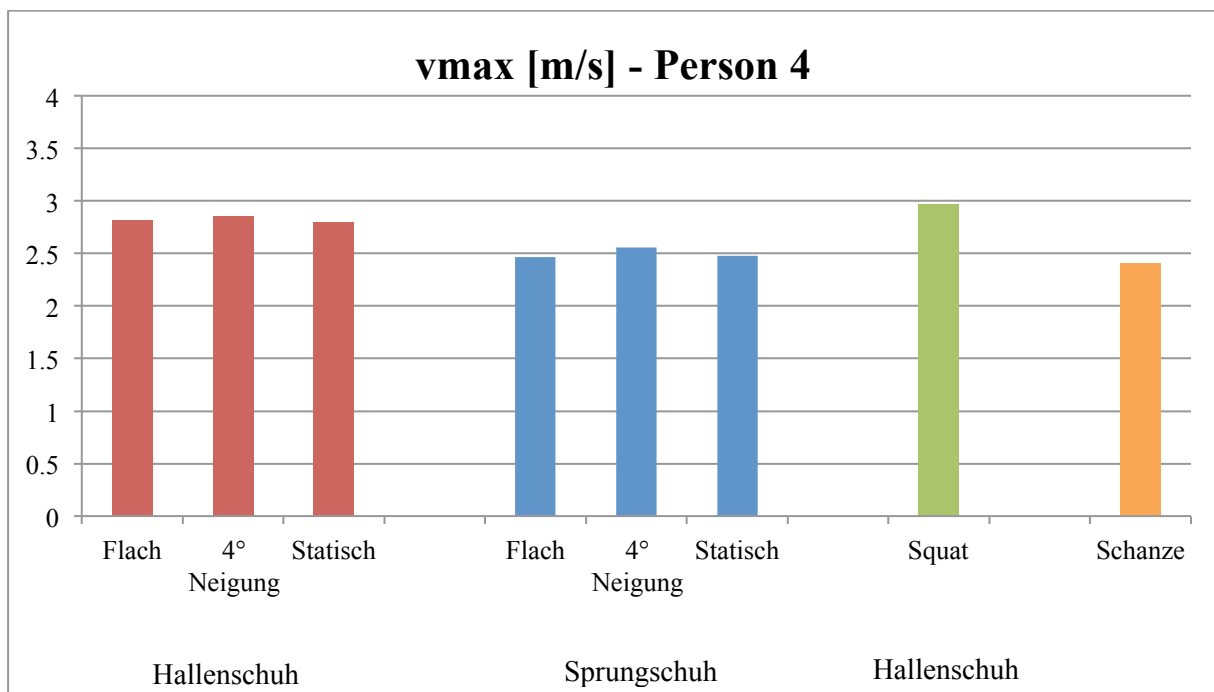
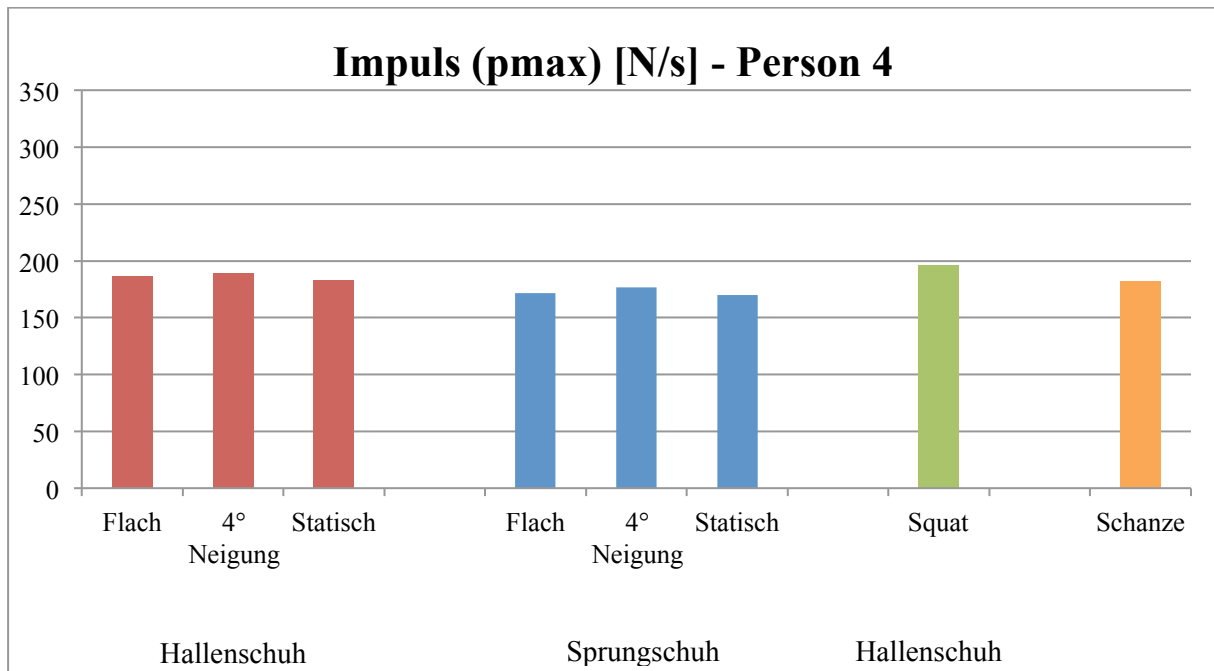


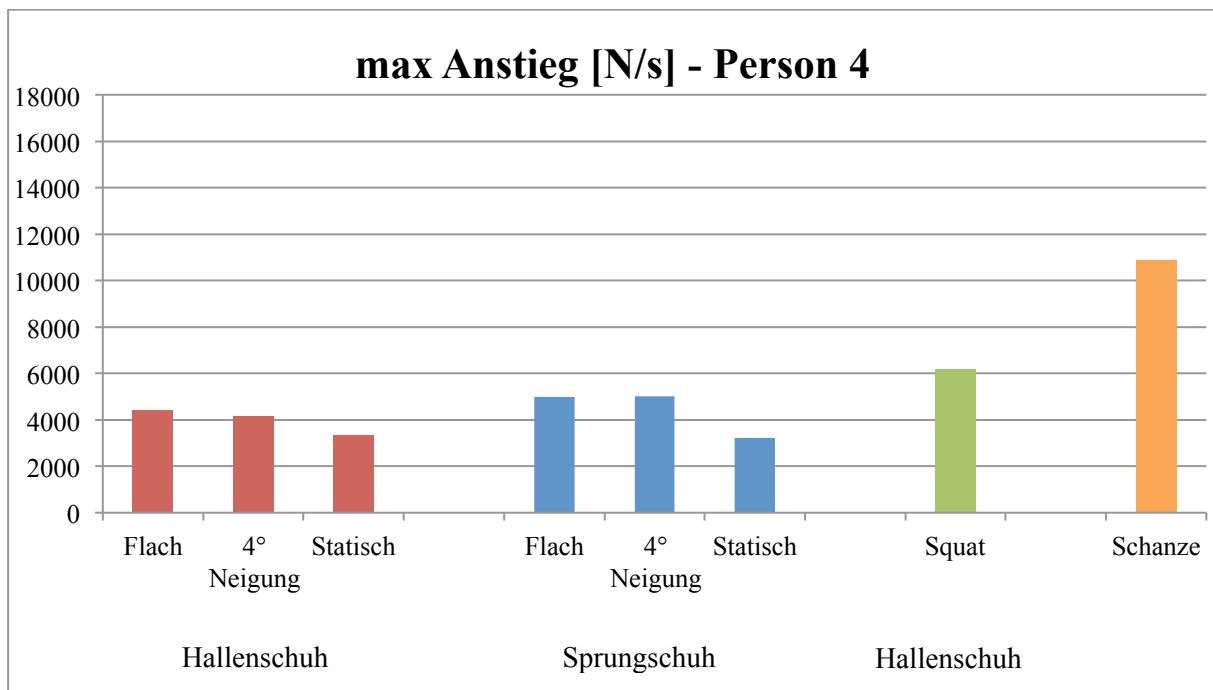
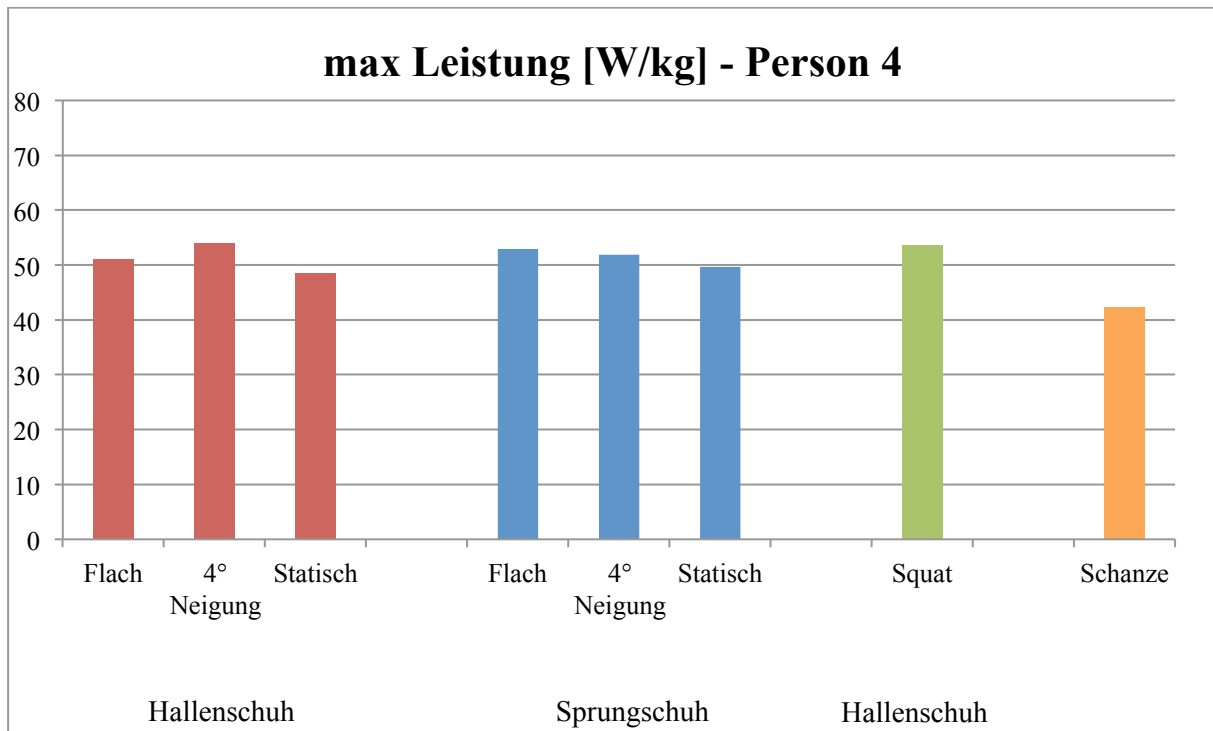


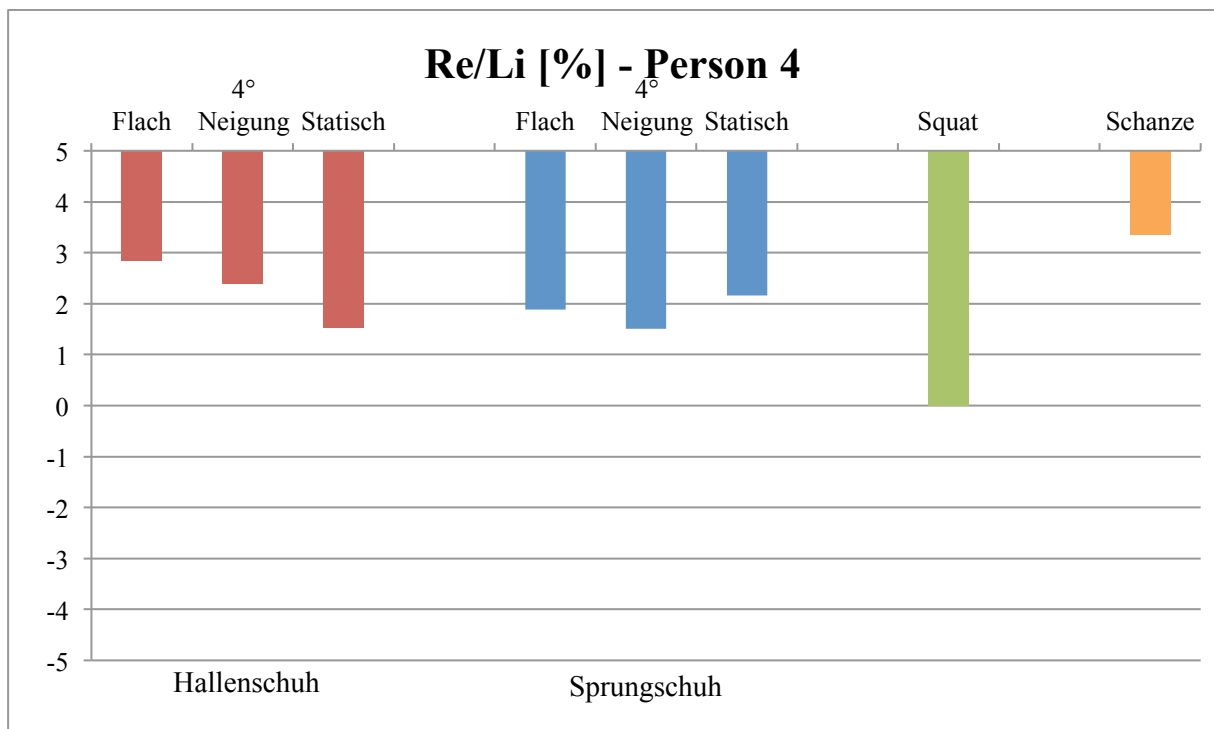
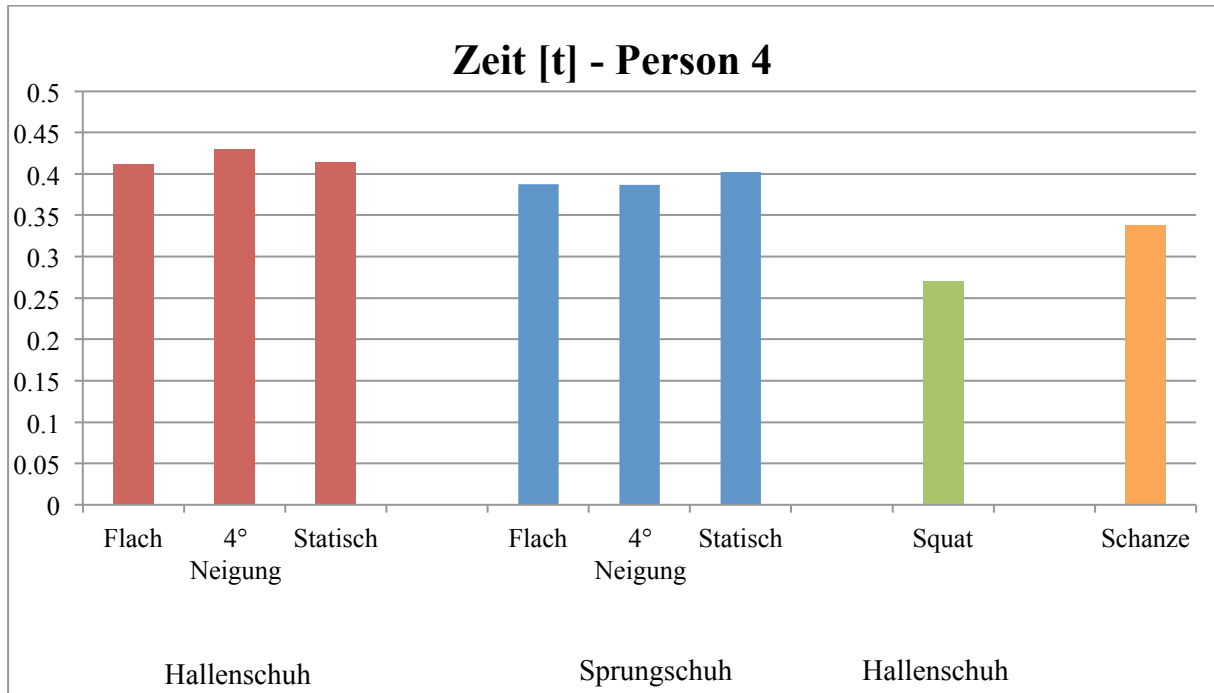


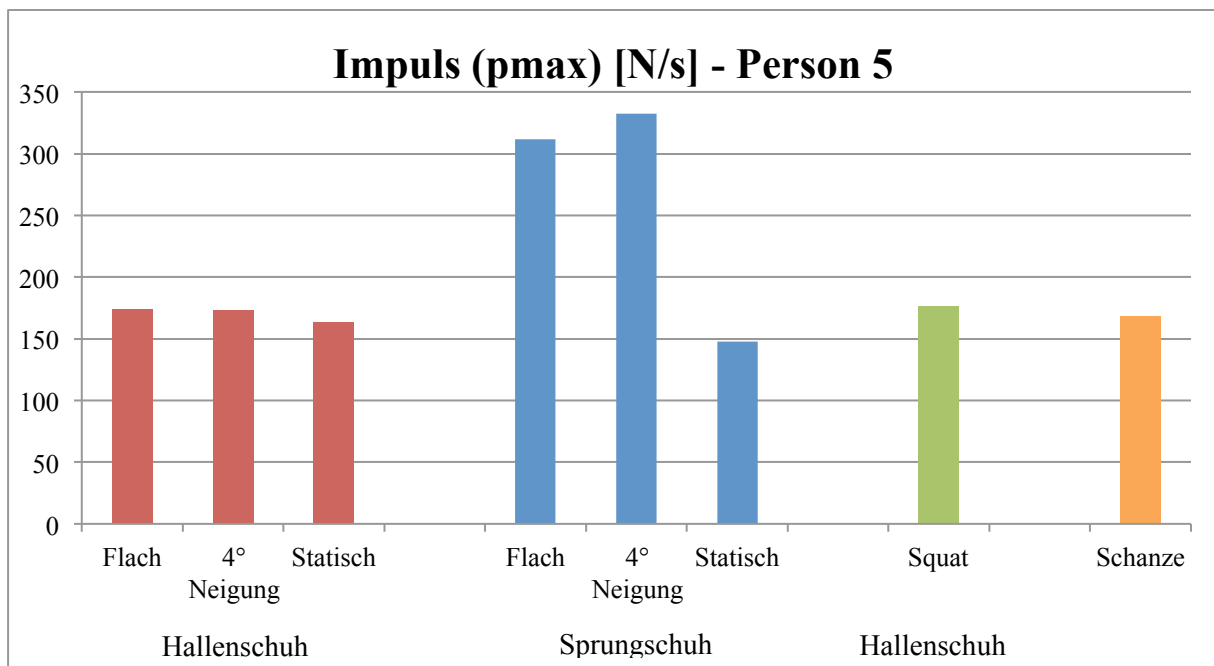
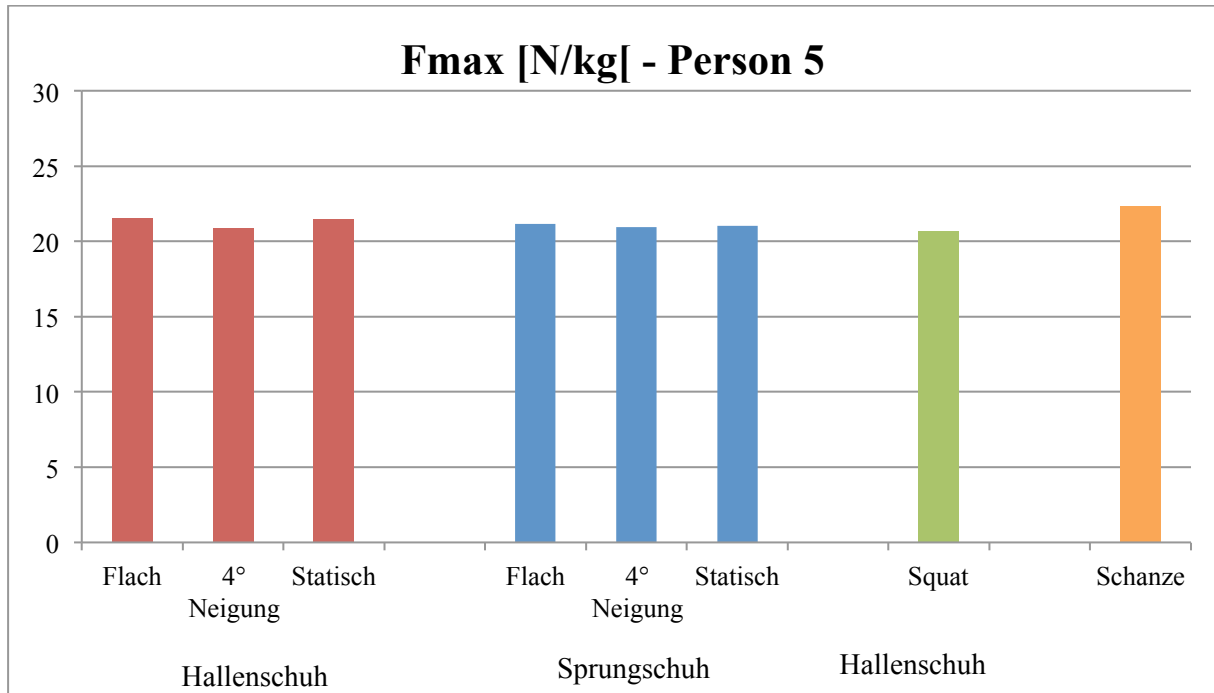


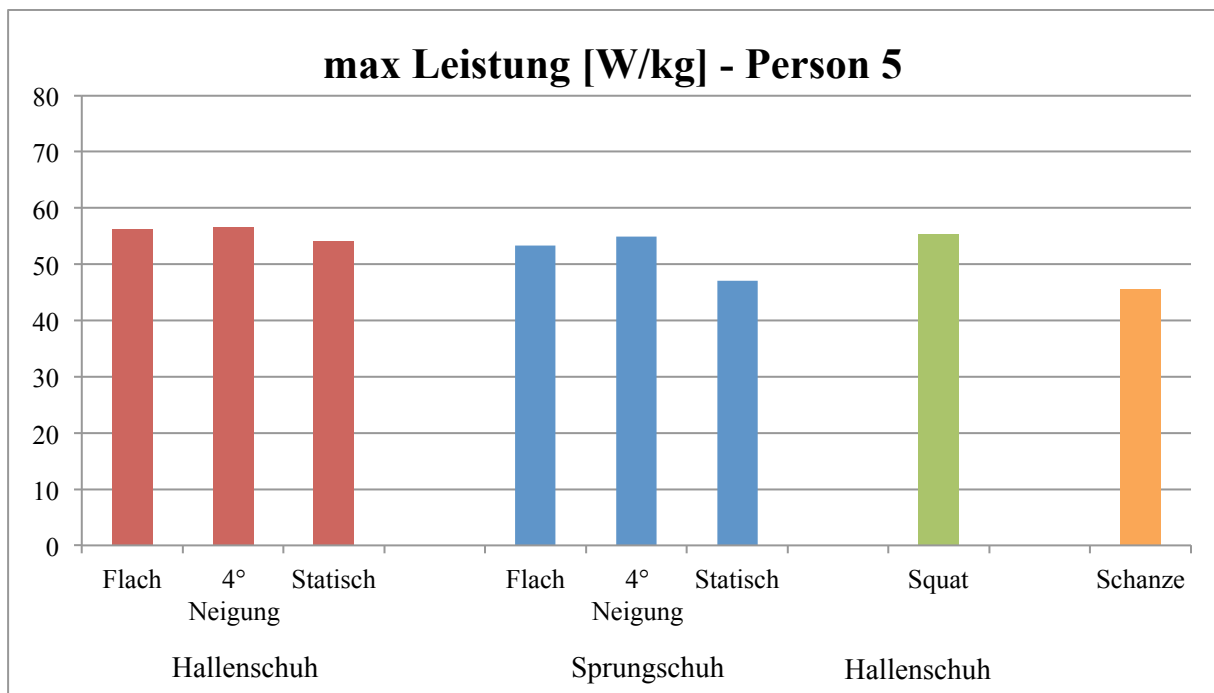
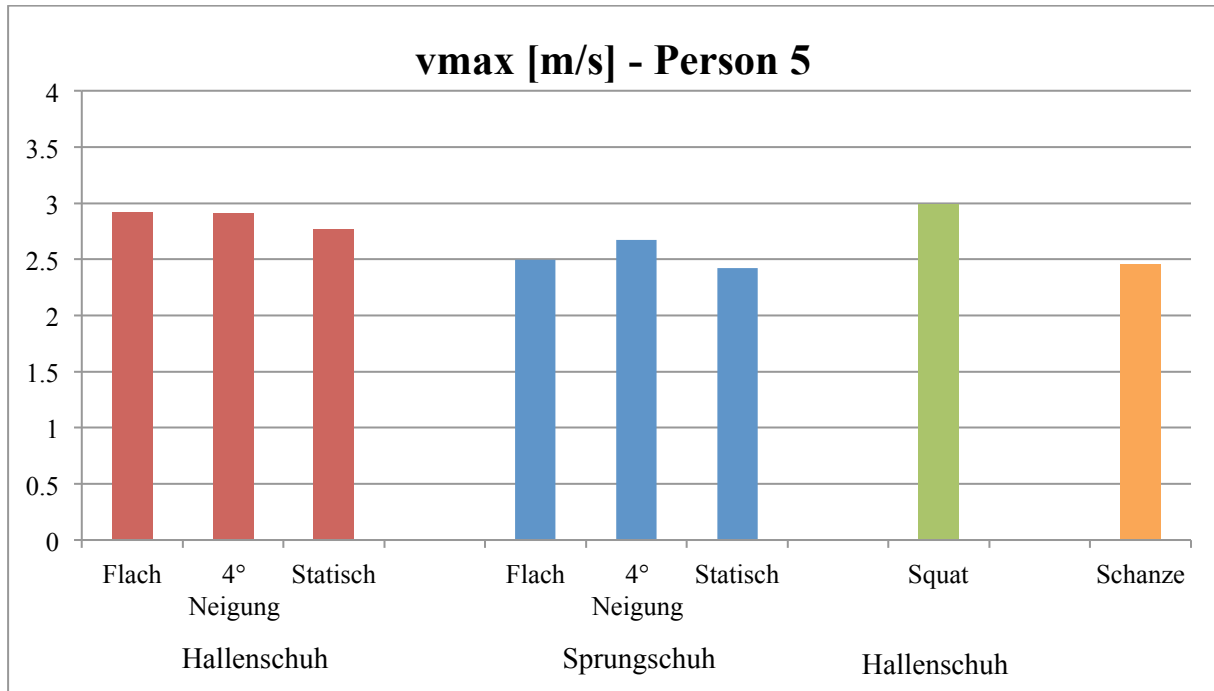


