

Aus der Orthopädischen Klinik und Poliklinik, Universitätsmedizin Rostock

Direktor: Prof. Dr. med. habil. Wolfram Mittelmeier

Akademischer Betreuer: Prof. Dr. med. habil. Thomas Tischer

In vivo Belastungsmessung beim Wakeboarden und Kitesurfen

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin

der

Universitätsmedizin Rostock

vorgelegt von

Nina Johanna Neuse aus Essen

Rostock | 2023

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00005021

Dekan: Professor Dr. med. univ. Emil Reisinger

Gutachter:

Prof. Dr. med. Thomas Tischler, Malteser Waldkrankenhaus St. Marien, Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie

Prof. Dr. med. Stephan Vogt, Hessing Kliniken Augsburg, Klinik für Sportorthopädie und arthroskopische Chirurgie

PD Dr. med. habil. Axel Sckell, Universitätsmedizin Rostock, Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie

Einreichung: Dezember 2023

Verteidigung: Oktober 2024

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Die Sportart Wakeboarden	2
1.1.1. Material und Ausrüstung	3
1.1.2. Wasserski- und Wakeboardanlagen	4
1.1.3. Grundsprünge und Tricks	6
1.1.4. Bisher durchgeführte Untersuchungen zum Wakeboarden	7
1.2. Die Sportart Kitesurfen	8
1.2.1. Material im Kitesport	9
1.2.2. Fahrstile	17
1.2.3. Bisher durchgeführte Untersuchungen zum Kitesport	18
2. Zielsetzung	21
2.1. Hypothesen	21
3. Material und Methodik	22
3.1. Verwendete Messinstrumente	22
3.1.1. Sensorsohle SCIENCE Insole2	22
3.1.2. PIQ ROBOT™ blue	23
3.1.3. Videoanalyse	24
3.1.4. Experimentelle Studie – in vivo Belastungsmessung beim Wakeboarden und Kitesurfen	24
3.1.5. Stellungnahme der Ethikkommission	25
3.1.6. Auswahlkriterien der Probanden und Einteilung in Gruppen	25
3.1.7. Ablauf der Datenerhebung	26
3.2. Auswertung der Daten	27
3.3. Statistische Analyse	29
4. Ergebnisse	30

4.1. Probandencharakteristika	30
4.2. Ergebnisse der Gruppe der Wakeboarder	31
4.2.1. Allgemeine Messergebnisse	31
4.2.2. Gesonderte Betrachtung bestimmter Sprungtypen	33
4.3. Messergebnisse der Gruppe der Kiter – Boots	35
4.3.1. Allgemeine Messergebnisse	35
4.3.2. Betrachtung von Sprunghöhen über 5 m und Landungskraft über 1000 N	36
4.4. Messergebnisse der Gruppe der Kiter – Straps	38
4.4.1. Allgemeine Messergebnisse	38
4.4.2. Betrachtung von Sprunghöhen über 5 m und Landungskraft über 1000 N	39
4.5. Vergleich der Gruppen untereinander.....	41
4.5.1. Vergleich der Werte der drei Gruppen	41
4.5.2. Vergleich der Sportart Wakeboarden mit dem Kiten mit Boots.....	45
4.5.3. Vergleich der Sportart Wakeboarden mit dem Kiten mit Straps.....	46
4.5.4. Interner Vergleich in den Gruppen der Kitesurfer: Straps vs. Boots	47
5. Diskussion	48
5.1. Diskussion des Materials und der Methodik.....	48
5.1.1. Nutzung von Sensorsohlen.....	48
5.1.2. Nutzung von Höhen- und Beschleunigungssensoren.....	50
5.1.3. Mögliche Fehlerquellen und weitere Einflussfaktoren	50
5.2. Diskussion der Ergebnisse	51
5.2.1. Einordnung der Ergebnisse allgemein	51
5.2.2. Einordnung der Ergebnisse im Kontext der Literatur.....	55
5.3. Prävention von Verletzungen beim Wakeboarden und Kiten.....	59
5.4. Ausblick	59
6. Zusammenfassung	61
7. Thesen.....	63
8. Literaturverzeichnis.....	64
9. Anhang.....	70
10. Danksagung	76

11. Lebenslauf	77
12. Veröffentlichungen	78
13. Eidesstattliche Versicherung.....	79

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Wakeboard-Varianten.....	3
Abb. 2 Wakeboard mit Boots	4
Abb. 3 Übersichtsaufnahme eines Wakeboarders an einer Wasserskianlage.....	5
Abb. 4 geläufige Obstacles	6
Abb. 5 Kitesurfer	10
Abb. 6 Kite-Typen	10
Abb. 7 Grundlegende Shapes der Kites [51]	12
Abb. 8 Bar mit Leinensystem	13
Abb. 9 Prinzip des Quick-Release-Systems	14
Abb. 10 Hüfttrapez	15
Abb. 11 verschiedene Kiteboards	16
Abb. 12 Bindungstypen.....	17
Abb. 13 Fahrstile a) Wakestyle-Kitesurfing b) Big Air Kitesurfing.....	18
Abb. 14 Messsohlen Science Insole2 der Firma Moticon eingeschweißt	22
Abb. 15 Einschweißvorgang der Sohlen mit mindestens 1 cm Randsaum.....	23
Abb. 16 PIQ ROBOT™ der Firma PIQ Sport Intelligence	24
Abb. 17 Boards	26
Abb. 18 Ausschnitt aus der Duotone and PIQ App	28
Abb. 19 Bildauswertung	28
Abb. 20 Boxplot: Sprunghöhen in cm der Gruppen.....	41
Abb. 21 Boxplot: Landung in G	41
Abb. 22 Boxplot: Kraft bei Absprung in N/kg Körpergewicht auf dem vorderen und hinteren Fuß	42
Abb. 23 Boxplot: Landung in N/kg Körpergewicht	43
Abb. 24 Bilderreihe Invert	52
Abb. 25 Bilderreihe Absprung einfacher Sprung beim Kitesurfen	53

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Demographische und klinische Probandencharakteristika	30
Tab. 2 Sprungcharakteristika für jeden einzelnen Probanden der Gruppe Wakeboarder	32
Tab. 3 Spezielle Sprungcharakteristika	34
Tab. 4 Sprungcharakteristika für jeden einzelnen Probanden der Gruppe Kiter mit Boots	36
Tab. 5 Sprungwerte bei Sprüngen über 5 m und Landungskraft über 1000 N in der Gruppe der Kiter mit Boots	37
Tab. 6 Sprungcharakteristika für jeden einzelnen Probanden der Gruppe Kiter mit Straps.	39
Tab. 7 Sprungwerte bei Sprüngen über 5 m und Landungskraft über 1000 N in der Gruppe der Kiter mit Straps.....	40
Tab. 8 Sprungcharakteristika der drei Probandengruppen	44
Tab. 9 Vergleich des Wakeboarden mit dem Kiten mit Boots.....	45
Tab. 10 Vergleich des Wakeboarden mit dem Kiten mit Straps	46
Tab. 11 Interner Vergleich Kitesurfen: Straps vs. Boots	47

1. Einleitung

In den letzten Jahren erfuhr die Outdoorsportart Kitesurfen einen rasanten Zuwachs an euphorischen Anhängern. Die Sportler lassen sich hierbei auf einem Board von einem großen Lenkdrachen, dem „Kite“, über das Wasser ziehen. Eng verwandt ist das Kitesurfen mit dem Wakeboarden, bei dem sich die Sportler ebenfalls auf einem Board an einer Wasserskianlage oder hinter einem Boot über das Wasser ziehen lassen. Auch das Wakeboarden zählt in Deutschland, dem Land mit der weltweit höchsten Dichte an Wasserski- und Wakeboardanlagen [18], zu einer Trendsportart mit steigender Beliebtheit.

Beide Sportarten entwickelten sich gegen Ende des 20. Jahrhunderts [30], [40] und enthalten Elemente aus dem Wellenreiten, Wasserskiing, Windsurfen und Snowboarden. Die genaue Anzahl der aktiven Sportler ist nicht eindeutig zu beziffern, da die Individualsportler kaum in Vereinen organisiert sind. Im Jahr 2017 wird die Zahl der weltweit aktiven Kitesurfer auf 1,5 Millionen, Tendenz stark steigend, geschätzt [14]. In Deutschland existieren zum heutigen Zeitpunkt mehr als 80 Wasserski- und Wakeboardanlagen [13].

Der verbundene Lifestyle und das Lebensgefühl von Freiheit im Einklang mit der Natur machen Wassersportarten insgesamt vor allem für junge Menschen sehr attraktiv. Die Kombination aus hoher Geschwindigkeit, Vielfältigkeit durch Tricks, Sprünge und Manöver sowie die Naturverbundenheit und Interaktion mit Wind und Wasser fasziniert die sportbegeisterten Anhänger. Das Springen und Tricksen ist in beiden Sportarten ein maßgeblicher Bestandteil: Die Sportler versuchen, immer höher und weiter zu springen oder komplizierte Drehungen und Manöver einzustudieren, um Zuschauer zu beeindrucken. Auf Wettkämpfen und Contests können professionelle Fahrer ihr Können in verschiedenen Disziplinen unter Beweis stellen.

Das Image der Trendsportarten wurde in den letzten Jahren immer wieder durch Berichte von schweren Unfällen überschattet. Insbesondere beim Kitesurfen kann es zu schweren Verletzungen mit letalem Ausgang kommen [53].

Um die Prävalenzen und Verletzungsmechanismen zu untersuchen, sind bereits Studien mit dem Ziel das Risiko der Wassersportarten einschätzen zu können, durchgeführt worden. [9], [17], [34], [37], [46], [54]. Eine häufige Verletzungslokalisation, sowohl unter den Kitesurfern, als auch Wakeboardern, ist die untere Extremität. Diese ist im Rahmen von Sprüngen und Tricks besonders exponiert [9], [17], [34], [54]. Insbesondere das muskuloskelettale System ist in diesen Phasen einem hohen Stress ausgesetzt und von Verletzungen betroffen [36]. Allerdings basieren viele Studien auf retrospektiven Umfragen mittels Fragebögen und nicht auf objektiv erfassten Messwerten. Erst in den letzten Jahren wurden mittels neuer Technologien objektive Messungen möglich [16], [59], was Inhalt der hier vorliegenden Arbeit ist.

Im Folgenden soll zunächst in die Geschichte, dem Material und der Ausrüstung und der Fahrstile des Wakeboardens und Kitesurfens sowie in die bisher zum Thema durchgeführten Studien eingeführt werden.

1.1. Die Sportart Wakeboarden

Das Wakeboarden ist eine junge, moderne Sportart und ist mit dem Wellenreiten, Wasserskiing und Snowboarden verwandt. Die Sportler lassen sich auf einem Board über das Wasser ziehen, indem sie sich an einem Haltegriff, dem „Handle“, festhalten, der über ein Zugseil mit einem Motorboot oder einem Wasserskilift verbunden ist. Durch das Nutzen der Kielwelle (Wake) des Boots können Wakeboarder verschiedenste Variationen an Sprüngen ausführen. Auf Wasserskianlagen können Sprünge über künstliche Hindernisse, sogenannte „Obstacles“, erfolgen. In den Kurven lassen sich die Sportler durch die Nutzung der Beschleunigung des Umlaufseils in die Luft katapultieren.

Das Wasserskiing, durch dessen technische Voraussetzungen das Wakeboarden erst möglich gemacht wurde, gibt es schon seit den 1920er Jahren. Damals ließen sich die Pioniere zunächst auf einem Brett von Motorbooten ziehen, doch das Brett wurde durch zwei Bretter, die Ski, ersetzt [6]. Das Wasserskiing war in seinen Anfängen den Sportlern vorbehalten, die genügend Geld besaßen, sich ein Motorboot leisten zu können. Dies änderte sich durch die Entwicklung und den Bau von Wasserskianlagen, an dem der Deutsche Bruno Rixen maßgeblich beteiligt war [29], [32]. Durch diesen Fortschritt wurde das Wasserskiing für die breite Masse der Bevölkerung erschwinglich und entwickelte sich schnell zum Breitensport.

Das Wakeboarden entstand in den 1960er bis 1980er-Jahren durch Wellenreiter, die sich von Booten mit Wasserskileinen durch das Wasser ziehen ließen [40]. Ursprünglich wurde das Konzept unter dem Namen „Skurfer“ bekannt. Die Boards wurden über die Jahre immer leichter, dünner und symmetrischer, wodurch sie Snowboards immer ähnlicher wurden [63]. Durch den Bau der zahlreichen Wasserskianlagen bestand bereits eine Infrastruktur, die das Wakeboarden für alle Interessierten zugänglich machte. Im Jahr 2000 fanden die ersten Wakeboarding World Championships in Frankreich statt. Seit 2001 gehört das Wakeboarden zu den Disziplinen der World Games [63]. Allein in Deutschland gibt es mittlerweile über 80 Wakeboard- und Wasserskianlagen [13]. Damit hat Deutschland weltweit die höchste Dichte an Wasserskianlagen [18].

1.1.1. Material und Ausrüstung

Zum Wakeboarden benötigt man, wie der Name schon sagt, ein Wakeboard, ein brettförmiges Wassersportgerät und ein Cable, also ein Seil, das entweder als Umlaufseil in einer Wakeboardanlage im Kreis gezogen wird oder an einem Boot befestigt ist. Am Ende des Cables befindet sich eine Hantel, „Handle“ genannt, an der sich die Sportler mit den Händen festhalten können. Zur Schutzausrüstung gehören üblicherweise eine Prallschutzweste und ein Helm. An den meisten Wasserskianlagen ist das Tragen einer Weste verpflichtend, um einerseits vor Prellungen zu schützen und andererseits das Versinken zu verhindern. Das Tragen eines Helms wird generell empfohlen, ist aber erst bei Nutzung von Hindernissen verpflichtend.

Wakeboard

Die Wakeboards werden mit unterschiedlichen Kernen hergestellt: Am häufigsten sind die sogenannten „Schaumkerne“ aus PU- oder PVC-Schaum. Ebenso gibt es auch Kerne aus Holz und Hybrid-Kerne, die aus zwei Komponenten bestehen. Auf der Oberfläche des Boards sind Schlaufen (Straps) oder feste Bindungen, die aussehen wie Stiefel (Boots), befestigt (siehe **Abb. 1**), über die die Sportler mit dem Brett verbunden sind. Anfängerboards sind meistens mit Straps ausgestattet, da die Füße aus den Schlaufen schnell herausgezogen werden können. Fortgeschrittene Fahrer, die Sprünge und andere Manöver absolvieren, nutzen ein Board mit Boots. Die Boots werden meistens durch Klettverschlüsse den Füßen der Sportler angepasst. Dies hat zur Folge, dass die Sportler zwar einerseits sehr sicher mit dem Board verbunden sind, jedoch zum Herausgleiten aus den Schuhen die Verschlüsse im Wasser öffnen müssen. Dies ist während der Fahrt nahezu unmöglich.

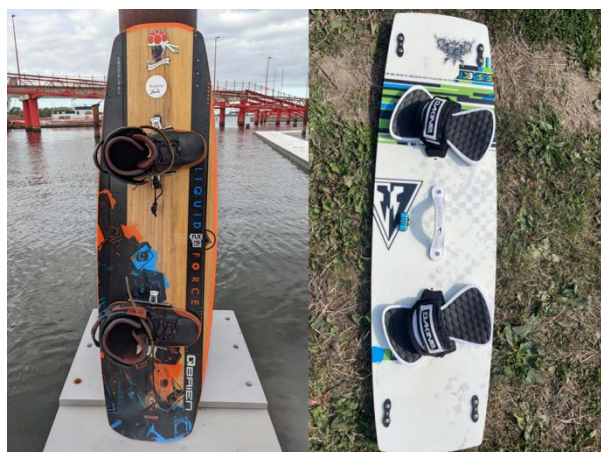


Abb. 1 Wakeboard-Varianten
links mit festen Boots; rechts mit Straps

Heutzutage sind die Boards „Bidirectionals“. Das bedeutet, dass sie in beide Richtungen gefahren werden können. Bei Anfängern sind die Fußschlaufen meist in eine Richtung ausgerichtet. Die meisten Anfänger favorisieren eine vordere Seite, mit der sie sich sicherer fühlen. Ist der linke Fuß der vordere, wird dies „regular“ genannt, ist der rechte Fuß vorne, nennt man dies „goofy“. Mit zunehmendem Fahrkönnen wird diese Ausrichtung meist irrelevant und die Schlaufen werden auf dem Board neutral ausgerichtet befestigt.

Auf der Unterseite des Boards sorgen kleine Finnen und längliche Ausbuchtungen, genannt „Channels“, für Stabilität auf dem Wasser.

Von der Seite aus betrachtet sind die meisten Boards an den äußeren Seiten leicht nach oben gebogen. Diese Biegungen nennt man „Rocker“, sie beeinflussen die Wendigkeit des Boards auf dem Wasser (siehe **Abb. 2**).



Abb. 2 Wakeboard mit Boots
Ansicht von der Seite und von unten

1.1.2. Wasserski- und Wakeboardanlagen

Deutschland besitzt weltweit die höchste Dichte an Wasserskianlagen. Die meisten Anlagen sind Full-Size-Cable Anlagen mit 5-6 großen Masten, an denen das Umlaufseil befestigt ist und im Kreis läuft. In regelmäßigem Abstand sind an diesem Umlaufseil Mitnehmer befestigt. An die Mitnehmer werden von einem Mitarbeiter der Anlage, dem „Hebler“, die Cables eingehakt, an deren Ende sich die Hantel befindet (siehe **Abb. 3**). Die Cables sind also nicht dauerhaft an der Anlage befestigt, sondern werden durch den Hebler dem Umlaufseil zugeführt, um Verletzungen durch frei durchs Wasser ziehende Cables zu vermeiden.

Es gibt auch sogenannte 2.0-Systeme, mit nur zwei Masten, zwischen denen das Umlaufseil gespannt wird. Die Sportler können an dieser Anlage somit nur in zwei Richtungen hin- und zurückfahren.

Der Einstieg für die Sportler befindet sich an der Stelle, an der der Hebler die neuen Cables einhakt. Meist befindet sich dort für die Wasserskifahrer eine Startrampe und für die Wakeboarder ein schmaler Steg, auf den sie sich setzen oder stellen können. Der Hebler reicht jedem Sportler einzeln sein Cable mit Hantel, und wenn dann das Umlaufseil an der Einstiegsstelle vorbeigelaufen ist, entsteht ein Zug auf das Cable, der den Sportler auf das Wasser zieht.

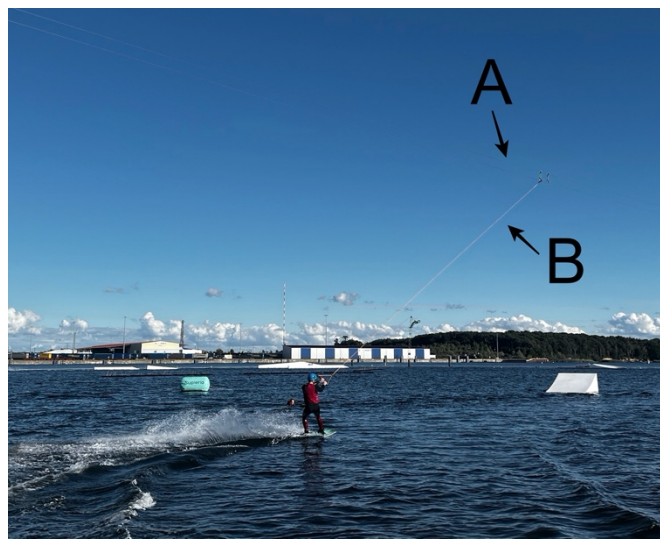


Abb. 3 Übersichtsaufnahme eines Wakeboarders an einer Wasserskianlage
A: Umlaufseil; B: Cable mit Hantel

An den meisten Wasserskianlagen läuft das Umlaufseil mit einer konstanten Geschwindigkeit um die 30 km/h. An manchen Anlagen kann die Umlaufgeschwindigkeit auf über 50 km/h gesteigert werden.

In dem Bereich im Wasser, in dem die Sportler an einer Wasserskianlage fahren, sind als Anhaltspunkte für den Kurveneingang mehrere Bojen angebracht. In den Kurven wird das Umlaufseil zwischen zwei oder drei Masten umgeleitet. Durch diesen Richtungswechsel entsteht ein starker Zug auf das Cable, den erfahrene Sportler für Sprünge nutzen, der aber für Anfänger meist auch die größte Schwierigkeit darstellt.

Je nach Anlage sind unterschiedliche „Obstacles“, also Hindernisse, auf dem Wasser positioniert, über die die Sportler fahren und springen können.

Die häufigsten Obstacles sind Kicker, Slider, Tubes, Rails, Tables und Funboxes.

Kicker sind einfache Rampen über die die Sportler springen. Slider sind schmale Geraden, die teilweise nur 20-30 cm aus dem Wasser hervorragen, über die die Sportler seitlich rutschen (siehe **Abb. 4**). Tubes ähneln den Slidern, nur haben sie eine gewundene bis runde Oberfläche. Rails sind wie die Slider rund, aber sehr schmal. Sie ähneln einem Treppengeländer. Tables sind sehr breite Slider und sind oft mit einem Rail als Funbox nebeneinander kombiniert. Obstacles stehen in allen Größen, Formen und Variationen zur Verfügung.

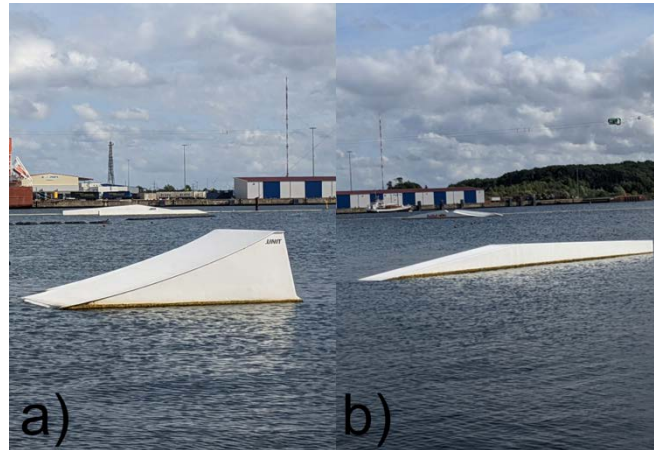


Abb. 4 geläufige Obstacles
a) Kicker; b) Slider

1.1.3. Grundsprünge und Tricks

Der besondere Anreiz des Wakeboardens ist die unendliche Fülle an Tricks, Sprüngen und Manövern, die erlernt werden können. Im Folgenden sollen die Grundsprünge und Tricks aufgeführt werden:

Die einfachsten Sprünge sind die sogenannten „Bunny Hops“, die aus dem Skateboarden bekannt sind. Bei einem Bunny Hop handelt es sich um einen kleinen Sprung, bei dem der Sportler ohne Nutzung eines Obstacles das Wakeboard aus dem Wasser hebt. Die Bunny Hops können mit verschiedenen Drehmanövern wie den 180- und 360-Grad-Drehungen kombiniert werden.

Zu den anspruchsvolleren Sprüngen werden die „Inverts“ gezählt. Dies ist eine Gruppe von Sprüngen, bei denen sich das Wakeboard des Fahrers für einen kurzen Moment oberhalb des Kopfes befindet. Zu den Inverts werden Tricks wie „Rolls“ und „Raleys“ gezählt. Bei einer Roll dreht sich der Sportler während eines Inverts um die eigene Achse. Je nach Richtung der Drehung spricht man beispielsweise von einer Backroll oder Frontroll. Der Paradesprung des Wakeboardens ist der Raley: Hierbei wird über das Verkanten des Boards kurz vor oder nach einer Kurve eine Spannung auf dem Cable aufgebaut, die den Sportler mehrere Meter hoch durch die Luft schleudert.

Jeder Sprung kann durch kleinere Manöver ergänzt werden wie dem Switch-Fahren, bei dem der vordere Fuß gewechselt wird. Eine weitere Möglichkeit ist der Handlepass, bei dem hinter dem Rücken die Bar von einer in die andere Hand geführt wird. Viele Sportler greifen während eines Sprungs mit einer Hand die Ecke ihres Boards, dieses Manöver wird Grab genannt.

1.1.4. Bisher durchgeführte Untersuchungen zum Wakeboarden

Trotz der steigenden Beliebtheit der Sportart wurden bis zum heutigen Zeitpunkt nur wenige Untersuchungen zur Prävalenz und Charakteristik von Verletzungen durchgeführt.

Carson et al. befragten 156 US-amerikanische Orthopäden und 86 aktive Wakeboarder nach behandelten Verletzungen im Rahmen des Sports: 36% der befragten Orthopäden hatten Verletzungen von Wakeboardern behandelt. Am häufigsten wurden Läsionen des vorderen Kreuzbands beschrieben (47% aller Verletzungen). 21% der Verletzungen waren Frakturen jeglicher Lokalisation, 15% der Verletzungen waren Schulterluxationen. Von den befragten Wakeboardern hatten 77% mindestens eine Verletzung erlitten. Davon waren 34% Rupturen des vorderen Kreuzbands und 17% Verletzungen des Fußknöchels [17].

Starr et al. beschäftigten sich genauer mit der Prävalenz und dem Verletzungsmechanismus von Läsionen des vorderen Kreuzbands: 42,3% der befragten Wakeboarder hatten bereits eine Ruptur des vorderen Kreuzbands erlitten. Die Verletzung wurde am häufigsten als Folge von hohen Sprüngen oder „double ups“ beschrieben. 26,9% der Betroffenen wurden ihrem Können nach in die Gruppe „pro/advanced“ eingestuft. 67,3% wurden als „intermediate“ eingestuft und nur 5,8% waren Beginner. Nur 13,5% der Betroffenen beschrieben einen Rotationsmechanismus, am häufigsten reichte allein die axiale Kompression nach hohen Sprüngen zur Entstehung der Kreuzbandläsionen [54]. In einem Case Report von Narita et al. wurde der Verletzungsmechanismus bei der Entstehung einer vorderen Kreuzbandläsion genauer beschrieben. In diesem Fall schaffte der Sportler es nicht, sich nach einer sogenannten „Back Roll“ vollständig zu drehen und tauchte mit der Schulter zuerst ein. Das Wakeboard traf dann aufs Wasser auf und das Knie wurde verdreht [45].

Um die Prävalenz von Verletzungen zu erfassen, führten Patzer et al. eine saisonbegleitende Studie durch, bei der 122 aktive Wakeboarder während einer Saison wiederholt zu Verletzungen befragt wurden. 98% der Sportler erlitten während der Saison mindestens eine Verletzung, 39% davon mussten ärztlich behandelt werden. Bei 61% der Verletzungen handelte es sich um leichte, bei 15% um sehr schwere Verletzungen. In jeweils 20% waren das Knie, das Schul-

tergelenk oder der Kopf betroffen. 71% aller Verletzungen waren Distorsionen oder Prellungen. Ähnlich zu der Untersuchung von Starr et al. wurde eine Zunahme der Kniegelenksverletzungen mit steigendem Fahrkönnen beobachtet [48].

In weiteren Studien zur Prävalenz von Verletzungen wurde jeweils der Kopf als häufigste Lokalisation mit 47,9% [2] und 28,8% [27] erfasst.

Das Wakeboarden scheint die Gefahr für verschiedene, seltene Verletzungen zu bergen. Es sind mehrere Case Reports zu Traumata durch das Umlaufseil beschrieben wie ein Kompartmentsyndrom des Arms durch Strangulation durch das Umlaufseil [3] oder ein akutes Karpaltunnelsyndrom, ebenfalls nach Strangulation [31]. Durch die Hebelwirkung des Wakeboards beim Eintauchen der vorderen Spitze ins Wasser ist eine Femurschaftfraktur beschrieben worden [1]. Mussmann et al. berichteten von dem Fall eines 29 jährigen Wakeboarders, der sich eine Fraktur des Processus lateralis tali („Snowboarder’s fracture“) durch das Eintauchen der vorderen Kante des Boards ins Wasser zuzog [43]. Es ist schwierig anhand der bestehenden Literatur eindeutige Verletzungsmechanismen festzumachen.

1.2. Die Sportart Kitesurfen

Das Kitesurfen ist eine vergleichsweise junge Sportart und enthält Elemente verschiedener Sportarten wie dem Wellenreiten, Wasserskiing, Wakeboarden, Windsurfen und Snowboarden. Mit Hilfe eines großen Drachens, der Kite genannt wird, lassen sich die Sportler auf einem Brett über das Wasser ziehen. Durch die Kraft des Windes können die Sportler sich nicht nur schnell über das Wasser vorwärtsbewegen, sondern sind in der Lage, je nach Fahrkönnen, beeindruckende Sprünge und Tricks zu absolvieren. Mit dem Sport wird ebenfalls ein besonderer Lifestyle mit dem Schwerpunkt auf Freiheit und Nähe zur Natur assoziiert. Der Sport fasziniert vor allem junge Leute mit seiner Vielfalt an Disziplinen und überwältigenden Rekorden: Mit 57.97 Knoten (ca. 107.36 km/h) stellte Alexandre Caizergues 2017 den Weltrekord für die höchste Geschwindigkeit beim Kitesurfen ein [57]. Jamie Overbeek führt mit einer Sprunghöhe von 35,3 m die derzeitige Bestenliste des WOO Kite Leaderboards an [47].

Die Sportart Kitesurfen wurde in der Form, wie sie heute weltweit praktiziert wird, erst in den 1980er-Jahren erfunden. Fast zeitgleich entwickelten Bruno und Dominique Legaignoux das WIPIKA-System (WI.nd P.owered I.nflatable K.ite Aircraft) und Bill Roeseler und sein Sohn Cory in Oregon ein patentiertes Kite-Ski-System, von dem sie Ende der 1990er-Jahre zu einem Board wechselten [30]. Das WIPIKA-System der Brüder Legaignoux wird heutzutage als der Durchbruch in der Entwicklung der Sportart angesehen. Die ursprünglich entwickelten

Kites waren bereits mit aufblasbaren Luftkammern versehen und konnten so auch auf dem Wasser erneut gestartet werden [30].

Ende der 1990er Jahre schwappte die aufstrebende Trendsportart nach Deutschland. Ursprünglich gab es nur eine Hand voll Pioniere, die den Sport praktizierten, doch die Szene wuchs kontinuierlich [23]. Die erste offizielle Kite Boarding World Competition fand auf Maui im Jahr 1998 statt. Damals nahm unter anderem der bereits erwähnte Cory Roeseler und Robby Naish, eine weltweit bekannte Surfing- und Windsurfing-Legende, teil [52].

Auch in Deutschland fand im Jahr 2000 die erste Kitesurf-Meisterschaft auf dem Darß statt [30]. In den darauffolgenden Jahren gewann die neue Trendsportart weiter an euphorischen Anhängern.

Derzeit ist es schwierig eine exakte Aussage über die Anzahl der weltweit aktiven Kitesurfer zu treffen, da die Sportler sich nicht offiziell registrieren müssen und nicht in Vereinen organisiert sind. 2012 schätzten die IKA (International Kiteboarding Association) und ISAF (International Sailing Federation, heute „World Sailing“ genannt) die Zahl auf 1,5 Millionen Kitesurfer und prognostizierten ein Wachstum von 10% pro Jahr, wodurch die Zahl im Jahr 2020 auf 3,5 Millionen geschätzt wird [5].

Jedes Jahr belegen zahlreiche Sportbegeisterte Kitesurfing-Kurse in den Surf- und Kiteschulen entlang der deutschen Küste. Der Kitesport ist schon längst kein Nischensport mehr.

Im Jahr 2024 gehört das Kitesurfen mit dem Format „Mixed-Kite“ zu den Olympischen Sportarten. 2018 hatte die Sportart bereits ihr Debüt bei den Youth Olympic Games [58].

1.2.1. Material im Kitesport

Zum Kitesurfen benötigt man einen Kite, der über Leinen mit einer Lenkstange (Bar) verbunden ist, ein Trapez, ein Board und je nach Revier und Jahreszeit einen Neoprenanzug, Neoprenschuhe, Neoprenhandschuhe und eine Neoprenhaube (siehe **Abb. 5**). Manche Sportler besitzen weitere Schutzausrüstung wie eine Prallschutzweste oder einen Helm.



Abb. 5 Kitesurfer
Links Kitesurfer mit Kite; rechts Kitesurfer mit Bar in der Hand

Kite

Die Kites gibt es in verschiedenen Größen zwischen 3 und 18 Quadratmetern und in verschiedenen Shapes. Man unterscheidet zunächst Softkites und Tubekites (siehe **Abb. 6**).

Softkites bestehen aus zwei Schichten Flugtuch und füllen sich bei Wind mit Luft [33]. Softkites werden heutzutage vor allem zum Foilkiten benutzt, da sie sehr leicht sind und auch bei sehr wenig Wind genutzt werden können.

Tubekites werden offiziell Leading Edge Inflatable Kites (LEI) genannt. Sie besitzen, wie der Name schon andeutet, eine große Front Tube, die aufgepumpt wird und dem Kite seine charakteristische Form gibt. Die meisten Kiter benutzen heutzutage Tube-Kites.

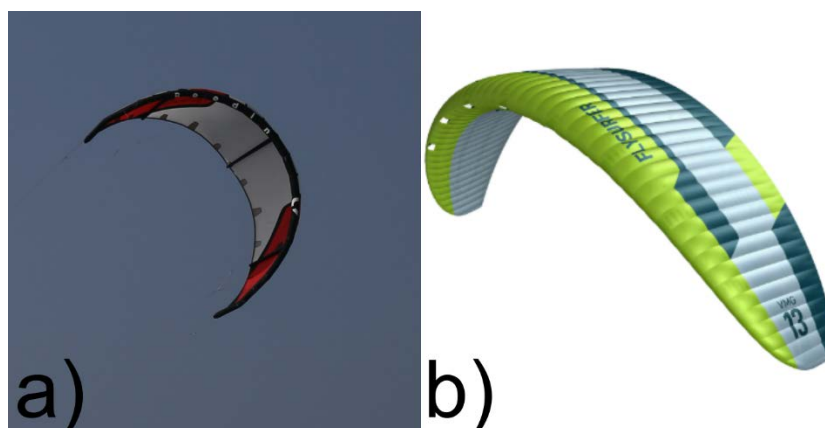


Abb. 6 Kite-Typen
a) Tubekite; b) Softkite [62]

Zusätzlich zu dieser Front Tube besitzen die meisten Kites sogenannte Struts, das sind schmalere Tubes, die quer zur Front Tube stehen und ebenfalls für Stabilität sorgen. Außerdem sorgen die Tubes auf dem Wasser dafür, dass der Kite auf der Wasseroberfläche schwimmt und erneut gestartet werden kann. Die Vorderkante des Kites mit der Front Tube wird auch Leading Edge oder Anströmkante genannt. Die Hinterkante nennt man Abströmkante oder Trailing Edge. Die Kites sind über zwei, vier oder fünf Leinen mit der Bar verbunden. Dabei können die Leinen entweder direkt oder über sogenannte Waageleinen, die „Bridles“, an der Front Tube befestigt werden.

Unter den Leinen unterscheidet man Powerleinen und Steuerleinen: Die beiden Powerleinen, auch Frontlines oder Depowerleinen genannt, sind an der Front Tube befestigt und übertragen die Hauptkraft des Kites über die Bar auf das Trapez des Kites. Die beiden Steuerleinen, auch Backlines genannt, sind an den äußeren Enden der Abströmkante des Kites befestigt und laufen zu den äußeren Seiten der Bar. Durch sie kann der Kite mit wenig Kraftaufwand im Windfenster gesteuert werden.

Wenn eine fünfte Leine, die Safety-Leine, vorhanden ist, wird sie in der Mitte der Front Tube befestigt und direkt mit der Safetyleash verbunden. Im Falle, dass das Quick-release-system ausgelöst wird, ist der Sportler über die Safetyleash und über die fünfte Leine mit einem vollkommen drucklosen Kite verbunden. Außerdem erleichtert eine fünfte Leine das Relaunching des Kites aus Wasser.

Die Tube-Kites lassen sich in C-Kites, Bow-Kites und Delta-Kites einteilen (siehe **Abb. 7**). Es gibt aber auch Hybrid-Kites, die Eigenschaften von verschiedenen Shapes besitzen.

C-Kites sind sehr stark gebogen und besitzen auch an den Seiten große Flächen. Sie stehen sehr stabil in der Luft, da sie den Auftrieb nicht nur nach oben, sondern auch zur Seite erfahren. Sie eignen sich besonders gut zum Freestyle-Kiten, da sie einen geringeren Zug auf die Bar ausüben, wodurch Manöver wie Handlepasses möglich sind. C-Kites sind meist mit fünf Struts, also quer laufenden Tubes, ausgestattet. Sie sind somit besonders stabil, aber auch schwerer. In der Regel wird der Kite durch fünf Leinen an der Bar befestigt. Die Leinen sind direkt an der Power Tube angeknüpft. Der C-Kite ist eher für fortgeschrittene Fahrer oder Profis geeignet.

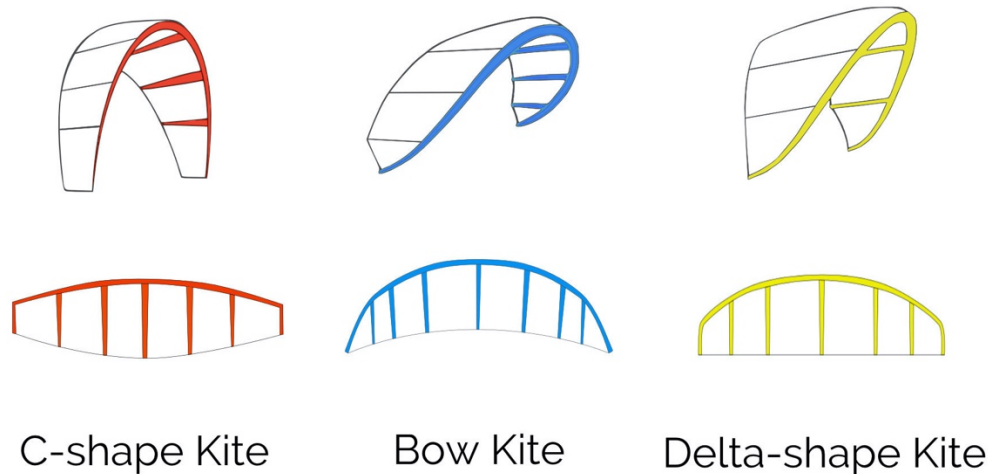


Abb. 7 Grundlegende Shapes der Kites [51]

Bei den Delta-Kites macht die Oberseite des Kites den Großteil der Gesamtfläche aus. Der Kite erfährt somit vor allem Auftrieb nach oben. Delta-Kites eignen sich durch die starke Fallschirmwirkung besonders gut für Sprünge mit langer Hangtime wie beim Big Air Kiten. Meist besitzen Delta-Kites drei Struts. Es gibt aber auch Firmen, die die Kites mit fünf Struts ausstatten. Delta-Kites sind meistens Vier-Leiner, es gibt aber auch Fünf-Leiner, die über Waageleinen, die Bridles, befestigt sind. Wegen der Bridles werden die Delta-Kites zu den SLE-Kites gezählt. SLE steht für Supported Leading Edge, da die Front Tube mit mehreren Anknüpfungspunkten über die Waageleinen mit den Powerleinen verbunden wird.

Hybrid-Shapes, wie der Open-C-Kite, werden ebenfalls im Big Air Kiten genutzt, da sie im Kiteloop, einer kompletten Drehung des Schirms um sich selbst, besser kontrolliert werden können. Auch für Anfänger sind Hybrid-Shapes und je nach Gewicht auch Delta-Kites geeignet.

Bar

Die Lenkstange, Bar genannt, ist die Verbindung zwischen Kite und Sportler und überträgt die Kraft des Kites auf den Fahrer. Ebenso ermöglicht sie den Kite gezielt im Windfenster zu kontrollieren und zu steuern.

Die Bar (siehe **Abb. 8**) besteht aus der Steuerbar, den Powerleinen und Steuerleinen, einem Quick-Release-System, einem Depower-System, einem Chicken-Loop (siehe **Abb. 9**), einem V-Split, einem Depower-Tampen und einer Safety-Leash.

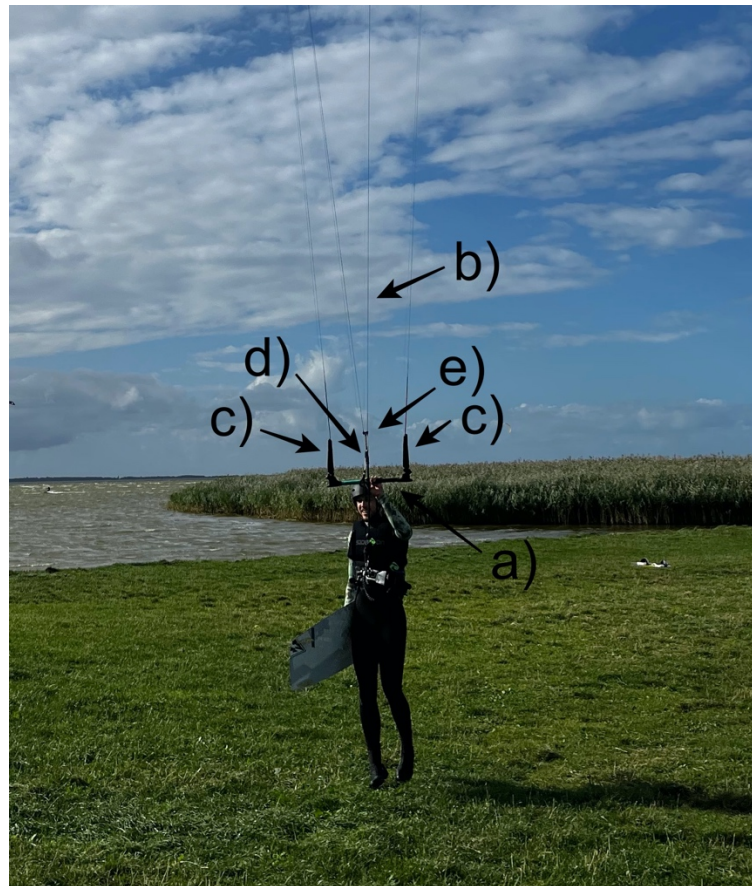


Abb. 8 Bar mit Leinensystem

a) Bar; b) Powerleinen; c) Steuerleinen; d) Depower-System; e) V-Split

Die beiden Steuerleinen, eine rechte und eine linke, sind außen an der Steuerbar befestigt, die der Sportler in den Händen hält. Durch den einseitigen Zug an der Bar wird der Kite in eine Richtung gelenkt. Zieht man beispielsweise an der rechten Seite der Bar, bewegt sich der Kite ebenfalls nach rechts. Die Powerleinen ziehen in der Mitte der Bar durch zum Chicken Loop, in den der Trapezhaken eingehängt wird. Die Kräfte des Kites werden so auf den Sportler übertragen.

Durch das Heranziehen der Bar, dem „anpowern“, verändert sich das Verhältnis der Steuerleinen zu den Powerleinen. Die Steuerleinen werden im Verhältnis kürzer und der Schirm wird in einem steileren Winkel zum Wind gestellt, wodurch er höheren Druck erfährt. Das Wegschieben oder Loslassen der Bar wird „depowern“ genannt. Die Steuerleinen werden im Verhältnis zu den Powerleinen länger und der Druck im Schirm lässt nach.

Der Chicken-Loop ist auf der einen Seite mit dem Depower-System verbunden und auf der anderen Seite wird der Trapezhaken eingehakt. Durch das Durchschieben des Chickensticks zwischen Trapezhaken und Chicken-Loop kann ein unfreiwilliges Aushaken verhindert wer-

den. Beim Freestyle-Kitesurfen verzichten die meisten Sportler auf die Benutzung eines Chickensticks, da diese sogenannte „Unhooked-Tricks“ erschweren, bei denen die Sportler sich aus dem Trapez aushaken.

Zwischen Chicken-Loop und Powerleinen befinden sich der V-Split und der Depower-Tampen, durch den die Länge der Powerleinen verändert und dadurch der Zug des Kites präzise eingestellt werden kann. Durch das System aus Powerleinen, Depower-Tampen, Chicken-Loop und Trapez wird die Kraft des Kites auf das Trapez und somit den Sportler übertragen, der durch die Stellung der Bar die Kraft steuern kann.