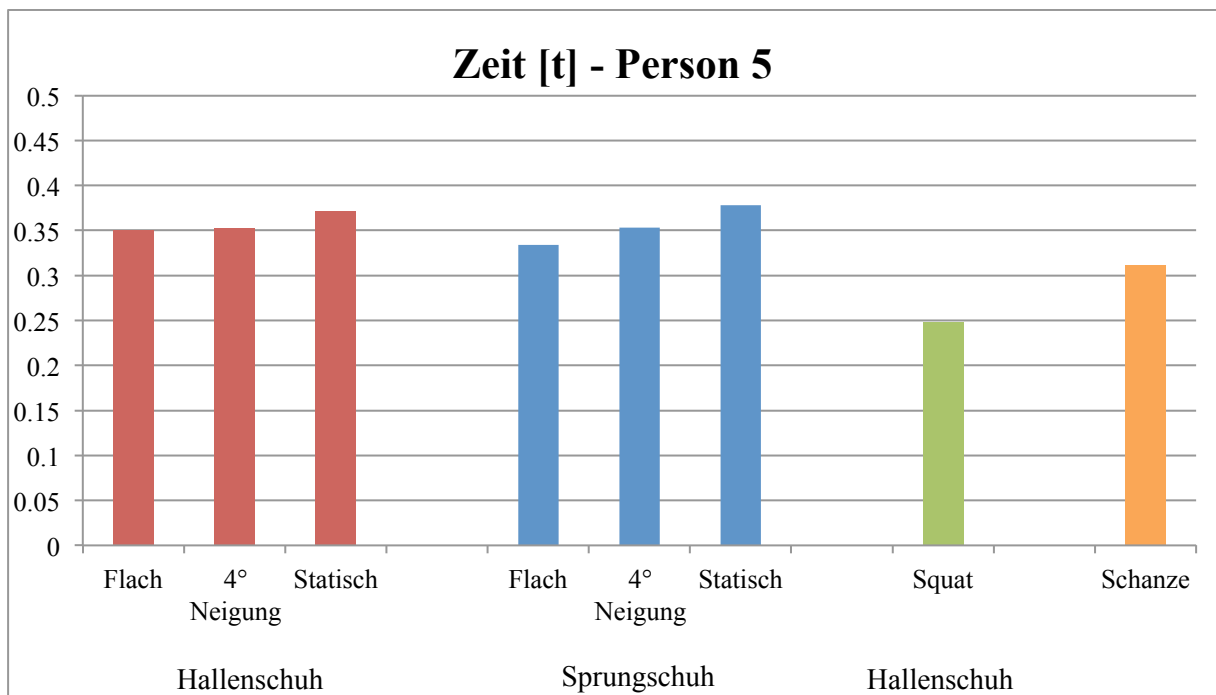
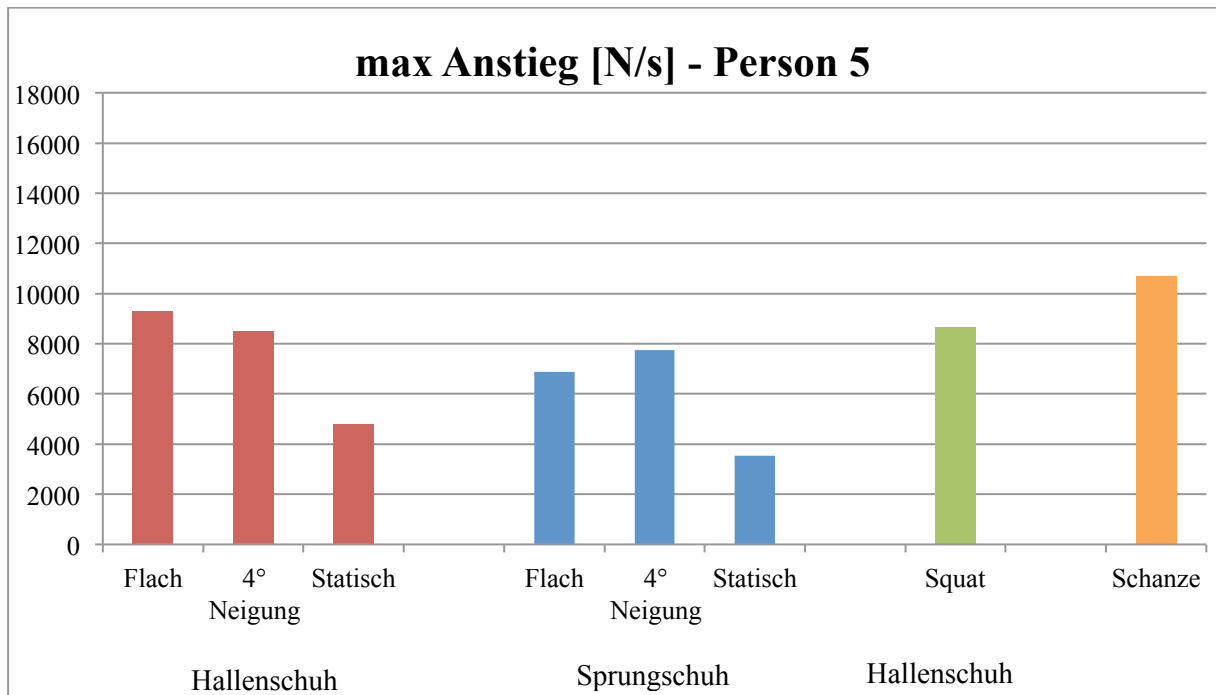


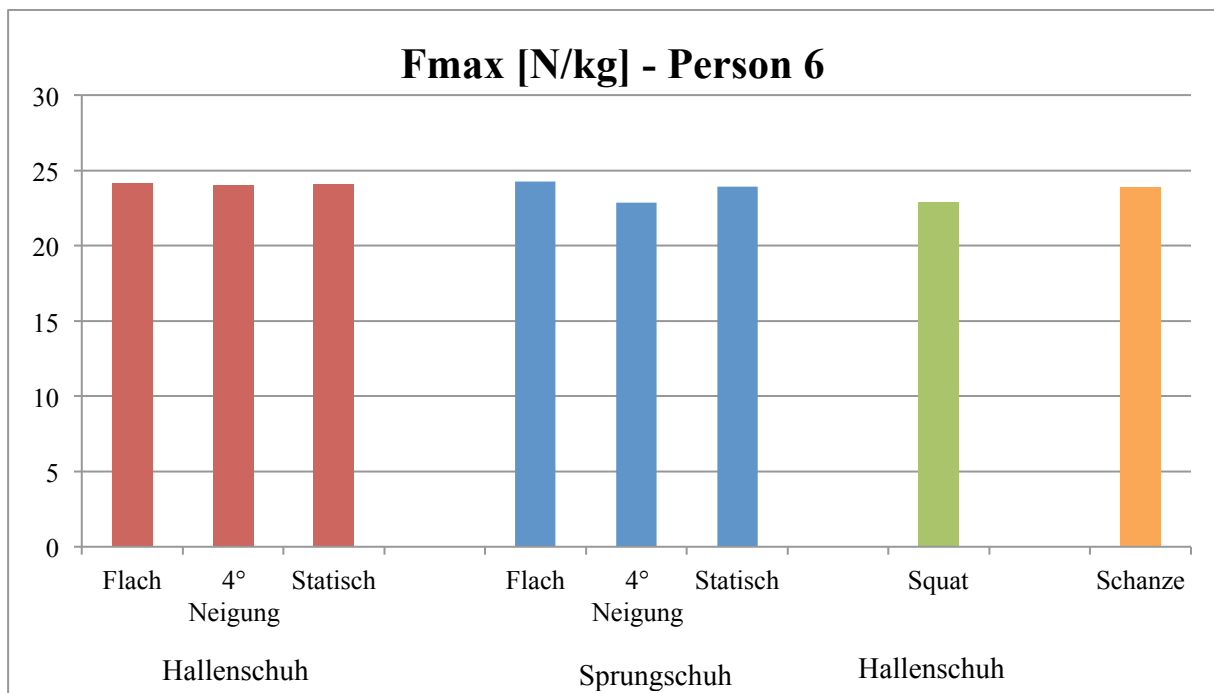
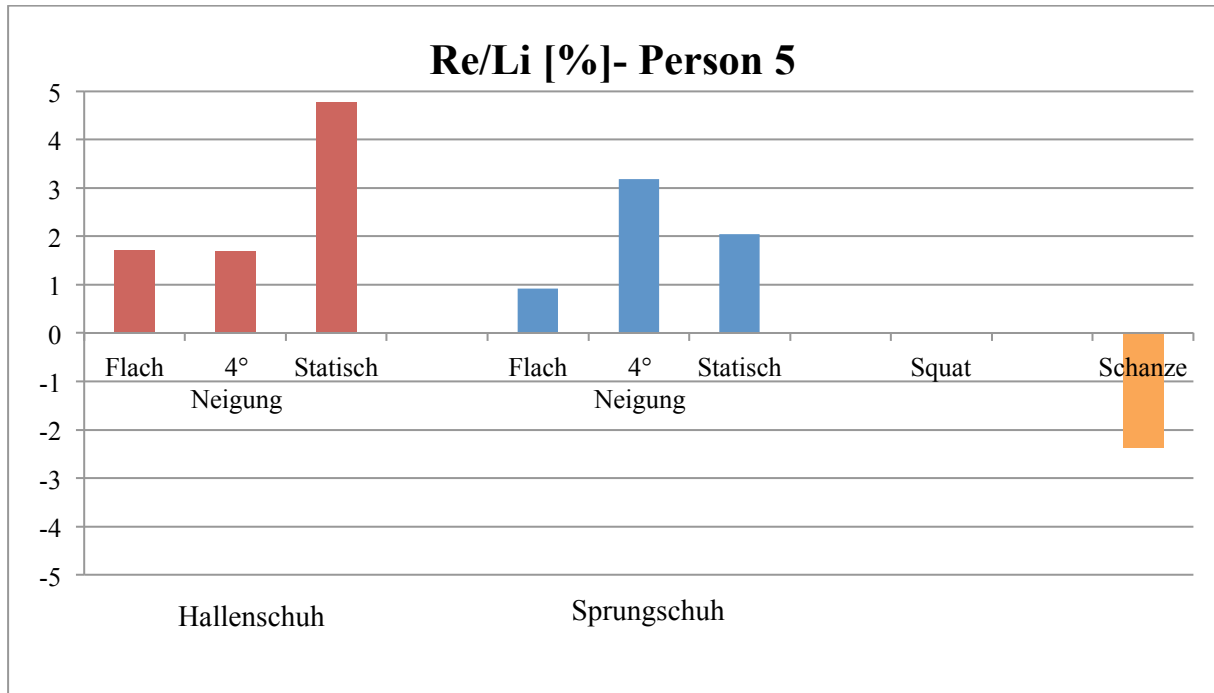


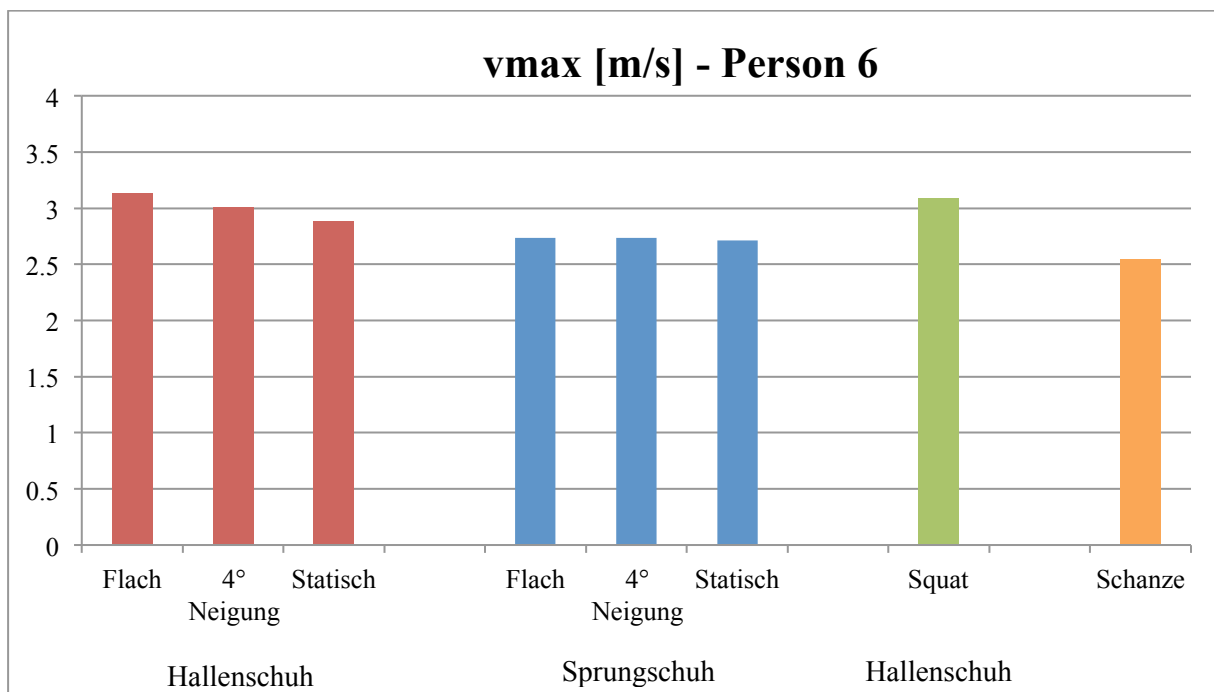
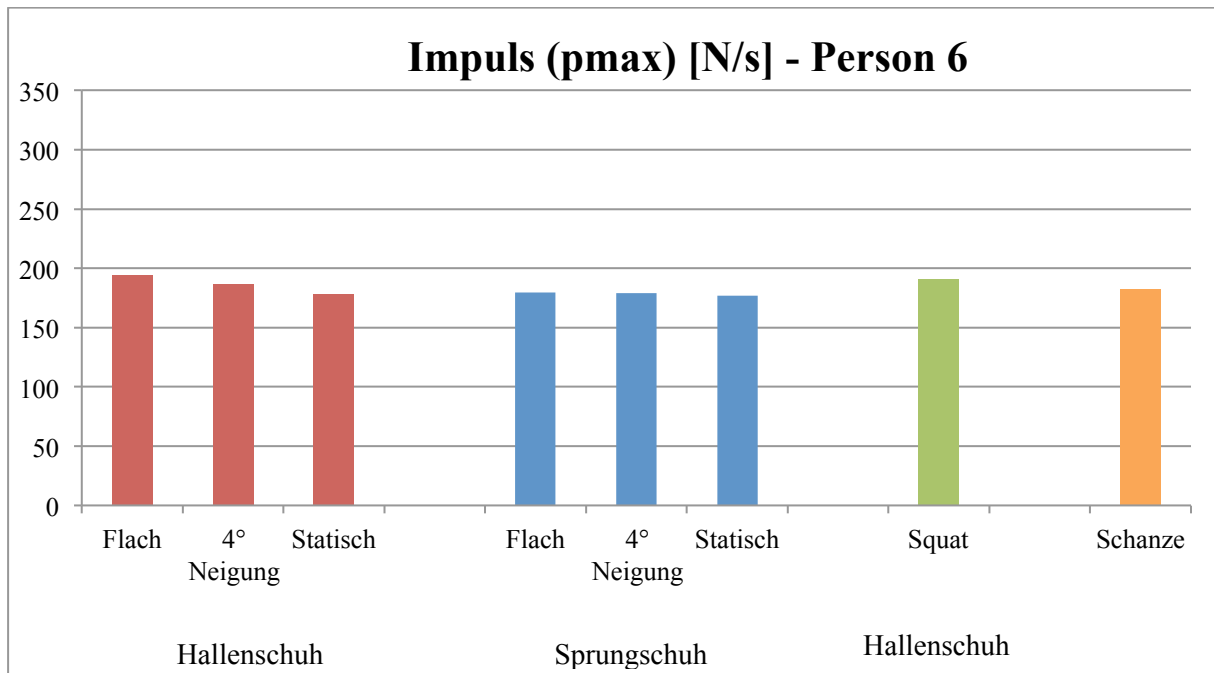


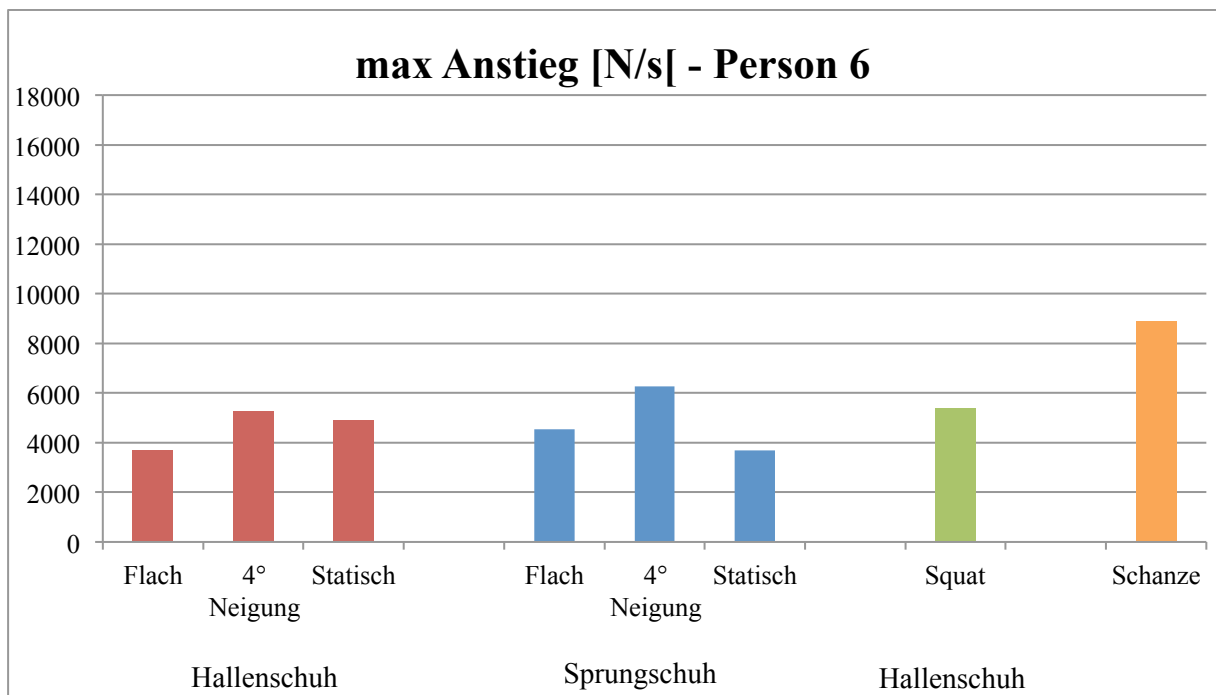
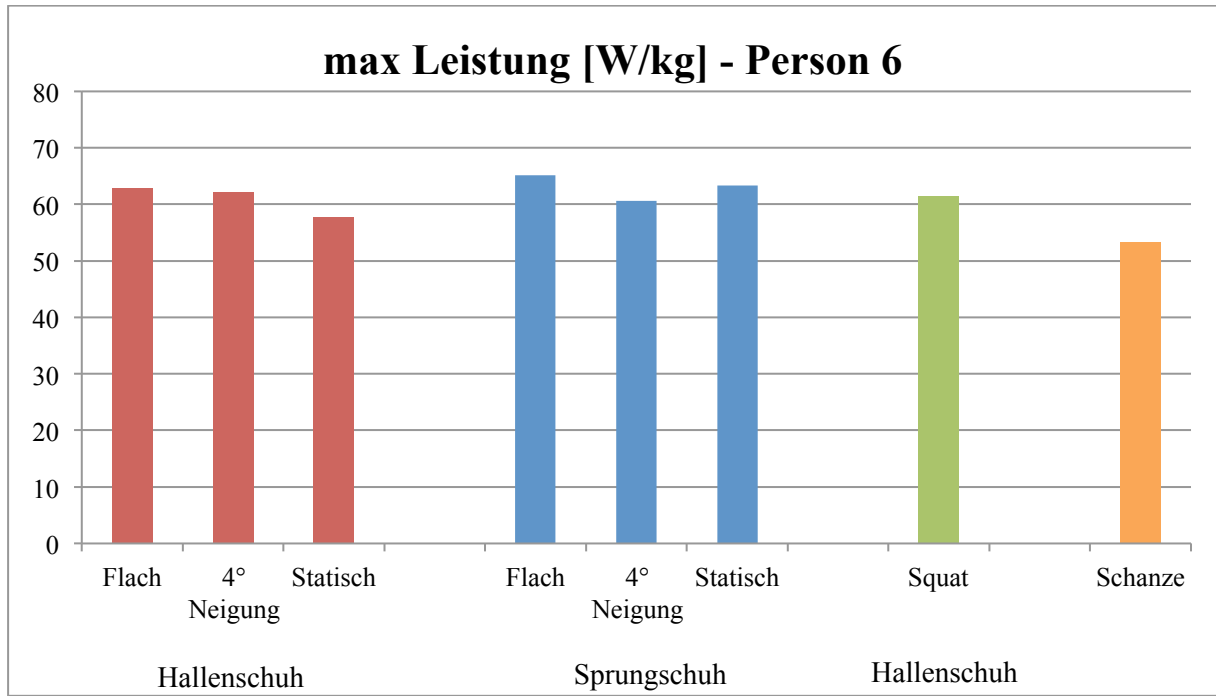


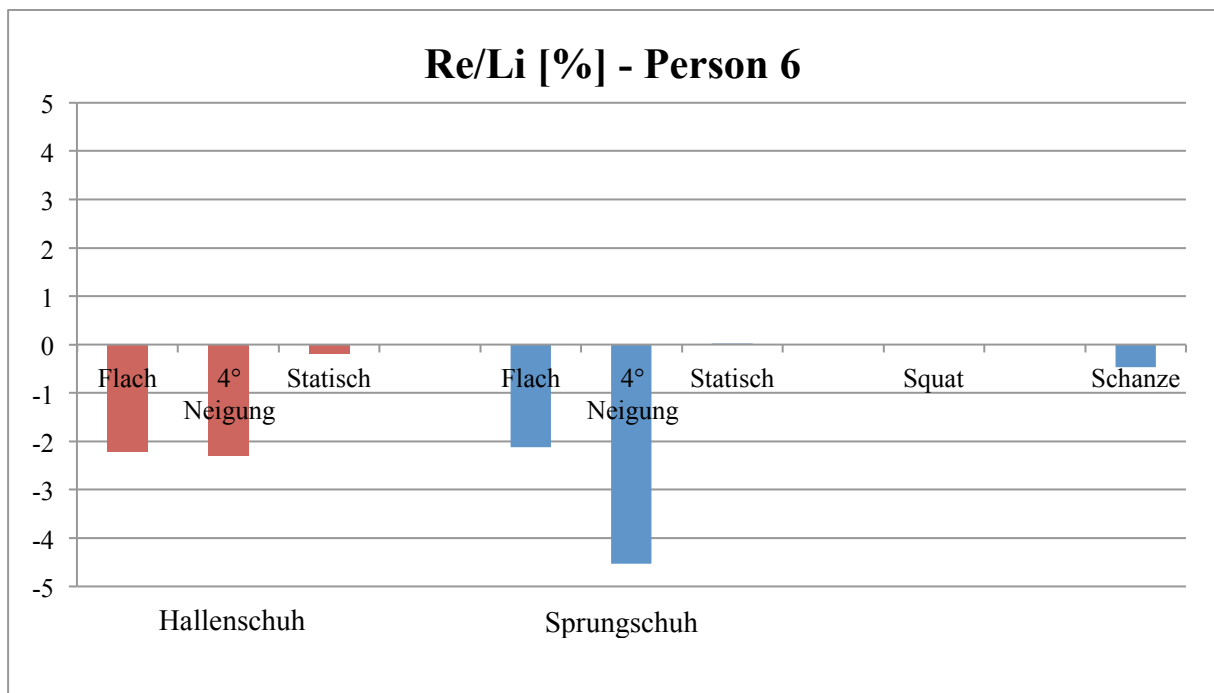
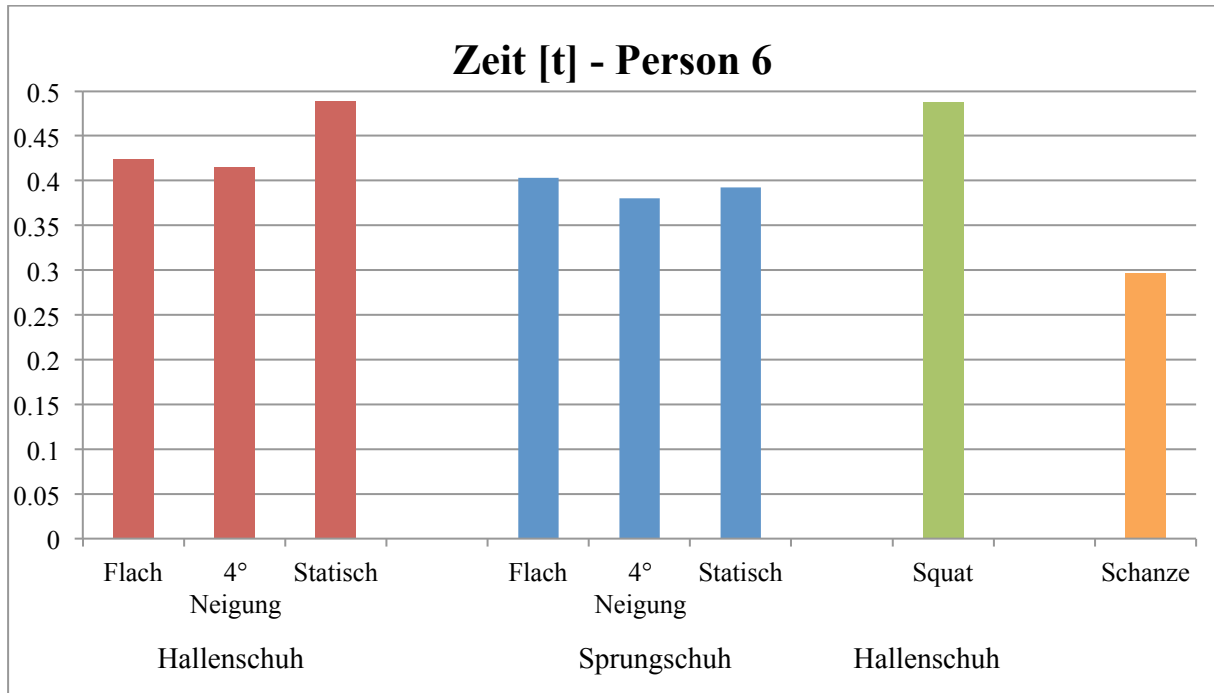


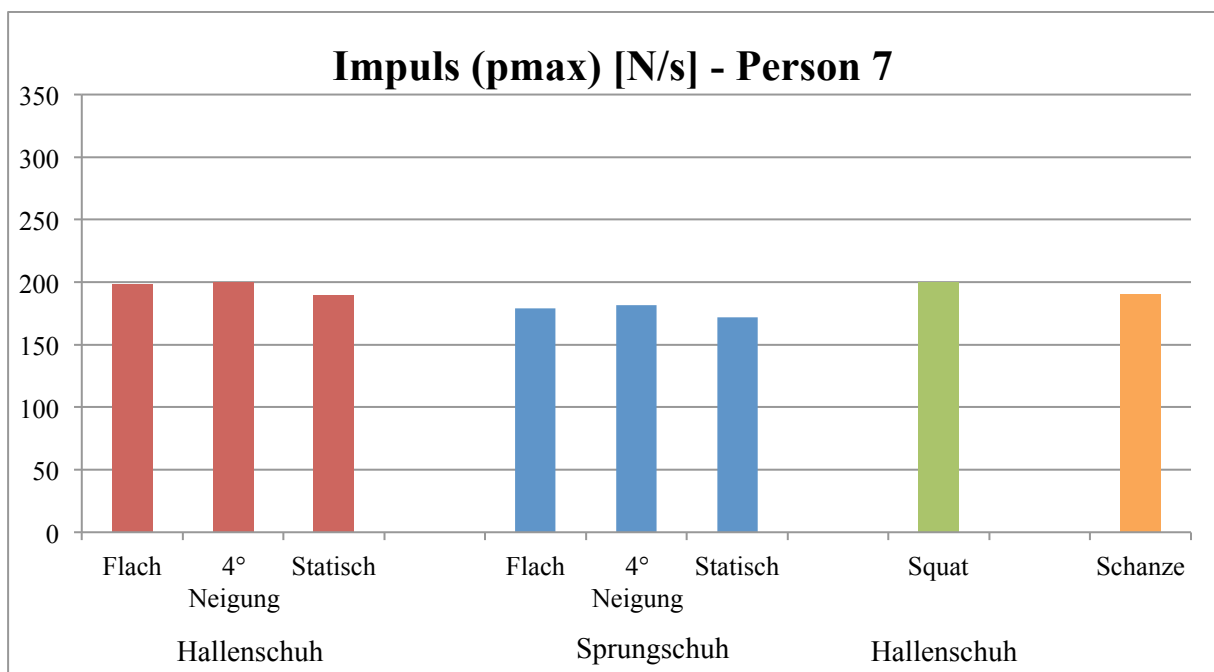
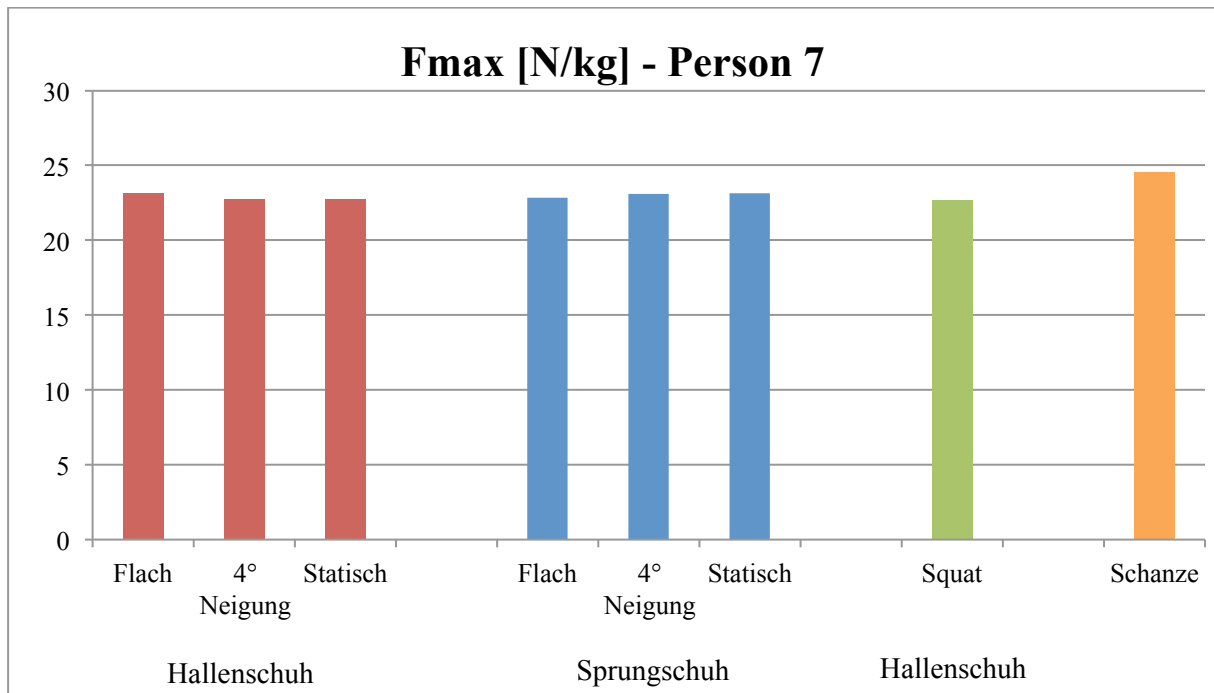