Das womöglich wichtigste Teil der Bar ist das sogenannte Quick-Release-System: Im Fall eines Kontrollverlusts über den Kite ermöglicht das Quick-Release-System das Lösen der Verbindung zwischen Kite und Trapez. Der Kite verliert in dem Moment jeglichen Zug, stürzt ab und ist nur noch über die Safetyleash locker mit dem Kiter verbunden.

Seit Februar 2020 müssen die Quick-Release-Systeme der neuen ISO-Norm 21853 entsprechen. Die Quick-Release-Systeme wurden erst Mitte der 2000er-Jahre entwickelt und etabliert, nachdem es zu mehreren schweren Unfällen gekommen war. Mittlerweise werden die Quick-Release-Systeme von über 90 Prozent der Kitesurfer genutzt [9].

In **Abb. 9** ist das Prinzip des Quick-Release-Systems abgebildet: Das Trapez ist in den Chicken-Loop eingehakt und mit dem Chicken-Stick gesichert. Ein problemloses Aushaken ist nicht in allen Gefahrensituationen gewährleistet. Durch das Ziehen des Quick-Release öffnet sich der Chicken-Loop und das Trapez ist nicht mehr verbunden.

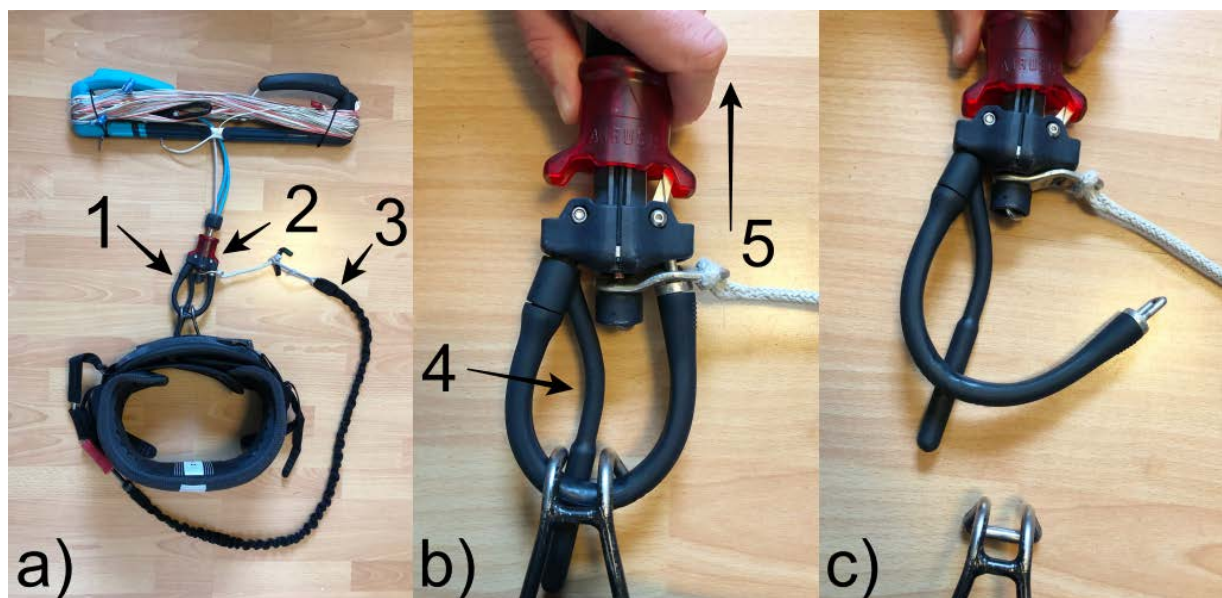


Abb. 9 Prinzip des Quick-Release-Systems

a) Anordnung beim normalen Fahren; b) Auslösen des Quick-Release-Systems; c) geöffneter Chicken-Loop nach dem Auslösen; Beschriftungen 1: Chicken Loop 2: Quick-Release 3: Safetyleash 4: Chickenstick 5: Zugrichtung beim Auslösen des Quick-Release

Trapez

Das Trapez stellt mit seinem Trapezhaken die Verbindung zwischen Sportler und Material her. Es gibt zwei verschiedene Arten an Trapezen: Sitz- und Hüfttrapeze.

Ein Sitztrapez wird nicht nur um die Taille des Kitors geschnallt, sondern auch durch Beingurte befestigt. Besonders bei Anfängern sind Sitztrapeze beliebt, da die Trapeze durch die Beingurte am Hochrutschen gehindert werden.

Mehr verbreitet sind allerdings die Hüfttrapeze, bei denen das Trapez wie ein sehr breiter Gürtel um die Taille geschnallt wird. Hüfttrapeze ermöglichen eine große Beweglichkeit.

Man unterscheidet zudem Soft- und Hardshell-Trapeze, je nachdem wie die Rückenpartie verstärkt ist.

Der wichtigste Bestandteil des Trapezes ist die sogenannte Spreaderbar. Dies ist ein breiter Metallbügel, der auf der Vorderseite des Kitors gespannt und mit einem Metallhaken ausgestattet ist, der in den Chicken-Loop eingehängt wird.

Die Safetyleash, die nach Auslösen des Quick-Release die einzige Verbindung zum Kite darstellt, wird entweder an einem Tampen an der Rückenplatte oder an der Seite der Spreaderbar befestigt. Im Notfall kann auch die Safetyleash noch zusätzlich losgelöst werden.



Abb. 10 Hüfttrapez

a) von oben; b) von vorne; Beschriftungen: 1 Safetyleash; 2 Rückenplatte; 3 Spreaderbar mit Haken

Board

Kiteboards gibt es in verschiedenen Größen zwischen 1,30m und 1,50m. Je nach Fahrtechnik eignen sich andere Shapes.

Grob unterscheidet man Directional und Bidirectional Boards. Directional Boards können nur fahren, wenn eine bestimmte Seite nach vorne zeigt. Bei Bidirectionals ist es egal, welche Seite beim Fahren nach vorne zeigt.

Es werden zudem Waveboards, Twintips und Foilboards unterschieden. Waveboards sind kurze Surfboards und meist Directionals (siehe **Abb. 11 b**). Foilboards sind meist Directionals und besitzen einen speziellen Finnenkasten, in dem der Hydrofoil befestigt wird. Diese zusätzliche Tragefläche sorgt dafür, dass sich das Brett beim Fahren aus dem Wasser hebt.

Twintips sind klassische Bidirectional Boards (siehe **Abb. 11 a**) und c)). Es gibt sie in unterschiedlichen Längen und Ausführungen: Freeride, Lightwind, Freestyle/Wakestyle. Die Bretter können unterschiedlich stark gebogen sein, dies nennt man „Rocker“. Stark gebogene Bretter werden besonders zum Freestyle oder Wakestyle-Kiten genutzt, da sie bei Landung mitfedern. Längere Boards eignen sich besonders bei weniger Wind zum Höhe Laufen, aber auch zum Landen bei Freestyle-Tricks. Kurze Bretter werden vor allem im Big Air Kiten genutzt.

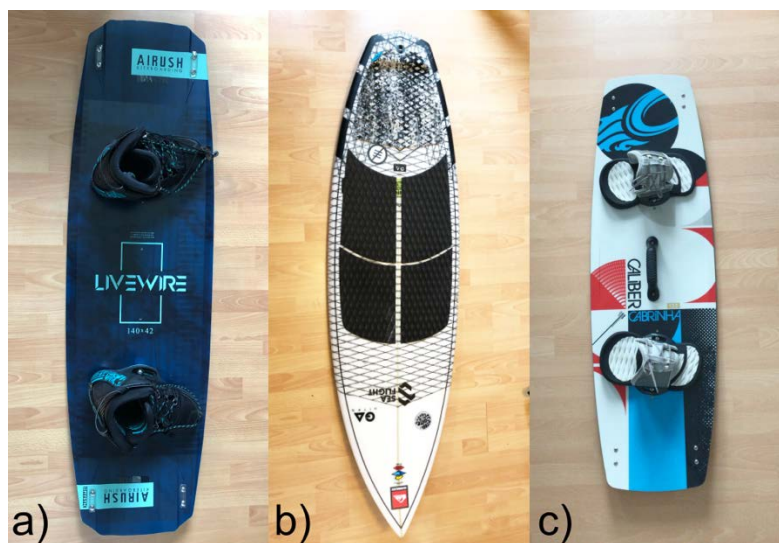


Abb. 11 verschiedene Kiteboards

a) Twintip mit Boots; b) Directional Waveboard strapless; c) Twintip mit Straps

Kiter können über einfache Fußschlaufen, Boots oder ohne Schlaufen, also „strapless“, mit dem Board verbunden sein. Die meisten Kiter nutzen Fußschlaufen, die „Straps“ genannt werden. Die Füße der Sportler sind fest mit dem Board verbunden, doch sie können jeder Zeit aus den Schlaufen heraussteigen (siehe **Abb. 12**).

Boots kommen ursprünglich vom Wakeboarden. Feste Stiefel werden am Board befestigt, weshalb dieses durch sogenannte Inserts verstärkt sein muss, um den hohen Kräften Stand zu halten. Die Boots werden fest zugeschnürt, ein einfaches Heraussteigen wie aus den Fußschlaufen ist auf dem Wasser nicht möglich (siehe **Abb. 12**).

Waveboards werden meistens ganz ohne Fußschlaufen gefahren. Um eine Haftung zu ermöglichen, sind die Bretter mit Pads beschichtet oder werden mit Wachs eingerieben. Es gibt aber auch Waveboards mit Straps.



Abb. 12 Bindungstypen
a) Boots; b) Straps

1.2.2. Fahrstile

Beim Kiten gibt es viele unterschiedliche Fahrstile und Wettkampfdisziplinen. Man unterscheidet das Wavekiten, Big Air, Freeride, Foilen, Freestyle/Wakestyle und Racekiten.

Beim Wavekiten wird meist ein strapless Waveboard genutzt, um die Wellen wie beim Surfen abzufahren. Das Freeriden kann man auch als „Alltagskiten“ bezeichnen. Die Kiter fahren meist Twintip Boards mit Straps und machen kleinere Sprünge. Das Foilkiten mit einem Hydrofoil zählt zu den neueren Disziplinen und wird bei den olympischen Spielen 2024 sein Debüt als olympische Sportart feiern. Beim Foilen können eher kleine Schirme und auch Softkites genutzt werden. Bei der Disziplin Race geht es, wie der Name schon sagt, darum schneller als die Gegner im Ziel zu sein. Beim Big Air Kiten geht es darum, möglichst hohe Sprünge zu absolvieren und dabei Tricks durchzuführen. Bei diesen Sprüngen nutzen die Sportler im Gegensatz zum Freestyle die Unterstützung durch den Kite selbst. Einer der bekanntesten Tricks aus dem Big Air ist der sogenannte Kite Loop, bei dem der Kite im Sprung einmal um sich selbst gedreht wird. Die meisten Big Air Kiter fahren ein Twin Tip Board mit Straps (siehe **Abb. 13**).

Das Freestyle- oder auch Wakestyle-Kiten leitet sich vom Wakeboarden ab. Der Kite steht bei Tricks auf 45 Grad und beschleunigt so vor allem in der horizontalen Ebene. Der Sportler hakt sich bei den Tricks mit seinem Trapez aus dem Chicken-Loop aus. Die Tricks werden deshalb auch „unhooked“ genannt (siehe **Abb. 13**). Vor dem Trick baut der Kiter wie beim Wakeboarden Spannung zum Kite auf, wodurch die Kraft für den Absprung gewonnen wird. Beim Trick bleibt der Kite in der Luft beinahe stehen und der Kite wird nur durch die Kraft der Arme gehalten. Durch das Aushaken aus dem Chicken-Loop sind unter anderem Handlepass-Manöver hinter dem Rücken möglich. Die meisten Freestyle-Rider nutzen C-Kites, da diese einen geringeren Druck auf die Bar ausüben als Delta-Kites und Twintip-Boards mit Straps oder Boots.



Abb. 13 Fahrstile
a) Wakestyle-Kitesurfing; b) Big Air Kitesurfing

1.2.3. Bisher durchgeführte Untersuchungen zum Kitesport

Der Ruf des Kitesports geriet häufig durch Berichte von schweren Unfällen in Verruf [19], [20], [41].

Seit den frühen 2000er-Jahren wurden mehrere retrospektive und prospektive Studien durchgeführt, um die Inzidenz und Schwere von Verletzungen und die Verletzungsmechanismen zu erfassen [7–9], [22], [37], [46], [49], [64]. Die dabei ermittelten Inzidenzen betrugen 7.0 – 18.5 Verletzungen pro 1000 Stunden Kitesurfen. Leichte Verletzungen wie Abschürfungen oder leichte Prellungen sind häufiger als schwere Verletzungen. Baumbach et al. geben statt der Inzidenz von 18.5/1000h nach dem Herausrechnen von leichten Verletzungen einen Wert von 10.6/1000h an [7]. Nur in wenigen Fällen ist die Konsultation eines Arztes nötig, trotzdem besteht das Potential für seltene, aber sehr schwere Verletzungen [9].

Die enorme Zugkraft des Kites und die Unbeherrschbarkeit bei unvorhersehbaren Böen stellt für die Sportler bis heute eine der Hauptgefahrenquellen dar.

Petersen et al. beschrieben, dass als häufigster Unfallmechanismus das Anpralltrauma angegeben wurde und als häufigste Ursache der Kontrollverlust über den Kite. Einige Sportler gaben an, dass sie vor allem wegen des teuren Materials Hemmungen gehabt hätten, sich in kritischen Situationen von ihrem Kite zu trennen [49].

Erst Mitte der 2000er-Jahre setzten sich sogenannte Quick-release-Systeme durch, die dem Sportler ermöglichen, in Notsituationen den Druck aus dem Kite zu nehmen. Heutzutage werden die Quick-release-Systeme vom Großteil der Sportler genutzt. Dies geht auch aus Umfragen von Van Bergen et al. hervor: 97,9% der befragten Sportler besaßen ein Quick-release-System, allerdings wurde dieses nur in 7,3% der Fälle ausgelöst [9].

In den verschiedenen Studien wird deutlich, dass die untere Extremität für Verletzungen prädestiniert zu sein scheint. So sind in der Untersuchung von Nickel et al. am häufigsten der Fuß oder Knöchel verletzt (28%) [46]. Leeuwerke et al. beschreiben die misslungene Landung nach Sprüngen als einen der Hauptunfallmechanismen [34]. Auch bei anderen Untersuchungen sind Fuß und Knöchel die am häufigsten betroffene Region und 49% der erfassten Verletzungen erlitten die Sportler während eines Tricks oder Sprungs [9].

Grunner et al. beschrieben mit 72,9% einen hohen Anteil an Verletzungen, die das muskuloskelettale System betreffen [25]. Lundgren et al. beobachteten, dass das muskuloskelettale System beim Kitesurfen kurzen, aber sehr hohen Belastungen ausgesetzt ist. Von 61% der Befragten wurde das Ausführen von Sprüngen und Tricks mit einer hohen Belastung assoziiert [36].

Nicht zu vernachlässigen bei der Beschreibung der Unfallursachen ist auch das Starten und Landen des Kites am Ufer. Besonders für Anfänger ist dies eine kritische Situation, da sie auf unvorhersehbare Windböen reagieren müssen. Kitesurfer haben ein signifikant erhöhtes Verletzungsrisiko am Strand im Vergleich zu Windsurfern [8]. Zwar kommt es vor allem auf dem Wasser mit großer Entfernung zum Ufer zu Verletzungen, doch die Unfälle am Strand entstehen in 15% beim Starten oder Landen des Kites [46].

Der menschliche Faktor scheint bei Verletzungen ebenfalls eine große Rolle zu spielen. Wegener und Wegener führten eine Studie über den Zusammenhang von Sensation Seeking zu unfallbedingten Verletzungsausprägungen beim Kitesurfen durch. 87,5% der Teilnehmenden wiesen eine erhöhte Sensation Seeking Ausprägung auf. Besonders bei Betrachtung der Verletzungsschwere und dem Fahrkönnen fiel auf, dass Anfänger quantitativ mehr und Fahrer mit höherem Fahrkönnen qualitativ schwerere Verletzungen aufwiesen. Die Autoren sehen in der Gruppe der Kitesurfer eine „Bereitschaft, physische Risiken in Kauf zu nehmen, um besondere

Erfahrungen zu machen“ [64]. Höhergradig verletzte Kitesurfer weisen eine signifikant erhöhte Sensation Seeking Ausprägung auf [64]. Auch Baumbach et al. beschreiben, dass Männer oft erfahrener seien, aber auch risikobereiter [7].

Allgemein lässt sich zusammenfassen, dass die Entstehung von Verletzungen meist nicht auf einen einzigen Faktor zurückgeführt werden kann. Die bisherigen Forschungsstudien sind in den meisten Fällen fragebogenbasiert. Bei retrospektiven Befragungen besteht das Problem, dass sich die Sportler nicht an jede Verletzung erinnern können, sodass die Inzidenz von Verletzungen möglicherweise höher ist als in den Studien angegeben. Untersuchungen, in denen objektive Parameter der Sportler erfasst wurden, sind selten. So konnten Vercruyssen et al. beschreiben, dass beim Crossing die Energiebereitstellung vor allem aerob erfolgt und die Intensität moderat ist [61]. Ähnliche Untersuchungen zu anderen Disziplinen wie dem Wakestyle- oder Freestyle-Kitesurfen sind bisher nicht durchgeführt worden.

2. Zielsetzung

Ziel dieser Studie war es, erstmals in vivo Messungen von Belastungen beim Wakeboarden und Kitesurfen durchzuführen.

Bis zum jetzigen Zeitpunkt waren Messungen dieser Art aufgrund noch nicht ausreichend entwickelter Messgeräte nicht möglich. Mittels spezieller Kraftmesssohlen sowie Höhen- und Beschleunigungssensoren konnten auf die Füße einwirkende Kräfte sowie Sprunghöhen erfasst werden.

Zusätzlich wurden zwei unterschiedliche Bindungstypen, die Schlaufenbindung (Straps) und die feste Schuhbindung (Boots), innerhalb der Gruppe der Kitesurfer und auch im Vergleich mit dem Wakeboarden auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede untersucht.

Anhand der Ergebnisse soll untersucht werden, in welchen Bereichen sich die Messwerte der Sportarten bewegen, inwieweit sich die Sportarten ähneln oder unterscheiden, inwiefern die Ausrüstung Einfluss auf die Belastungen nimmt und welche präventiven Ansätze zur Vermeidung von Verletzungsmustern hergeleitet werden können.

2.1. Hypothesen

- Mittels Sensorsohlen können auf die Füße der Sportler einwirkende Kräfte unter Feldbedingungen objektiv und in vivo gemessen werden.
- Die Kräfte auf dem vorderen und hinteren Fuß bei Landung nach Sprüngen sowie die Beschleunigungen sind in der Gruppe der Wakeboarder am höchsten.
- Die Kraftwerte der Kitesurfer mit Boots unterscheiden sich bei Absprung und Landung nicht signifikant von der Gruppe der Wakeboarder.
- Die Gruppe der Kitesurfer mit Straps zeigt signifikant geringere Kraftwerte bei Landung auf beiden Füßen als die Kitesurfer mit Boots.
- Die Sprunghöhe zeigt keinen entscheidenden Einfluss auf die bei Landung auf die Füße wirkenden Kräfte unter den Kitesurfern.

3. Material und Methodik

Mithilfe der Sensorsohle SCIENCE Insole2 (Fa. Moticon ReGo AG, München) wurden Krafteinwirkungen auf die Füße unterschiedlicher Probanden gemessen. Die Probanden wurden in drei Gruppen eingeteilt: eine Gruppe mit Wakeboardern und zwei Gruppen mit Kitesurfern. Die beiden Kitesurfing-Gruppen unterschieden sich in der Art der Fußbindung auf dem Brett. Über einen Messzeitraum von fünf Minuten übten die Probanden ihre jeweilige Sportart aus. Zusätzlich wurden über den Höhen- und Beschleunigungssensor PIQ ROBOT™ blue (Fa. PIQ, Neuilly-sur-Seine/FRA) Sprunghöhen, Beschleunigungskräfte bei Landung und die Hang-time erfasst. Gleichzeitig wurde ein Video der sportlichen Aktivität aufgezeichnet.

3.1. Verwendete Messinstrumente

3.1.1. Sensorsohle SCIENCE Insole2

Zur Messung der Kräfte auf die Füße der Probanden wurden die Sensorsohlen SCIENCE Insole2 (Fa. Moticon ReGo AG, München) in der Größe 42/43 verwendet. Die Sohlen sind jeweils mit 16 Drucksensoren, 3 Akzelerationssensoren und 3 Sensoren für Winkelgeschwindigkeit ausgestattet (siehe **Abb. 14**).



Abb. 14 Messsohlen Science Insole2 der Firma Moticon eingeschweißt

Per Bluetooth wurden die Messungen über die Moticon SCIENCE Mobile App (Fa. Moticon) gestartet. Während der Aufzeichnung war eine Bluetooth-Verbindung zwischen Sohlen und App nicht notwendig, die Messung wurde automatisch nach Ablauf der zuvor festgelegten Zeitspanne beendet. Im Anschluss daran wurden die Daten auf die Moticon SCIENCE Desktop Software (Fa. Moticon) übertragen und ausgewertet. Während der Messung waren die maximale Sample Rate von 100Hz und alle vorhandenen Messsensoren aktiviert.

Die Stromversorgung der Sohlen ist über aufladbare Lithium-Batterien gewährleistet, die auf der Unterseite eingelegt werden. Dementsprechend sind die Sohlen nicht von einer externen Stromquelle mit Kabelanschluss abhängig. Da die Sohlen nicht wasserfest sind, wurden sie vor Beginn der Messungen mit einer speziellen Folie eingeschweißt, wobei auf einen ausreichend breiten Randsaum geachtet wurde (siehe **Abb. 15**).



Abb. 15 Einschweißvorgang der Sohlen mit mindestens 1 cm Randsaum

3.1.2. PIQ ROBOT™ blue

Mithilfe des PIQ ROBOT™ blue der Firma PIQ Sport Intelligence wurden Sprunghöhen in Metern, Beschleunigungskräfte bei Landung nach Sprüngen in g und die Hangtime während der Sprünge in Sekunden erfasst (siehe **Abb. 16**).

Der Sensor enthält ein Accelerometer, ein Gyroskop und ein Magnetometer und rechnet über einen Prozessor die Bewegungsdaten in Sprunghöhe, G-Kräfte und Hangtime um. Dafür werden um die 195.000 Datenpunkte pro Minute umgerechnet [26].