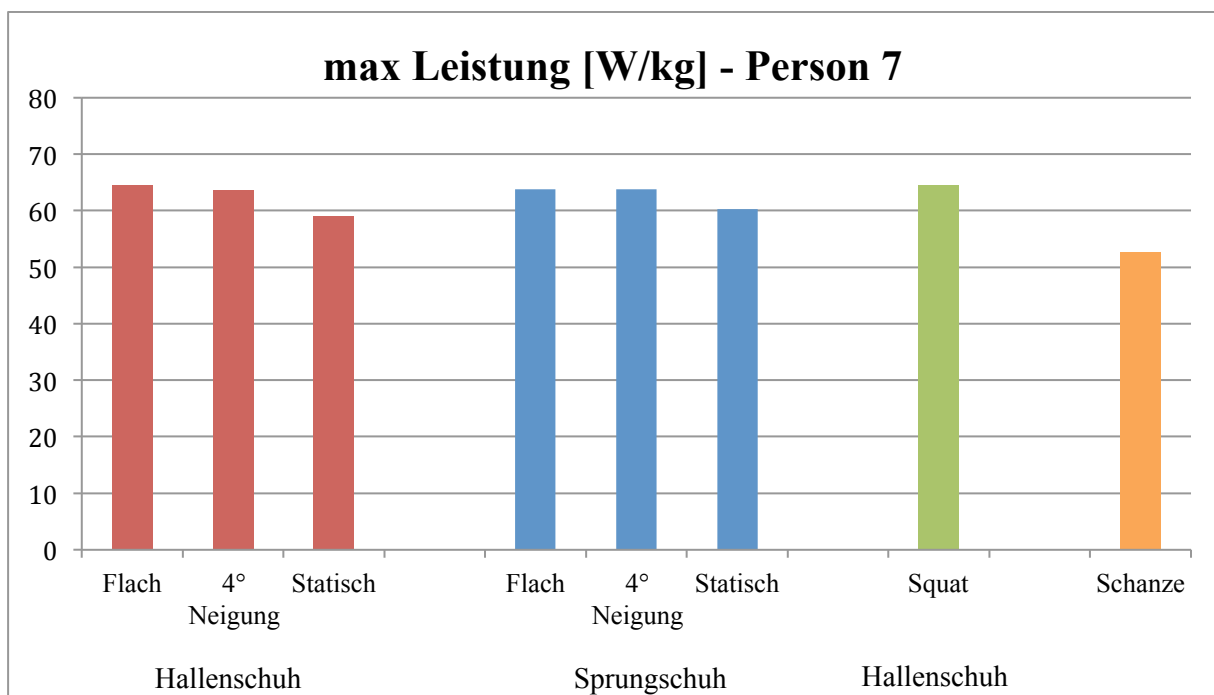
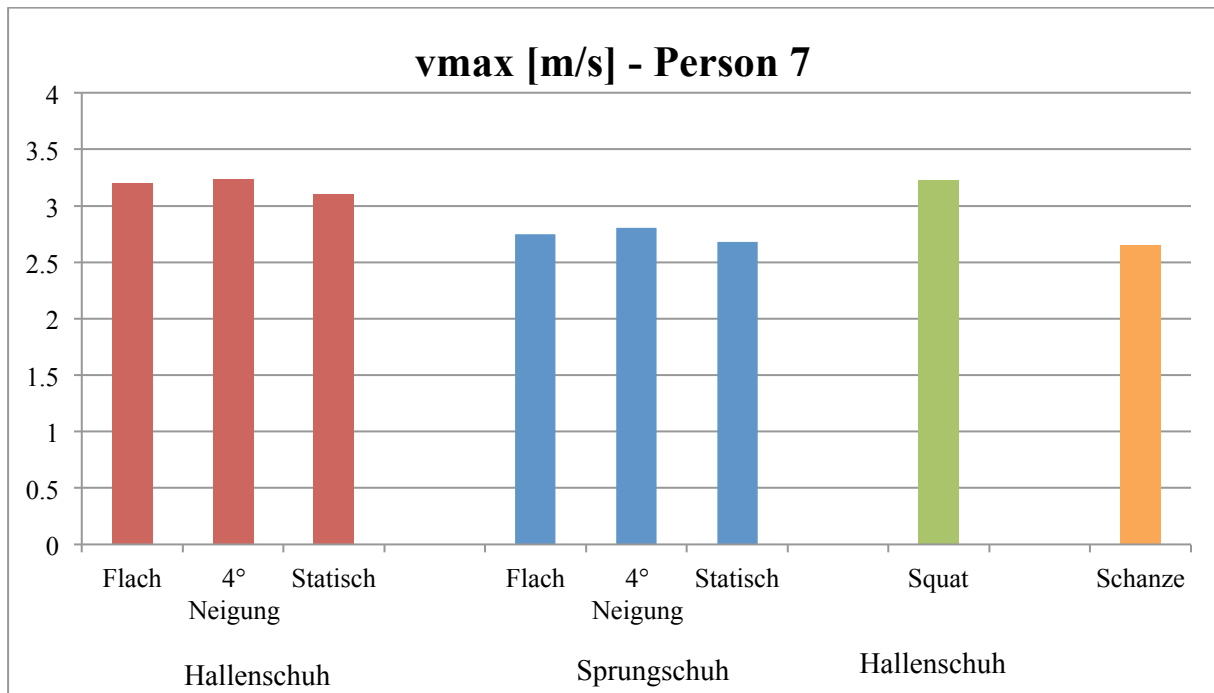


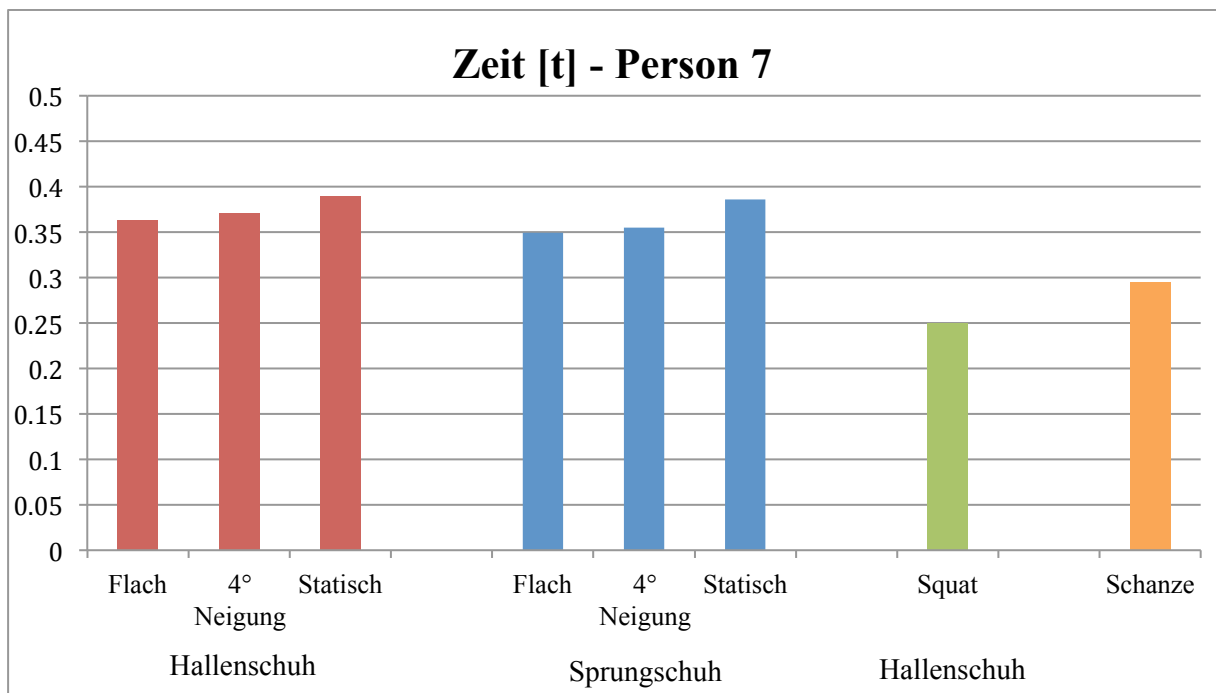
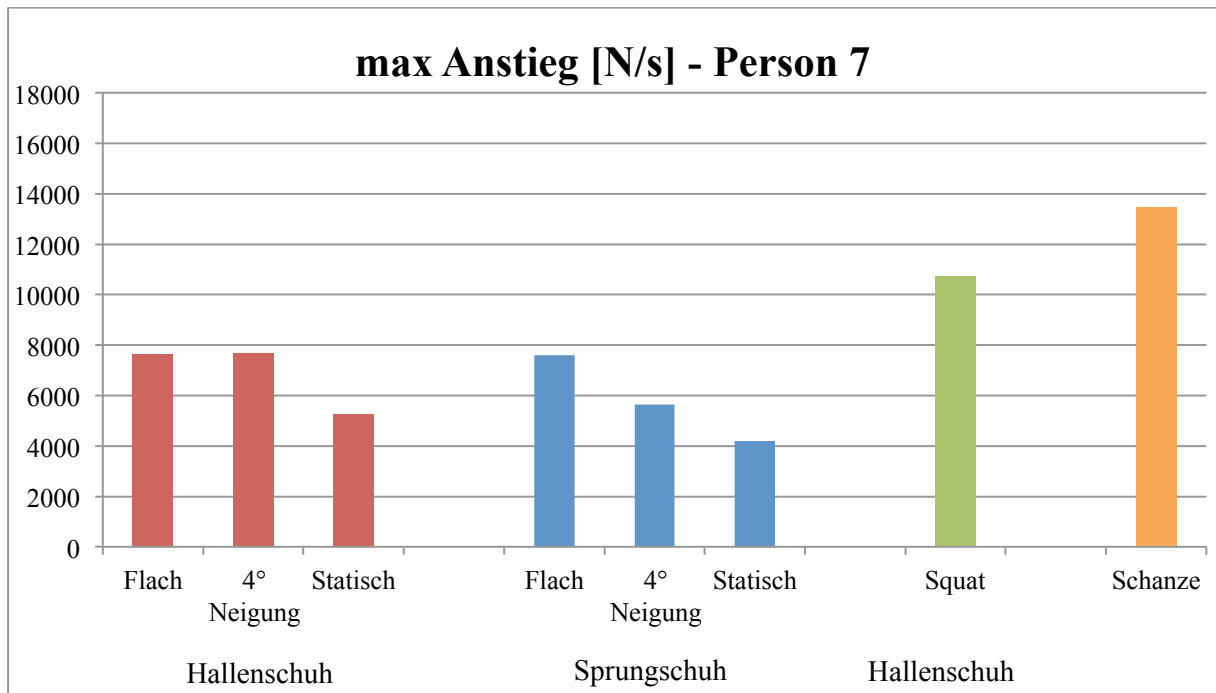


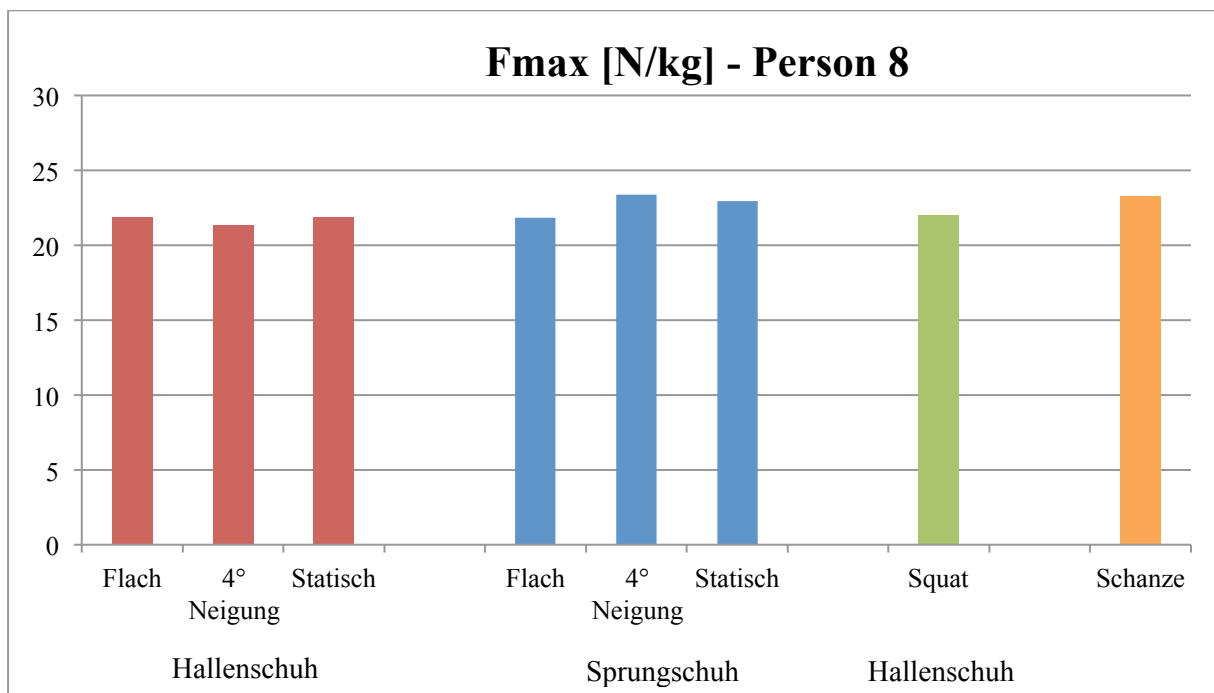
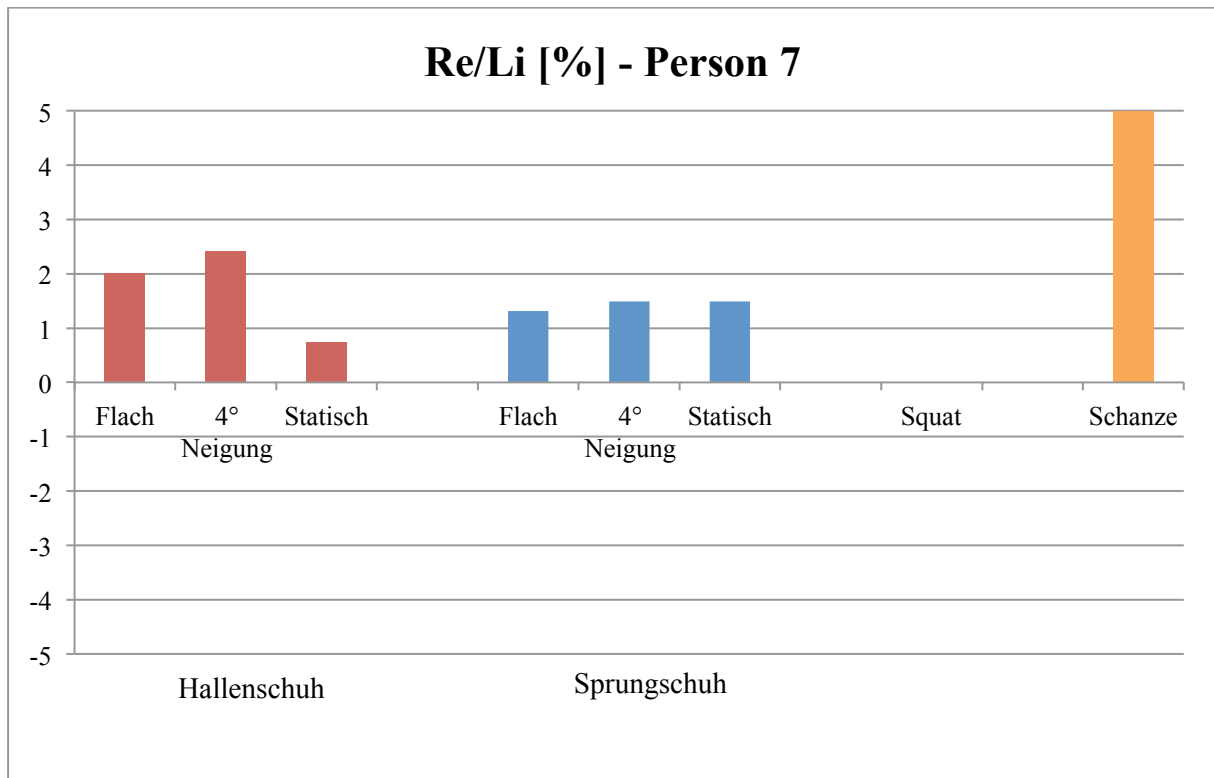


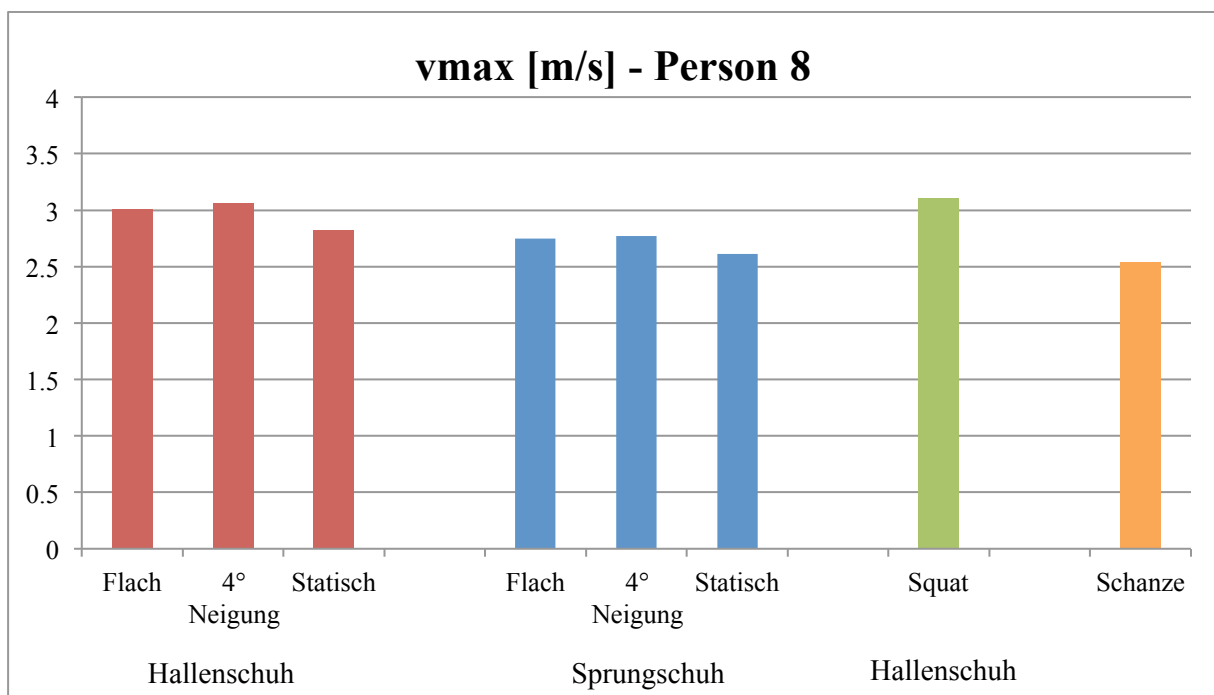
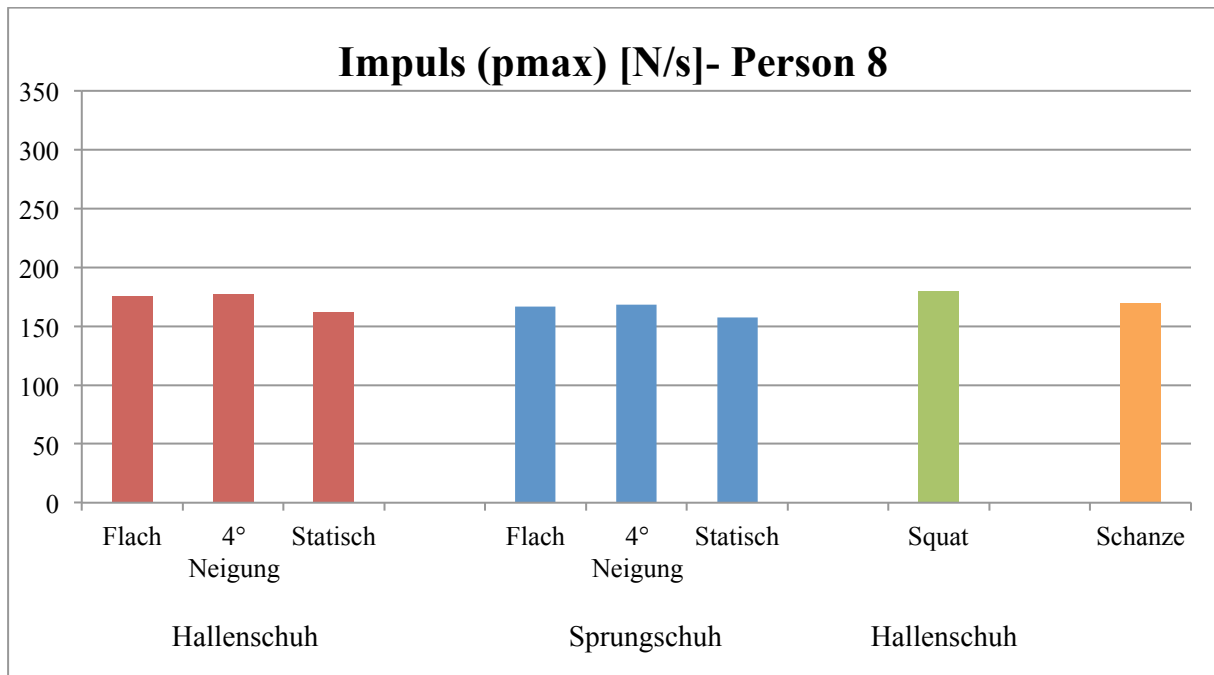


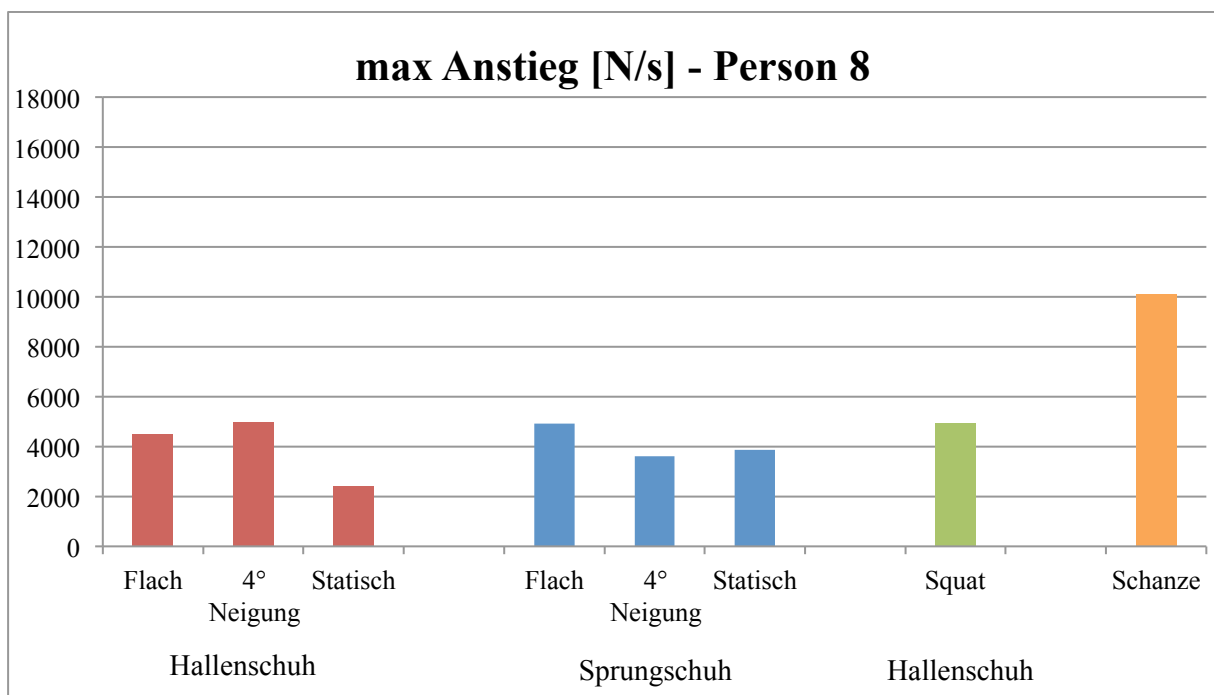
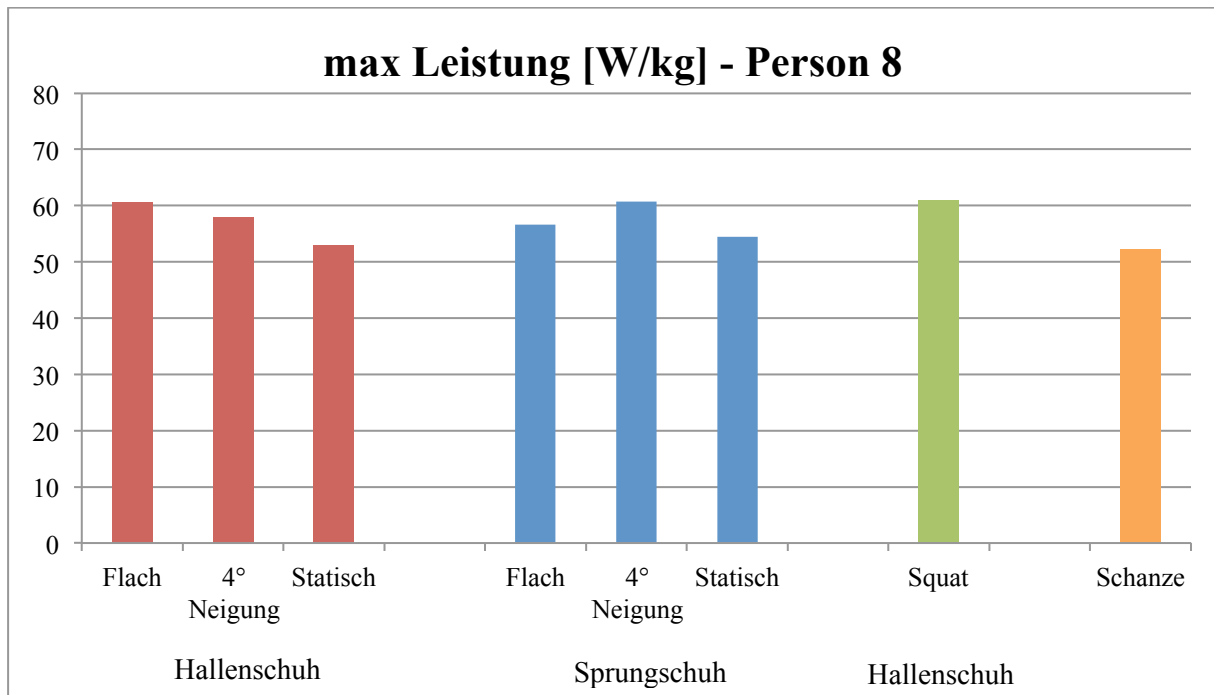