Die Daten wurden nach Abschluss der Messungen per Bluetooth auf die „Duotone and PIQ“ App übertragen. Jeweils mit Angabe der Zeit werden die Sprünge und die dazugehörigen Messwerte aufgelistet.

Da der Sensor speziell für Wassersportarten entwickelt wurde, war ein Einschweißen wie das der Messsohlen nicht erforderlich.



Abb. 16 PIQ ROBOT™ der Firma PIQ Sport Intelligence

3.1.3. Videoanalyse

Gleichzeitig mit dem Start der Messungen wurde die sportliche Aktivität der Probanden durch eine Videoaufnahme mit einem iPad Air 3. Generation (Fa. Apple Inc.) aufgezeichnet, um eine präzise Videoanalyse parallel zu der Auswertung der Sensorsohle durchführen zu können.

3.1.4. Experimentelle Studie – in vivo Belastungsmessung beim Wakeboarden und Kitesurfen

Es handelt sich in der durchgeführten Studie um eine experimentelle Feldstudie. Durch die wasserabweisenden Messinstrumente konnte eine in vivo Datenerfassung der Kraftwerte, Sprunghöhen, Beschleunigungen und Hang-times erfolgen.

Mit eingeschlossen in die Messung wurden 18 männliche Probanden, von denen jeweils 6 in eine der drei Probandengruppen eingeteilt waren.

3.1.5. Stellungnahme der Ethikkommission

Der Ethikantrag wurde im September 2019 unter der Registriernummer A 2019-0169 bei der Ethikkommission in Rostock eingereicht und genehmigt [15].

Von allen beteiligten Probanden liegt eine Einverständniserklärung vor.

3.1.6. Auswahlkriterien der Probanden und Einteilung in Gruppen

Es wurden drei unterschiedliche Gruppen mit jeweils 6 Probanden vermessen.

Eine Gruppe bestand aus Wakeboardern und zwei Gruppen aus Kitesurfern:

Die erste Gruppe der Kitesurfer fuhr mit festen Stiefeln, sogenannten „Boots“, die zweite Gruppe mit einfachen Schlaufenbindungen, „Straps“ genannt.

Die Teilnehmer wurden jeweils am Ort der Messung, die Wakeboarder an der Wasserskianlage Körkwitz auf dem Darß, die Kitesurfer an beliebigen Wassersportspots entlang der Ostseeküste auf dem Darß und in Rostock rekrutiert. Vor Ablauf der Messungen wurden die Probanden über den genauen Ablauf der Messungen und über potentielle Risiken aufgeklärt (vgl. S.70 - 74). Die Auswahl der Probanden erfolgte in Abhängigkeit von ihrem Fahrkönnen, ihrer Ausrüstung und ihrer Schuhgröße. Mit eingeschlossen in die Studie wurden fortgeschrittene Fahrer, die seit mindestens zwei Jahren die Sportart ausübten, in den Sommermonaten regelmäßig (mindestens zweimal pro Monat) aktiv sind und Sprünge und Tricks sicher beherrschen. Entscheidend war ein sicheres Starten sowie Landen des Kites und ein sicheres Fahren. Sowohl Sportler, die an professionellen Wettkämpfen (Contests) teilnehmen, als auch Anfänger wurden bei der Studie nicht miteingeschlossen.

Ziel der Probandenauswahl war, einen Querschnitt der fortgeschrittenen Freizeitsportler zu erfassen, um die ähnlichen Sportausrüstungen und die verwandten Sportarten vergleichen zu können.

Ein weiteres Kriterium war die Art des Bretts: Wakeboard-Boards sind standardmäßig mit Boots ausgestattet, Kiteboards gibt es in vielen Varianten. Dementsprechend wurden für die Gruppen der Kitesurfer ausschließlich Probanden mit „Straps“ oder „Boots“ ausgewählt, Sportler mit „Strapless“ Waveboards konnten nicht teilnehmen (siehe **Abb. 17**).



Abb. 17 Boards

a) Kiteboard mit Boots; b) Kiteboard mit Straps; c) Wakeboard mit Boots

Ausschlusskriterium war außerdem die Schuhgröße: Um eine optimale Passform der Sohle in den Boots und Schuhen zu ermöglichen, war eine Schuhgröße im Bereich von 42 bis maximal 45 nötig.

Vor Beginn der Messungen wurden die Probanden über den Datenschutz aufgeklärt sowie über das Ziel der Studie, Daten der Sportarten in vivo zu erheben. Alle Probanden haben der Einverständniserklärung zugestimmt und diese unterschrieben, um teilnehmen zu können.

Zusätzlich wurden von jedem Teilnehmer das Geschlecht, das Alter und das Gewicht notiert. Die Probanden wurden innerhalb der jeweiligen Messgruppe mit der Nummer 1 bis 6 versehen und die persönlichen Daten auf diesem Wege anonymisiert.

Zwei Probanden der Kitesurfing-Gruppen konnten mit Boots und Straps vermessen werden, da sie jeweils beide Ausrüstungen besaßen.

3.1.7. Ablauf der Datenerhebung

Vor dem Start der Messung wurden die Messsohlen jeweils in die Bindungen (Boots oder Neoprenschuhe bei Straps) eingelegt, der PIQ ROBOT™ blue wurde auf dem Board befestigt. Parallel zur Datenerfassung durch die Messsensoren erfolgte eine Videoaufnahme.

Die natürliche Bewegungsausführung der Sportler wurde durch Anbringung der Messinstrumente nicht eingeschränkt.

Der Messzeitraum betrug pro Sportler fünf Minuten, bei den Kitesurfern waren zusätzlich fünf Minuten zum Starten des Kites und zum Transport der Ausrüstung miteinbegriffen.

Die Umlaufgeschwindigkeit der Wasserskianlage in Körkwitz betrug während der Messung der Wakeboarder 30 km/h. Innerhalb der fünf Minuten waren die Sportler angehalten, sportartspezifische Sprünge zu absolvieren.

Nach Abschluss der Messung erfolgte die Datenübertragung in die Auswertungsprogramme.

3.2. Auswertung der Daten

Zur Auswertung der Daten wurden das Moticon SCIENCE Desktop Programm, die „Duotone and PIQ“ App und die Videoaufnahmen benutzt.

In dem Auswertungsprogramm der Firma Moticon werden die maximalen Kräfte der rechten und linken Sohle in Newton in einem Graphen als Kurve im zeitlichen Verlauf dargestellt. Weitere Graphiken mit der genauen Kraftverteilung auf bestimmte Abschnitte der Sohle im zeitlichen Verlauf sind verfügbar und wurden ebenfalls zur Auswertung hinzugezogen.

Von jedem Probanden wurden drei bis sieben Sprünge ausgewertet. Mit dem Moticon SCIENCE Programm wurden die maximalen Kräfte bei Absprung und Landung jeweils für den rechten und linken Fuß abgelesen und notiert. Im Abgleich mit der Videoaufnahme konnte jeweils der beim Sprung und bei der Landung vordere, bzw. hintere Fuß identifiziert werden. Im zeitlichen Verlauf konnte die Veränderung der Krafteinwirkung auf den jeweiligen Fuß abgelesen werden und der Ablauf der Belastungsänderung bei Landung auf den hinteren Teil und vorderen Teils des Fußes beschrieben werden. Mit den Werten des PIQ-Sensors konnte jedem Sprung die gemessene Sprunghöhe in m, G-Kraft bei Landung in g und Hangtime in s zugeordnet werden (siehe **Abb. 18**).

Alle Werte wurden für jeden Probanden und für jeden Sprung vermerkt.

Zusätzlich konnten durch die Analyse des Videos spezielle Sprungtypen voneinander abgegrenzt werden, um diese untereinander vergleichen zu können.

Ein Beispiel eines Wakeboard-Sprungs und dem entsprechenden Diagramm aus dem Auswertungsprogramm ist in **Abb. 19** abgebildet.

< IHRE SPRÜNGE

ANORDNEN...	HÖHE	HANGTL...	LANDUNG
16:39	6.3m	4.7s	2.6G
16:38	1.8m	1.2s	3.5G
16:38	6.8m	4.9s	3.6G
16:38	1.3m	1.2s	4.1G
16:37	5.7m	4.8s	1.9G
16:36	5.4m	4.7s	1.9G

Abb. 18 Ausschnitt aus der Duotone and PIQ App

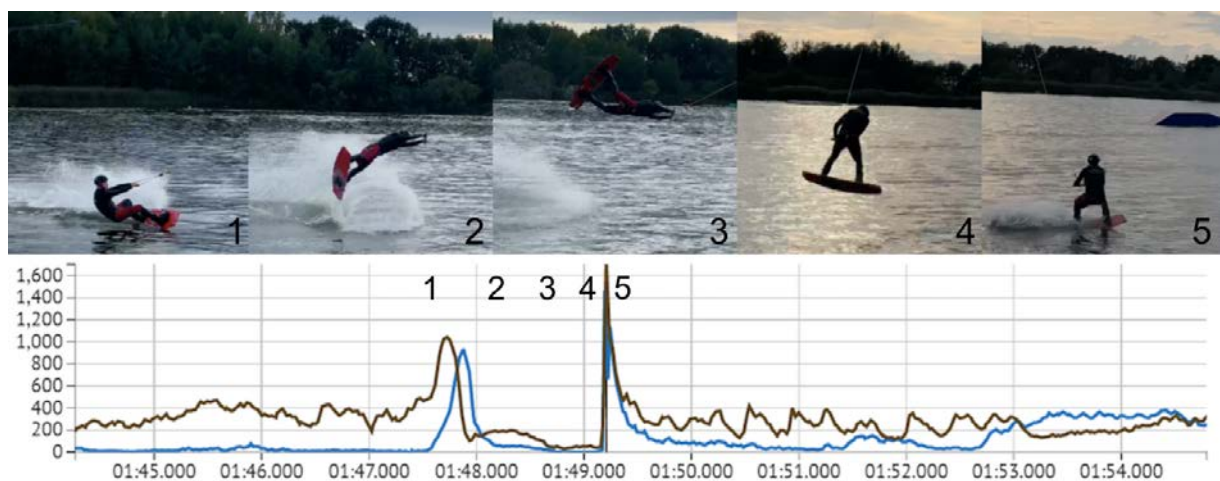


Abb. 19 Bildauswertung

oben: Bilderreihe eines Sprungs; unten: entsprechender Auszug aus dem Moticon Auswertungsprogramm. Achsenbeschriftung: X = Zeit in min, Y= Gesamtkraft rechter (blau) und linker (schwarz) Fuß in N

3.3. Statistische Analyse

Die deskriptive Statistik der Daten erfolgte mit Microsoft Excel für Mac (Version 16.44; Microsoft ©, Redmond, USA)

Für jede der drei Probandengruppen mit je $n=6$ wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der Sprunghöhen, G-Kräfte und maximalen Kräfte bei Absprung und Landung auf dem vorderen und hinteren Fuß berechnet. Zusätzlich wurden die Werte bei Absprung und Landung in N/kg Körpergewicht umgerechnet, um die unterschiedlichen Probanden besser vergleichen zu können.

Zudem wurden alle Sprünge mit Werten von über 1000 N bei Landung auf einem oder beiden Füßen näher betrachtet und ebenfalls die durchschnittliche Sprunghöhe, G-Kraft und Kraft auf vorderen und hinteren Fuß errechnet sowie die dazugehörigen Standardabweichungen. Auch bei Sprüngen über fünf Metern wurden durchschnittliche Sprunghöhen, G-Kräfte, wie auch Absprungs- und Landungsdaten ermittelt, ebenso die Standardabweichungen.

In der Probandengruppe der Wakeboarder wurden von den Sprungtypen „Invert Tricks“ und Sprüngen über „Obstacles“ ebenfalls Durchschnitt und Standardabweichungen der Daten errechnet.

Die statistischen Analysen erfolgten durch linear gemischte Modelle mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 27.0 (IBM Corp., Armonk, USA). Der Unterschied zwischen den Untersuchungsgruppen wurde mit $p < 0.05$ als signifikant sowie mit $p < 0.01$ als hoch signifikant festgelegt.

Zur Erstellung der Boxplots wurde SigmaStat (Systat Software, Version 13.0, San Jose, CA) verwendet.

4. Ergebnisse

4.1. Probandencharakteristika

Die demographischen und klinischen Probandencharakteristika können **Tab. 1** entnommen werden.

Das Alter, das Gewicht und die Körpergröße der Probanden aus den drei Gruppen wurden miteinander verglichen. Hierfür wurde eine einfaktorielle ANOVA berechnet.

Die Merkmale der jeweiligen Gruppen sind normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test $p > .05$) und Varianzhomogenität ist gegeben (Brown-Forsythe-Test $p > .05$).

Sowohl in Bezug auf das Alter ($F(2,15) = 0,0914$, $p = .913$), das Gewicht ($F(2,15) = 0,165$, $p = .850$) und die Größe ($F(2,15) = 0,114$, $p = .893$) unterscheiden sich die drei Gruppen nicht signifikant voneinander.

Tab. 1 Demographische und klinische Probandencharakteristika

Parameter	Wakeboarder (n = 6)	Kiter Boots (n = 6)	Kiter Straps (n = 6)
Alter (SD)	32,7 (12,1)	32,0 (9,9)	34,5 (9,2)
Körpergröße (SD)	180,2 (8,4)	181,5 (5,4)	179,7 (6,5)
Gewicht (SD)	75,5 (10,0)	78,0 (6,6)	77,3 (6,2)

Die Ergebnisse sind als Mittelwert (Standardabweichung) oder Anzahl dargestellt. → Anzahl (n), Alter in a, Körpergröße in cm, Gewicht in kg.

4.2. Ergebnisse der Gruppe der Wakeboarder

4.2.1. Allgemeine Messergebnisse

In der Gruppe der Wakeboarder absolvierte jeder der sechs Probanden 3 – 6 Sprünge innerhalb eines Messzeitraums von 5 Minuten. Für jeden dieser Sprünge wurde die Sprunghöhe, die Hangtime, die Beschleunigung bei Landung und jeweils die maximale Kraft auf dem vorderen und hinteren Fuß bei Absprung und Landung erfasst. Außerdem wurde für jeden Sprung die Kraft pro Kilogramm Körpergewicht berechnet.

Die durchschnittlich erreichte Sprunghöhe betrug $\bar{x}$ 225,4 cm ($\pm$ 57,3), die durchschnittliche Hangtime $\bar{x}$ 1,34 s ($\pm$ 0,35) sowie die durchschnittliche Beschleunigung $\bar{x}$ 4,16 g ($\pm$ 1,02).

Die Kraft, die beim Absprung auf dem in Fahrtrichtung nach vorne ausgerichteten Fuß gemessen werden konnte, betrug im Durchschnitt $\bar{x}$ 958,0 N ($\pm$ 384,3) bzw. $\bar{x}$ 12,6 N/kg Körpergewicht ($\pm$ 4,8) sowie auf dem hinteren Fuß $\bar{x}$ 1098,6 N ($\pm$ 549,8). Auf das Gewicht bezogen betrug dieser Wert im Durchschnitt 14,2 N/kg Körpergewicht ($\pm$ 6,4).

Die Kraft bei Landung auf dem in Fahrtrichtung nach vorne ausgerichteten Fuß betrug im Durchschnitt $\bar{x}$ 1552,3 N ($\pm$ 453,3) bzw. 20,3 N/kg Körpergewicht ($\pm$ 5,1). Auf dem hinteren Fuß betrug dieser Wert $\bar{x}$ 1862,8 N ($\pm$ 734,9) und $\bar{x}$ 24,2 N/kg KG ($\pm$ 8,8).

Unter Einberechnung des Körpergewichts betrug der maximale Wert bei Landung 40,9 N/kg Körpergewicht. Die maximale Sprunghöhe betrug 330 cm. Weitere Sprungcharakteristika der einzelnen Probanden können **Tab. 2** entnommen werden.

Tab. 2 Sprungcharakteristika für jeden einzelnen Probanden der Gruppe Wakeboarder

	W 1	W 2	W 3	W 4	W 5	W 6
Anzahl Sprünge	6	5	5	6	3	3
Sprunghöhe	ø 238,3 (160 - 330)	ø 240,0 (170- 260)	ø 242,0 (190 - 290)	ø 221,7 (100 - 260)	ø 153,3 (130 - 190)	ø 226,7 (190 - 260)
Hangtime	ø 1,50 (1 - 2,4)	ø 1,24 (1 - 1,4)	ø 1,24 (1 - 1,4)	ø 1,62 (1,2 - 3)	ø 2,63 (1,2 - 4,4)	ø 2,33 (1,2 - 4,6)
Landung	ø 4,10 (3 - 5)	ø 3,48 (2,8 - 3,8)	ø 3,52 (2,9 - 3,9)	ø 5,10 (3,5 – 6,1)	ø 3,23 (3,1 - 3,4)	ø 5,57 (4,8 - 6,2)
Kraft Absprung vorderer Fuß	ø 1287,2 (970 - 1618)	ø 959,6 (794 - 1054)	ø 1198,4 (981 - 1351)	ø 997,8 (525 - 1316)	ø 378,0 (152 - 648)	ø 396,3 (272 - 491)
Kraft Absprung vorne pro kg	ø 13,6 (10,2 - 17,0)	ø 13,2 (10,9 - 14,4)	ø 16,6 (13,6 - 18,8)	ø 15,0 (7,8 - 19,6)	ø 5,0 (2,0 - 8,5)	ø 5,7 (3,9 - 7,0)
Kraft Absprung hinterer Fuß	ø 1672,8 (1207 - 2142)	ø 1569,4 (1524 - 1631)	ø 965,6 (719 - 1307)	ø 872,3 (108 - 1239)	ø 558,0 (318 - 793)	ø 380,7 (308 - 444)
Kraft Absprung hinten pro kg	ø 17,6 (12,7 - 22,6)	ø 21,5 (20,9 - 22,3)	ø 13,4 (10,0 - 18,2)	ø 13,0 (1,6 - 18,5)	ø 7,3 (4,2 - 10,4)	ø 5,4 (4,4 - 6,3)
Kraft Landung vorderer Fuß	ø 2055,7 (1122 - 2355)	ø 1326,8 (1243 - 1407)	ø 1517,8 (739 - 2141)	ø 1539,2 (1019 - 1892)	ø 1304,3 (1188- 1461)	ø 1252,7 (1154 - 1391)
Kraft Landung vorne pro kg	ø 21,6 (11,8 - 24,8)	ø 18,2 (17,0 - 19,3)	ø 21,1 (10,3 - 29,7)	ø 23,0 (15,2 -28,2)	ø 17,2 (15,6 - 19,2)	ø 17,9 (16,5 - 19,9)
Kraft Landung hinterer Fuß	ø 2587,7 (1813 - 3012)	ø 2350,4 (1845 - 2956)	ø 1248,0 (748 - 2193)	ø 1764,3 (644 - 2741)	ø 1600,3 (1326 - 2070)	ø 1084,3 (633 - 1675)
Kraft Landung hinten pro kg	ø 27,2 (19,1 - 31,7)	ø 32,2 (25,3 - 40,5)	ø 17,3 (10,4 - 30,5)	ø 26,3 (9,6 - 40,9)	ø 21,1 (17,5 - 27,2)	ø 15,5 (9,0 - 23,9)

jeweils Mittelwert (Minimum und Maximum). Anzahl der Sprünge in n, Sprunghöhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Kraft in N, Kraft pro kg in N/kg KG

4.2.2. Gesonderte Betrachtung bestimmter Sprungtypen

Zusätzlich können die Sprünge der Wakeboarder in verschiedene Sprungkategorien eingeteilt werden. Zwei Gruppen, die „Inverts“ und die Sprünge und Manöver über „Obstacles“, wurden gesondert betrachtet und miteinander verglichen. Die höchsten Werte konnten bei den „Inverts“ erfasst werden. Dies sind Sprünge, bei denen sich das Board über dem Kopf des Sportlers befindet.

Bei den Inverts betrug die durchschnittliche Sprunghöhe $\bar{x}$ 247,1 cm (160 – 330 cm), die durchschnittliche Hangtime $\bar{x}$ 1,37 s (1,0 – 2,4) und die Beschleunigung bei Landung $\bar{x}$ 4,33 g (2,8 – 6,1). Die durchschnittliche Kraft bei Absprung betrug auf dem vorderen Fuß $\bar{x}$ 1092,9 N ($\bar{x}$ 14,4 N/kg KG), auf dem hinteren Fuß $\bar{x}$ 1450,9 N ($\bar{x}$ 18,6 N/kg KG). Bei Landung betrug die Kraft auf dem vorderen Fuß $\bar{x}$ 1708,4 N ($\bar{x}$ 22,3 N/kg KG), auf dem hinteren Fuß $\bar{x}$ 2313,9 N ($\bar{x}$ 30,1 N/kg KG).

Bei den Sprüngen über Obstacles betrug die durchschnittliche Sprunghöhe 177,5 cm. Die Beschleunigung bei Landung betrug $\bar{x}$ 4,15 g.

Die Kraftwerte bei Absprung betrugen auf dem vorderen Fuß $\bar{x}$ 654,4 N ($\bar{x}$ 8,4 N/kg) und auf dem hinteren Fuß $\bar{x}$ 554,6 N ($\bar{x}$ 7,1 N/kg). Bei Landung wurden durchschnittlich auf dem vorderen Fuß $\bar{x}$ 1432,1 N ($\bar{x}$ 18,9 N/kg) und auf dem hinteren Fuß $\bar{x}$ 1459,8 N ($\bar{x}$ 18,9 N/kg) gemessen.

Weitere Werte bezüglich der betrachteten Sprungtypen können **Tab. 3** entnommen werden.

Tab. 3 Spezielle Sprungcharakteristika

	Inverts n = 14	Obstacles n = 8
Sprunghöhe	247,1 ± 50,8	177,5 ± 54,4
Hangtime	1,37 ± 0,33	2,38 ± 1,47
Landung	4,33 ± 1,05	4,15 ± 1,21
Kraft Absprung vorderer Fuß	1092,9 ± 208,9	654,4 ± 501,9
Kraft Absprung vorderer Fuß in N/kg	14,4 ± 3,0	8,4 ± 5,6
Kraft Absprung hinterer Fuß	1450,9 ± 427,1	554,6 ± 357,4
Kraft Absprung hinterer Fuß in N/kg	18,6 ± 3,7	7,1 ± 3,8
Kraft Landung vorderer Fuß	1708,4 ± 447,3	1432,1 ± 385,3
Kraft Landung vorderer Fuß in N/kg	22,3 ± 5,1	18,9 ± 3,6
Kraft Landung hinterer Fuß	2313,9 ± 491,2	1459,8 ± 681,8
Kraft Landung hinterer Fuß in N/kg	30,1 ± 5,4	18,9 ± 7,0

jeweils Mittelwert, Standardabweichung. Anzahl der Sprünge in n, Sprunghöhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Druck in N/kg KG

4.3. Messergebnisse der Gruppe der Kiter – Boots

4.3.1. Allgemeine Messergebnisse

In der Gruppe der Kiter, die während der Messung mit Boots ausgestattet waren, absolvierte jeder Proband innerhalb des Messzeitraums von fünf Minuten 6 – 8 Sprünge.

Es wurden ebenfalls die Sprunghöhe, Hangtime, Beschleunigung bei Landung, maximale Kraft bei Absprung auf dem vorderen und hinteren Fuß sowie die maximale Kraft bei Landung auf dem vorderen und hinteren Fuß gemessen.

Die durchschnittlich erreichte Sprunghöhe betrug $\bar{x}$ 393,0 cm ($\pm$ 240,8), die Hangtime $\bar{x}$ 3,18 s ($\pm$ 1,51) und die Beschleunigung bei Landung $\bar{x}$ 3,01 g ($\pm$ 1,05).

Der durchschnittlich ermittelte Wert bei Absprung auf dem aus Fahrtrichtung betrachteten vorderen Fuß betrug $\bar{x}$ 752,1 N ($\pm$ 338,1) oder $\bar{x}$ 9,6 N/kg Körpergewicht ($\pm$ 4,5), auf dem hinteren Fuß $\bar{x}$ 1295,5 N (435,1) oder $\bar{x}$ 16,4 N/kg KG ($\pm$ 5,0). Die durchschnittliche Kraft auf dem vorderen Fuß bei Landung betrug $\bar{x}$ 1077,0 N ($\pm$ 491,5) und $\bar{x}$ 13,6 N/kg KG ($\pm$ 5,9). Auf dem hinteren Fuß betrug dieser Wert $\bar{x}$ 1226,7 N ($\pm$ 502,9) bzw. $\bar{x}$ 15,7 N/kg KG ($\pm$ 6,5). Weitere Sprungcharakteristika der einzelnen Probanden können Tab. 4 entnommen werden.

Tab. 4 Sprungcharakteristika für jeden einzelnen Probanden der Gruppe Kiter mit Boots

	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6
Anzahl Sprünge	8	8	6	7	8	6
Sprunghöhe	ø 468,8 (120 – 810)	ø 381,3 (250 - 560)	ø 220,0 (110 - 260)	ø 558,6 (180 - 1040)	ø 443,8 (130 - 680)	ø 220,0 (170 - 280)
Hangtime	ø 3,05 (1,1 – 4,9)	ø 2,76 (2,4 - 3,2)	ø 2,68 (2,3 - 3,2)	ø 4,66 (1,5 - 7,1)	ø 3,44 (1,2 - 4,9)	ø 2,32 (1,2 - 4,8)
Landung	ø 3,48 (2,3 – 4,2)	ø 1,91 (0,7 - 3,1)	ø 3,57 (2,3 - 4,9)	ø 3,47 (1,4 - 5)	ø 3,10 (1,9 - 4,5)	ø 2,65 (1,7 - 3,5)
Kraft Absprung vorderer Fuß	ø 829,1 (542 - 1262)	ø 515,1 (305 - 629)	ø 649,0 (443 - 864)	ø 923,0 (365 - 1653)	ø 828,1 (459 - 1238)	ø 767,3 (342 - 1948)
Kraft Absprung vorne pro kg	ø 10,4 (6,8 - 15,8)	ø 6,5 (3,9 – 8,0)	ø 8,7 (5,9 - 11,5)	ø 10,6 (4,2 – 19,0)	ø 10,4 (5,7 - 15,5)	ø 11,5 (5,1 - 29,1)
Kraft Absprung hinterer Fuß	ø 1570,8 (1370 - 1764)	ø 1055,6 (816 - 1228)	ø 901,5 (481 - 1280)	ø 1678,9 (1043 - 2211)	ø 1437,8 (751 - 2154)	ø 1005,3 (621 - 1439)
Kraft Absprung hinten pro kg	ø 19,6 (17,1 - 22,1)	ø 13,4 (10,3 - 15,5)	ø 12,0 (6,4 - 17,1)	ø 19,3 (12,0 - 25,4)	ø 18,0 (9,4 - 26,9)	ø 15,0 (9,3 - 21,5)
Kraft Landung vorderer Fuß	ø 1184,9 (700 - 1732)	ø 617,8 (219 -1453)	ø 641,8 (454 - 929)	ø 1492,3 (1038 - 1796)	ø 1535,9 (1037 - 1926)	ø 884,2 (466 - 1627)
Kraft Landung vorne pro kg	ø 14,8 (8,8 - 21,7)	ø 7,8 (2,8 - 18,4)	ø 8,6 (6,1 - 12,4)	ø 17,2 (12,0 - 20,6)	ø 19,2 (13,0 - 24,1)	ø 13,2 (7,0 -24,1)
Kraft Landung hinterer Fuß	ø 1308,0 (566 - 2403)	ø 885,3 (576 - 1275)	ø 1034,5 (691 - 1604)	ø 1604,9 (990 - 2414)	ø 1077,4 (431 - 2043)	ø 1523,3 (1210 - 1843)
Kraft Landung hinten pro kg	ø 16,4 (7,1 - 30,0)	ø 11,2 (7,3 - 16,1)	ø 13,8 (9,2 - 21,4)	ø 18,4 (11,4 - 27,8)	ø 13,5 (5,4 - 25,5)	ø 22,7 (18,1 - 27,5)

jeweils Mittelwert (Minimum und Maximum). Anzahl der Sprünge in n, Sprunghöhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Druck in N, Druck pro kg in N/kg KG

4.3.2. Betrachtung von Sprunghöhen über 5 m und Landungskraft über 1000 N

Zur näheren Betrachtung wurden jeweils die Sprünge mit einer Sprunghöhe von über 5 m gesondert aufgeführt sowie die Sprünge mit einer Kraft von über 1000 N auf einem der Füße bei Landung.

Eine Sprunghöhe von über 5 m wurde während 15 Sprüngen erreicht, einen Wert von über 1000 N bei Landung bei 33 Sprüngen.

Bei den Werten bei Landung auf dem vorderen Fuß liegt die Kraft bei Sprüngen über 5 m bei $\bar{} 1254,2$ N (15,3 N/kg), bei Sprüngen über 1000 N bei $\bar{} 1235,1$ N (16,51 N/kg).

Bei der Betrachtung des hinteren Fußes liegen die Werte der Sprünge über 5 m bei 1088,3 N, (13,4 N/kg) und in der Gruppe der Kräfte über 1000 N bei 1373,2 N (19,61 N/kg).

Tab. 5 Sprungwerte bei Sprüngen über 5 m und Landungskraft über 1000 N in der Gruppe der Kiter mit Boots

	Sprunghöhe über 5 m	Landungskraft über 1000 N
Anzahl Sprünge	15	33
Sprunghöhe	677,3 (510 – 1040)	406,4 (110 – 1040)
Hangtime	4,65 (3,0 – 7,1)	3,24 (1,1 – 7,1)
Landung	2,83 (1,5 – 4,3)	3,05 (1,4 – 5)
Kraft Absprung vorderer Fuß	796,4 (542 – 1238)	798,2 (305 – 1948)
Kraft Absprung vorne in N/kg	9,8 (6,8 – 15,5)	10,2 (3,9 – 29,1)
Kraft Absprung hinterer Fuß	1410,8 (751 – 2211)	1391,1 (621 – 2211)
Kraft Absprung hinten in N/kg	17,3 (9,4 – 25,4)	17,7 (9,3 – 26,9)
Kraft Landung vorderer Fuß	1254,2 (251 – 1926)	1235,1 (251 – 1926)
Kraft Landung vorne in N/kg	15,3 (3,2 – 24,1)	16,51 (11,7 – 24,3)
Kraft Landung hinterer Fuß	1088,3 (431 – 2403)	1373,2 (431 – 2414)
Kraft Landung hinten in N/kg	13,4 (5,4 – 30,0)	19,61 (11,4 – 30,0)

jeweils Mittelwert (Minimum und Maximum). Anzahl der Sprünge in n, Sprunghöhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Kraft in N, Kraft in N/kg Körpergewicht

4.4. Messergebnisse der Gruppe der Kiter – Straps

4.4.1. Allgemeine Messergebnisse

In der Gruppe der Kiter, die mit einem Board mit Straps ausgestattet waren, absolvierte jeder der Probanden 4 – 7 Sprünge innerhalb des Messzeitraums von fünf Minuten.

Von jedem der Sprünge wurden wie in den beiden anderen Probandengruppen die Sprunghöhe, Hangtime, Beschleunigung bei Landung und maximale Kraft während des Absprungs und während der Landung auf dem jeweils vorderen und hinten Fuß ermittelt.

Die durchschnittliche Sprunghöhe betrug $\bar{x}$ 357,3 cm ($\pm$ 265,1), die Hangtime $\bar{x}$ 2,96 s ($\pm$ 1,03), die Beschleunigung bei Landung $\bar{x}$ 3,57 g ($\pm$ 1,31).

Auf dem aus Fahrtrichtung aus betrachteten vorderen Fuß betrug die durchschnittliche Kraft bei Absprung $\bar{x}$ 530,1 N ($\pm$ 263,3). Auf das Körpergewicht bezogen betrug der durchschnittliche Wert bei Absprung auf dem vorderen Fuß $\bar{x}$ 6,8 N/kg KG ($\pm$ 3,5). Auf dem bei Absprung hinteren Fuß wurden im Durchschnitt 1157,5 N ($\pm$ 462,4) gemessen, auf das Körpergewicht bezogen $\bar{x}$ 14,7 N/kg KG ($\pm$ 5,1). Bei Landung betrug die durchschnittliche Kraft auf dem vorderen Fuß $\bar{x}$ 937,4 N ($\pm$ 354,5) bzw. $\bar{x}$ 12,2 N/kg KG ($\pm$ 4,9). Auf dem hinteren Fuß wurden $\bar{x}$ 917,7 N ($\pm$ 385,6) gemessen bzw. $\bar{x}$ 12,1 N/kg KG ($\pm$ 5,6).

Weitere Sprungcharakteristika der einzelnen Probanden können **Tab. 6** entnommen werden.

Tab. 6 Sprungcharakteristika für jeden einzelnen Probanden der Gruppe Kiter mit Straps.

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6
Anzahl Sprünge	6	4	7	7	7	6
Sprunghöhe	ø 188,3 (130 - 230)	ø 190 (120 - 260)	ø 278,6 (220 - 350)	ø 281,4 (140 - 530)	ø 842,9 (580 - 1110)	ø 251,7 (150 - 430)
Hangtime	ø 2,70 (1,8 - 3,6)	ø 2,40 (1,7 - 2,9)	ø 2,77 (2,1 - 3,1)	ø 2,49 (1,6 - 3,8)	ø 4,77 (4 - 5,3)	ø 2,27 (1,9 - 2,6)
Landung	ø 4,72 (3 - 6,7)	ø 4,35 (2,1 - 5,5)	ø 4,09 (3,3 - 4,8)	ø 3,16 (0,6 - 5,3)	ø 2,79 (1,6 - 4,6)	ø 2,72 (1,6 - 4,2)
Kraft Absprung vorderer Fuß	ø 251,7 (15 - 871)	ø 662,0 (574 - 773)	ø 526,1 (232 - 762)	ø 751,0 (452 - 1066)	ø 645,7 (466 - 920)	ø 332,8 (198 - 583)
Kraft Absprung vorne pro kg	ø 3,8 (0,2 - 13,0)	ø 8,5 (7,4 - 9,9)	ø 6,7 (2,9 - 9,7)	ø 10,0 (6,0 - 14,2)	ø 7,5 (5,4 - 10,7)	ø 4,1 (2,5 - 7,4)
Kraft Absprung hinterer Fuß	ø 879,0 (600 - 1063)	ø 1323,5 (1190 - 1426)	ø 1254,4 (1028 - 1367)	ø 610,7 (354 - 1147)	ø 1852,1 (1620 - 2093)	ø 1040,0 (794 - 1370)
Kraft Absprung hinten pro kg	ø 13,1 (9,0 - 15,9)	ø 17,0 (15,2 - 18,3)	ø 15,9 (13,0 - 17,3)	ø 8,1 (4,7 - 15,3)	ø 21,5 (18,8 - 24,3)	ø 13,2 (10,1 - 17,3)
Kraft Landung vorderer Fuß	ø 854 (323 - 1084)	ø 1249,3 (1107 - 1490)	ø 748,3 (621 - 847)	ø 1402,0 (851 - 1850)	ø 769,0 (494 - 1055)	ø 687,7 (564 - 811)
Kraft Landung vorne pro kg	ø 12,7 (4,8 - 16,2)	ø 16,0 (14,2 - 19,1)	ø 9,5 (7,9 - 10,7)	ø 18,7 (11,3 - 24,7)	ø 8,9 (5,7 - 12,3)	ø 8,7 (7,1 - 10,3)
Kraft Landung hinterer Fuß	ø 1125,5 (487 - 1749)	ø 956,5 (547 - 1430)	ø 699,0 (365 - 1000)	ø 1303,3 (761 - 1734)	ø 660,6 (357 - 917)	ø 789,5 (264 - 1149)
Kraft Landung hinten pro kg	ø 16,8 (7,3 - 26,1)	ø 12,3 (7,0 - 18,3)	ø 8,9 (4,6 - 12,7)	ø 17,4 (10,1 - 23,1)	ø 7,7 (4,2 - 10,7)	ø 10,0 (3,3 - 14,5)

jeweils Mittelwert (Minimum und Maximum). Anzahl der Sprünge in n, Sprunghöhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Kraft in N, Kraft pro kg in N/kg KG

4.4.2. Betrachtung von Sprunghöhen über 5 m und Landungskraft über 1000 N

Die Messwerte von Sprüngen über fünf Metern und Sprüngen mit Landungskraften über 1000 N wurden gesondert betrachtet: Insgesamt wurden 8 Sprünge, mit einer Sprunghöhe über 5 m, gemessen und 19 Sprünge mit über 1000 N bei Landung auf einem oder beiden Füßen.

Bei Landung auf dem vorderen Fuß betrug die durchschnittliche Kraft bei über 5 m Sprunghöhe $\bar{x}$ 779,3 N bzw. 9,2 N/kg Körpergewicht. In der Gruppe mit Werten über 1000 N betrugen diese Werte im Durchschnitt $\bar{x}$ 1152,9 N bzw. 12,7 N/kg Körpergewicht. Die Landungskräfte auf dem hinteren Fuß betrugen in der Über-5m-Gruppe $\bar{x}$ 747,6 N bzw. 9,0 N/kg Körpergewicht; in der Über-1000N-Gruppe $\bar{x}$ 1137,6 N bzw. 16,9 N/kg Körpergewicht.

Tab. 7 Sprungwerte bei Sprüngen über 5 m und Landungskraft über 1000 N in der Gruppe der Kiter mit Straps

	Sprunghöhe über 5 m	Landungskraft über 1000 N
Anzahl Sprünge	8	19
Sprunghöhe	803,8 (5,3 – 11,1)	296,8 (1,2 – 9,4)
Hangtime	4,59 (3,3 – 5,3)	2,73 (1,6 – 4,7)
Landung	2,84 (1,6 – 4,6)	3,74 (0,6 – 6,7)
Kraft Absprung vorderer Fuß	632,8 (466 – 920)	575,8 (15 – 1066)
Kraft Absprung vorne in N/kg	7,5 (5,4 – 10,7)	7,5 (0,2 – 14,2)
Kraft Absprung hinterer Fuß	1674,6 (432 – 2093)	967,5 (354 – 1803)
Kraft Absprung hinten in N/kg	19,6 (5,8 – 24,3)	12,7 (4,7 – 21,0)
Kraft Landung vorderer Fuß	779,3 (494 – 1055)	1152,9 (564 – 1850)
Kraft Landung vorne in N/kg	9,2 (5,7 – 12,3)	12,7 (4,7 – 21,0)
Kraft Landung hinterer Fuß	747,6 (357 – 1357)	1137,6 (357 – 1749)
Kraft Landung hinten in N/kg	9,0 (4,2 – 18,1)	16,9 (10,2 – 26,1)

jeweils Mittelwert (Minimum und Maximum). Anzahl der Sprünge in n, Sprunghöhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Kraft in N

4.5. Vergleich der Gruppen untereinander

4.5.1. Vergleich der Werte der drei Gruppen

Im Vergleich der drei Probandengruppen miteinander wurden die im Durchschnitt höchsten Sprunghöhen bei den Katern mit Boots gemessen ($\bar{x}$ 393,0 cm $\pm$ 240,8) (siehe **Abb. 20**). In dieser Gruppe wurde auch die im Durchschnitt längste Hangtime in s ($\bar{x}$ 3,18 $\pm$ 1,51) ermittelt. Die im Durchschnitt höchsten Beschleunigungskräfte bei Landung in g wurden in der Gruppe der Wakeboarder erreicht ($\bar{x}$ 4,16 $\pm$ 1,02) (siehe **Abb. 21**).

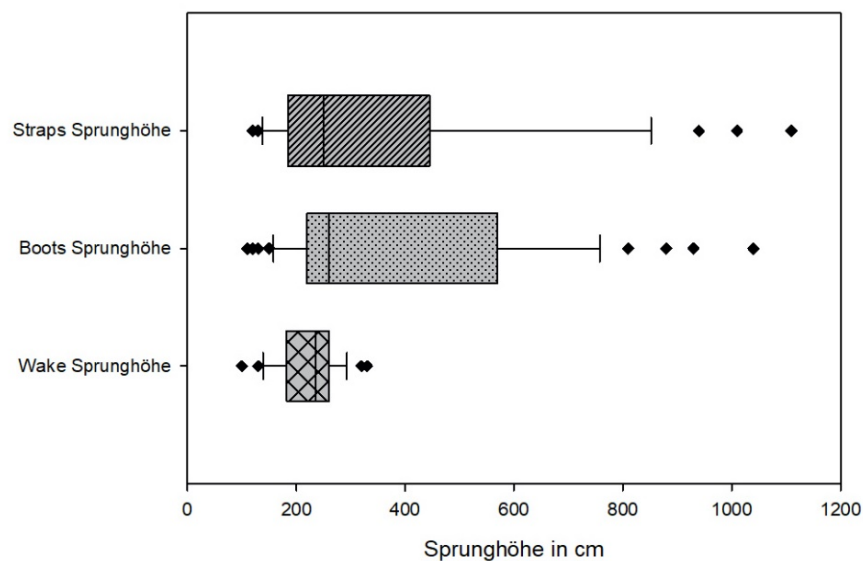


Abb. 20 Boxplot: Sprunghöhen in cm der Gruppen

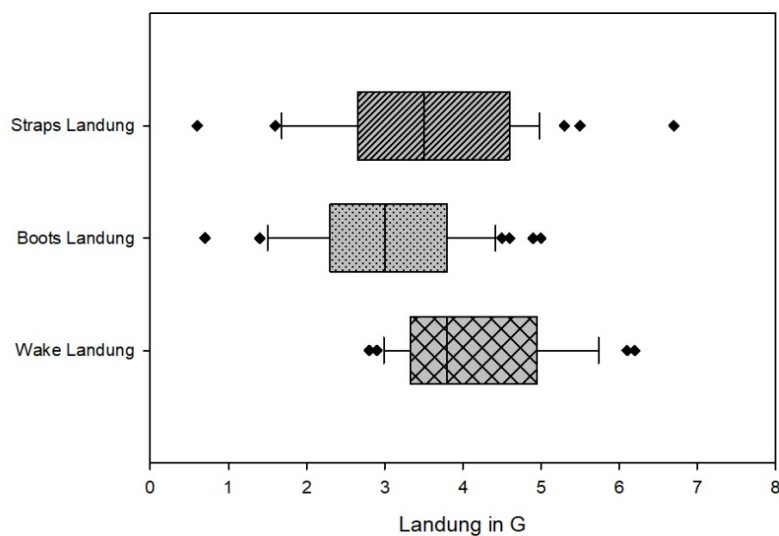


Abb. 21 Boxplot: Landung in g

Bei Betrachtung der Werte bei Absprung wurden in der Gruppe der Wakeboarder die durchschnittlich höchsten Werte auf dem vorderen Fuß mit $\bar{x} 958,0 \text{ N} \pm 384,3$ erfasst. Unter Miteinbeziehung des Körpergewichts liegt der höchste durchschnittliche Wert ebenfalls in der Gruppe der Wakeboarder bei $\bar{x} 12,6 \text{ N/kg KG} \pm 4,8$. Die höchsten durchschnittlichen Werte auf dem hinteren Fuß erreichten die Kiter mit Boots mit $\bar{x} 1295,5 \text{ N} \pm 435,1$ bzw. $\bar{x} 16,4 \text{ N/kg KG} \pm 5,0$.