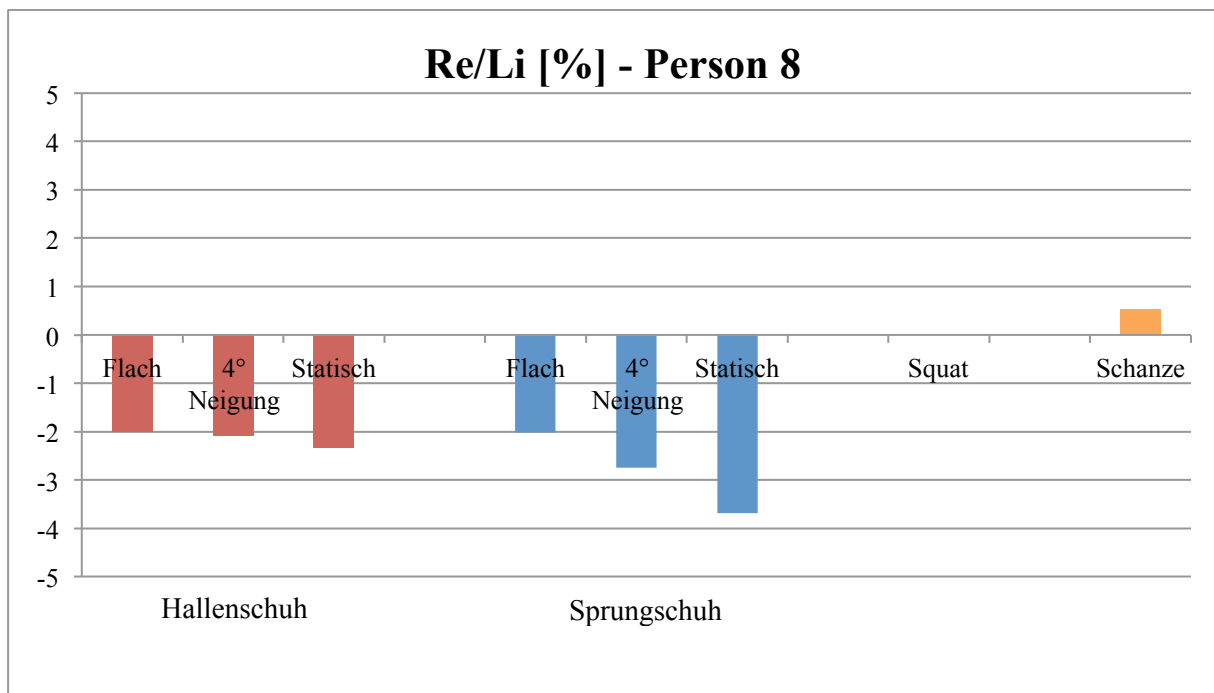
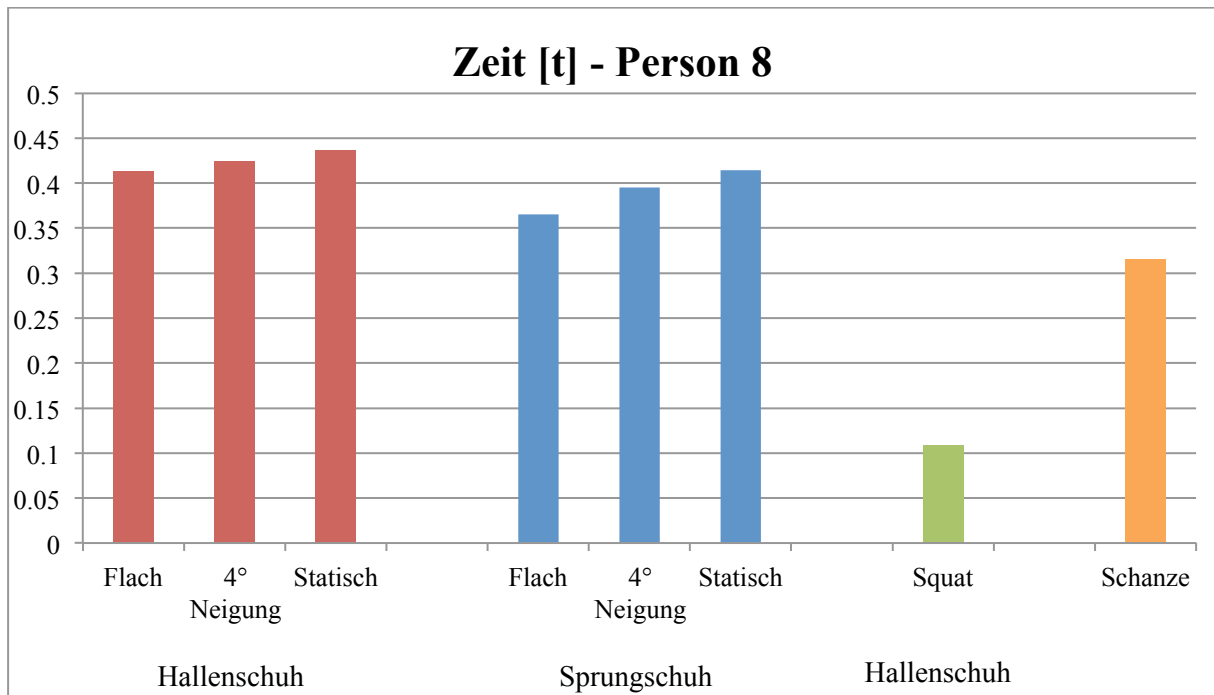


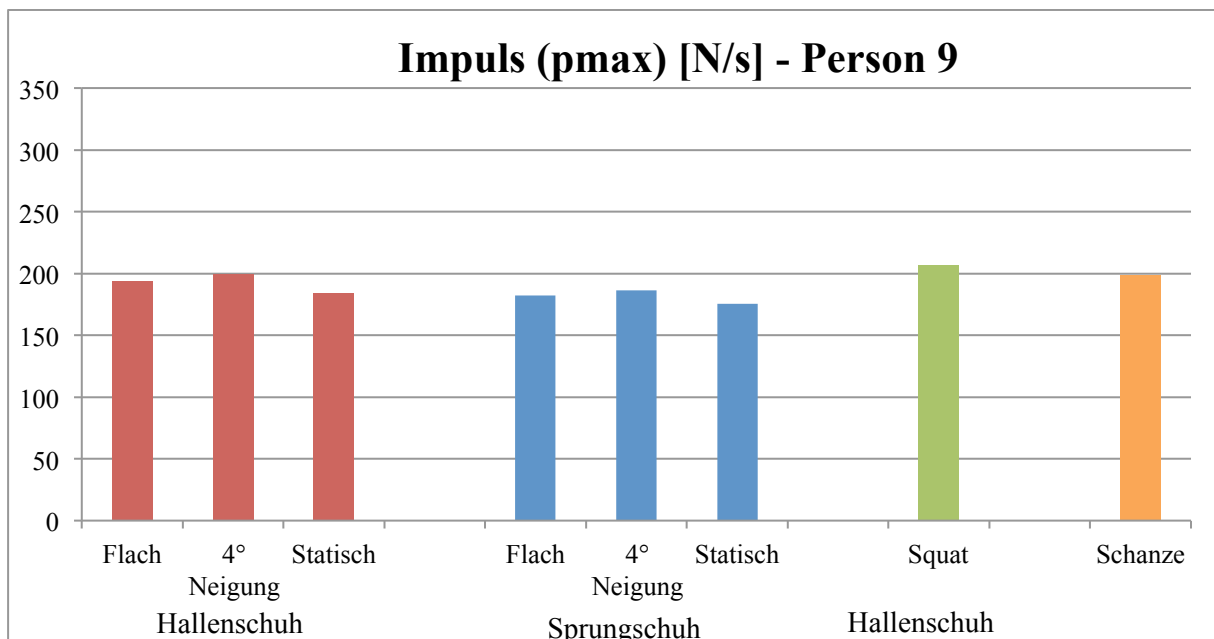
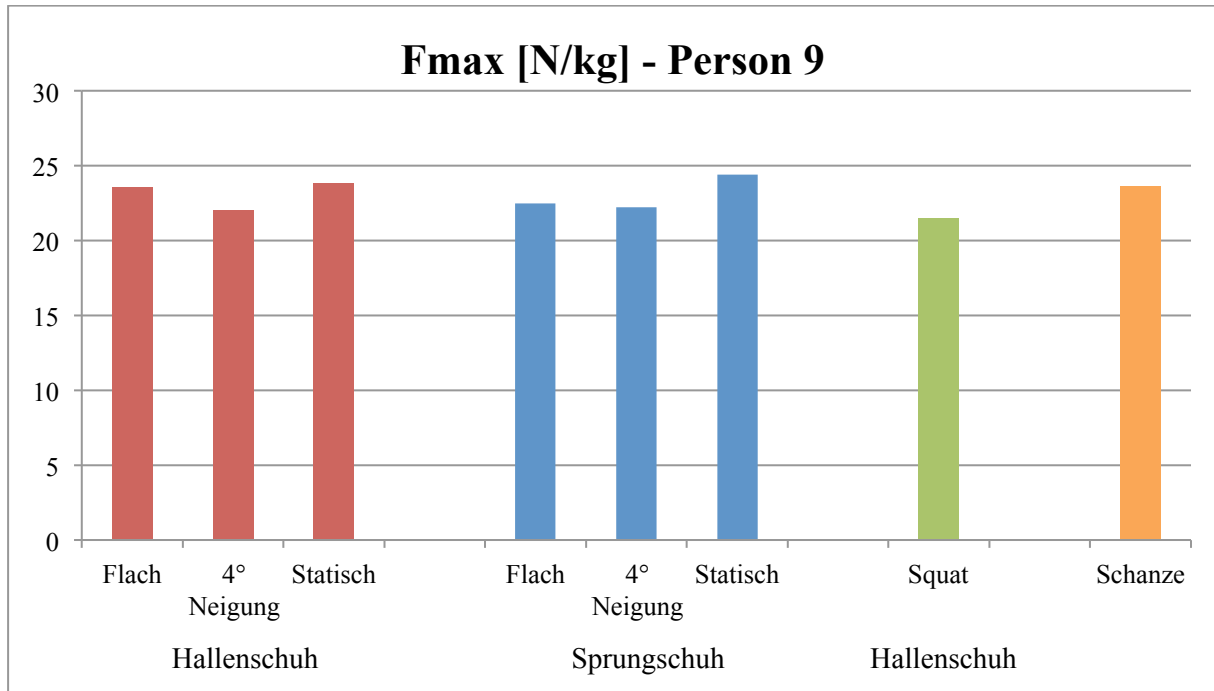


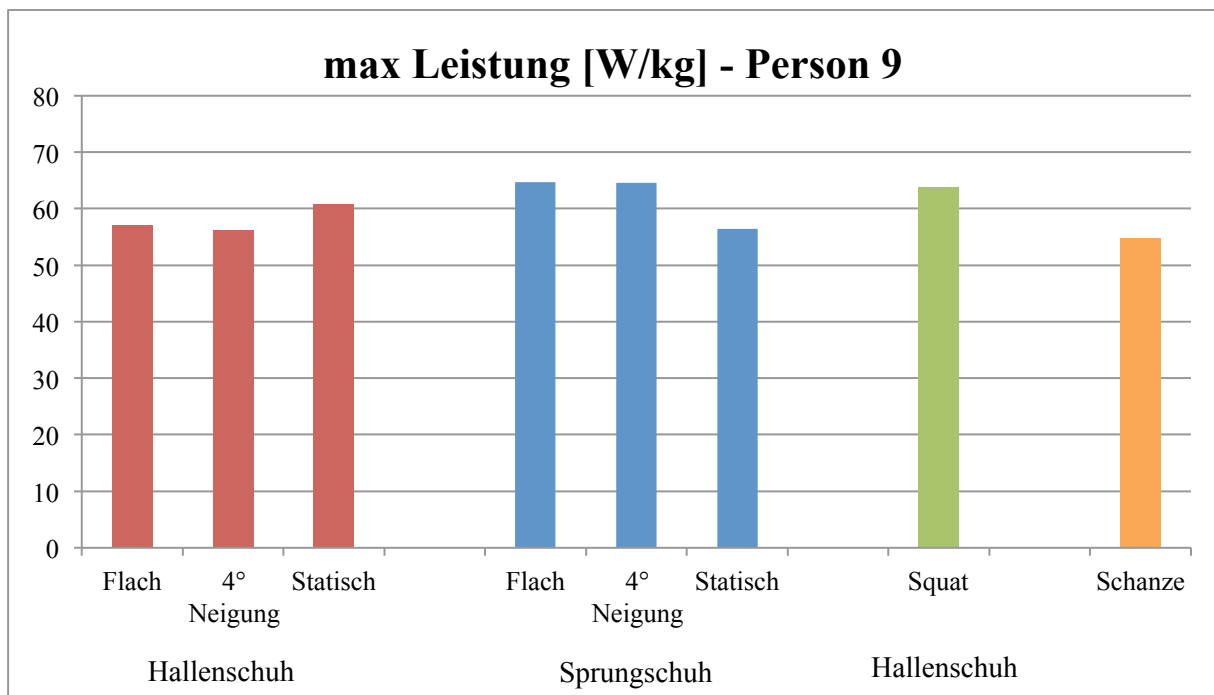
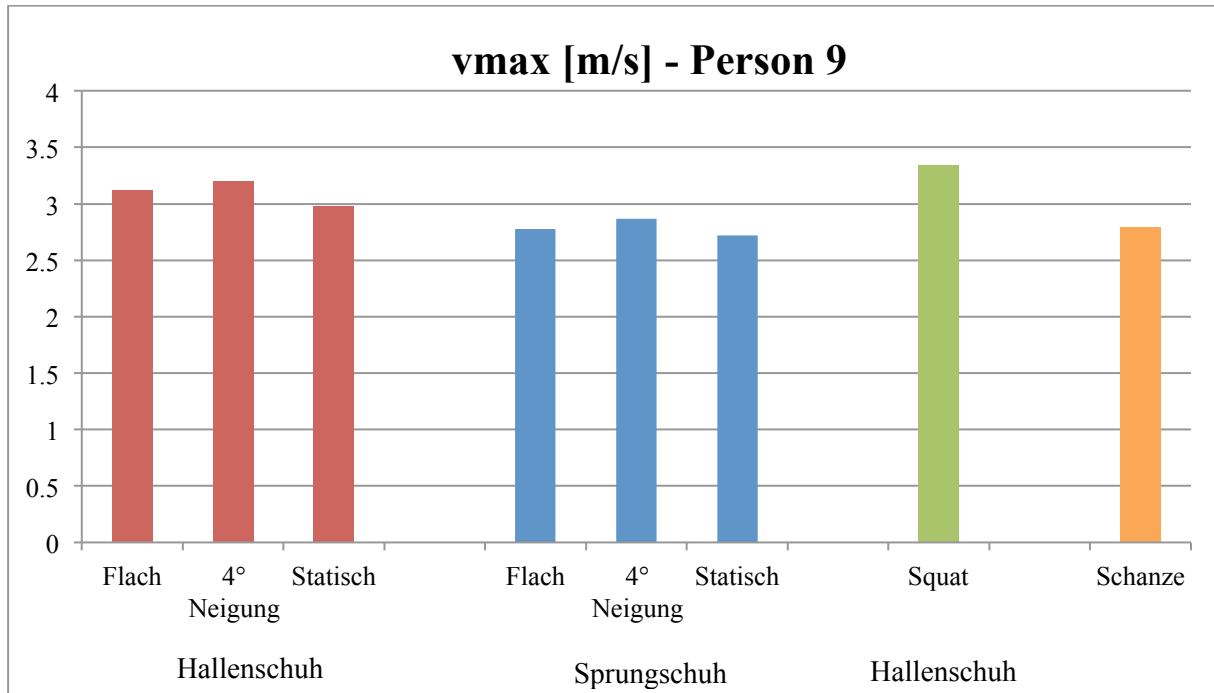


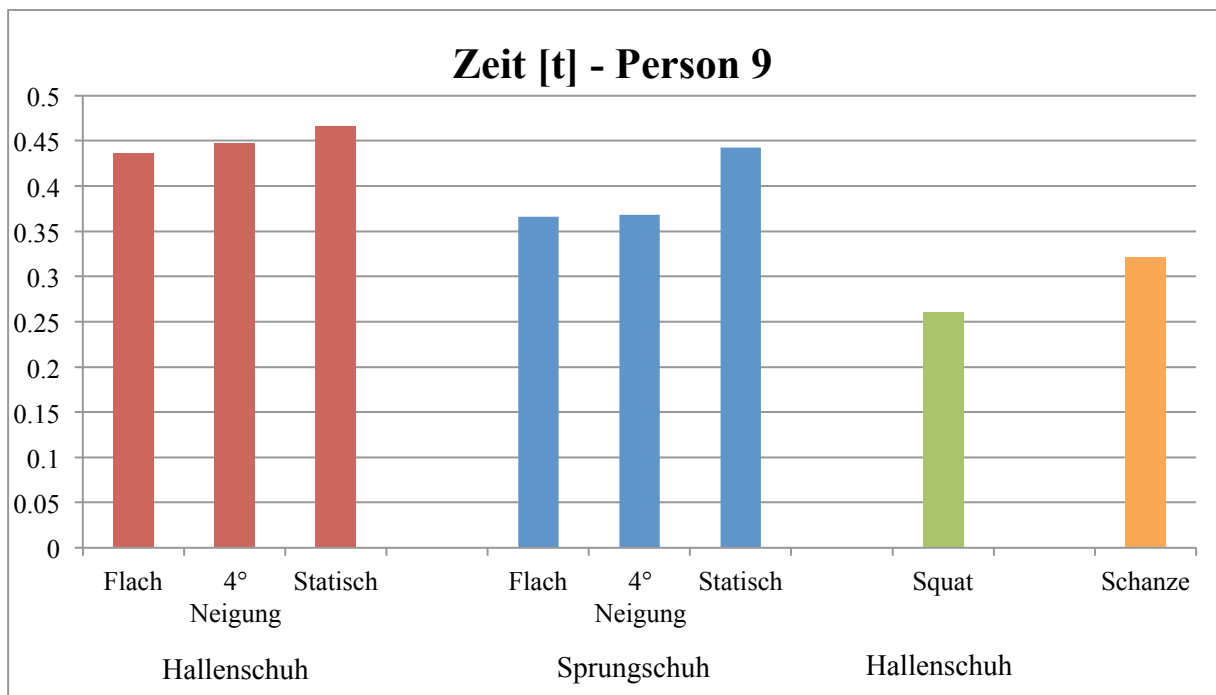
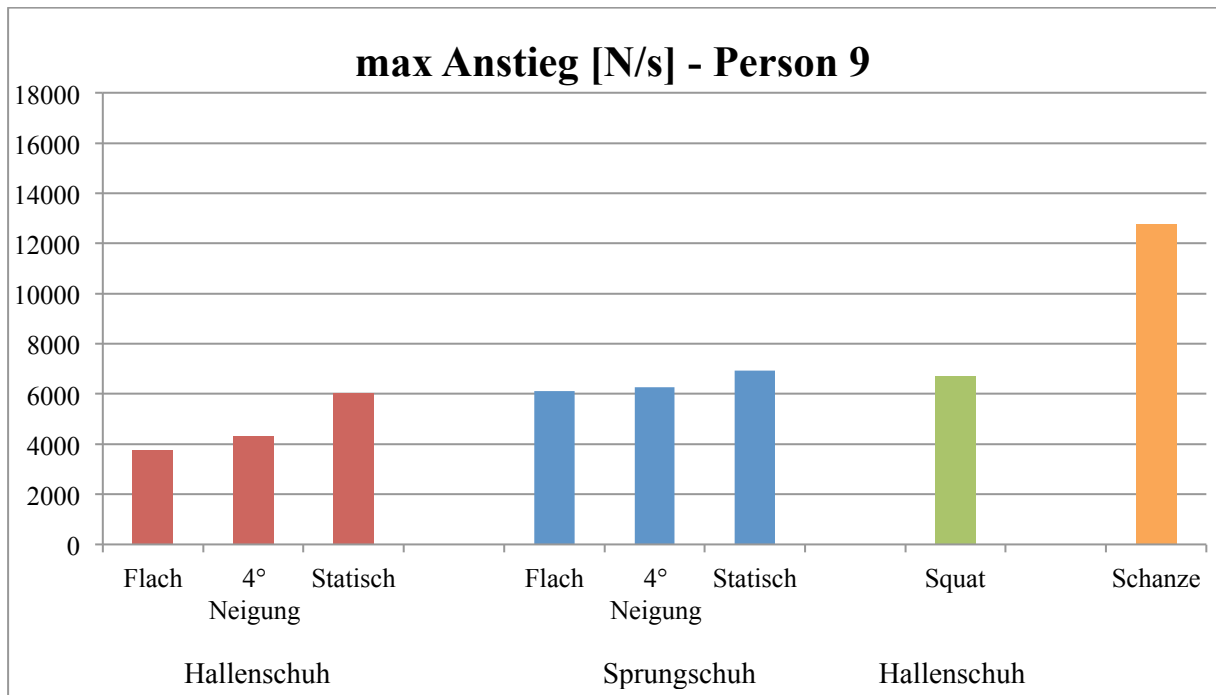


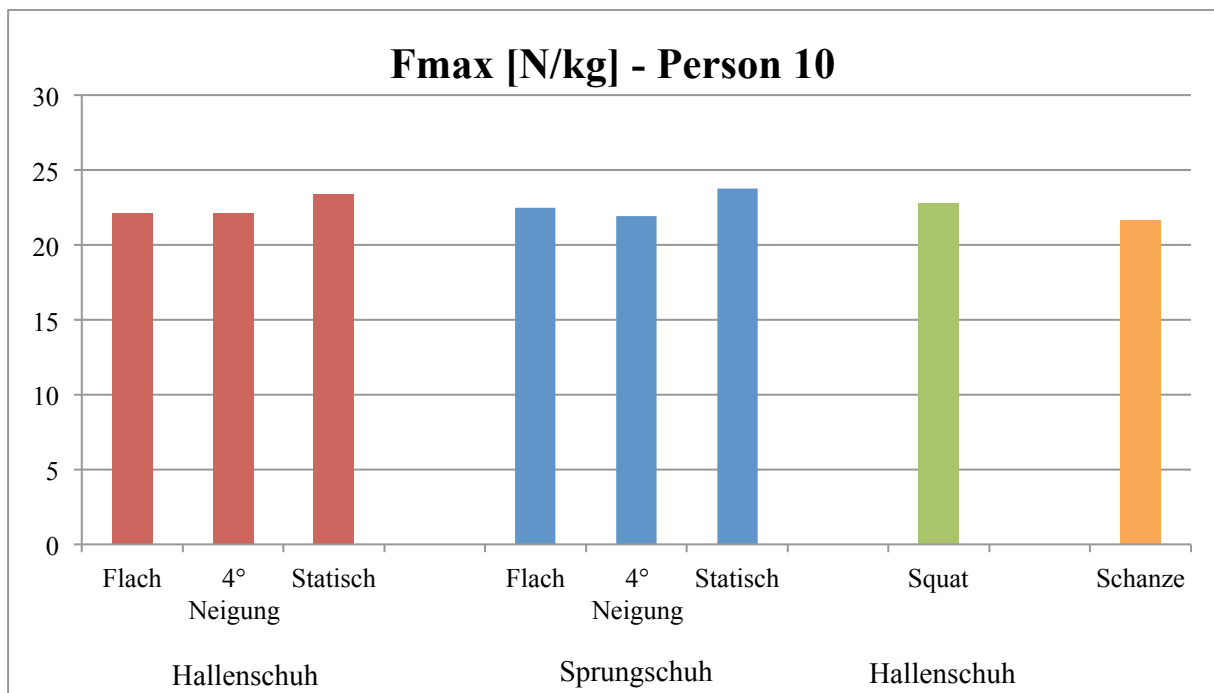
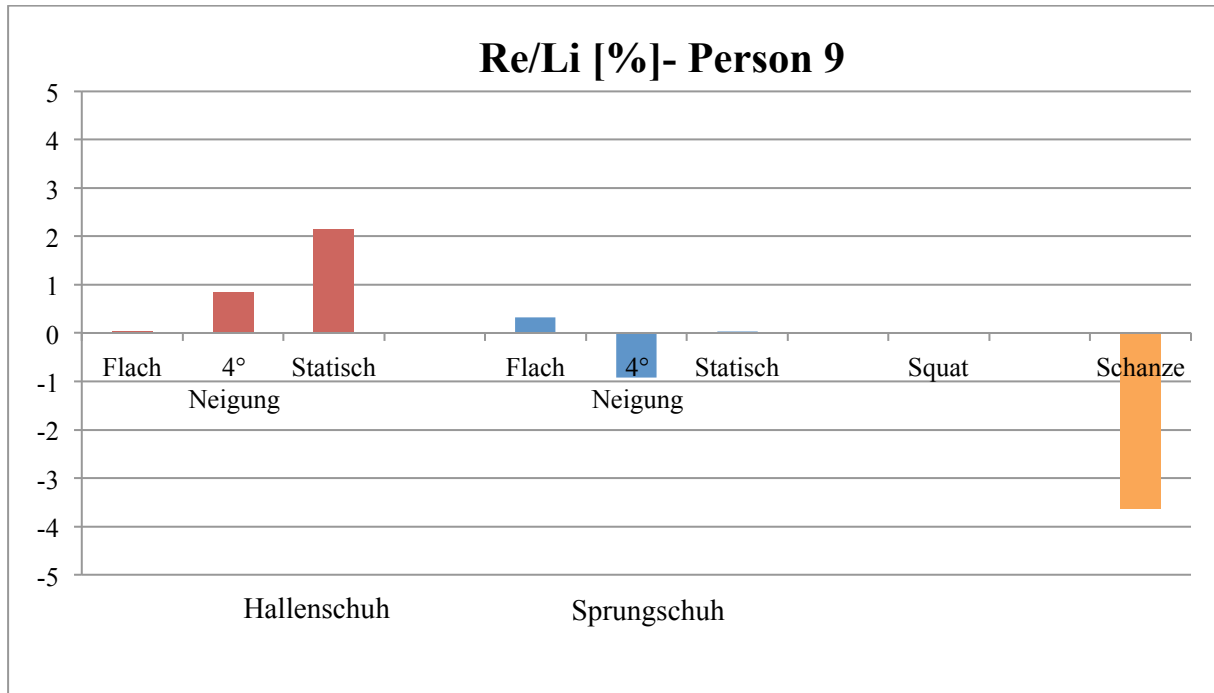


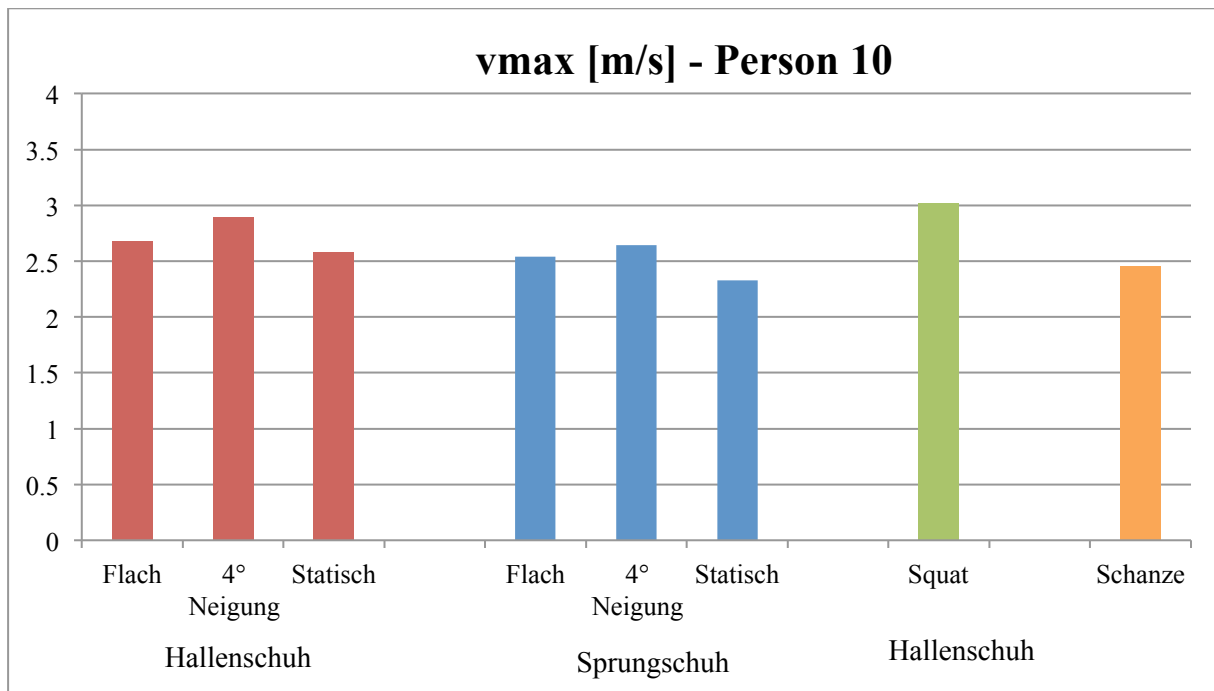
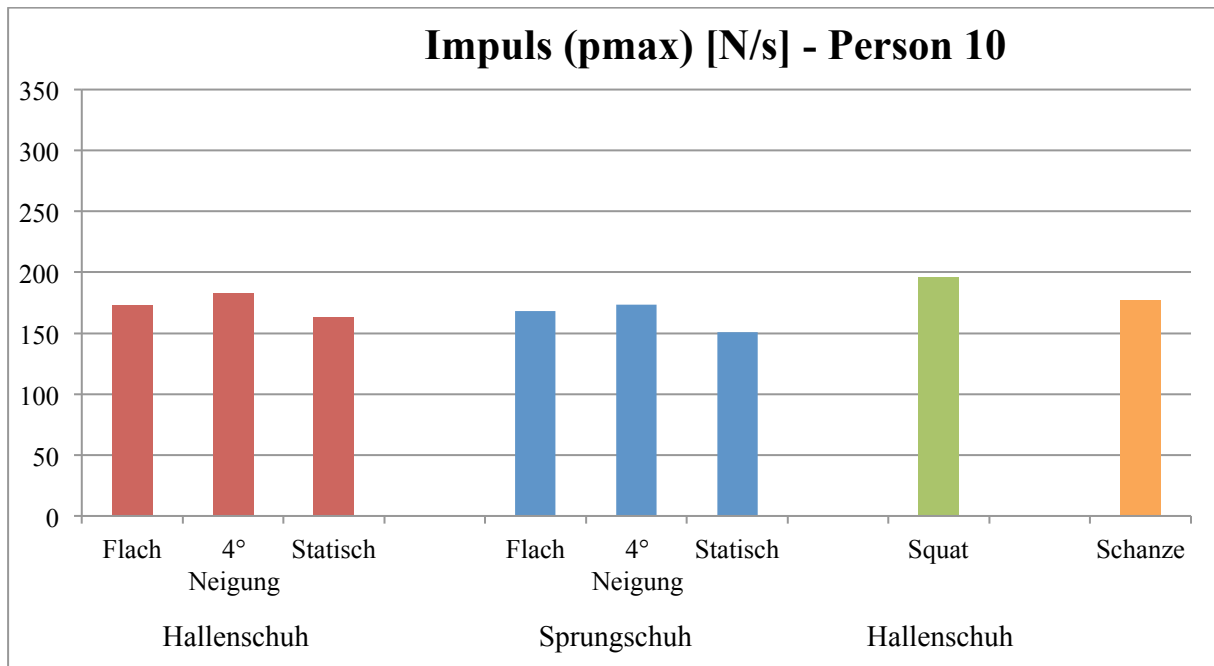