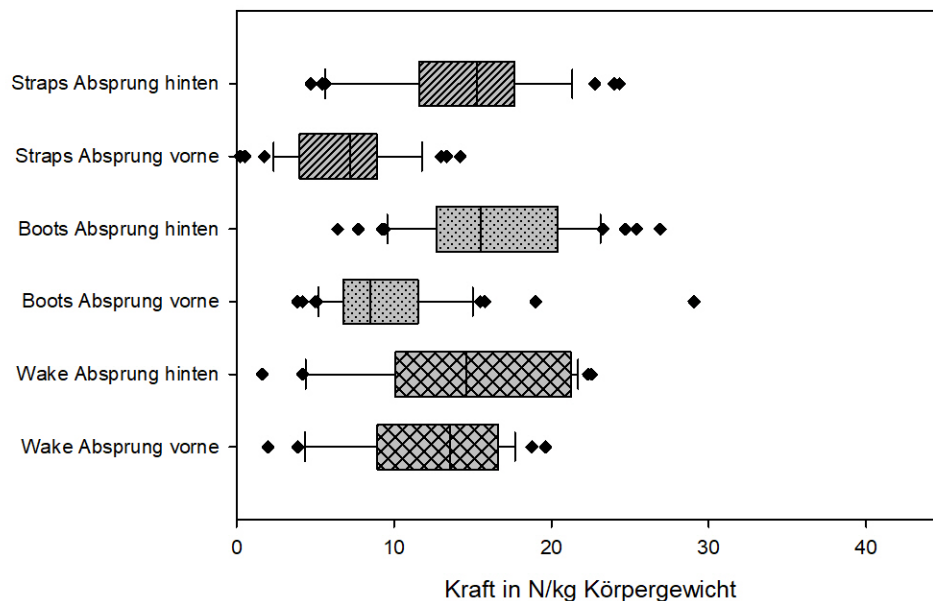


Abb. 22 Boxplot: Kraft bei Absprung in N/kg Körpergewicht auf dem vorderen und hinteren Fuß

Bei Betrachtung der Landung wurden sowohl auf dem vorderen als auch auf dem hinteren Fuß bei den Wakeboardern die höchsten Kräfte mit $\bar{x} 1552,3 \text{ N} \pm 453,3$ (vorne) und $\bar{x} 1862,8 \text{ N} \pm 734,9$ (hinten) gemessen. Auch unter Einberechnung des Gewichts wurden in dieser Gruppe die höchsten durchschnittlichen Werte ermittelt ($\bar{x} 20,3 \text{ N/kg KG} \pm 5,1$ vorne, $\bar{x} 24,2 \text{ N/kg KG} \pm 8,8$ hinten) (siehe **Abb. 23**).

Weitere Messergebnisse im direkten Gruppenvergleich können **Tab. 8** entnommen werden.

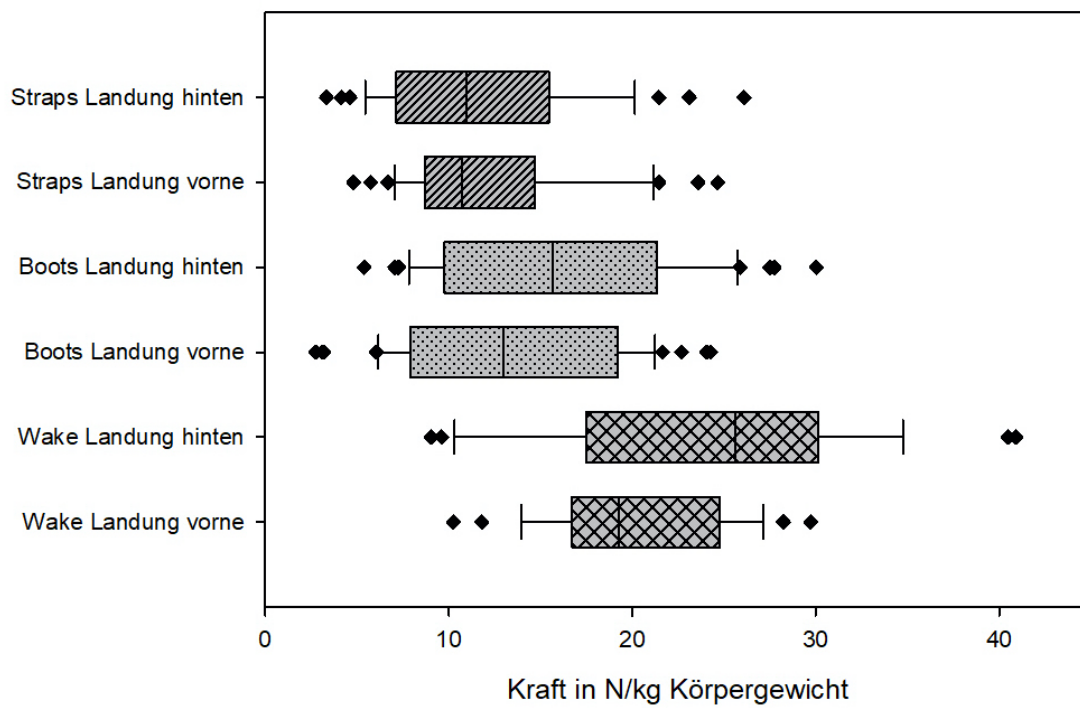


Abb. 23 Boxplot: Landung in N/kg Körpergewicht auf dem vorderen und hinteren Fuß

Tab. 8 Sprungcharakteristika der drei Probandengruppen

	Wakeboarder	Boots	Straps
Anzahl Sprünge	28	43	37
Sprunghöhe	ø 225,4 ± 57,3	ø 393,0 ± 240,8	ø 357,3 ± 265,1
Hangtime	ø 1,34 ± 0,35	ø 3,18 ± 1,51	ø 2,96 ± 1,03
Landung	ø 4,16 ± 1,02	ø 3,01 ± 1,05	ø 3,57 ± 1,31
Kraft Absprung vorderer Fuß	ø 958,0 ± 384,3	ø 752,1 ± 338,1	ø 530,1 ± 263,3
Kraft Absprung vorne pro kg	ø 12,6 ± 4,8	ø 9,6 ± 4,5	ø 6,8 ± 3,5
Kraft Absprung hinterer Fuß	ø 1098,6 ± 549,8	ø 1295,5 ± 435,1	ø 1157,5 ± 462,4
Kraft Absprung hinten pro kg	ø 14,2 ± 6,4	ø 16,4 ± 5,0	ø 14,7 ± 5,1
Kraft Landung vorderer Fuß	ø 1552,3 ± 453,3	ø 1077,0 ± 491,5	ø 937,4 ± 354,5
Kraft Landung vorne pro kg	ø 20,3 ± 5,1	ø 13,6 ± 5,9	ø 12,2 ± 4,9
Kraft Landung hinterer Fuß	ø 1862,8 ± 734,9	ø 1226,7 ± 502,9	ø 917,7 ± 385,6
Kraft Landung hinten pro kg	ø 24,2 ± 8,8	ø 15,7 ± 6,5	ø 12,1 ± 5,6
Anteil der Sprünge mit Werten > 1000 N bei Landung an gesamter Sprungzahl	28 / 28	33 / 43	19 / 37
Anteil der Sprünge mit Höhen > 5 m an gesamter Sprungzahl	0 / 28	15 / 43	8 / 37

jeweils Mittelwert (Minimum und Maximum). Anzahl der Sprünge in n, Sprunghöhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Kraft in N, Kraft pro kg in N/kg KG

4.5.2. Vergleich der Sportart Wakeboarden mit dem Kiten mit Boots

Im direkten Vergleich der Gruppen Wakeboarder und Kiter mit Boots erreichten die Kiter im Durchschnitt die höchsten Werte bei der Sprunghöhe mit 393,0 cm und ebenfalls die durchschnittlich längste Hangtime mit 3,18 s. Die Wakeboarder erreichten in den Kategorien Landung in g ($\bar{x}$ 4,16 g), Kraft Absprung vorne ($\bar{x}$ 12,6 N/kg), Kraft Absprung hinten ($\bar{x}$ 14,2 N/kg), Kraft Landung vorne ($\bar{x}$ 20,3 N/kg), Kraft Landung hinten ($\bar{x}$ 24,2 N/kg) die durchschnittlich höchsten Werte.

In der statistischen Analyse unterscheiden sich die Gruppen nur im Hinblick auf die Kraft bei Landung auf dem vorderen Fuß signifikant voneinander ($p < .012$).

In **Tab. 9** sind die Werte einander gegenübergestellt.

Tab. 9 Vergleich des Wakeboarden mit dem Kiten mit Boots

	Wakeboarder	Kiter Boots	Signifikanz
Höhe	$\bar{x}$ 225,4 $\pm$ 57,3	$\bar{x}$ 393,0 $\pm$ 240,8	
Hangtime	$\bar{x}$ 1,34 $\pm$ 0,35	$\bar{x}$ 3,18 $\pm$ 1,51	
Landung	$\bar{x}$ 4,16 $\pm$ 1,02	$\bar{x}$ 3,01 $\pm$ 1,05	NS
Kraft Absprung vorne pro kg	$\bar{x}$ 12,6 $\pm$ 4,8	$\bar{x}$ 9,6 $\pm$ 4,5	NS
Kraft Absprung hinten pro kg	$\bar{x}$ 14,2 $\pm$ 6,4	$\bar{x}$ 16,4 $\pm$ 5,0	NS
Kraft Landung vorne pro kg	$\bar{x}$ 20,3 $\pm$ 5,1	$\bar{x}$ 13,6 $\pm$ 5,9	0.012
Kraft Landung hinten pro kg	$\bar{x}$ 24,2 $\pm$ 8,8	$\bar{x}$ 15,7 $\pm$ 6,5	NS

Jeweils Mittelwert $\pm$ Standardabweichung. NS, nicht signifikant $\rightarrow$ Höhe in cm, Hangtime in s, Landung in G, Druck pro kg in N/kg KG

4.5.3. Vergleich der Sportart Wakeboarden mit dem Kiten mit Straps

Im direkten Vergleich der Sportart Wakeboarden mit dem Kiten mit Straps erreichten die Kiter die durchschnittliche höchste Sprunghöhe (357,3 cm) und Hangtime (2,96 s).

Bei den Wakeboardern wurden die durchschnittlich höchsten Werte bei Landung ($\bar{x}$ 4,16 g), Kraft Absprung vorne ($\bar{x}$ 12,6 N/kg), Kraft Landung vorne ($\bar{x}$ 20,3 N/kg) und Kraft Landung hinten ($\bar{x}$ 24,2 N/kg) erfasst.

In Bezug auf die Kraft bei Absprung auf dem hinteren Fuß unterscheiden sich die Durchschnittswerte der Gruppen wenig voneinander, in der statistischen Analyse ist der Unterschied jedoch signifikant ($p < 0.001$).

Die beiden Gruppen unterscheiden sich in Bezug auf den Absprung auf dem vorderen ($p = 0.025$) und hinteren Fuß sowie Landung auf dem vorderen ($p = 0.041$) und hinteren ($p < 0.001$) Fuß signifikant voneinander.

Weitere Werte können **Tab. 10** entnommen werden.

Tab. 10 Vergleich des Wakeboarden mit dem Kiten mit Straps

	Wakeboarder	Kiter Straps	Signifikanz
Höhe	$\bar{x}$ 225,4 $\pm$ 57,3	$\bar{x}$ 357,3 $\pm$ 265,1	
Hangtime	$\bar{x}$ 1,34 $\pm$ 0,35	$\bar{x}$ 2,96 $\pm$ 1,03	
Landung	$\bar{x}$ 4,16 $\pm$ 1,02	$\bar{x}$ 3,57 $\pm$ 1,31	NS
Kraft Absprung vorne pro kg	$\bar{x}$ 12,6 $\pm$ 4,8	$\bar{x}$ 6,8 $\pm$ 3,5	0.025
Kraft Absprung hinten pro kg	$\bar{x}$ 14,2 $\pm$ 6,4	$\bar{x}$ 14,7 $\pm$ 5,1	< 0.001
Kraft Landung vorne pro kg	$\bar{x}$ 20,3 $\pm$ 5,01	$\bar{x}$ 12,2 $\pm$ 4,9	0.041
Kraft Landung hinten pro kg	$\bar{x}$ 24,2 $\pm$ 8,8	$\bar{x}$ 12,1 $\pm$ 5,6	<0.001

jeweils Mittelwert, Standardabweichung. NS, nicht signifikant → Höhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Kraft pro kg in N/kg KG

4.5.4. Interner Vergleich in den Gruppen der Kitesurfer: Straps vs. Boots

Im direkten Vergleich der Kiter unterscheiden sich die Gruppen in Bezug auf die Kraft bei Absprung auf dem hinteren Fuß ($p < 0.001$) und bei Landung auf dem hinteren Fuß ($p < 0.001$) signifikant voneinander. Weitere Werte können **Tab. 11** entnommen werden.

Tab. 11 Interner Vergleich Kitesurfen: Straps vs. Boots

	Kiter Boots	Kiter Straps	Signifikanz
Höhe	$\bar{x} 393,0 \pm 240,8$	$\bar{x} 357,3 \pm 265,1$	
Hangtime	$\bar{x} 3,18 \pm 1,51$	$\bar{x} 2,96 \pm 1,03$	
Landung	$\bar{x} 3,01 \pm 1,05$	$\bar{x} 3,57 \pm 1,31$	NS
Kraft Absprung vorne pro kg	$\bar{x} 9,6 \pm 4,5$	$\bar{x} 6,8 \pm 3,5$	NS
Kraft Absprung hinten pro kg	$\bar{x} 16,4 \pm 5,0$	$\bar{x} 14,7 \pm 5,1$	< 0.001
Kraft Landung vorne pro kg	$\bar{x} 13,6 \pm 5,9$	$\bar{x} 12,2 \pm 4,9$	NS
Kraft Landung hinten pro kg	$\bar{x} 15,7 \pm 6,5$	$\bar{x} 12,1 \pm 5,6$	< 0.001

Jeweils Mittelwert, Standardabweichung. NS, nicht signifikant → Höhe in cm, Hangtime in s, Landung in g, Kraft pro kg in N/kg KG

5. Diskussion

Zusammenfassend sind die wichtigsten Ergebnisse der Studie, dass beim Kite-/Wakeboarden relevante Kräfte auf die untere Extremität einwirken. Kitesurfer erreichen dabei die höchsten Sprunghöhen (Boots $\varnothing$ 393,0 cm; Straps $\varnothing$ 357,3 cm). Die höchsten Kraftwerte bei Landung werden allerdings in der Wakeboard-Gruppe erreicht (vorderer Fuß: $\varnothing$ 1552,3 N, $\varnothing$ 20,3 N/kg; hinterer Fuß: $\varnothing$ 1862,8 N; 24,2 N/kg). Allerdings unterscheiden sich die Wakeboarder bei Landung nur in Bezug auf den vorderen Fuß signifikant von den Kitemit Boots ($p = 0.012$). Im Vergleich mit den Kitemit Straps ist der Unterschied auf beiden Füßen signifikant (vorderer Fuß $p = 0.041$; hinterer Fuß $p = 0.001$). Vergleicht man die Sprungtypen „Inverts“ und „Obstacles“ in der Gruppe der Wakeboarder, werden mit $\varnothing$ 1793,4 N ($\varnothing$ 23,6 N/kg) bei Landung auf dem vorderen Fuß und mit $\varnothing$ 2341,5 N ($\varnothing$ 30,9 N/kg) die höheren Werte bei den „Inverts“ erreicht.

5.1. Diskussion des Materials und der Methodik

5.1.1. Nutzung von Sensorsohlen

Zur Datenerhebung wurden die Sensorsohlen SCIENCE Insole2 der Firma Moticon und der Höhen- und Beschleunigungssensor PIQ ROBOT™ blue der Firma PIQ genutzt. Die Datenerhebung mit Hilfe von Sensorsohlen ist kein neuartiges Verfahren. Schon im Jahr 1986 stellte die Firma Novel ihre erste Pedographie-Sohle vor [24].

Die Genauigkeit der Sensorsohlen wurde in einer Studie von Stöggl et al. untersucht, indem die OpenGo Sensorsohlen der Firma Moticon, die PedarX Sensorsohlen der Firma Novel und das AMTI Force-Plate System verglichen wurden. Dabei wurden die Messwerte beim Gehen, Laufen, Springen, bei Imitationsübungen und Balanceübungen analysiert. Die AMTI-Systeme gelten als Goldstandard für Messplatten, die PedarX-Sohlen als Goldstandard für Messsohlen. Die Kraftwerte bei Bodenkontakt der Moticon-Sohlen waren 13-36% niedriger im Vergleich zum AMTI-System und 12-26% niedriger als die Werte der PedarX-Sohlen. Mit den Moticon-Sohlen konnten insbesondere die Bodenkontakt- und Flugzeiten genauer gemessen werden als mit den PedarX-Sohlen. Allerdings wurde beobachtet, dass die Werte der Moticon-Sohlen niedriger waren, je kürzer der Bodenkontakt war. Im Allgemeinen betonen die Autoren jedoch, dass der Großteil der Werte in allen drei Systemen weitgehend übereinstimmt und der große Vorteil der Moticon-Sohlen in der Möglichkeit für Messungen unter komplexen Feldkonditionen liegt [56].

Während des Wakeboardens und Kitesurfens befinden sich die Füße der Probanden zudem hauptsächlich auf der Wasseroberfläche und die Sprünge nehmen nur einen Bruchteil des Messzeitraums ein, sodass angenommen werden kann, dass fehlerhafte Messungen durch zu kurzen Bodenkontakt zu vernachlässigen sind.

In einer weiteren Untersuchung von Barratt et al. wurden ebenfalls die Moticon-Sohlen und PedarX-Sohlen beim Rudern auf einem Ruderergometer verglichen. In diesem direkten Vergleich unterschieden sich die beiden Messsysteme signifikant voneinander. Im Vergleich zur PedarX-Sohle haben die Moticon-Sohlen eine schwache Validität, dafür aber eine starke Reliabilität [4].

Braun et al. untersuchten ebenfalls die Genauigkeit der OpenGo-Sohlen der Firma Moticon: In dieser Untersuchung wurden die Werte der Sohlen mit denen des FDM-S-Laufbands verglichen. In diesem Vergleich zeigten die Sohlen in Bezug auf temporospatiale und kinetische Gangparameter eine Korrelation von > 0.796 im Vergleich zum FDM-S-System [12].

In einer Studie zur Bodenreaktionskraft beim alpinen Skifahren wurden die PedarX-Sohlen der Firma Novel mit einer tragbaren Kraftmessplatte der Firma Kistler verglichen. Die Werte der PedarX-Sohlen waren während der Außen- und Innenski-Phase der Kurven im Vergleich zur Kraftmessplatte signifikant niedriger [44].

Die mobilen Messsysteme, insbesondere die Sensorsohlen der Firma Moticon, ermöglichen trotz geringer Messungenauigkeiten im Vergleich mit den fest installierten Systemen Untersuchungen unter realen Feldbedingungen, bei denen die Probanden weder durch Kabel oder unhandliche Geräte in der Ausübung von sportlichen Aktivitäten eingeschränkt werden.

Da die Moticon-Sohlen derzeit nicht vollständig wasserfest produziert werden, wurden sie für die Messungen mit einer Folie eingeschweißt. Laut Herstellerangaben kalibrieren sich die Sohlen immer wieder neu, um auch auf Temperaturveränderungen zu reagieren [42]. Vor und zwischen den Messungen vergingen jeweils einige Minuten, in denen sich die Sohlen kalibrieren konnten.

In den letzten Jahren hat die Testung von Sensorsohlen für verschiedene klinische Einsätze zugenommen: Braun et al. untersuchten die Möglichkeit, die Teilbelastungen von Patienten nach Sprunggelenksfrakturen durch den Einsatz der Moticon-Messsohlen zu kontrollieren, um individualisierte Nachbehandlungen zu etablieren [11]. St-Georges et al. nutzten bei ihrer Untersuchung zur posturalen Balance bei Patienten mit adoleszenter idiopathischer Skoliose ebenfalls die Messsohlen der Firma Moticon [55].

5.1.2. Nutzung von Höhen- und Beschleunigungssensoren

Zur Messgenauigkeit der Höhen- und Beschleunigungssensoren, die besonders im Amateurbereich des Kitesurfens weit verbreitet sind, gibt es derzeit nur wenige Untersuchungen.

Das KITE-Magazin führte Vergleichsmessungen mit dem PIQ- und Woo-Sensor durch: Dabei lagen die Werte des Woo-Sensors 6,02% über denen des PIQ-Sensors. Bei niedrigen Sprunghöhen unter fünf Metern registrierte der Woo-Sensor teilweise keine Werte, der PIQ-Sensor hingegen schon. An einem Sprungsimulator, bei dem ein Brett auf eine konstante Höhe von 6,75 Metern gezogen wurde, registrierte der PIQ-Sensor keine Werte, da er erkannte, dass es sich nicht um richtige Sprünge handelte [26].

Marčiš et al. untersuchten ebenfalls die Genauigkeit des Woo1- und Woo2-Sensors und der Surfr.-App mithilfe von videogrammetrischen Aufnahmen. Auch bei dieser Studie gaben die Sensoren der Firma Woo bis zu 20% zu hohe Werte, besonders ab einer Sprunghöhe von fünf Metern an [39]. Die Ergebnisse des Woo-Leaderboards sind somit möglicherweise mit Vorsicht zu genießen.

5.1.3. Mögliche Fehlerquellen und weitere Einflussfaktoren

Im Rahmen der Datenauswertung lag die größtmögliche Fehlerquelle in der Zuordnung des Videomaterials zu den Messwerten der Sensorsohlen und des PIQ-Sensors. Da die Videoaufnahmen zum gleichen Zeitpunkt wie die Messsohlen gestartet wurden, konnten die Bewegungen, die auf den Videos zu sehen waren, zu den Messwerten der Sohlen spezifisch zugeordnet werden. Der PIQ-Sensor listet die gemessenen Höhen, Hangtimes und Beschleunigungskräfte chronologisch mit Zeitangaben auf, sodass durch den Vergleich der Uhrzeiten eine Zuordnung der Werte zu den Sprüngen möglich war. Durch das beiliegende Videomaterial konnten fehlerhafte Werte durch kleinere Sprünge über die Brandung herausgesondert werden.

Durch Umweltfaktoren wie Windstärke, Windrichtung, Wellengang und auch begleitende Umstände wie andere Wassersportler und Strömungsbedingungen, die nicht beeinflusst werden können, konnten die Messungen der Kitesurfer nicht unter konstanten Bedingungen durchgeführt werden. Um trotz dieser Begleitfaktoren Rahmenbedingungen zu stellen, wurde ein möglichst konstanter und ausreichend starker Wind von mindestens vier Beaufort vorausgesetzt und ein ausreichender Abstand zu anderen Wassersportlern geschaffen.

An der Wakeboardanlage konnten die Messungen unter annähernd identischen Bedingungen durchgeführt werden: Das Umlaufseil lief mit einer konstanten Geschwindigkeit von 30 km/h

und die Probanden fuhren während des Messzeitraums allein oder im großen Abstand zu anderen Sportlern.

Da jeder Proband über individuelle körperliche Voraussetzungen verfügt und das Fahrkönnen nicht standardisiert kategorisiert werden kann, ist diesbezüglich eine Ungenauigkeit der Ergebnisse zu erwarten. Diese Ungenauigkeiten könnte man nur ausgleichen, indem man Probanden untersucht, die alle drei Messungen (Wakeboard, Kite Boots, Kite Straps) absolvieren. Ausreichend Probanden zu akquirieren, die all diesen Anforderungen entsprechen, geht über den Umfang dieser, zunächst als orientierende Pilotstudie geplanten, Untersuchung hinaus. Das Probandenkollektiv war aufgrund der noch nicht etablierten Messmethodik klein. Die Untersuchung soll als Pilotstudie die Möglichkeiten und Limitationen der Datenerhebung durch moderne Messgeräte aufzeigen und einen Anstoß für weiterführende Studien bieten.

5.2. Diskussion der Ergebnisse

5.2.1. Einordnung der Ergebnisse allgemein

Im Vergleich der drei Gruppen erreichten die Kitesurfer mit Boots die durchschnittlich höchste Sprunghöhe mit $\bar{x}$ 393,0 cm und ebenso die längste Hangtime mit $\bar{x}$ 3,18 s. Die Werte der Kiter mit Straps sind mit $\bar{x}$ 357,3 cm und $\bar{x}$ 2,96 s nur unwesentlich geringer.

Einfluss des Fahrkönnens

Ein Erklärungsansatz für die höheren Werte in der Boot-Gruppe ist das Fahrkönnen: In Bindungen mit Boots sind die Füße der Sportler fest mit dem Board verbunden. Dies ermöglicht einerseits eine hohe Kontrolle über das Board, andererseits fordert dies viel Erfahrung. Kiteanfänger erlernen die Sportart im Regelfall mit einem Board mit einfachen Fußschlaufen (Straps). Fortgeschrittene Fahrer, die sich auf Sprünge und Manöver im Freestyle-Bereich oder BigAir fokussieren, wechseln häufig das Material zu festen Bindungen oder besitzen mehrere Boards mit unterschiedlichen Bindungen. Es kann generell davon ausgegangen werden, dass die Kitesurfer mit festen Bindungen aufgrund ihrer Erfahrung ein höheres Risiko eingehen als die Kitesurfer mit Straps.

Wegener et al. stellten einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung von Sensation Seeking und der Verletzungshäufigkeit fest. Sportler, die höhere physische Risiken in Kauf nehmen, sind dementsprechend gefährdeter, Verletzungen zu erleiden [64].

Allerdings ist zu betonen, dass die maximale Sprunghöhe von über 11 Metern von einem Kitesurfer mit Straps erreicht wurde. Auch in der Gruppe der Kiter mit Straps befanden sich Probanden mit langjähriger Kite-Erfahrung.

Einfluss der Fahrtechniken

Die hohen Sprunghöhen und die Fallschirmwirkung des Kites erklären die längeren Hangtimes als die der Wakeboarder: Die Sprunghöhe bei dieser Sportart ist allein durch das auf einer Höhe fixierte Umlaufseil limitiert. Die durchschnittliche Sprunghöhe betrug beim Wakeboarden $\bar{x}$ 225,4 cm und die Hangtime $\bar{x}$ 1,34 s.

Die fehlende Fallschirmwirkung beim Wakeboarden zeigte sich ebenfalls in einer härteren Landung. Die höchste Beschleunigung bei Landung erreichten die Wakeboarder mit $\bar{x}$ 4,16 g. Bei Absprung wurde in der Gruppe der Wakeboarder die durchschnittlich höchste Kraft auf dem vorderen Fuß gemessen ($\bar{x}$ 958,0 N; $\bar{x}$ 12,6 N/kg), auf dem hinteren Fuß erreichten die Kiter mit Boots die höchsten Werte ($\bar{x}$ 1295,5 N; 16,4 N/kg).

Die Werte lassen sich durch die Techniken bei Absprung erklären: Beim Wakeboarden können Obstacles durch einen niedrigen Sprung oder über eine Rampe (Kicker) erreicht werden. Bei diesen Sprüngen ist die Kraft bei Absprung geringer. Die Sprünge mit höherer Belastung sind die Inverts. Der Schwung wird bei diesem Sprungtyp in der Kurveneinfahrt oder -ausfahrt generiert, indem das Brett bei extremer Spannung des Cables quer zur Fahrtrichtung gestellt wird. Der dabei entstehende Zug wird zum Herauskatapultieren genutzt. Der vordere Fuß wird beim Absprung zu diesem Manöver durch die Querstellung des Bretts stark belastet (siehe **Abb. 24**).



Abb. 24 Bilderreihe Invert
schwarzer Pfeil: Fahrtrichtung, roter Pfeil: Querstellen des Boards zur Fahrtrichtung

Bei einfachen Sprüngen beim Kiten wird der Schwung nach oben maßgeblich durch die Lenkung des Schirms entgegen der Fahrtrichtung gesteuert. Der aus Fahrtrichtung betrachtete hintere Fuß wird bei Absprung länger und stärker belastet und durch den Sprung wird eine Richtungsänderung vollzogen (siehe **Abb. 25**).



Abb. 25 Bilderreihe Absprung einfacher Sprung beim Kitesurfen
schwarzer Pfeil: Fahrtrichtung, roter Pfeil: Richtungsänderung Kite

Gemeinsamkeiten zwischen dem Wakeboarden und Kiten mit Boots

Bei Landung wurden die höchsten Werte auf dem vorderen und auch auf dem hinteren Fuß in der Wakeboard-Gruppe gemessen (vorderer Fuß: $\bar{x}$ 1552,3 N, $\bar{x}$ 20,3 N/kg; hinterer Fuß: $\bar{x}$ 1862,8 N; 24,2 N/kg). Bei den Kitemit Boots betrugen die Werte auf dem vorderen Fuß $\bar{x}$ 1077,0 N, $\bar{x}$ 13,6 N/kg; auf dem hinteren Fuß $\bar{x}$ 1226,7 N, 15,7 N/kg. Sie liegen höher als bei den Kitemit Straps (vorderer Fuß: $\bar{x}$ 937,4 N, $\bar{x}$ 12,2 N/kg; hinterer Fuß: $\bar{x}$ 917,7 N, $\bar{x}$ 12,1 N/kg).

Die statistische Analyse ergab, dass nur der Unterschied der Landung auf dem vorderen Fuß zwischen Wakeboardern und Kitemit Boots signifikant ist. Ein Erklärungsansatz für diese Ergebnisse liegt in der aggressiveren Fahrweise dieser Probanden und in der Art der Manöver, die bei Freestyle-Kitem beliebt sind. Bei den „Unhooked-Tricks“ wird die Fallschirmwirkung des Kites bei Landung weitestgehend aufgehoben. In einer Untersuchung von Lundgren et al. fiel diese Beobachtung bereits auf [36].

In der statistischen Analyse der Ergebnisse der Wakeboarder im Vergleich mit den Kitemit Straps unterschieden sich sowohl die Werte bei Absprung als auch bei Landung signifikant voneinander. Dies lässt sich durch die bereits beschriebene, vorsichtigeren Fahrweise und das andere Manöverspektrum der Kitesurfer erklären.

Vergleich zwischen Kitemitern mit und ohne Boots

Im direkten Vergleich der Kiter unterscheiden sich die Gruppen in den Werten beim Absprung und bei der Landung auf dem hinteren Fuß signifikant voneinander. Bei Landung wird der hintere Fuß als erstes wieder aufgesetzt und erfährt somit eine höhere Belastung als der vordere Fuß. Somit ist die Belastung bei den Kitemitern mit Boots nach aggressiveren und schnelleren Manövern signifikant höher als bei den Kitemitern mit Straps. Auch bei Absprung zeigt sich die dynamischere Fahrweise in einer höheren Belastung.

Ein weiterer Aspekt, der ein vorsichtiges Landen der Kiter mit Straps begründet, sind die Schlaufenbindungen. Während die Kiter in den Boots fest an das Board gebunden sind, können die Füße beim Springen mit Straps aus den Bindungen herausgleiten [38].

Bei beiden betrachteten Sportarten wird der hintere Fuß auch während der einfachen Fahrt mehr belastet als der vordere. Das Board würde sonst mit der Spitze ins Wasser tauchen und einen Sturz hervorrufen.

Einfluss der Sprunghöhe

Bei 15 der 43 Sprünge in der Gruppe der Kiter mit Boots wurde eine Sprunghöhe über fünf Meter erreicht. Die durchschnittlichen Landungswerte bei diesen Sprüngen betrugen auf dem vorderen Fuß $\bar{x}$ 1254,2 N ($\bar{s}$ 15,3 N/kg) und auf dem hinteren Fuß $\bar{x}$ 1088,3 N ($\bar{s}$ 13,4 N/kg). Die durchschnittliche Sprunghöhe betrug 677,3 cm.

Bei 33 der 43 Sprünge wurde auf mindestens einem Fuß bei Landung eine Kraft über 1000 N gemessen. Der durchschnittliche Wert auf dem vorderen Fuß betrug $\bar{x}$ 1235,1 N ($\bar{s}$ 16,5 N/kg), auf dem hinteren Fuß betrug dieser Wert $\bar{x}$ 1373,2 N ($\bar{s}$ 19,6 N/kg). Die durchschnittliche Sprunghöhe betrug 406,4 cm.

Trotz der durchschnittlich um zwei Meter höheren Sprunghöhe waren die Werte bei Landung auf dem hinteren Fuß im Vergleich niedriger. Durch die Fallschirmwirkung des Kites bei besonders hohen Sprüngen kann die Landung stärker abgefedert werden als bei niedrigen Sprüngen. Die Werte auf dem vorderen Fuß bei Landung unterscheiden sich kaum voneinander. Dies kann dadurch begründet werden, dass der vordere Fuß bei Landung im Vergleich zum hinteren Fuß nicht maßgeblich belastet wird.

Dieser Effekt zeigt sich erneut bei Betrachtung der Werte der Kiter mit Straps:

Bei den Kitemitern mit Straps wurde bei 8 der 37 Sprünge eine Sprunghöhe über fünf Meter erreicht. Die durchschnittliche Sprunghöhe betrug in dieser Gruppe 803,8 cm.

Bei Landung wurde auf dem vorderen Fuß durchschnittlich eine Kraft von 779,3 N (9,2 N/kg) gemessen. Auf dem hinteren Fuß betrug dieser Wert $\bar{x}$ 747,6 N ($\bar{s}$ 9,0 N/kg).

Bei 19 der 37 Sprünge wurde eine Landungskraft von mindestens 1000 N auf einem der beiden Füße gemessen. Der durchschnittliche Wert auf dem vorderen Fuß bei Landung betrug 1153,0 N (12,7 N/kg). Auf dem hinteren Fuß betrug dieser Wert $\bar{x}$ 1137,6 N (16,9 N/kg).

Einfluss der Sprungtypen

Vergleicht man die Sprungtypen „Inverts“ und „Obstacles“ in der Gruppe der Wakeboarder, werden mit $\bar{x}$ 1793,4 N ($\bar{x}$ 23,6 N/kg) bei Landung auf dem vorderen Fuß und mit $\bar{x}$ 2341,5 N ($\bar{x}$ 30,9 N/kg) die höheren Werte bei den „Inverts“ erreicht.

Inverts sind die „Paradesprünge“ beim Wakeboarden, die nur fortgeschrittene Fahrer mit viel Training beherrschen. Obstacles sind nach Bunny Hops die Tricks, die sich fortgeschrittene Anfänger als erstes zutrauen. Die Obstacles sind bei weitem nicht so hoch. Hohe Sprunghöhen können nur bei Manövern über Kicker erreicht werden.

Zwischenfazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass beim Wakeboarden, insbesondere im Rahmen der Landung, die höchsten Kraftwerte erreicht werden. Dies lässt sich durch die Rahmenbedingungen der Sportart erklären: Das Umlaufseil läuft in konstanter Geschwindigkeit und auf konstanter Höhe, die Landungen können kaum abgefedert werden. Kitesurfer können ihre Geschwindigkeit und Landung in einem gewissen Bereich durch den Fallschirmeffekt des Kites präzise steuern.

Die Verletzungsmuster und -häufigkeiten der beiden Sportarten sollen im nächsten Absatz diskutiert werden.

5.2.2. Einordnung der Ergebnisse im Kontext der Literatur

Für das Verständnis der sportartspezifischen Verletzungsmuster ist besonders die Betrachtung der unteren Extremität von Bedeutung: In zahlreichen Studien konnte eine hohe Inzidenz von Verletzungen der unteren Extremität sowohl beim Kitesurfen als auch beim Wakeboarden festgestellt werden [2], [8–10], [17], [25], [34], [37], [46], [48], [50], [54].

Zusammenhang von Verletzungsmustern und Sprüngen/ Tricks beim Wakeboarden

Beim Wakeboarden sind unseren Ergebnissen nach, die Kräfte bei Landung im Vergleich zum Kitesurfen besonders hoch. Dies prädestiniert die Sportler für unterschiedliche Verletzungen: Im Jahr 2004 führten Carson et al. erstmalig eine Befragung unter Orthopäden und Wakeboardern durch, in der sie die Häufigkeit und Lokalisation von Verletzungen erfassten. 77%

der Befragten gaben an, sie hätten mindestens eine Verletzung erlitten. 34% der Verletzungen seien Kreuzbandläsionen gewesen, 17% Verstauchungen des Knöchels. 15% der Verletzungen seien Schulterluxationen gewesen und 21% aller Verletzungen Frakturen im Allgemeinen. In der prospektiven Studie von Patzer et al., in der 122 aktive Sportler aus Deutschland befragt wurden, betrafen 20% der Verletzungen das Knie, aber auch die Schulter und den Kopf. In dieser Untersuchung wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Verletzungshäufigkeit und dem Fahrkönnen festgestellt. Diese Beobachtung begründen die Autoren damit, dass sich die Verletzungen bei Manövern ereignen, die Anfänger noch nicht beherrschen. Bei der Befragung zum Unfallmechanismus bei Knieverletzungen wurde hauptsächlich ein Rotationsmechanismus bei Tricks angegeben [48].

Starr et al. konzentrierten sich insbesondere auf die Verletzungsmechanismen: Mit 42,3% wurde in dieser Studie der höchste Inzidenzwert von vorderen Kreuzbandrupturen angegeben. Der Großteil der Kreuzbandrupturen ereignete sich im Rahmen von Landungen nach hohen Sprüngen. Besonders die axiale Kompression schien in dieser Untersuchung der Hauptmechanismus zu sein und nicht, wie zunächst angenommen, ein Rotationsmechanismus, der nur bei 13,5% der Kreuzbandrisse beschrieben wurde. 26,9% der Betroffenen waren fortgeschrittene Fahrer oder Profis und 67,3% fortgeschrittene Anfänger [54].

Als weiterer Unfallmechanismus wird in verschiedenen Veröffentlichungen ein Verkanten des Bretts angegeben: Bei einem Sportler führte die extreme Hebelwirkung zu einer Femurschaftfraktur [1]. In einem anderen Fall führte das Eintauchen der Vorderkante des Boards zu einer Fraktur des Processus lateralis tali, auch bekannt als „Snowboarder's fracture“ [43].

Bei der verwandten Sportart Snowboarden sind die Verletzungen der unteren Extremität mit einem Anteil von 12,3% an allen Verletzungen nicht führend. Allerdings betreffen Frakturen am häufigsten den Knöchel, daher der Name „Snowboarder's fracture“ [28].

Allgemein ist es schwierig, anhand der bestehenden Literatur direkte Rückschlüsse auf die Verletzungsmechanismen und -inzidenzen zu ziehen. Es besteht also dringender Bedarf eine aktuelle Untersuchung zu Unfallmechanismen, insbesondere im Rahmen von Sprüngen und Tricks, durchzuführen.

Ein weiterer Aspekt, der in diesem Zuge zu untersuchen wäre, sind die Auswirkungen der repetitiv hohen Belastungen beim Training und Wettkampf, aber auch im regelmäßigen Amateursportbereich. Zur Inzidenz und Entwicklung von chronischen Schäden und Verletzungen sind zum jetzigen Zeitpunkt keine Daten erhoben worden.

Zusammenhang von Verletzungsmustern und Sprüngen beim Kitesurfen

In den letzten Jahren sind zahlreiche Studien zur Verletzungshäufigkeit und zu den Verletzungsmechanismen beim Kitesurfen erschienen:

Je nach Studie variiert die Zahl der Verletzungen zwischen 7.0/1000h [46] und 18.5/1000h [7]. Bei einer im Jahr 2004 durchgeführten prospektiven Befragung wurden am häufigsten der Fuß und Knöchel im Rahmen von Landungen nach Sprüngen verletzt. Insgesamt wurden 77% der Verletzungen als mild eingestuft [46]. Allerdings ist zu betonen, dass zu der Zeit die Quick-Release-Systeme noch nicht etabliert waren und sich 56% der Verletzungen in Situationen ereigneten, in denen sich die Sportler nicht vom Kite trennen konnten [50].

Laut einer Umfrage von van Bergen et al. aus dem Jahr 2020 benutzen heutzutage 97,9% der Sportler ein Quick-Release-System [9].

Nach Lundgren et al. stehen Sprünge und Tricks mit 40% der Verletzungen im Zusammenhang. Bei 24% der Verletzungen ist das Knie betroffen, bei 17% der Knöchel [37]. Während der komplexen Bewegungsabläufe ist der Stress auf das muskuloskelettale System extrem hoch. Besonders bei sogenannten Pop-Tricks, bei denen der Kite konstant auf gleicher Höhe gehalten wird und der Schwung, ähnlich den Inverts der Wakeboarder, durch ein Aufkanten des Boards generiert wird, ist die Geschwindigkeit bei Landung höher als bei einfachen Sprüngen [36]. Bei Pop-Tricks haken sich die Sportler häufig aus dem Trapez aus (unhooked). Dadurch sind komplexe Handlepass-Manöver möglich, die Fallschirmwirkung des Kites auf die Landung wird gleichzeitig abgeschwächt. Pop-Tricks gehören in den Freestyle-Bereich des Kitesurfens und werden häufig von Fahrern absolviert, die mit Boots fahren. Die Erkenntnisse der Studie unterstützen das Ergebnis, dass die Landungskräfte mit Boots höher zu sein scheinen als mit Straps.

Auch in einer retrospektiven Studie von Grunner et al. betrafen 72,9% der Verletzungen das muskuloskelettale System. Mit 58,8% ist die untere Extremität am häufigsten betroffen [25].

Die Ergebnisse von Leeuwerke und van Bergen et al. unterstützen ebenfalls die Beobachtung, die untere Extremität sei extrem gefährdet [9], [34]. 49% der Verletzungen ereigneten sich im Rahmen von Tricks oder Sprüngen [9].

Verletzungsrisiken unabhängig von Sprüngen/ Tricks beim Kitesurfen

Nicht zu vernachlässigen ist im Zusammenhang mit Verletzungen beim Kitesurfing der Kontrollverlust über den Kite. In verschiedenen Studien wird darauf hingewiesen, dass durch unerwartete Windböen und wenig Erfahrung ein Risiko für Unfälle besteht [8], [34].

Glücklicherweise wird der Großteil aller Kitesurfing-Verletzungen als mild eingeschätzt [7], [9], [46]. Es zeigt sich jedoch eine Tendenz von hohen Inzidenzen bei Anfängern mit leichten Verletzungen zu niedrigen Inzidenzen bei fortgeschrittenen Fahrern mit dafür schwereren Verletzungen [9], [37], [64]. Als Ursache kommt die höhere Risikobereitschaft und mögliche Selbstüberschätzung unter schwierigen Windbedingungen in Betracht [64].

Beim Kitesurfen spielt bei der Entstehung von Verletzungen der Faktor Kontrollverlust über den Kite, zusätzlich zum Risiko bei Sprüngen und anderen Manövern, eine wichtige Rolle. Durch die meist inkonstanten Windbedingungen und Gefährdungen durch andere Kitesurfer oder Windsurfer sind die Sportler Faktoren ausgesetzt, die sie nur in geringem Maße beeinflussen können und müssen in der Lage sein, auf Veränderungen sofort adäquat zu reagieren.

Zwischenfazit

Allgemein lässt sich zusammenfassen, dass als Ursache für Verletzungen der unteren Extremität bei Wakeboardern und Kitesurfern vor allem die Landung nach Sprüngen ein kritischer Moment zu sein scheint. Durch die hohen Kräfte, die auf die Füße der Sportler wirken, lassen sich die Verletzungsmechanismen besser verstehen.

Bei beiden Sportarten ist die Belastung auf das muskuloskelettale System während der Ausübung von Manövern extrem hoch.

Die unterschiedlichen Bedingungen beim Wakeboarden durch die konstante Geschwindigkeit und den fehlenden Fallschirmeffekt erklärt die hohen Werte bei Absprung und Landung. Auch beim Kitesurfen mit Boots sind die Belastungen im Vergleich zu den Wakeboardern nicht signifikant geringer. Ein möglicher Erklärungsansatz für diese Ergebnisse liegt in dem fortgeschrittenen Fahrkönnen der Kiter mit Boots und der Erfahrung der Sportler, sich Sprünge mit höheren Geschwindigkeiten und härteren Landungen zuzutrauen. Zusätzlich dazu sind die Boards der Kiter und Wakeboarder vom Aufbau beinahe identisch und Freestyle-Tricks ähneln durch den fehlenden Fallschirmeffekt dem Wakeboarden. Allerdings ist zu betonen, dass in unserer Studie die expliziten Fahrstile und Sprünge der Kiter nicht gesondert aufgelistet wurden.

Bei den Kitesurfern mit Straps sind die Landungskräfte signifikant geringer als die der Wakeboarder. Dies ist durch die vorsichtigeren Landungen, um nicht aus den Fußschlaufen zu gleiten, und auch in einer möglicherweise geringeren Erfahrung der Sportler zu erklären.

5.3. Prävention von Verletzungen beim Wakeboarden und Kiten

Insbesondere beim Kitesurfen sind die Sporttreibenden durch den Wind einem Gefahrenfaktor ausgesetzt, der nicht beeinflusst werden kann. Umso bedeutender ist es deshalb, weitere Risikofaktoren, die beeinflusst werden können, zu minimieren.