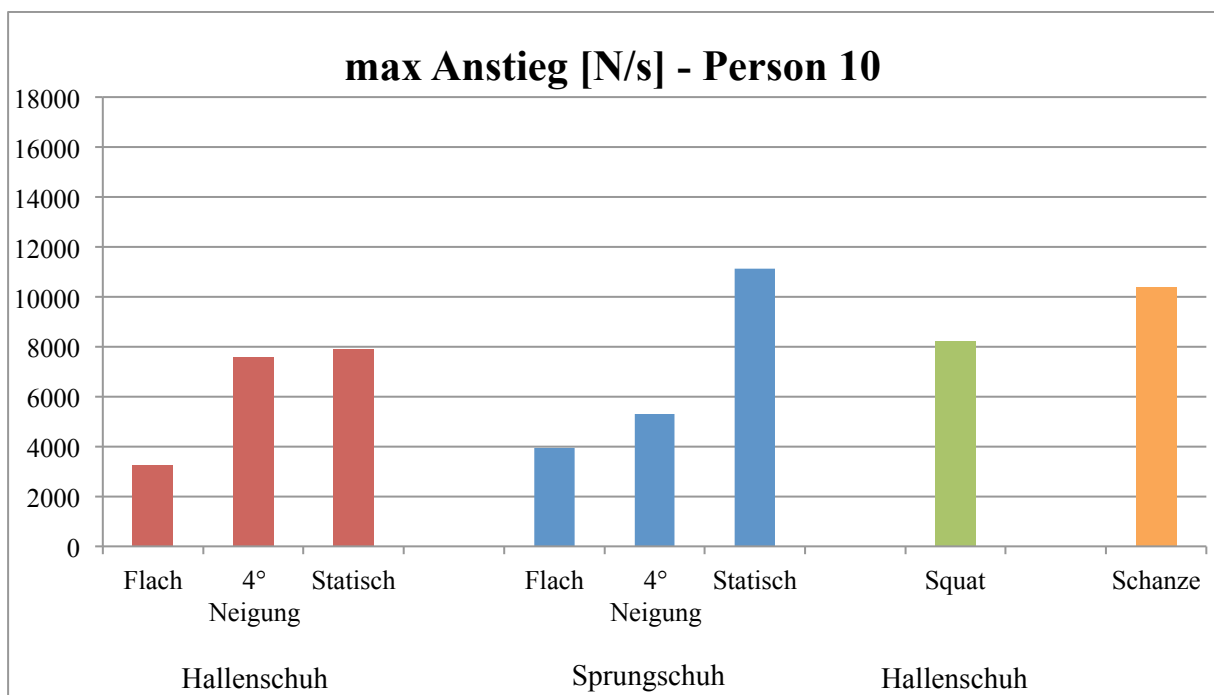
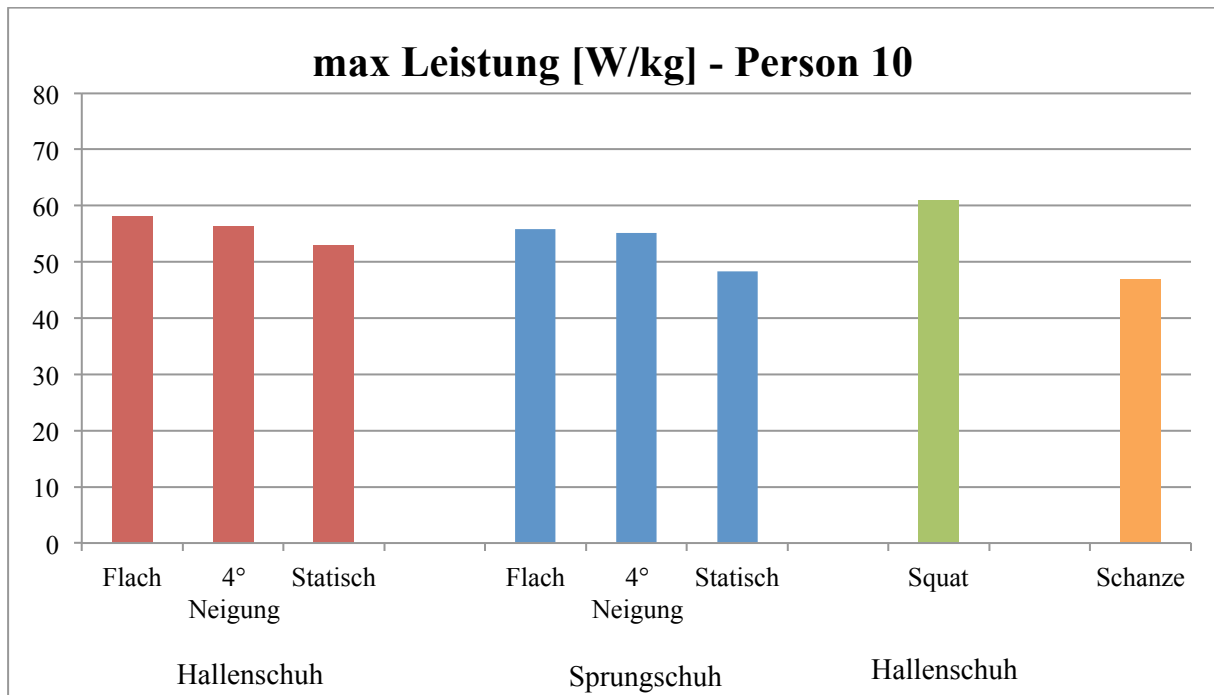


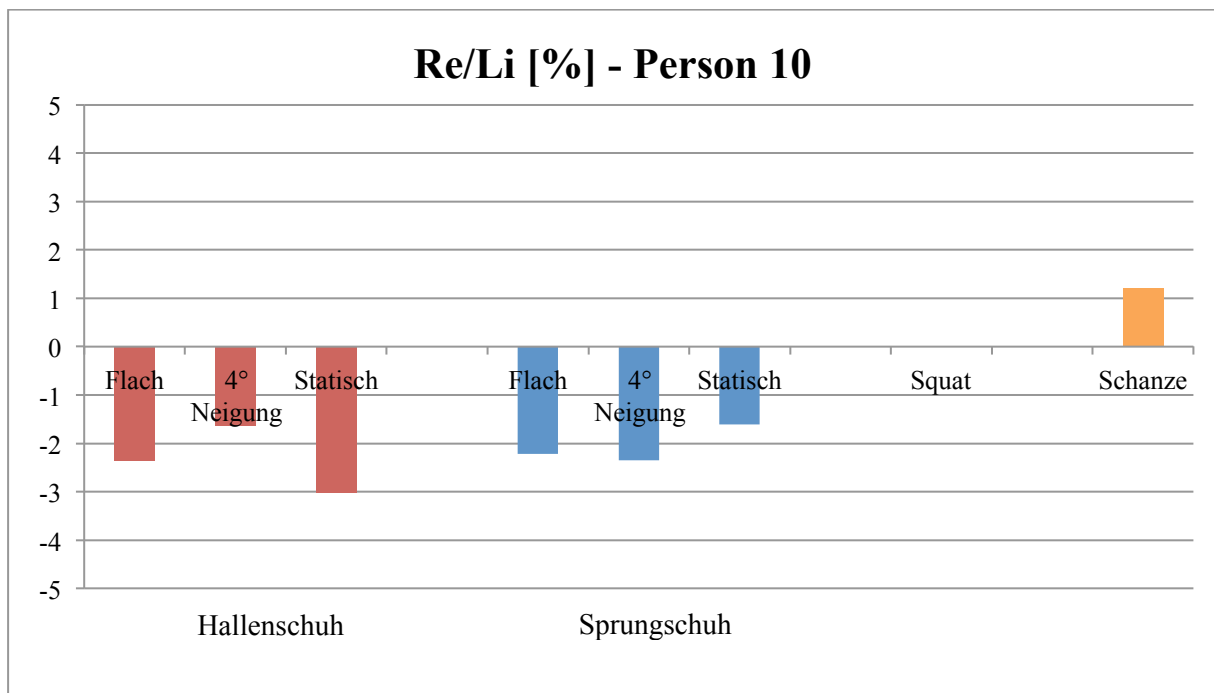
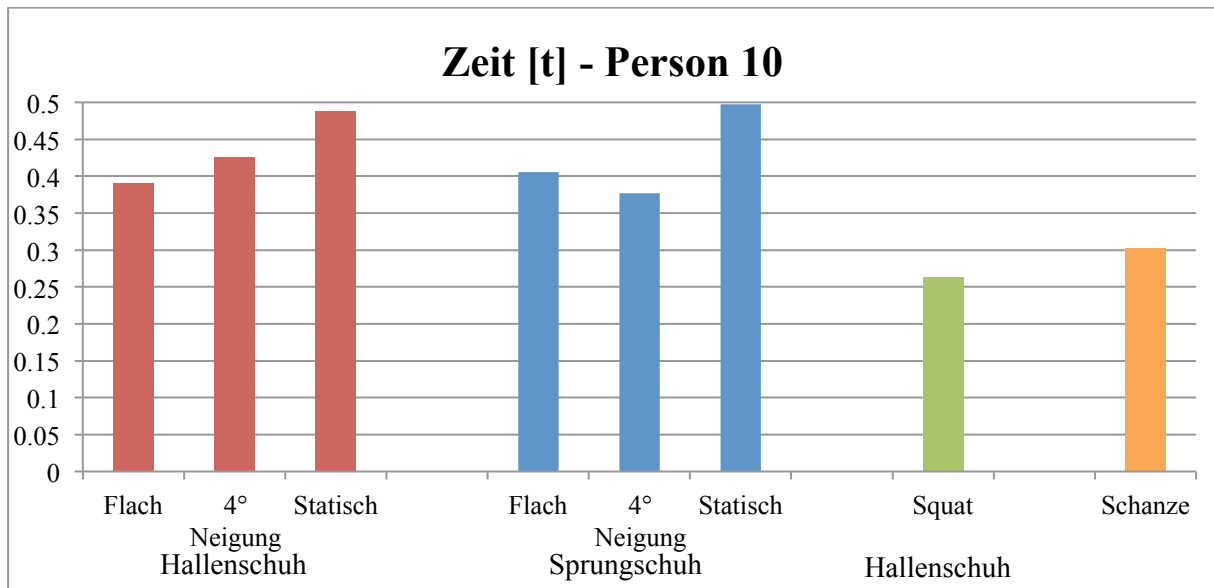




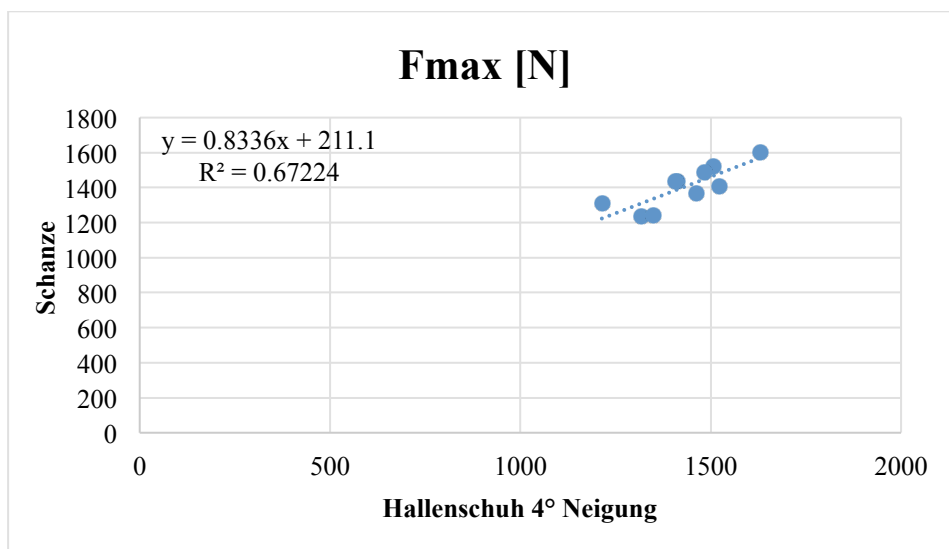
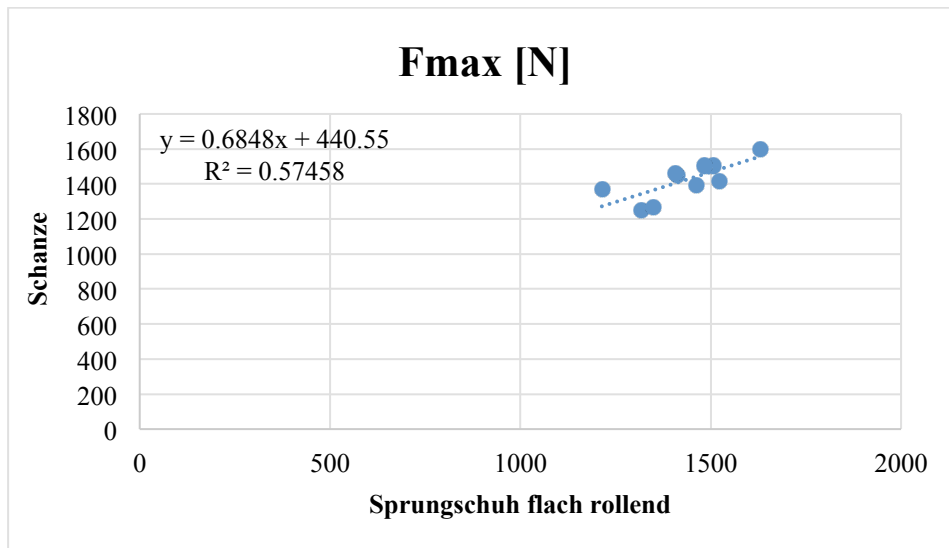
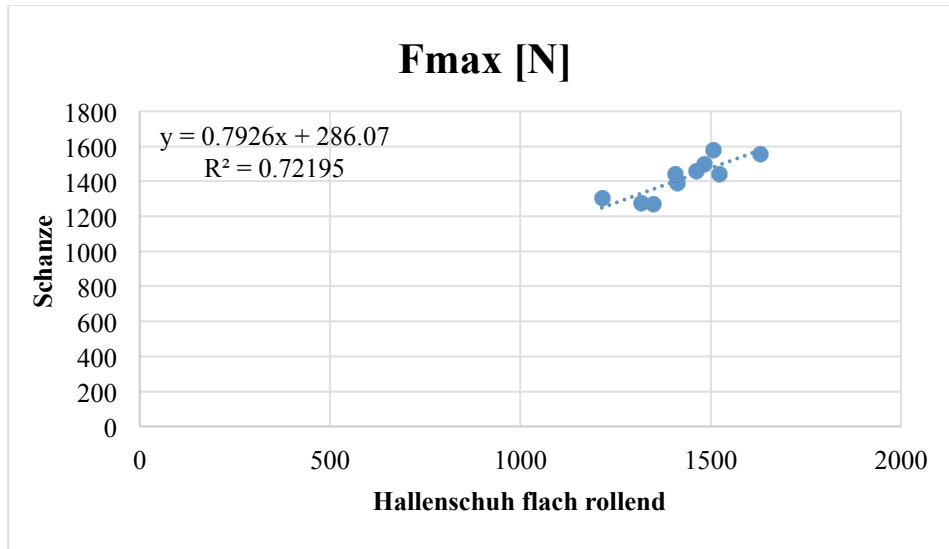


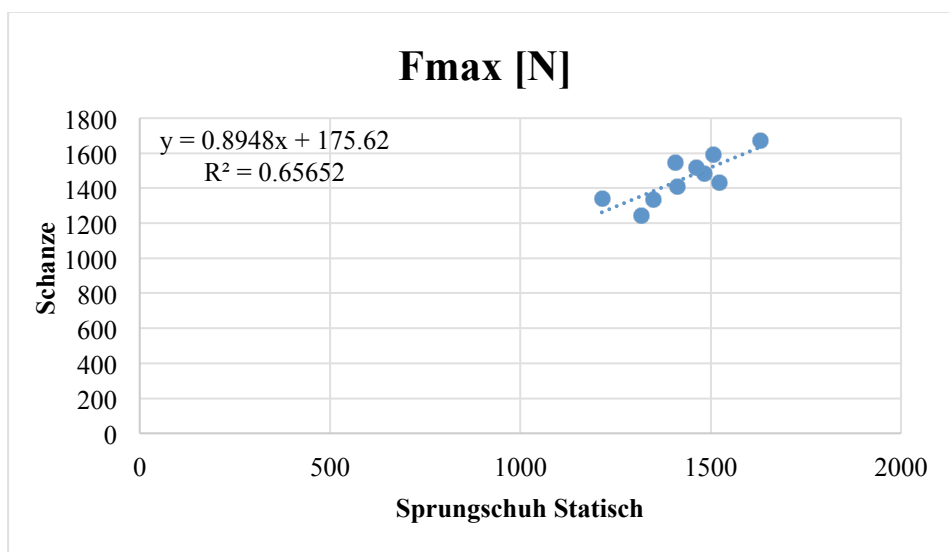
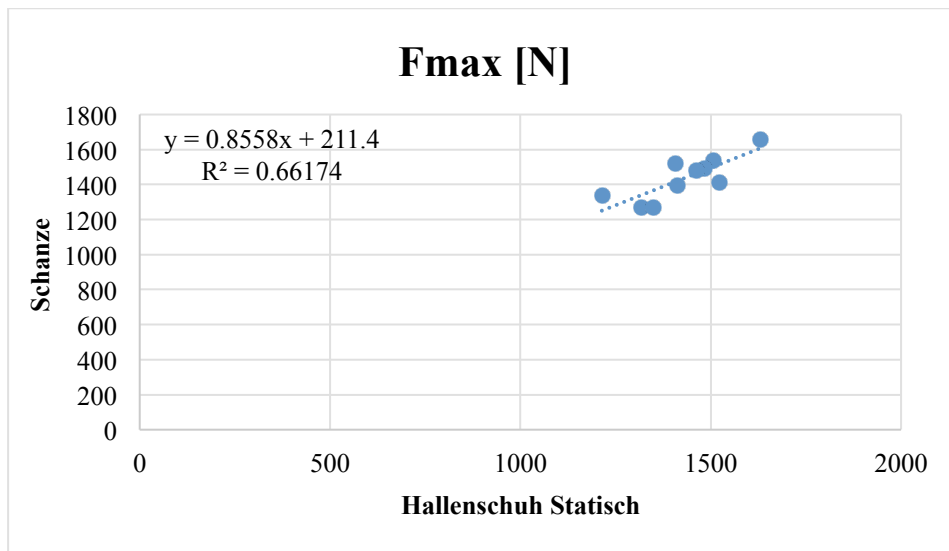
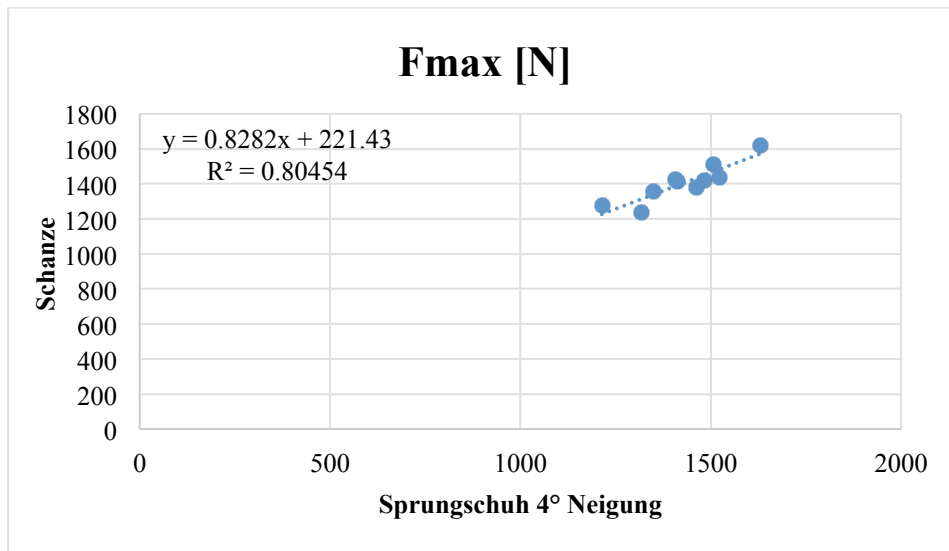


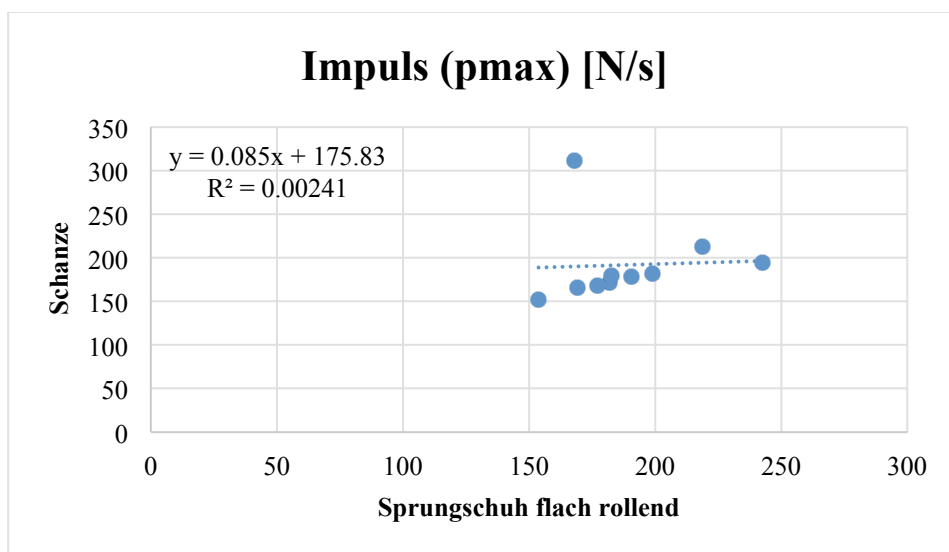
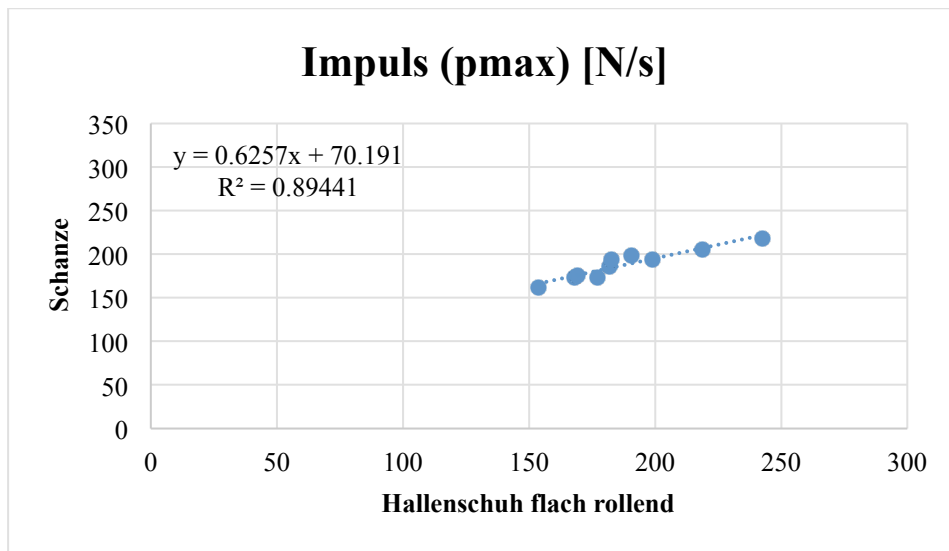
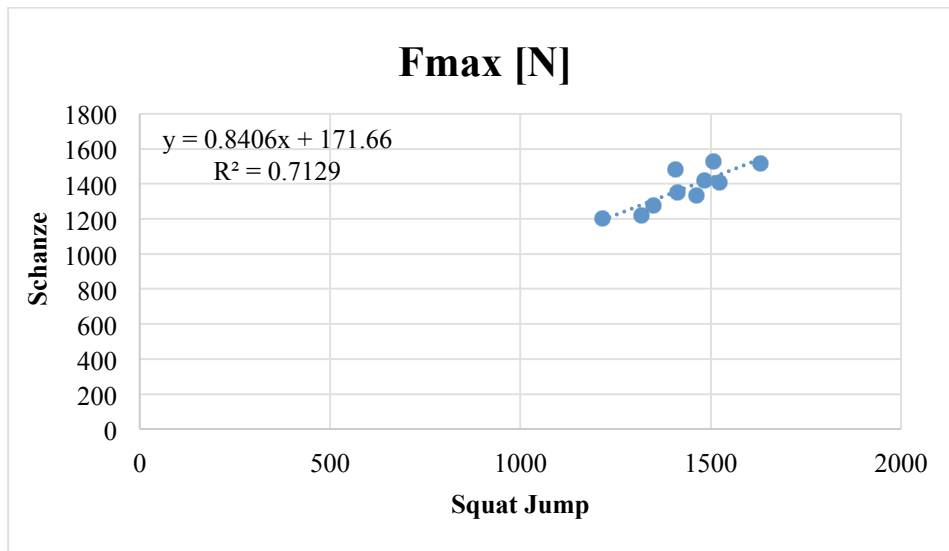


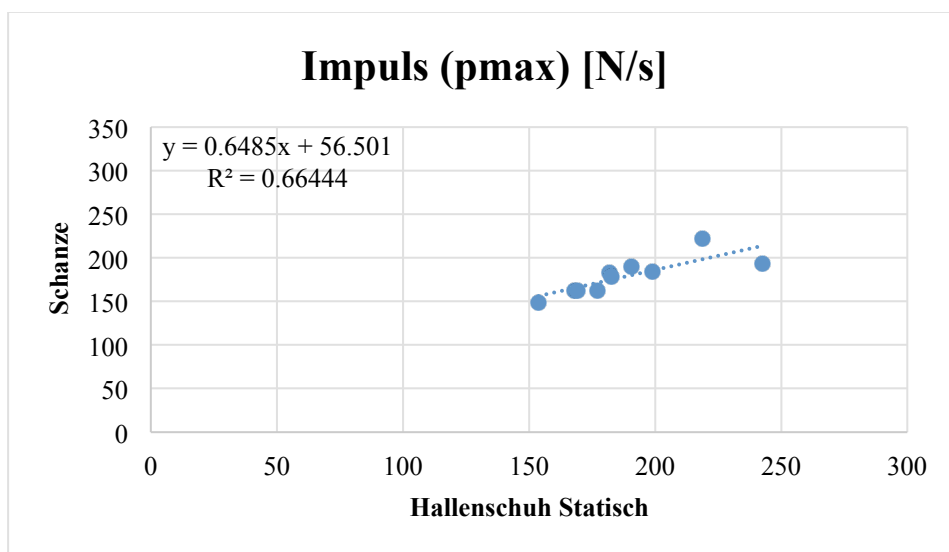
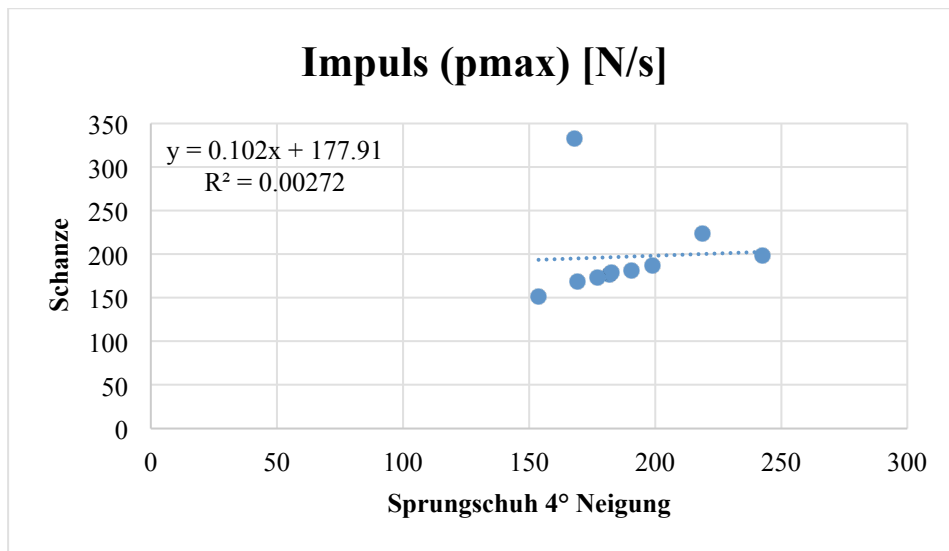
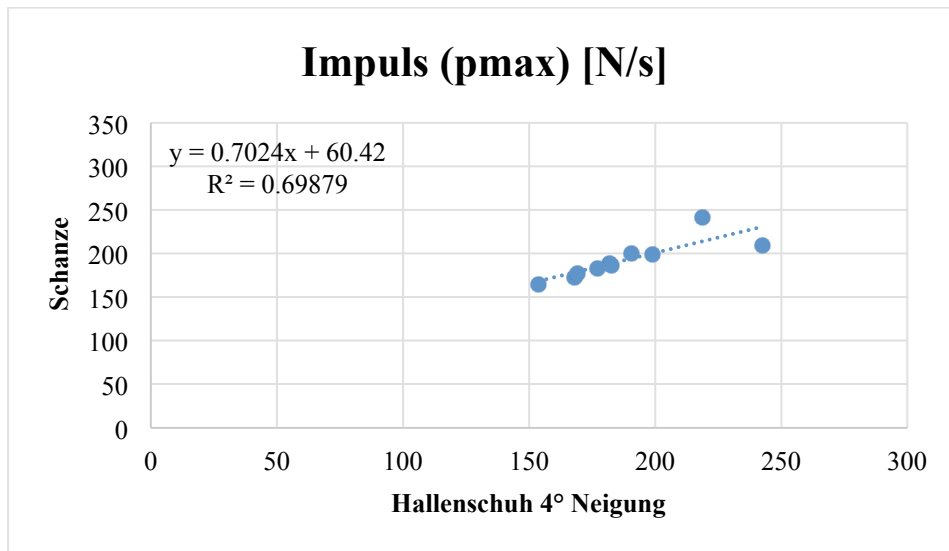


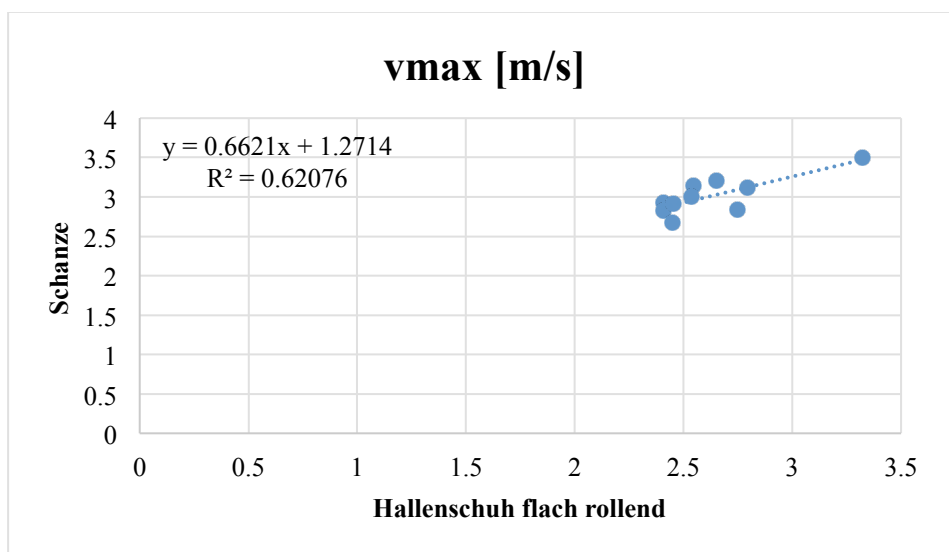
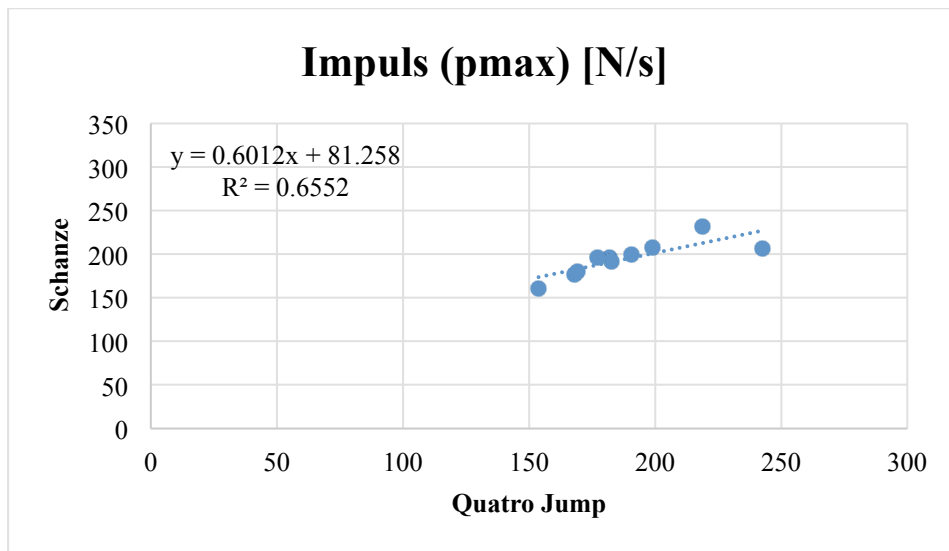
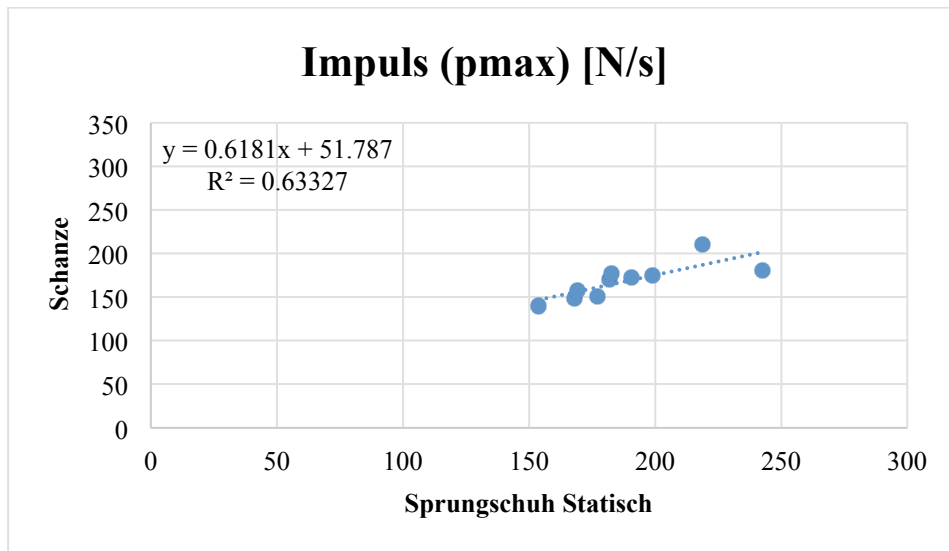
Anhang E: Korrelation Grafik

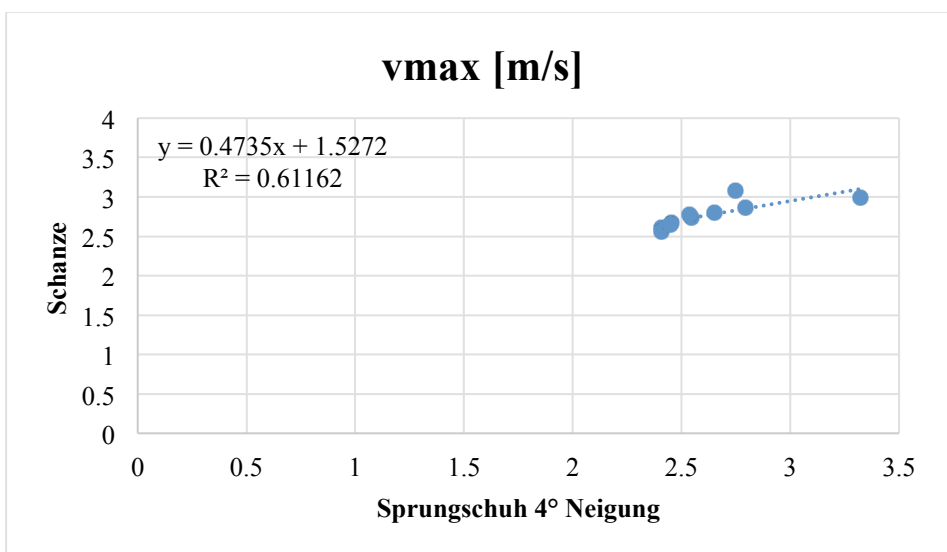
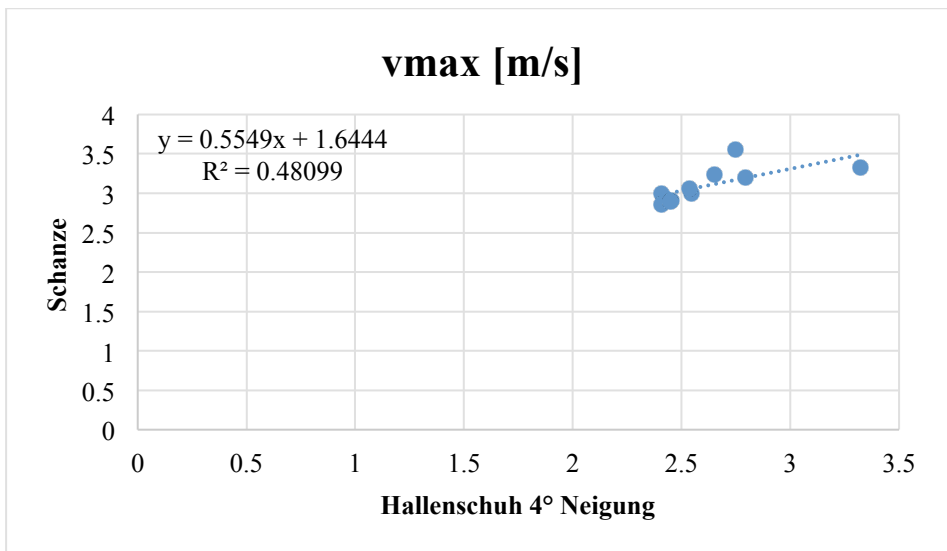
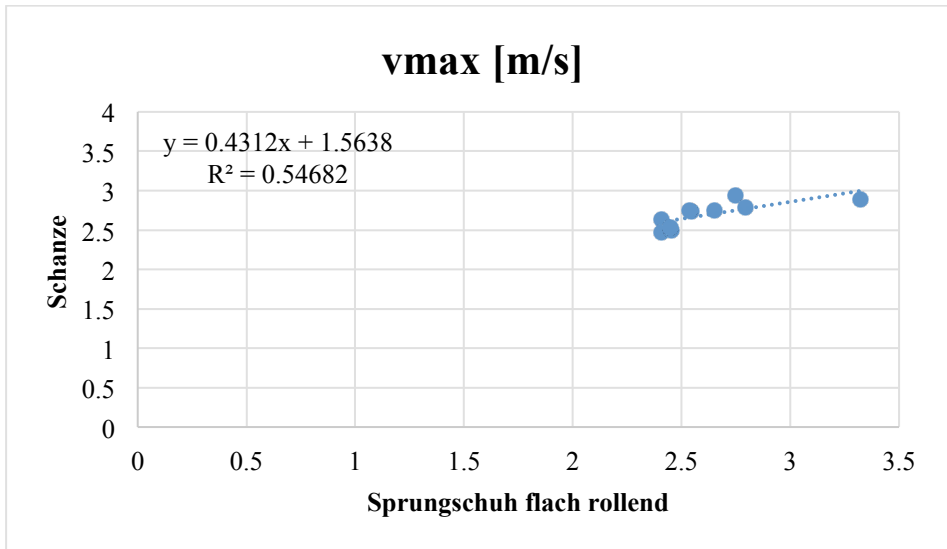


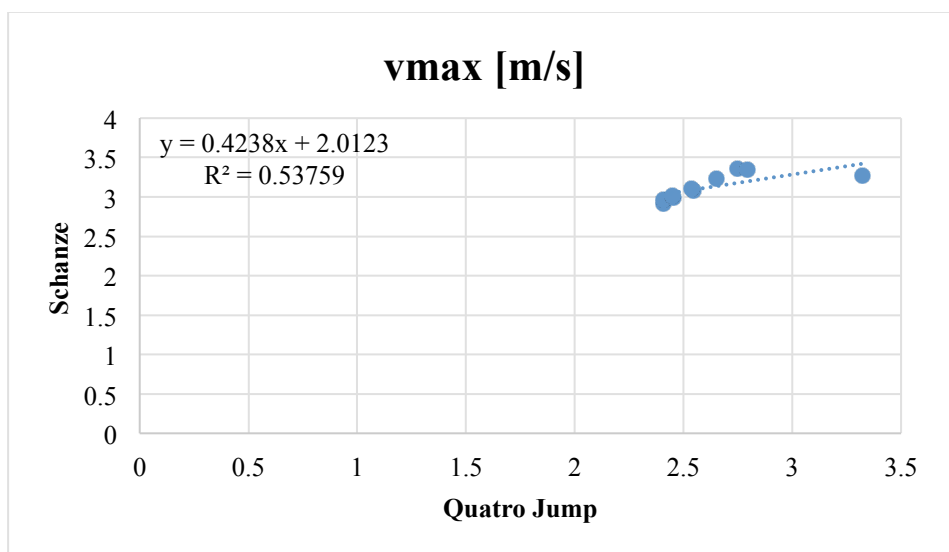
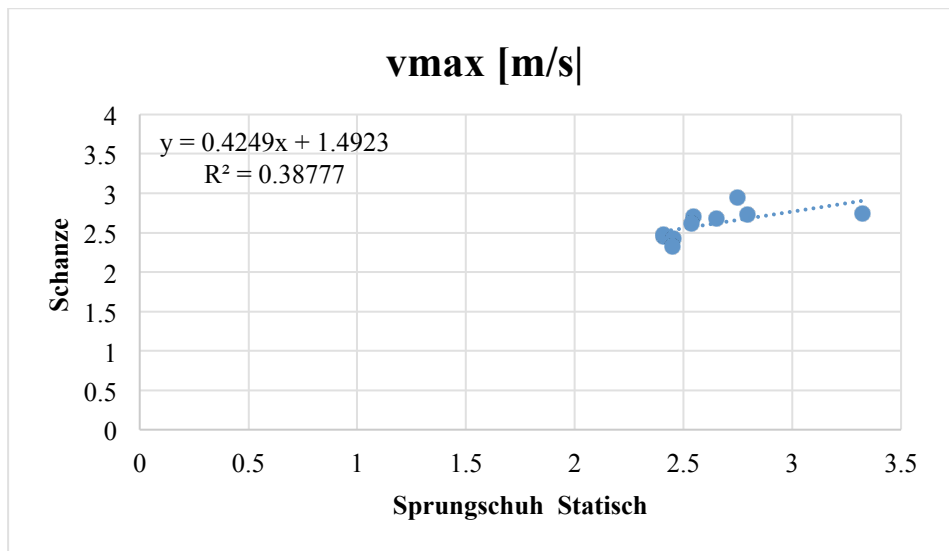
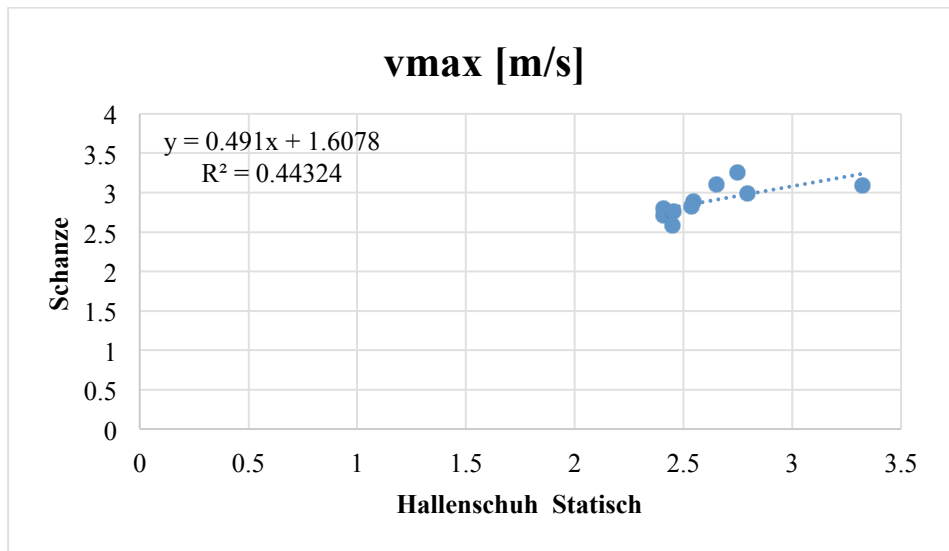


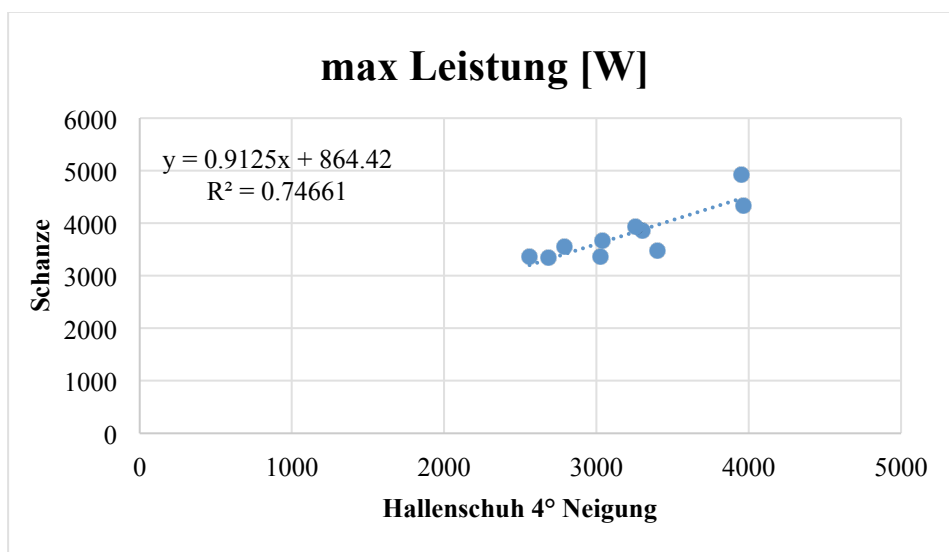
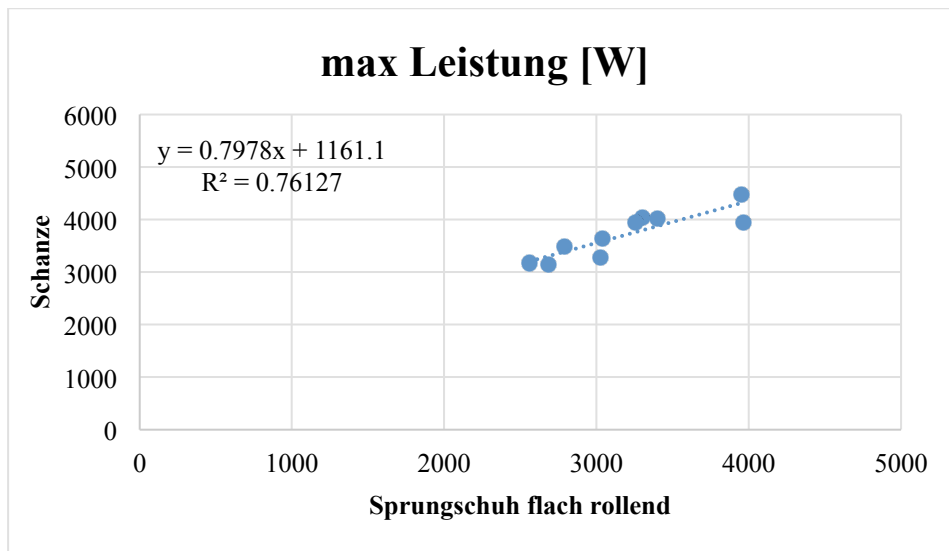
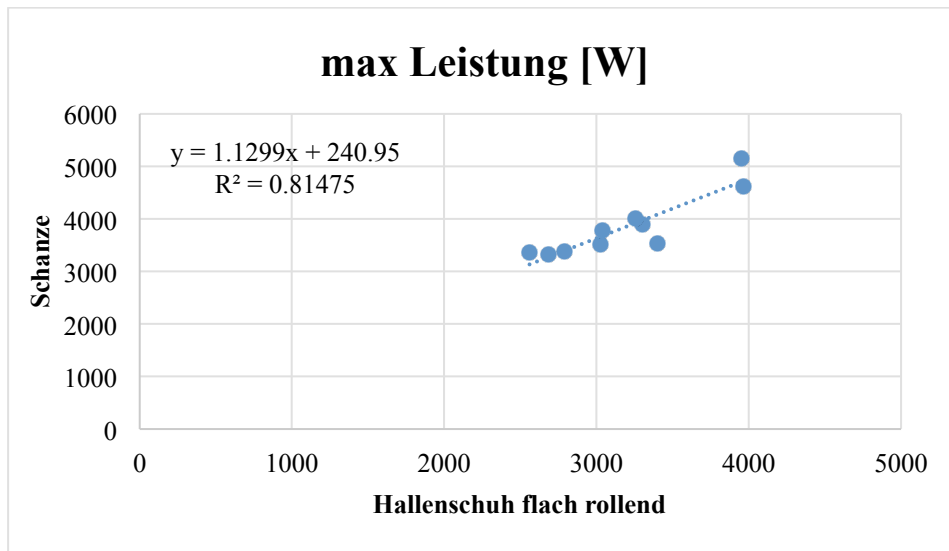


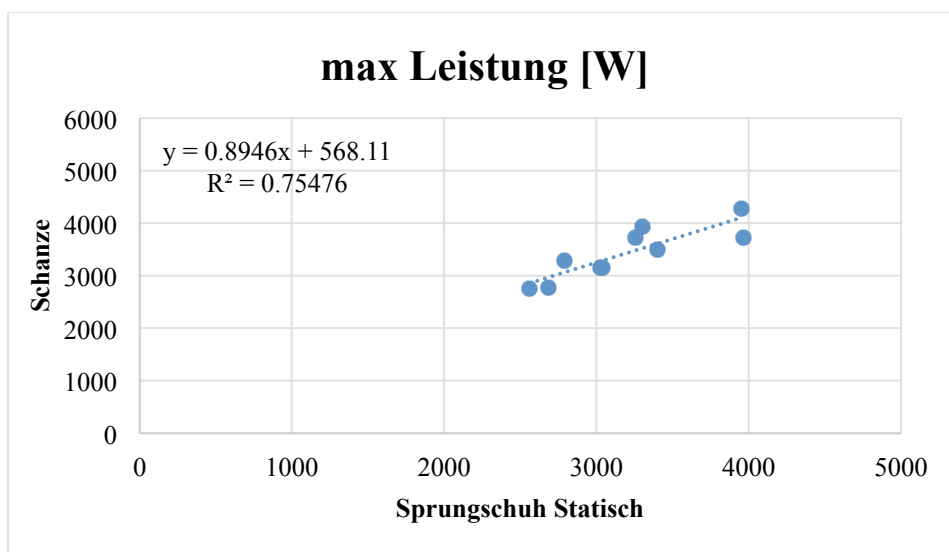
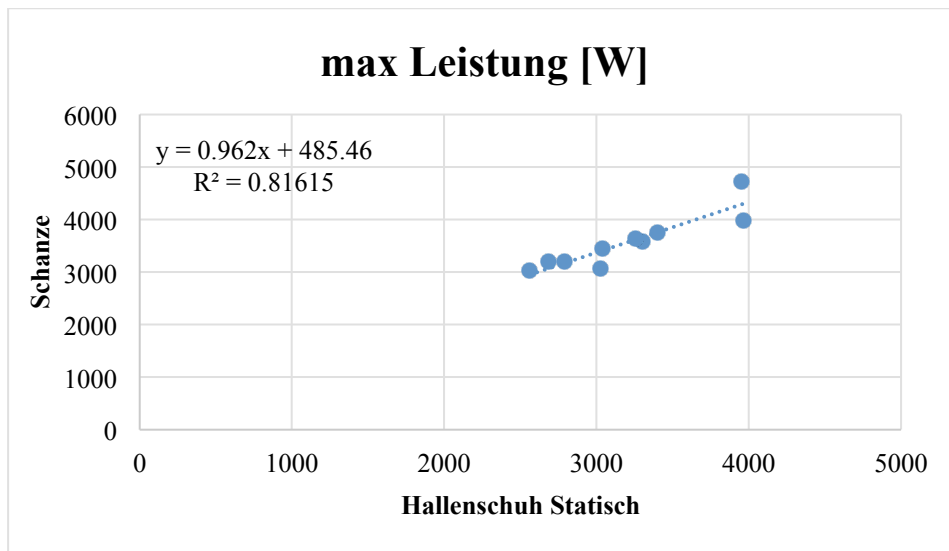
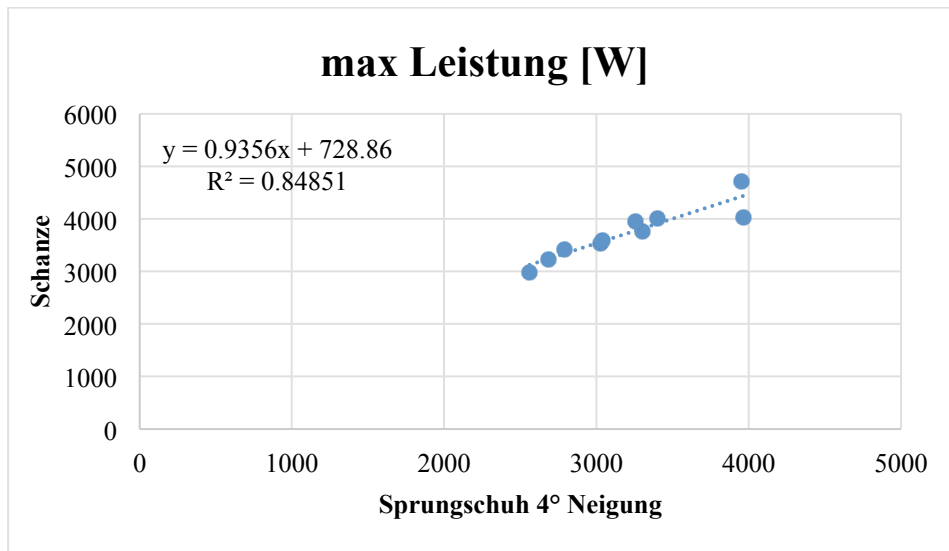


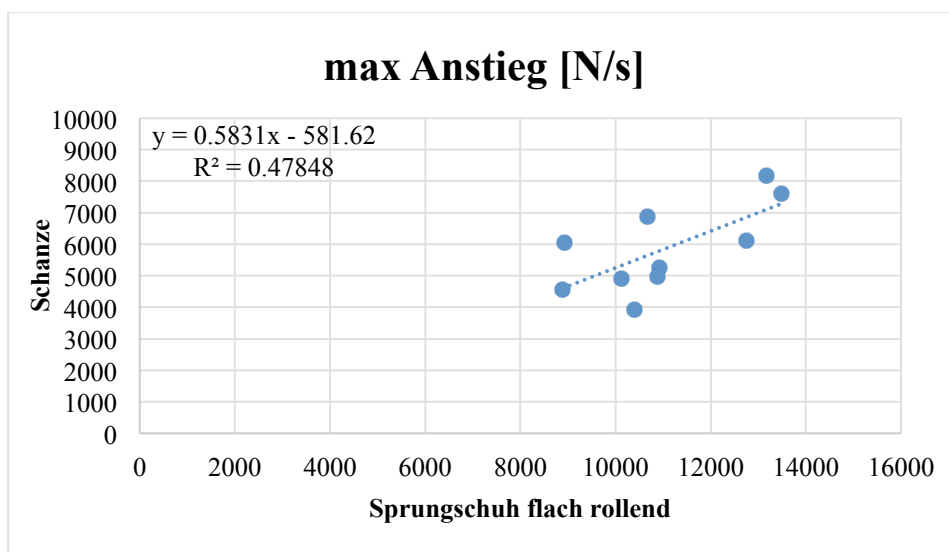
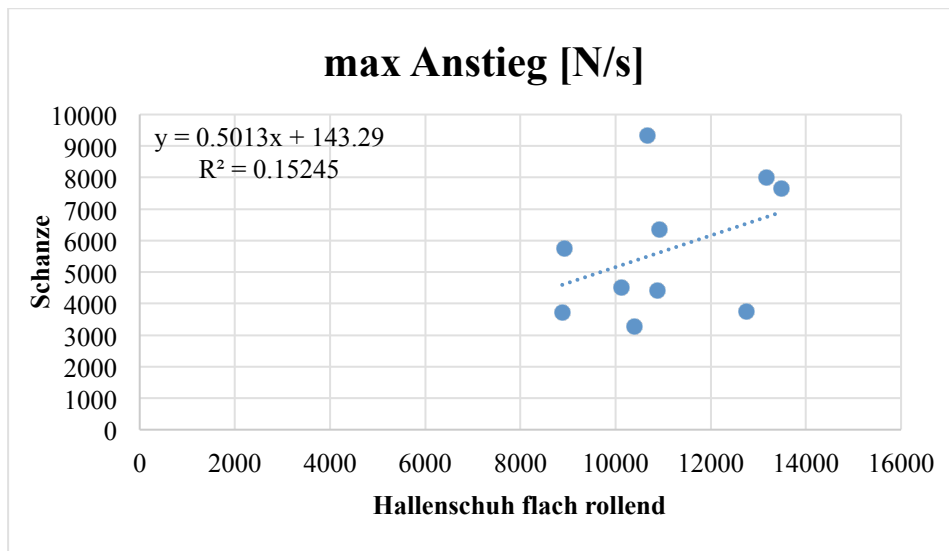
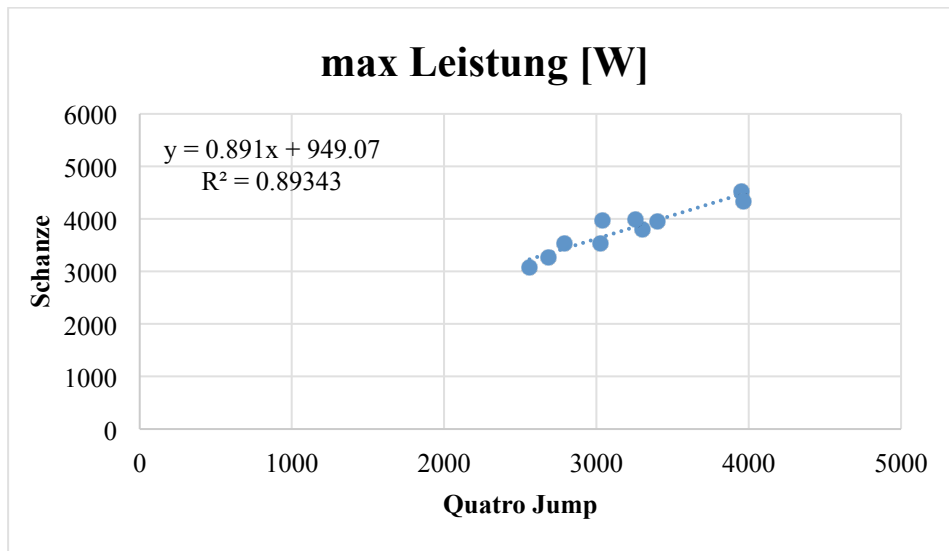


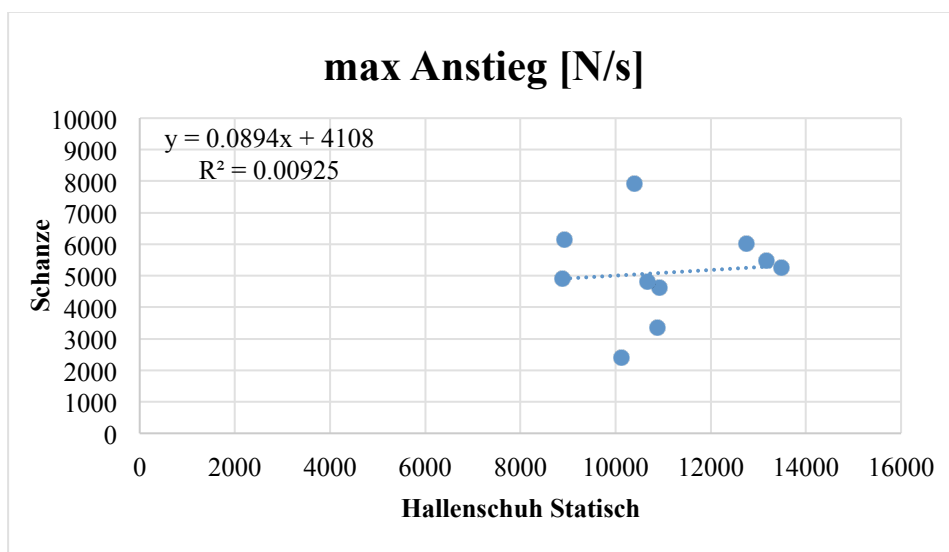
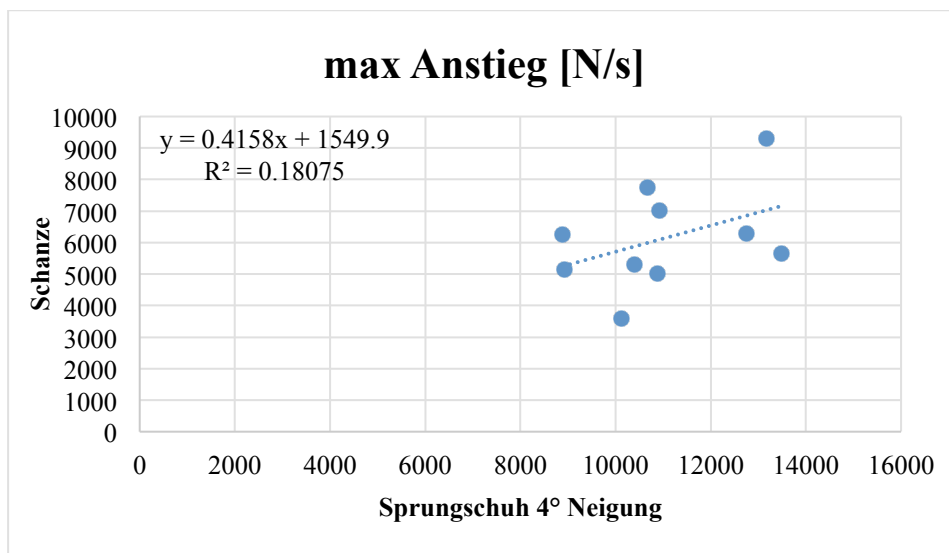
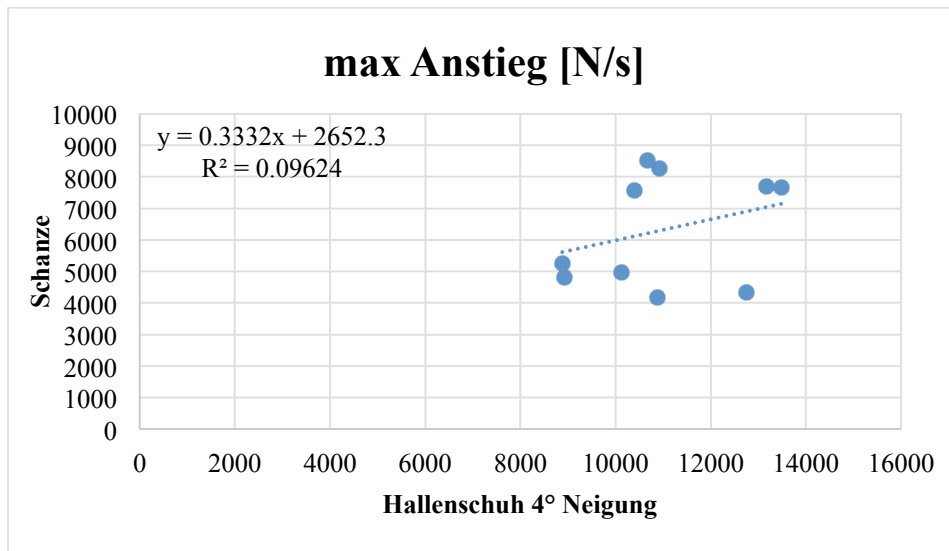


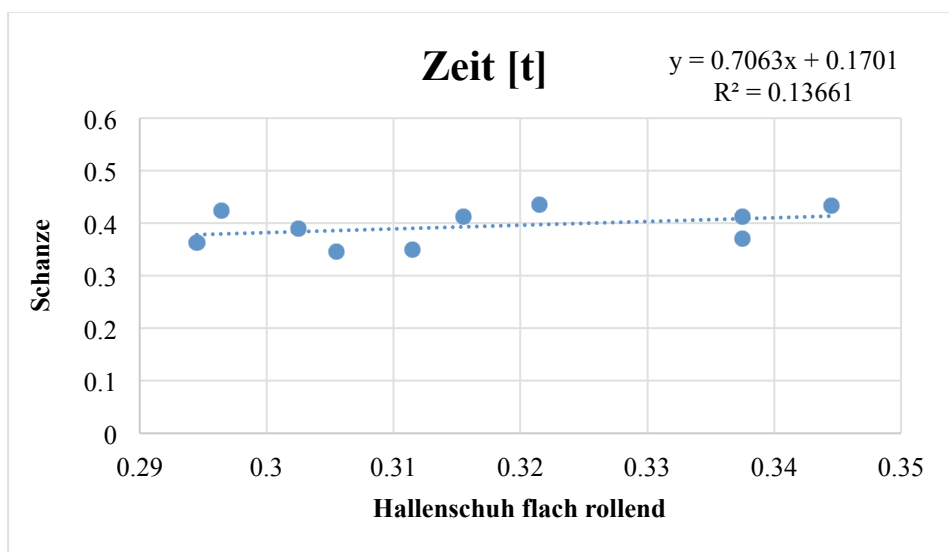
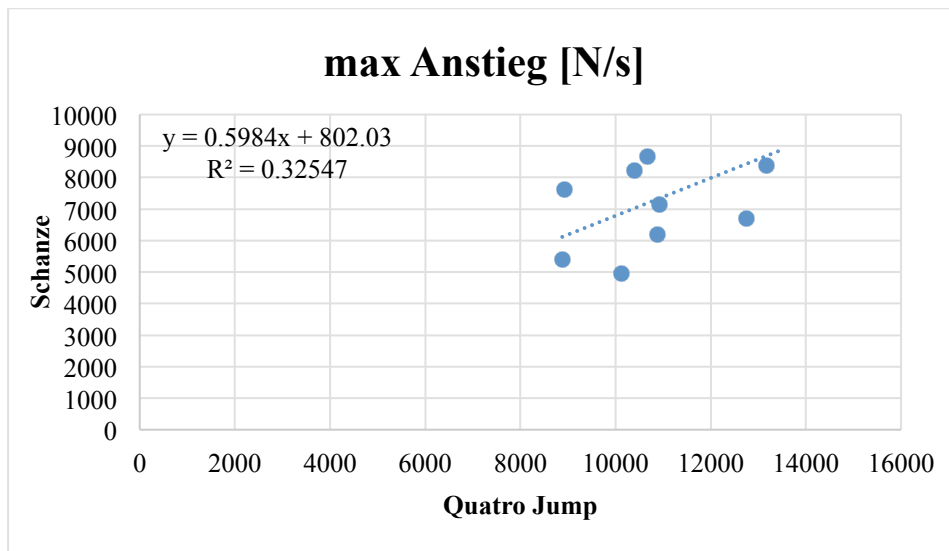
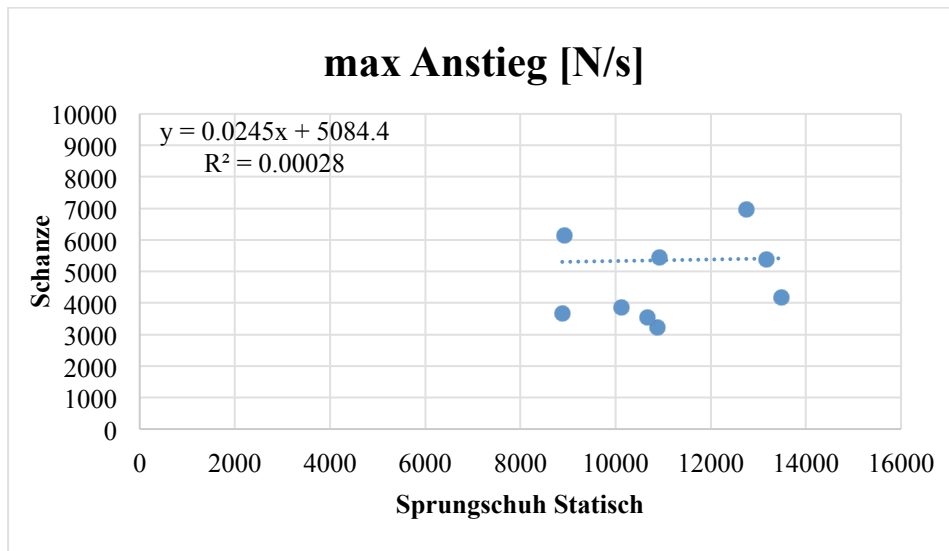


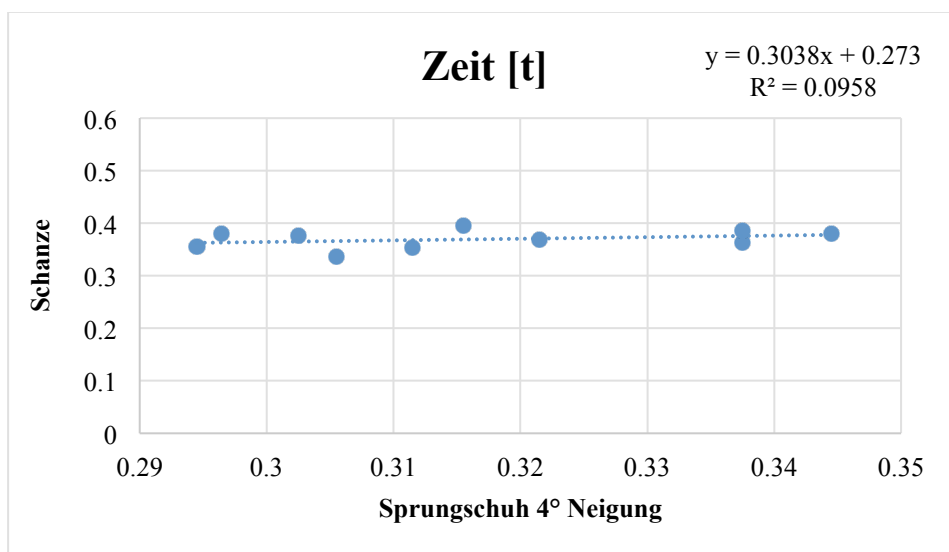
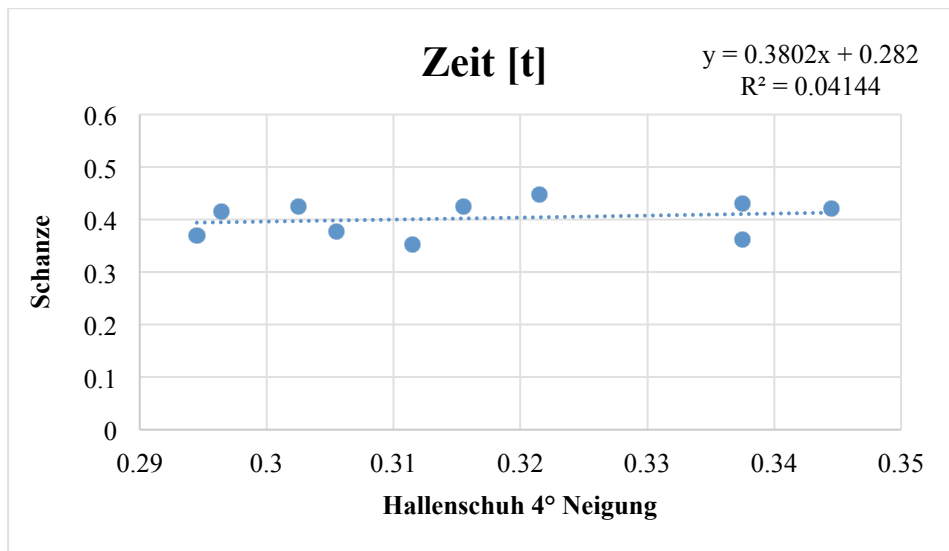
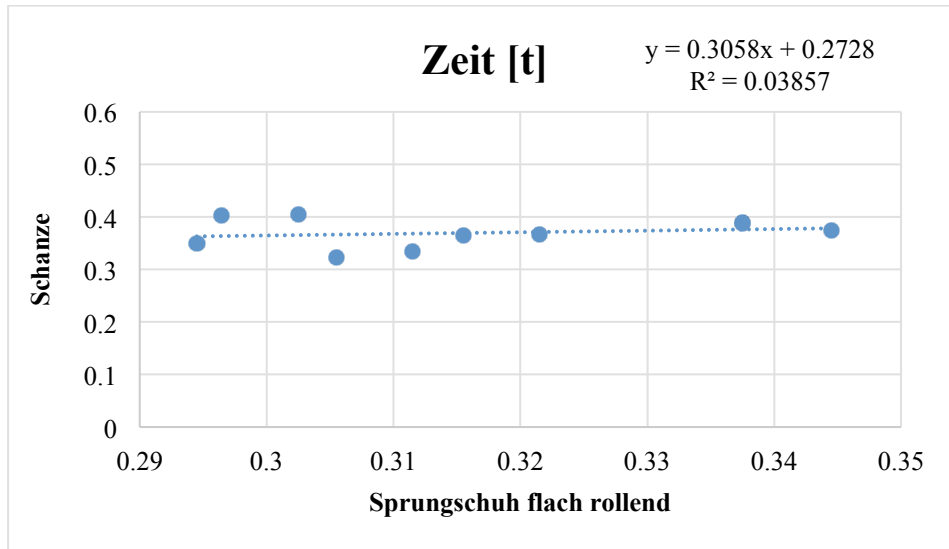


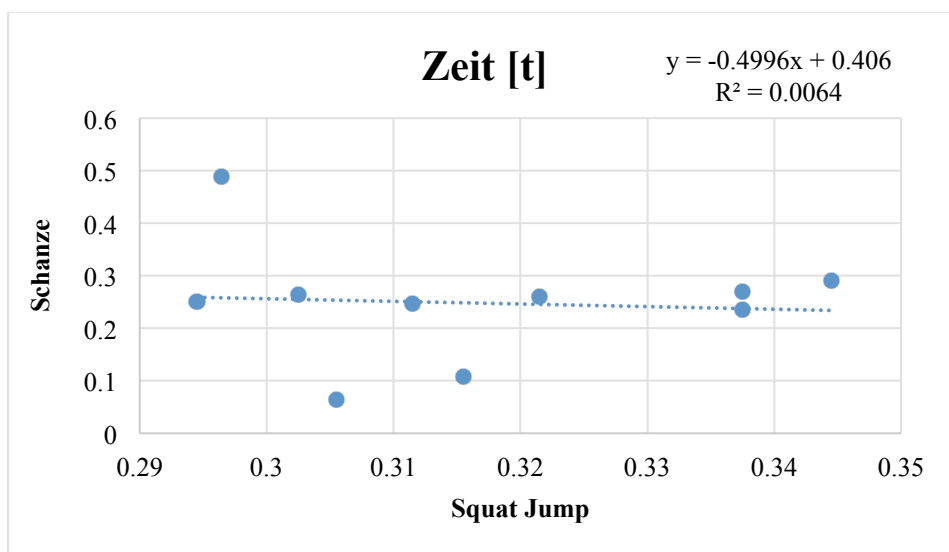
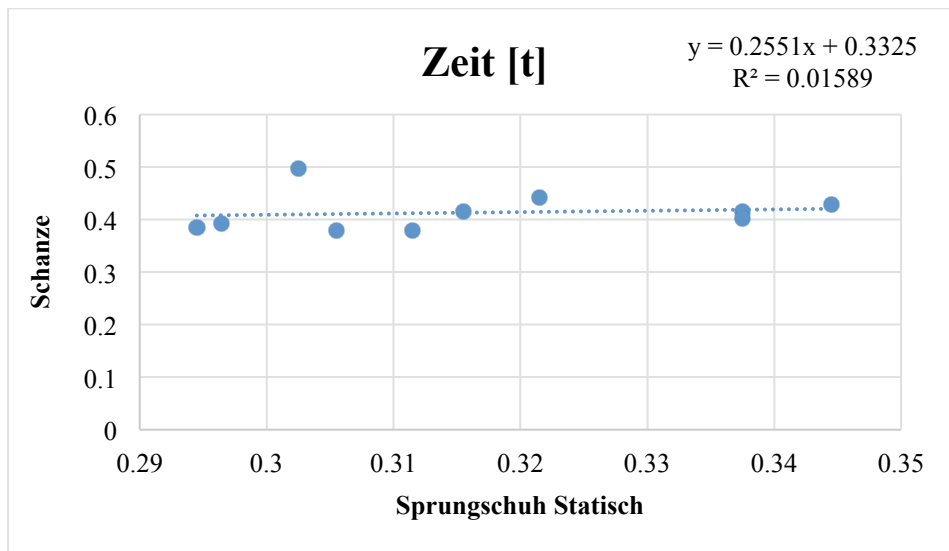
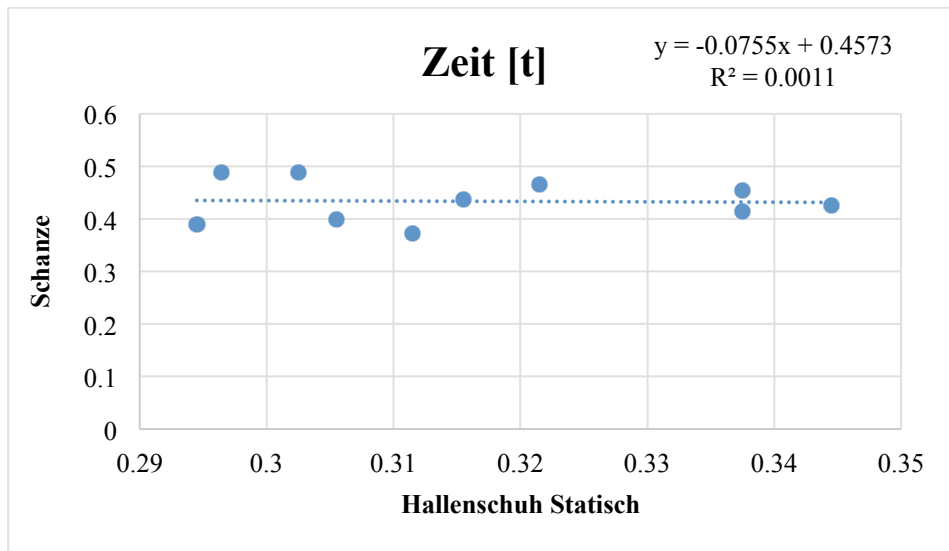


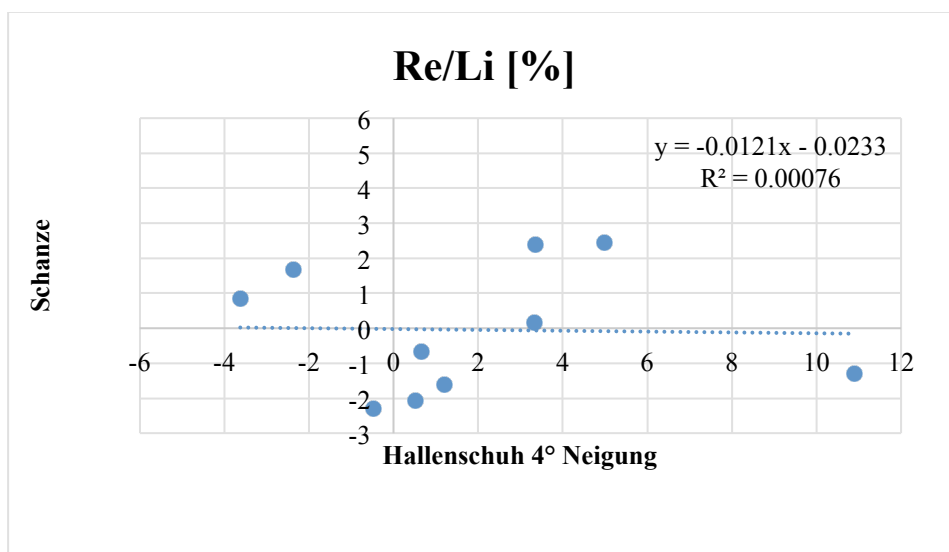
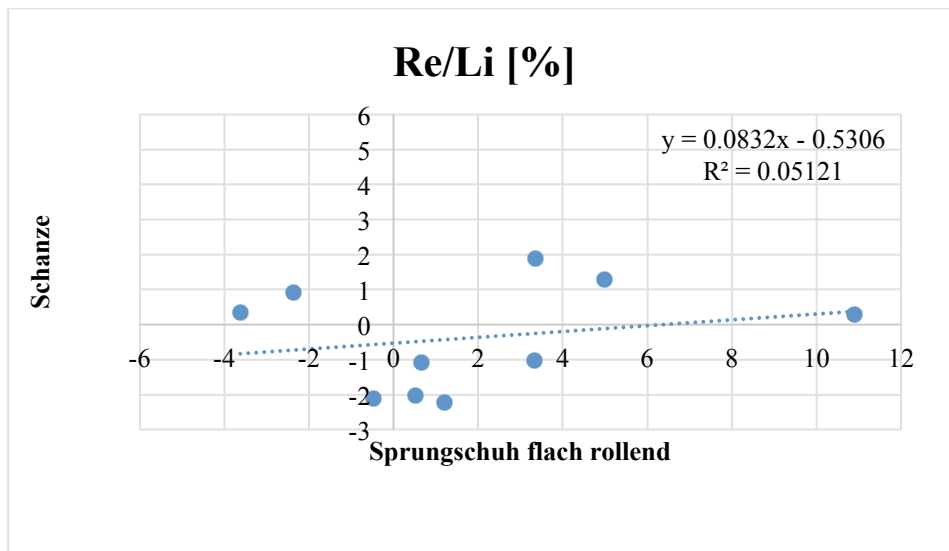
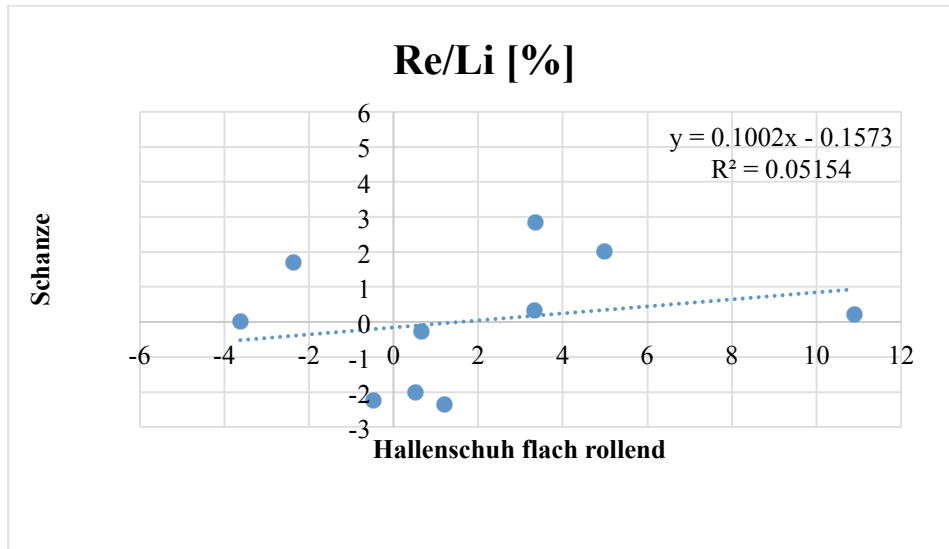


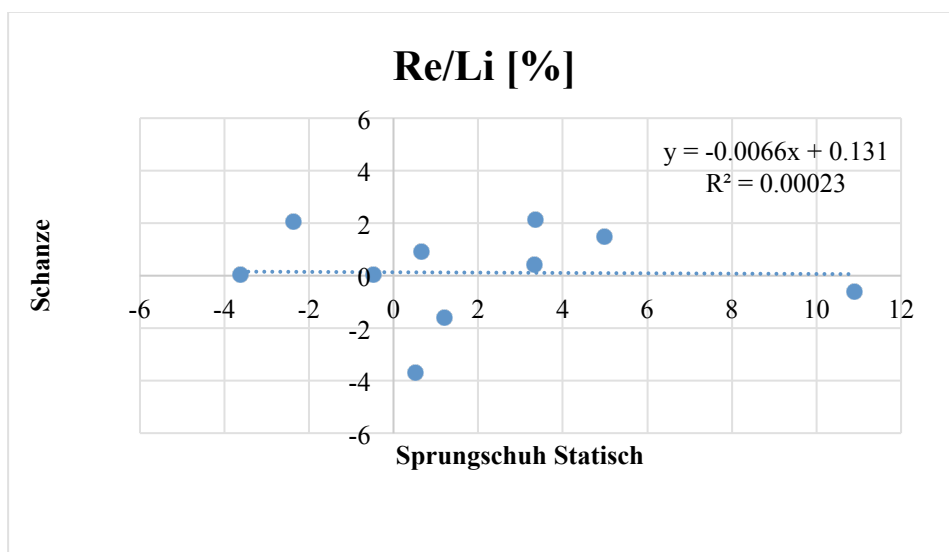
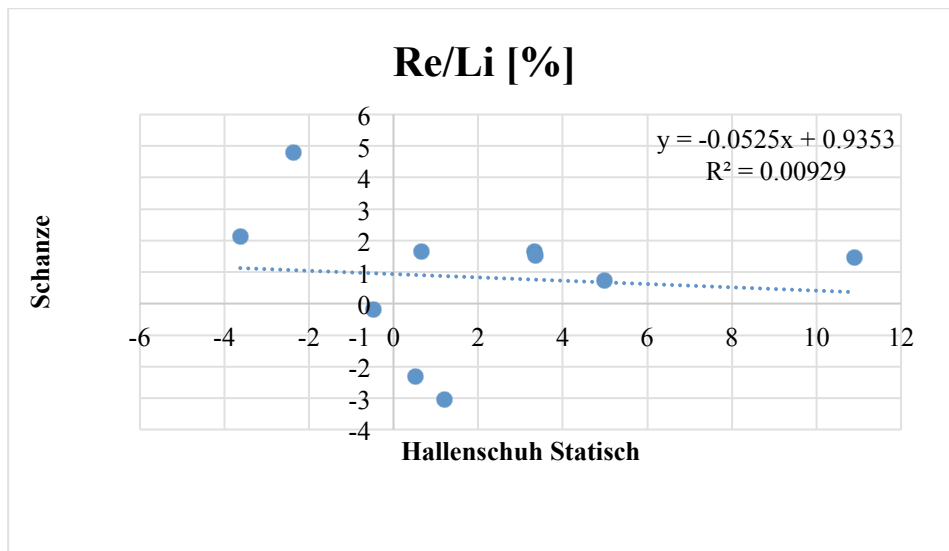
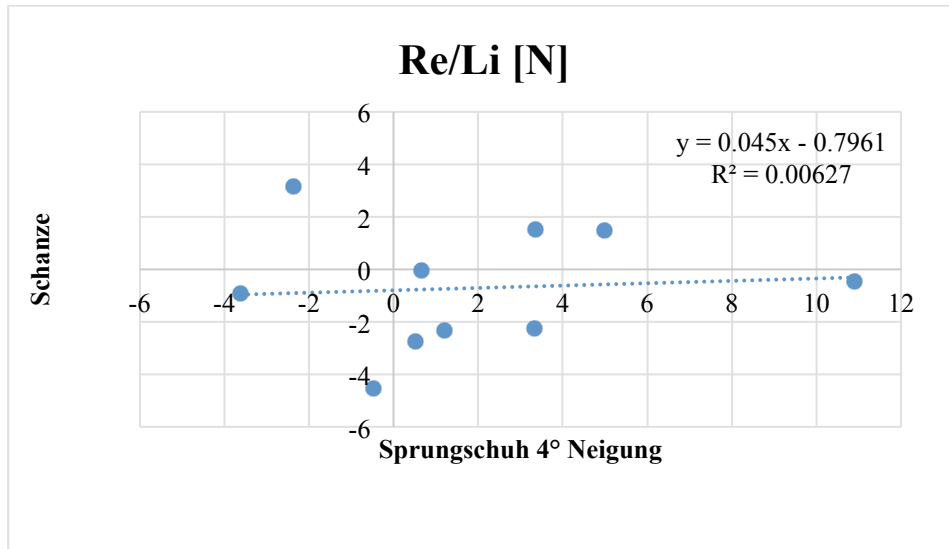












Anhang F: Korrelation SPSS

Fmax

Korrelationen

		sch_F_max	h_fl_F_max	s_fl_F_max	h_ne_F_max	s_ne_F_max	h_st_F_max	s_st_F_max	sq_F_max
sch_F_max	Pearson-Korrelation	1	.795**	.670*	.715*	.815**	.756*	.778**	.790**
	Sig. (2-seitig)		.006	.034	.020	.004	.011	.008	.007
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_fl_F_max	Pearson-Korrelation	.795**	1	.905**	.930**	.861**	.935**	.929**	.904**
	Sig. (2-seitig)	.006		.000	.000	.001	.000	.000	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_fl_F_max	Pearson-Korrelation	.670*	.905**	1	.990**	.876**	.938**	.901**	.858**
	Sig. (2-seitig)	.034	.000		.000	.001	.000	.000	.002
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_ne_F_max	Pearson-Korrelation	.715*	.930**	.990**	1	.913**	.940**	.905**	.899**
	Sig. (2-seitig)	.020	.000	.000		.000	.000	.000	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_ne_F_max	Pearson-Korrelation	.815**	.861**	.876**	.913**	1	.884**	.912**	.910**
	Sig. (2-seitig)	.004	.001	.001	.000		.001	.000	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_st_F_max	Pearson-Korrelation	.756*	.935**	.938**	.940**	.884**	1	.978**	.889**
	Sig. (2-seitig)	.011	.000	.000	.000	.001		.000	.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_st_F_max	Pearson-Korrelation	.778**	.929**	.901**	.905**	.912**	.978**	1	.903**
	Sig. (2-seitig)	.008	.000	.000	.000	.000	.000		.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
sq_F_max	Pearson-Korrelation	.790**	.904**	.858**	.899**	.910**	.889**	.903**	1
	Sig. (2-seitig)	.007	.000	.002	.000	.000	.001	.000	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

*. Korrelation ist bei Niveau 0,05 signifikant (zweiseitig).

pmax

Korrelationen

		sch_p_max	h_fl_p_max	s_fl_p_max	h_ne_p_max	s_ne_p_max	h_st_p_max	s_st_p_max	sq_p_max
sch_p_max	Pearson-Korrelation	1	.946**	.049	.836**	.052	.815**	.796**	.809**
	Sig. (2-seitig)		.000	.893	.003	.886	.004	.006	.005
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_fl_p_max	Pearson-Korrelation	.946**	1	.029	.823**	.024	.859**	.852**	.797**
	Sig. (2-seitig)	.000		.937	.003	.947	.001	.002	.006
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_fl_p_max	Pearson-Korrelation	.049	.029	1	.054	.999**	.094	.006	.023
	Sig. (2-seitig)	.893	.937		.883	.000	.797	.986	.950
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_ne_p_max	Pearson-Korrelation	.836**	.823**	.054	1	.064	.976**	.953**	.951**
	Sig. (2-seitig)	.003	.003	.883		.861	.000	.000	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_ne_p_max	Pearson-Korrelation	.052	.024	.999**	.064	1	.101	.009	.037
	Sig. (2-seitig)	.886	.947	.000	.861		.782	.980	.918
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_st_p_max	Pearson-Korrelation	.815**	.859**	.094	.976**	.101	1	.973**	.936**
	Sig. (2-seitig)	.004	.001	.797	.000	.782		.000	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_st_p_max	Pearson-Korrelation	.796**	.852**	.006	.953**	.009	.973**	1	.914**
	Sig. (2-seitig)	.006	.002	.986	.000	.980	.000		.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
sq_p_max	Pearson-Korrelation	.809**	.797**	.023	.951**	.037	.936**	.914**	1
	Sig. (2-seitig)	.005	.006	.950	.000	.918	.000	.000	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

vmax

Korrelationen

		sch_v_max	h_fl_v_max	s_fl_v_max	h_ne_v_max	s_ne_v_max	h_st_v_max	s_st_v_max	sq_v_max
sch_v_max	Pearson-Korrelation	1	.788**	.739*	.694*	.782**	.666*	.623	.733*
	Sig. (2-seitig)		.007	.015	.026	.008	.036	.054	.016
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_fl_v_max	Pearson-Korrelation	.788**	1	.575	.422	.484	.540	.493	.490
	Sig. (2-seitig)	.007		.082	.224	.157	.107	.147	.150
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_fl_v_max	Pearson-Korrelation	.739*	.575	1	.923**	.932**	.835**	.913**	.854**
	Sig. (2-seitig)	.015	.082		.000	.000	.003	.000	.002
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_ne_v_max	Pearson-Korrelation	.694*	.422	.923**	1	.957**	.921**	.898**	.892**
	Sig. (2-seitig)	.026	.224	.000		.000	.000	.000	.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_ne_v_max	Pearson-Korrelation	.782**	.484	.932**	.957**	1	.876**	.895**	.921**
	Sig. (2-seitig)	.008	.157	.000	.000		.001	.000	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_st_v_max	Pearson-Korrelation	.666*	.540	.835**	.921**	.876**	1	.936**	.863**
	Sig. (2-seitig)	.036	.107	.003	.000	.001		.000	.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_st_v_max	Pearson-Korrelation	.623	.493	.913**	.898**	.895**	.936**	1	.861**
	Sig. (2-seitig)	.054	.147	.000	.000	.000	.000		.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
sq_v_max	Pearson-Korrelation	.733*	.490	.854**	.892**	.921**	.863**	.861**	1
	Sig. (2-seitig)	.016	.150	.002	.001	.000	.001	.001	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10

** . Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

* . Korrelation ist bei Niveau 0,05 signifikant (zweiseitig).

max Leistung

Correlations

		Weite/Pt	sch_maxLeistungP	h_fl_maxLeistungP	s_fl_maxLeistungP	h_ne_maxLeistungP	s_ne_maxLeistungP	h_st_maxLeistungP	s_st_maxLeistungP	sq_maxLeistungP
Weite/Pt	Pearson Correlation	1	-.254	-.389	-.424	-.417	-.285	-.403	-.396	-.243
	Sig. (2-tailed)		.478	.267	.222	.231	.426	.248	.257	.499
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
sch_maxLeistungP	Pearson Correlation	-.254	1	.903**	.873**	.864**	.921**	.903**	.869**	.945**
	Sig. (2-tailed)	.478		.000	.001	.001	.000	.000	.001	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
h_fl_maxLeistungP	Pearson Correlation	-.389	.903**	1	.819**	.985**	.876**	.928**	.836**	.885**
	Sig. (2-tailed)	.267	.000		.004	.000	.001	.000	.003	.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
s_fl_maxLeistungP	Pearson Correlation	-.424	.873**	.819**	1	.836**	.941**	.917**	.958**	.906**
	Sig. (2-tailed)	.222	.001	.004		.003	.000	.000	.000	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
h_ne_maxLeistungP	Pearson Correlation	-.417	.864**	.985**	.836**	1	.869**	.931**	.858**	.862**
	Sig. (2-tailed)	.231	.001	.000	.003		.001	.000	.001	.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
s_ne_maxLeistungP	Pearson Correlation	-.285	.921**	.876**	.941**	.869**	1	.953**	.917**	.944**
	Sig. (2-tailed)	.426	.000	.001	.000	.001		.000	.000	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
h_st_maxLeistungP	Pearson Correlation	-.403	.903**	.928**	.917**	.931**	.953**	1	.864**	.907**
	Sig. (2-tailed)	.248	.000	.000	.000	.000	.000		.001	.000
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
s_st_maxLeistungP	Pearson Correlation	-.396	.869**	.836**	.958**	.858**	.917**	.864**	1	.867**
	Sig. (2-tailed)	.257	.001	.003	.000	.001	.000	.001		.001
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
sq_maxLeistungP	Pearson Correlation	-.243	.945**	.885**	.906**	.862**	.944**	.907**	.867**	1
	Sig. (2-tailed)	.499	.000	.001	.000	.001	.000	.000	.001	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

max Anstieg

Correlations

		sch_d(F)/d(t)_max	h_fl_anst_max	s_fl_anst_max	h_ne_anst_max	s_ne_anst_max	h_st_anst_max	s_st_anst_max	sq_anst_max
sch_d(F)/d(t)_max	Pearson Correlation	1	.390	.692*	.310	.425	.096	.017	.570
	Sig. (2-tailed)		.265	.027	.383	.221	.792	.963	.085
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_fl_anst_max	Pearson Correlation	.390	1	.812**	.676*	.620	-.096	-.399	.650*
	Sig. (2-tailed)	.265		.004	.032	.056	.791	.253	.042
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_fl_anst_max	Pearson Correlation	.692*	.812**	1	.362	.618	.034	-.303	.650*
	Sig. (2-tailed)	.027	.004		.304	.057	.927	.395	.042
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_ne_anst_max	Pearson Correlation	.310	.676*	.362	1	.587	.291	.159	.671*
	Sig. (2-tailed)	.383	.032	.304		.074	.415	.661	.034
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_ne_anst_max	Pearson Correlation	.425	.620	.618	.587	1	.268	-.043	.387
	Sig. (2-tailed)	.221	.056	.057	.074		.455	.906	.269
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_st_anst_max	Pearson Correlation	.096	-.096	.034	.291	.268	1	.829**	.503
	Sig. (2-tailed)	.792	.791	.927	.415	.455		.003	.138
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_st_anst_max	Pearson Correlation	.017	-.399	-.303	.159	-.043	.829**	1	.201
	Sig. (2-tailed)	.963	.253	.395	.661	.906	.003		.578
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
sq_anst_max	Pearson Correlation	.570	.650*	.650*	.671*	.387	.503	.201	1
	Sig. (2-tailed)	.085	.042	.042	.034	.269	.138	.578	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Ab sprung Zeit

Korrelationen

		sch_t	h_fl_t	s_fl_t	h_ne_t	s_ne_t	h_st_t	s_st_t	sq_t
sch_t	Pearson-Korrelation	1	.370	.196	.204	.310	-.033	.126	-.080
	Sig. (2-seitig)		.293	.587	.573	.384	.927	.729	.826
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_fl_t	Pearson-Korrelation	.370	1	.594	.884**	.791**	.598	.427	.466
	Sig. (2-seitig)	.293		.070	.001	.006	.068	.218	.175
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_fl_t	Pearson-Korrelation	.196	.594	1	.515	.696*	.822**	.602	.642*
	Sig. (2-seitig)	.587	.070		.127	.026	.004	.065	.045
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_ne_t	Pearson-Korrelation	.204	.884**	.515	1	.728*	.596	.592	.218
	Sig. (2-seitig)	.573	.001	.127		.017	.069	.071	.544
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_ne_t	Pearson-Korrelation	.310	.791**	.696*	.728*	1	.498	.424	.332
	Sig. (2-seitig)	.384	.006	.026	.017		.143	.222	.349
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_st_t	Pearson-Korrelation	-.033	.598	.822**	.596	.498	1	.682*	.472
	Sig. (2-seitig)	.927	.068	.004	.069	.143		.030	.168
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_st_t	Pearson-Korrelation	.126	.427	.602	.592	.424	.682*	1	.094
	Sig. (2-seitig)	.729	.218	.065	.071	.222	.030		.796
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
sq_t	Pearson-Korrelation	-.080	.466	.642*	.218	.332	.472	.094	1
	Sig. (2-seitig)	.826	.175	.045	.544	.349	.168	.796	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10

** Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

* Korrelation ist bei Niveau 0,05 signifikant (zweiseitig).

re/li-Verhältnis

Correlations

		Weite/Pt	sch_re-li	h_fl_re-li	s_fl_re-li	h_ne_re-li	s_ne_re-li	h_st_re-li	s_st_re-li
Weite/Pt	Pearson Correlation	1	.100	.443	.577	.464	.676*	.193	.087
	Sig. (2-tailed)		.783	.200	.081	.177	.032	.593	.812
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
sch_re-li	Pearson Correlation	.100	1	.227	.226	-.027	.079	-.096	-.015
	Sig. (2-tailed)	.783		.528	.530	.940	.828	.791	.967
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_fl_re-li	Pearson Correlation	.443	.227	1	.955**	.934**	.865**	.719*	.805**
	Sig. (2-tailed)	.200	.528		.000	.000	.001	.019	.005
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_fl_re-li	Pearson Correlation	.577	.226	.955**	1	.900**	.857**	.681*	.729*
	Sig. (2-tailed)	.081	.530	.000		.000	.002	.030	.017
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_ne_re-li	Pearson Correlation	.464	-.027	.934**	.900**	1	.829**	.633*	.785**
	Sig. (2-tailed)	.177	.940	.000	.000		.003	.050	.007
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_ne_re-li	Pearson Correlation	.676*	.079	.865**	.857**	.829**	1	.686*	.691*
	Sig. (2-tailed)	.032	.828	.001	.002	.003		.029	.027
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
h_st_re-li	Pearson Correlation	.193	-.096	.719*	.681*	.633*	.686*	1	.780**
	Sig. (2-tailed)	.593	.791	.019	.030	.050	.029		.008
	N	10	10	10	10	10	10	10	10
s_st_re-li	Pearson Correlation	.087	-.015	.805**	.729*	.785**	.691*	.780**	1
	Sig. (2-tailed)	.812	.967	.005	.017	.007	.027	.008	
	N	10	10	10	10	10	10	10	10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Anhang G RMSE Tabelle

h_fl	sch_pmax	sch_vmax	sch_Fmax	sch_reli	sch_maxAnstieg	sch_maxLeistung	sch_t	Δd^*
1	13.25613	-0.09091	77.29644	3.01251	5162.575666	-1207.884818	-0.089	-0.065
2	24.22007	-0.17156	-70.96901	10.6834	4551.487357	-645.0468673	-0.033	-0.055
3	-8.12044	-0.51812	-93.00176	0.92298	3194.347836	-795.4442488	-0.04	0.0064
4	-4.27007	-0.40899	20.19103	0.51017	6470.966197	-585.9541214	-0.074	-0.064
5	-5.68975	-0.46327	45.41512	-4.0597	1357.5966	-629.65553	-0.039	-0.089
6	-11.1293	-0.59345	-12.99985	1.75179	5181.991141	-595.355	-0.128	0.0625
7	-8.15989	-0.55688	85.37983	2.98357	5827.534374	-739.9410779	-0.068	-0.068
8	-6.20007	-0.47083	80.905	2.51948	5633.692689	-485.6754716	-0.097	0.0278
9	4.726231	-0.32566	3.678539	-3.6507	9018.103482	-140.7841643	-0.114	0.0507
10	4.390134	-0.22606	-29.11512	3.56125	7130.21181	-737.442538	-0.088	-8E-04
RMSE	10.72093	0.415833	60.82469	4.30271	5709.69656	703.4979589	0.083	0.0557

s_fl	sch_pmax	sch_vmax	sch_Fmax	sch_reli	sch_maxAnstieg	sch_maxLeistung	sch_t	Δd^*
1	5.062897	-0.19723	39.03447	4.36892	4986.130439	-529.8748178	-0.03	0.0682
2	48.59315	0.426337	4.24767	10.601	5684.957607	25.81313269	-0.053	-0.138
3	1.706941	-0.22524	-153.0457	1.75781	2865.171036	-607.7242488	-0.017	-0.058
4	10.27116	-0.05706	-38.35784	1.47967	5906.120059	-701.1541214	-0.05	0.0324
5	-143.906	-0.03937	68.40249	-3.2803	3801.465954	-459.33553	-0.023	-0.074
6	3.398251	-0.19114	-20.51393	1.65151	4329.555954	-731.225	-0.107	-0.098
7	11.43679	-0.09839	104.83	3.68461	5873.280715	-697.2210779	-0.055	-0.267
8	2.576994	-0.21659	83.18543	2.53979	5210.179954	-251.8054716	-0.05	-0.047
9	16.73196	0.013609	70.4836	-3.9501	6637.649534	-609.7241643	-0.044	-0.036
10	8.917411	-0.08984	-53.58269	3.42889	6464.858177	-585.992538	-0.103	-0.128
RMSE	48.69561	0.194316	75.68617	4.44548	5300.58564	561.4920011	0.0602	0.116

h_ne	sch_pmax	sch_vmax	sch_Fmax	sch_reli	sch_maxAnstieg	sch_maxLeistung	sch_t	Δd^*
1	-23.4676	-0.80553	28.41203	3.17071	5476.444282	-969.1748178	-0.076	0.0369
2	32.66733	-0.00204	-11.82111	12.1792	2650.869974	-377.0968673	-0.024	-0.093
3	-11.498	-0.5892	-94.36603	1.32882	4121.966741	-807.1242488	-0.071	0.0193
4	-7.15837	-0.44247	-23.63653	0.95922	6707.151849	-771.3541214	-0.093	0.0189
5	-5.4334	-0.45763	85.44077	-4.0327	2158.805213	-656.98553	-0.041	0.0113
6	-4.19749	-0.46045	-7.397773	1.82267	3608.019757	-553.085	-0.119	0.0489
7	-9.92518	-0.59307	112.8949	2.56833	5822.339593	-686.7210779	-0.076	-0.008
8	-8.12625	-0.52589	110.6686	2.59899	5156.349626	-330.3954716	-0.109	-0.066
9	-0.72917	-0.41323	98.88973	-4.4588	8427.844689	-85.63416433	-0.126	0.0177
10	-5.84057	-0.44642	-29.26158	2.83667	2830.822479	-610.792538	-0.123	-0.039
RMSE	14.30964	0.511038	73.07099	4.71101	5061.649906	634.5564871	0.0918	0.0441

s_ne	sch_pmax	sch_vmax	sch_Fmax	sch_reli	sch_maxAnstieg	sch_maxLeistung	sch_t	Δd^*
1	-4.91035	-0.33539	11.07502	5.61417	3853.132046	-768.0448178	-0.035	-0.002
2	43.90961	0.332697	-4.490189	11.3442	3906.753777	-67.37686731	-0.024	-0.109
3	2.544131	-0.20124	-62.31918	0.70396	3776.752905	-415.2242488	-0.031	-0.036
4	5.278779	-0.14523	0.817611	1.85176	5861.848144	-633.6541214	-0.049	-0.028
5	-164.401	-0.21818	80.32763	-5.5377	2945.314013	-553.25553	-0.042	-0.081
6	3.794412	-0.19616	65.40905	4.05665	2623.361174	-455.305	-0.084	-0.055
7	8.573006	-0.1565	89.94535	3.49748	7830.067659	-697.2210779	-0.061	0.0146
8	1.089454	-0.23841	-6.313433	3.26485	6510.486321	-492.0754716	-0.08	-0.048
9	12.24949	-0.0726	86.42183	-2.7023	6481.113548	-602.5141643	-0.047	0.065
10	3.82071	-0.1906	-16.79435	3.55143	5087.711128	-543.502538	-0.074	-0.106
RMSE	54.09986	0.222211	55.35237	5.04047	5156.330142	553.9340538	0.0562	0.0643

h_st	sch_pmax	sch_vmax	sch_Fmax	sch_reli	sch_maxAnstieg	sch_maxLeistung	sch_t	Δd^*
1	-3.18122	-0.50318	-23.68023	1.68217	7672.022925	-770.8448178	-0.081	0.0294
2	49.49762	0.231733	-29.7789	9.44229	6276.474708	-15.57686731	-0.118	-0.053
3	4.773783	-0.31056	-119.6133	-0.9884	2766.031718	-473.3542488	-0.093	-0.079
4	-0.87963	-0.38866	15.51641	1.82469	7549.418964	-407.1041214	-0.077	0.0568
5	4.937703	-0.30711	48.18357	-7.128	5866.898656	-508.13553	-0.06	-0.091
6	4.625304	-0.34346	-9.431675	-0.2853	3974.438184	-272.145	-0.193	0.0296
7	0.590716	-0.4579	109.7462	4.25238	8208.422387	-394.2010779	-0.095	-0.037
8	7.38171	-0.29098	82.24841	2.84949	7717.89878	-37.53547156	-0.121	-0.067
9	14.85557	-0.1882	-12.06716	-5.7528	6736.09783	-364.8341643	-0.144	0.006
10	14.31263	-0.13005	-112.3705	4.23933	2498.635213	-395.722538	-0.186	-0.11
RMSE	17.34892	0.333668	70.70221	4.73763	6258.416245	419.8822092	0.1244	0.0634

s_st	sch_pmax	sch_vmax	sch_Fmax	sch_reli	sch_maxAnstieg	sch_maxLeistung	sch_t	Δd^*
1	8.438546	-0.2076	-38.16864	2.93742	7769.528689	-331.9748178	-0.083	0.0717
2	61.31003	0.570921	-82.38353	11.4972	5468.019679	228.8831327	-0.077	-0.056
3	13.76062	-0.04563	-129.0379	-0.2735	2791.375895	-198.8542488	-0.072	-0.155
4	11.57045	-0.06609	4.243095	1.20237	7671.253154	-489.0241214	-0.065	0.034
5	20.00308	0.032766	76.82855	-4.4071	7133.434367	-90.93552997	-0.067	-0.111
6	6.056255	-0.16822	-0.839432	-0.4951	5191.875246	-622.115	-0.096	-0.048
7	18.34388	-0.02926	88.47298	3.50778	9286.584007	-476.5310779	-0.091	-0.105
8	12.09604	-0.0776	17.70169	4.20449	6248.224649	-129.2854716	-0.099	-0.078
9	23.37435	0.072352	-50.76994	-3.656	5818.36722	-103.0041643	-0.121	0.0534
10	26.44901	0.123723	-137.4371	2.8111	-720.7857705	-98.92253804	-0.195	-0.116
RMSE	25.13739	0.207916	77.73246	4.61794	6280.127841	331.7786677	0.1032	0.0902

h_sq	sch_pmax	sch_vmax	sch_Fmax	sch_reli	sch_maxAnstieg	sch_maxLeistung	sch_t	Δd^*
1	-12.7947	-0.607427	112.8383	3.34159	4790.799265	-579.1311716	0.0545	0.0055
2	36.67108	0.049966	-20.957	10.8898	3783.464968	-367.8326936	0.1015	-0.105
3	-6.59837	-0.509355	12.82577	0.65898	1299.209033	-510.9304374	0.2415	-0.049
4	-13.965	-0.554796	55.80122	3.35766	4689.95867	-745.5131688	0.0675	0.0129
5	-8.66284	-0.537919	96.48438	-2.3574	2030.094756	-579.2946016	0.0635	-0.134
6	-8.34396	-0.540528	62.21375	-0.472	3493.322963	-504.0824859	-0.192	-0.059
7	-9.64797	-0.578484	114.2566	4.99343	2753.268328	-735.5529018	0.0445	-0.016
8	-10.8362	-0.57137	73.13951	0.5189	5171.909198	-504.7203776	0.2075	-0.04
9	-8.38596	-0.549676	131.8992	-3.6227	6056.082195	-560.8163023	0.0615	-0.19
10	-18.9271	-0.566366	-73.84587	1.20824	2169.483575	-917.0822333	0.0385	-0.04
RMSE	15.90837	0.529552	84.19283	4.32468	3911.349294	618.7528156	0.1293	0.0865

Persönliche Erklärung- und Urheberrechtserklärung

Persönliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäss aus Veröffentlichungen oder aus anderweitige fremden Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.“

Sargans, 23.04.16

Unterschrift

Urheberrechtserklärung

„Die Unterzeichnende anerkennt, dass die vorliegende Arbeit ein Bestandteil der Ausbildung, Einheit Bewegungs- und Sportwissenschaften der Universität Fribourg ist. Sie überträgt deshalb sämtliche Urhebernutzungsrechte (diese beinhaltet insbesondere das Recht zur Veröffentlichung oder zu anderer kommerzieller oder unentgeltlicher Nutzung) an die Universität Freiburg.“

Sargans, 23.04.16

Unterschrift