Um die untere Extremität zu schonen, wurde in den letzten Jahren die Entwicklung des Materials weiter vorangetrieben: Durch Polster in den Bindungen sollen Stöße abgemindert und der Tragekomfort erhöht werden [21]. In den kommenden Jahren ist mit einer fortschreitenden Optimierung dieser Dämpfungsmechanismen zu rechnen. Immer mehr Firmen werben mit einer personalisierten Anpassung der Bindungen [60], wodurch die Kontrolle über die Boards erhöht werden kann. Besonders bei der Nutzung von festen Boots besteht durch die Fixierung der Füße bei Rotationsmechanismen das Risiko für Verletzungen. Durch eine Weiterentwicklung der Bindungen mit einem Auslösemechanismus, ähnlich den Ski- oder Snowboardbindungen, bei dem die Boots sich bei starken Rotationskräften aus der Bindung lösen, könnte in Zukunft das Risiko für Verletzungen gesenkt werden.

Trotzdem ist es für ambitionierte Amateursportler entscheidend, sich der körperlichen Belastung der vermeintlichen Hobbysportart bewusst zu werden. So gehören eine ausreichende Erwärmung und Trockenübungen an Land zur Einstudierung neuer Manöver zu einer Kite- oder Wakeboardtrainingseinheit dazu. Einer Abnahme der Konzentration und somit die Zunahme des Verletzungsrisikos durch Unachtsamkeit kann durch regelmäßige Regenerationspausen an Land entgegengewirkt werden. Ein umfassendes Krafttraining für die Rumpfmuskulatur ist ebenfalls empfehlenswert, um auch kleinere Schläge durch die Wasseroberfläche ausgleichen zu können.

Das Tragen von Schutzausrüstung wie Helm und Prallschutzweste ist dringend anzuraten sowie das genaue Studieren der Witterungsbedingungen, um auf plötzliche Zunahme der Windstärke und aufziehende Unwetter reagieren zu können.

5.4. Ausblick

Die Messung von Belastungen bei Sportlern unter realen Feldbedingungen ist die erste dieser Art bei Kitesurfen und Wakeboardern. Die neuen technischen Möglichkeiten durch mobile Messsysteme wie Sensorsohlen und Höhen-/Beschleunigungssensoren ermöglichen Untersuchungen außerhalb von Laborbedingungen. In den kommenden Jahren ist außerdem mit einer stetigen Verbesserung und Weiterentwicklung der Messgeräte zu rechnen.

Nicht nur weitere Sportarten können untersucht [35], sondern auch Patienten in Rehabilitationsphasen unterstützt werden oder vor Überlastung gewarnt werden [11].

In Bezug auf die Sportart Kitesurfen bietet sich eine nähere Betrachtung der Fahrstile und Sprünge an, insbesondere der Unhooked-Tricks im Vergleich zu normalen Sprüngen, die aus dem Kite heraus eingeleitet werden, um Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Fahrweisen aufzuzeigen.

In welchem Ausmaß die repetitiv hohen Belastungen chronische Schäden hervorrufen können, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht umfassend untersucht worden. Tarabini et al. untersuchten die Vibrationsexposition des Körpers während des Kitesurfens, des Alpinen Skifahrens, des Snowboardens und des Fahrradfahrens. Schon nach wenigen Minuten wurde der europäische Grenzwert beim Kitesurfen erreicht. Es stellt sich dementsprechend die Frage, ob die starken Vibrationen, die durch das Board auf der Wasseroberfläche entstehen, langfristig zu degenerativen Rückenveränderungen führen können [59].

Die Erkenntnisse aus unseren Untersuchungen können zur präzisen Trainingsplanung bei professionellen Sportlern genutzt werden, um Überlastungen vorzubeugen. Die Ergebnisse sollen Athleten und Amateurfahrer für die kritischen Momente beim Ausüben der jeweiligen Sportart sensibilisieren. Entscheidend ist bei Sportarten mit derart hohen Belastungen auf das gesamte muskuloskelettale System zudem immer eine ausreichende Erwärmung, spezielle Übungen, um die Körperstabilität zu verbessern und hinreichend lange Regenerationsphasen während und zwischen den Einheiten.

6. Zusammenfassung

Die verwandten Wassersportarten Wakeboarden und Kitesurfen erfreuen sich einer zunehmenden Beliebtheit, allerdings bergen diese Sportarten Gefahren für schwere Verletzungen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurden die Verletzungsmuster und -inzidenzen vor allem retrospektiv und fragebogenbasiert erforscht. Hierbei wurde eine hohe Inzidenz von Verletzungen der unteren Extremität im Rahmen von Sprüngen und Manövern festgestellt [9], [17], [34], [54].

Ziel dieser experimentellen Studie war es, erstmals objektive in vivo Kraft-Messungen während des Wakeboardens und Kitesurfens durchzuführen, die auf die untere Extremität einwirkenden Kräfte während Sprüngen und Tricks zu messen und die verwandten Sportarten zu vergleichen.

Als Messinstrumente wurden die Sensorsohle SCIENCE Insole2 (Fa. Moticon ReGo AG, München) und der Höhen- und Beschleunigungssensor PIQ ROBOT™ blue (Fa. PIQ, Neuilly-sur-Seine/FRA) eingesetzt, um für jeden Sprung bei Absprung und Landung die auf die Füße der Sportler einwirkenden Kräfte und Beschleunigungen sowie die Sprunghöhe und Hangtime in der Luft aufzuzeichnen. Zeitgleich erfolgte eine Videoanalyse. Die statistische Analyse der Ergebnisse erfolgte mittels linear gemischter Modelle.

Drei Probandengruppen (je $n=6$), eine Gruppe bestehend aus Wakeboardern, eine Gruppe aus Kitesurfern mit Schlaufenbindungen („Straps“) sowie eine Gruppe aus Kitesurfern mit festen Bindungen („Boots“) wurden über einen Messzeitraum von fünf Minuten während Ausübung des Sports vermessen.

Mit durchschnittlich 4,16 g wurde die höchste Beschleunigung bei Landung in der Gruppe der Wakeboarder erfasst. Die höchsten Kräfte bei Landung wurden ebenfalls in dieser Gruppe mit $\bar{x}$ 1552,3 N bzw. $\bar{x}$ 20,3 N/kg auf dem vorderen und $\bar{x}$ 1862,8 N bzw. $\bar{x}$ 24,2 N/kg auf dem hinteren Fuß gemessen. In der statistischen Analyse unterscheiden sich die Wakeboarder nur in den Werten bei Landung auf dem vorderen Fuß signifikant von den Kitemit Boots ($p=0.012$). Durch die fehlende Fallschirmwirkung des Kites wird beim Wakeboarden die Landung weniger abgefangen. Ein Erklärungsansatz für die hohen Werte der Kiter mit Boots ist die aggressive Fahrweise der Sportler, die dem Wakeboarden ähnelt, und den fortgeschrittenen Manövern, die nur durch feste Bindungen möglich sind.

Bei den Kitemit Straps wurden bei Landung mit $\bar{x}$ 937,4 N ($\bar{x}$ 12,2 N/kg) auf dem vorderen Fuß und $\bar{x}$ 917,7 N, ($\bar{x}$ 12,1 N/kg) auf dem hinteren Fuß die durchschnittlich niedrigsten Werte erfasst. Die Gruppe der Kiter mit Straps unterscheidet sich signifikant sowohl von den Kitemit Boots ($p < 0.001$) als auch von den Wakeboardern ($p < 0.001$). Die meisten Kiter erlernen

den Sport auf Boards mit Fußschlaufen, mit denen allerdings die Landungen nach Sprüngen vorsichtiger angesteuert werden müssen als mit festen Bindungen.

Die Kiter mit Boots erreichten durchschnittlich die höchste Sprunghöhe ($\bar{x}$ 393 cm) und Hangtime in der Luft ($\bar{x}$ 3,18 s), die Werte der Kiter mit Straps sind mit $\bar{x}$ 357,3 cm und $\bar{x}$ 2,96 s nur unwesentlich geringer. Durch den Kite sind im Vergleich zum fixierten Umlaufseil beim Wakeboarden weitaus höheren Werte möglich.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt hohe Belastungswerte auf die untere Extremität, die bei fehlerhaften Landungen nach Sprüngen für Verletzungen des muskuloskelettalen Systems prädestiniert ist. Durch eine Weiterentwicklung der Sportgeräte zugunsten einer verbesserten Abpufferung der Landungen und neuer Bindungsmodelle mit Auslösemechanismen könnte in Zukunft die Belastung verringert und ähnlich den Skibindungen bei kritischen Stürzen das Sportgerät abgetrennt werden, bevor es zu Verletzungen kommt. Trotzdem spielt auch der menschliche Faktor eine entscheidende Rolle bei der Prävention von Verletzungen: eine ausreichende Erwärmung vor dem Sport, regelmäßige Erholungspausen und eine Sensibilisierung für das Verletzungspotential sind essentiell.

Durch die Möglichkeit der objektiven Datenerfassung können verschiedene Fahrstile, wie das „unhooked“-Kitesurfing und BigAir-Kitesurfing, verglichen werden sowie entsprechend der Belastung Trainingsintensitäten gesteuert werden. Neben der Untersuchung von akuten Verletzungen ist es ebenso notwendig, die Häufigkeit und Ursachen von chronischen Schäden zu erfassen. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es kaum Daten, inwiefern die repetitiven Belastungen langfristig zu degenerativen Veränderungen führen können [59].

7. Thesen

1. Mittels Sensorsohlen können auf die Füße der Sportler einwirkende Kräfte unter Feldbedingungen objektiv und in vivo gemessen werden.
2. Die Kräfte auf dem vorderen und hinteren Fuß bei Landung nach Sprüngen sowie die Beschleunigungen sind in der Gruppe der Wakeboarder am höchsten.
3. Die Kraftwerte der Kitesurfer mit Boots unterscheiden sich bei Absprung und Landung nicht signifikant von der Gruppe der Wakeboarder.
4. Die Gruppe der Kitesurfer mit Straps zeigt signifikant geringere Kraftwerte bei Landung auf beiden Füßen als die Kitesurfer mit Boots.
5. Die Sprunghöhe zeigt keinen entscheidenden Einfluss auf die bei Landung auf die Füße wirkenden Kräfte unter den Kitesurfern.

8. Literaturverzeichnis

- [1] BÄCKER, HENRIK CONSTANTIN ; SHOAP, SETH ; VASARHELYI, GABOR ; PÁNICS, GERGELY: Isolated Femoral Shaft Fracture in Wakeboarding and Review of the Literature. In: *Case Reports in Orthopedics* Bd. 2020 (2020), S. 1–6
- [2] BAKER, JOHN I ; GRIFFIN, RUSSELL ; BRAUNEIS, PAUL F ; RUE, LORING W ; MCGWIN, GERALD: A comparison of wakeboard-, water skiing-, and tubing-related injuries in the United States, 2000-2007, S. 6
- [3] BARENDSE-HOFMANN, MINKE G. ; STEENVOORDE, PASCAL ; VAN DOORN, LOUK ; ZEILMAKER, ANNEKE: Compartment Syndrome of the Arm After Cable-Wakeboard Accident. In: *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* Bd. 35 (2009), Nr. 1, S. 74–78
- [4] BARRATT, GEORGINA KATE ; BELLENGER, CLINT ; ROBERTSON, EILEEN YULE ; LANE, JASON ; CROWTHER, ROBERT GEORGE: Validation of Plantar Pressure and Reaction Force Measured by Moticon Pressure Sensor Insoles on a Concept2 Rowing Ergometer. In: *Sensors* Bd. 21 (2021), Nr. 7, S. 2418
- [5] BASNICKI, BRENNAN: *How many kiteboarders are there in the world? How many surfers, skiers, snowboarders & climbers?* URL <https://blog.ripatrip.com/home/2019/12/19/how-many-kiteboarders-are-there-in-the-world-how-many-surfers-skiers-snowboarders-amp-climbers>. - abgerufen am 2021-05-06. — ripatrip
- [6] BAUER, THOMAS: *Geschichte | Wetsports - Wakeboard und Wasserski in Kiefersfelden*. URL <https://www.wetsports.de/geschichte/>. - abgerufen am 2023-01-23
- [7] BAUMBACH, SEBASTIAN F. ; STAWINSKI, TANJA ; SCHMITZ, DANIEL ; SCHOENEBERG, CARSTEN ; JÄGER, MARCUS ; WEDEMEYER, CHRISTIAN ; KAUTHER, MAX D.: Influence of kitesurf equipment on injury rates. In: *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* Bd. 58 (2018), Nr. 10, S. 1482–1489
- [8] VAN BERGEN, CHRISTIAAN J A ; COMMANDEUR, JORIS P ; WEBER, RIK I K ; HAVERKAMP, DANIEL ; BREEDERVELD, ROELF S: Windsurfing vs kitesurfing: Injuries at the North Sea over a 2-year period. In: *World Journal of Orthopedics* Bd. 7 (2016), Nr. 12, S. 814–820
- [9] BERGEN, CHRISTIAAN JA VAN ; WEBER, RIK IK ; KRAAL, TIM ; KERKHOFFS, GINO MMJ ; HAVERKAMP, DANIËL: Kitesurf injury trauma evaluation study: A prospective cohort study evaluating kitesurf injuries. In: *World Journal of Orthopedics* Bd. 11 (2020), Nr. 4, S. 243–251
- [10] BOURGOIS, JAN G. ; BOONE, JAN ; CALLEWAERT, MARGOT ; TIPTON, MICHAEL J. ; TALLIR, ISABEL B.: Biomechanical and Physiological Demands of Kitesurfing and Epidemiology of Injury Among Kitesurfers. In: *Sports Medicine* Bd. 44 (2014), Nr. 1, S. 55–66
- [11] BRAUN, B. J. ; VEITH, N. T. ; HERATH, S. C. ; HELL, R. ; ROLLMANN, M. ; ORTH, M. ;

- HOLSTEIN, J. H. ; POHLEMANN, T.: Ein neues, kontinuierliches Ganganalysesystem zur Nachbehandlung von Sprunggelenkfrakturen. In: *Der Unfallchirurg* (2017)
- [12] BRAUN, BENEDIKT JOHANNES ; VEITH, NILS THOMAS ; HELL, REBECCA ; DÖBELE, STEFAN ; ROLAND, MICHAEL ; ROLLMANN, MIKA ; HOLSTEIN, JÖRG ; POHLEMANN, TIM: Validation and reliability testing of a new, fully integrated gait analysis insole. In: *Journal of Foot and Ankle Research* Bd. 8 (2015), Nr. 1, S. 54
- [13] BRÄUNIGER, DENNY: *Cable Mekka | 80+ Wakeboard Parks in Deutschland*. URL <https://www.cablemekka.com/>. - abgerufen am 2021-05-12. — The Cable
- [14] BROWNING, KYLE: *Interesting facts on kitesurfing*. URL <https://coastlinekitesurfing.com/2017/09/05/kitesurfing-facts/>. - abgerufen am 2023-08-05. — Coastline Kitesurfing
- [15] BÜTTNER, A: Stellungnahme der Ethikkommission. In: 2019
- [16] CARABALLO, ISRAEL ; GONZÁLEZ-MONTESINOS, JOSÉ LUIS ; CASADO-RODRÍGUEZ, FRANCISCO ; GUTIERREZ-MANZANEDO, JOSÉ V: Performance Analysis in Olympic Sailors of the Formula Kite Class Using GPS (2021), S. 11
- [17] CARSON, WILLIAM G.: Wakeboarding Injuries. In: *The American Journal of Sports Medicine* Bd. 32 (2004), Nr. 1, S. 164–173
- [18] CREMER, BENNO: *Cable – Wasserski und Wakeboardanlagen in Deutschland*. URL <https://superflavor.de/amp/cable-wasserski-und-wakeboardanlagen-in-deutschland/2008/401/>. - abgerufen am 2021-05-12. — SUPERFLAVOR SURF MAGAZINE - WIND WAVE SUP
- [19] DRIESSEN, A. ; PROBST, C. ; SAKKA, S.G. ; EIKERMANN, C. ; MUTSCHLER, M.: Bilaterale Karotidisdissektion eines Kitesurfers durch Strangulation mit Kiteleinen. In: *Der Unfallchirurg* Bd. 118 (2015), Nr. 6, S. 567–570
- [20] DUNNE, LISA ; MURPHY, EVELYN ; DAWSON, PETER HUGH ; LEONARD, MICHAEL: Kite surfing: epidemiology of trauma. In: *BMJ Case Reports* (2018), S. bcr-2017-223935
- [21] *DUOTONE Entity Ergo ▷ Straps & Footpads für Twintip Boards!* URL <https://www.duotonesports.com/de/kiteboarding/boards/bindings-boot/entity/>. - abgerufen am 2023-01-19
- [22] EXADAKTYLOS, A K: The kick with the kite: an analysis of kite surfing related off shore rescue missions in Cape Town, South Africa * Commentary * Commentary. In: *British Journal of Sports Medicine* Bd. 39 (2005), Nr. 5, S. e26–e26
- [23] FELL, JULIA: *Zurück an den Ursprung: Kiten vor 20 Jahren*. URL <https://www.kitemagazin.de/2019/09/27/zurueck-an-den-ursprung-kiten-vor-20-jahren/>. - abgerufen am 2021-05-06. — KITE Magazin
- [24] *Force & Pressure sensor - art in science*. URL <https://www.novel.de/about-us/>. - abgerufen am 2022-01-15. — novel.de

- [25] GRUNNER, SHAHAR ; KOTLARSKY, PAVEL ; BERKOVICH, YARON ; GIVON, ADI ; KEREN, YANIV: Epidemiology of Kite Surfing Injuries among Recreational Athletes Bd. 18 (2016), S. 3
- [26] *Höhenmesser-Test: Hochrechnung*. URL <https://www.boarder.de/2018/06/29/was-taugen-hoehenmesser/>. - abgerufen am 2020-12-21. — Boarder Vision
- [27] HOSTETLER, SARAH GRIM ; HOSTETLER, TODD L. ; SMITH, GARY A. ; XIANG, HUIYUN: Characteristics of Water Skiing-Related and Wakeboarding-Related Injuries Treated in Emergency Departments in the United States, 2001-2003. In: *The American Journal of Sports Medicine* Bd. 33 (2005), Nr. 7, S. 1065–1070
- [28] ISHIMARU, DAICHI ; OGAWA, HIROYASU ; SUMI, HIROSHI ; SUMI, YASUHIKO ; SHIMIZU, KATSUJI: Lower Extremity Injuries in Snowboarding. In: *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* Bd. 70 (2011), Nr. 3, S. E48
- [29] JONES, JOHN: *Bruno Rixen Awarded Order of Merit by IWSF & WWC*. URL <http://wake-world.com/news/latestinwake/bruno-rixen-awarded-order-of-merit-by-iwsf--wwc-01-08-10-15-05-54-1416.html>. - abgerufen am 2023-08-05
- [30] KAPPENSTEIN, JÖRN: *Die Geschichte des Kitesurfens*. URL <http://www.kitesurfing-veluwemeer.com/de/kite-basics/history/>. - abgerufen am 2021-05-04. — Kitesurfing Holland
- [31] KNOBLOCH, KARSTEN ; GOHRITZ, ANDREAS ; ALTINTAS, MEHMED A ; SPIES, MARCUS ; VOGT, PETER M: A wakeboarding injury presented as acute carpal syndrome and median nerve contusion after wrist strangulation: a case report. In: *Cases Journal* Bd. 2 (2009), Nr. 1, S. 100
- [32] KÖHLER, CARO: *Der Wakeboard-Gott*. URL <https://www.deutschlandfunknova.de/beitrag/bruno-rixen-erfinder-der-wakeboard-anlagen>. - abgerufen am 2023-08-05. — Deutschlandfunk Nova
- [33] KÖNIG, GREGOR: *Was ist der Unterschied zwischen Tubekites und Softkites?* URL <https://duotonesports.freshdesk.com/de/support/solutions/articles/44001428586-kitesysteme-tubekites-vs-softkites>. - abgerufen am 2021-05-15. — Boards and More GmbH/Division Duotone Kiteboarding
- [34] LEEUWERKE, STEVEN JG ; SINNATHAMBY, MANIMARAN ; ZELLWEGER, RENÉ: Kitesurfing — playing with water or with fire? In: *Medical Journal of Australia* Bd. 204 (2016), Nr. 8, S. 301–301
- [35] LEUCHANKA, ALIAKSANDR ; EWEN, JOANNE ; COOPER, BEN: Bipedal in-shoe kinetics of skateboarding – the ollie. In: *Footwear Science* Bd. 9 (2017), Nr. sup1, S. S122–S124
- [36] LUNDGREN, L. ; BRORSSON, S. ; HILLIGES, M. ; OSVALDER, A.-L.: Sport performance and perceived musculoskeletal stress, pain and discomfort in kitesurfing. In: *International Journal of Performance Analysis in Sport* Bd. 11, Routledge (2011), Nr. 1, S. 142–158
-

- [37] LUNDGREN, L. ; BRORSSON, S. ; OSVALDER, A.-L.: Injuries Related to Kitesurfing. In: *International Journal of Sport and Health Sciences* Bd. 5 (2011), Nr. 5, S. 215–219
- [38] LUNDGREN, LINA ; BRORSSON, SOFIA ; OSVALDER, ANNA-LISA: Comfort aspects important for the performance and safety of kitesurfing. In: *Work* Bd. 41 (2012), S. 1221–1225
- [39] MARČIŠ, MARIÁN ; FRAŠTIA, MAREK ; HIDEGHÉTY, ANDREJ ; PAULÍK, PETER: Videogram-metric Verification of Accuracy of Wearable Sensors Used in Kiteboarding. In: *Sensors* Bd. 21 (2021), Nr. 24, S. 8353
- [40] MCKENNA, A. T.: *Extreme Wakeboarding* : Capstone, 1999. — Google-Books-ID: pcW7Y29s7BsC — ISBN 978-0-7368-0165-2
- [41] MORVAN, JEAN-BAPTISTE ; RIVIÈRE, DAMIEN ; VATIN, LORAINÉ ; JOUBERT, CHRISTOPHE ; BOUSQUET, FRANÇOIS ; CATHELINAUD, OLIVIER: Kitesurfing and Cranial Trauma with Frontal Sinus Fracture. In: *Current Sports Medicine Reports* Bd. 17 (2018), Nr. 1, S. 23–25
- [42] Moticon-SCIENCE_Sensor-Insole-Product-Specification_EN_web.pdf.
- [43] MUSSMANN, STEPHANIE E. ; POIRIER, JEAN-NICOLAS: Snowboarder's fracture caused by a wakeboarding injury: a case report. In: *Journal of Chiropractic Medicine* Bd. 9 (2010), Nr. 4, S. 174–178
- [44] NAKAZATO, KOSUKE ; SCHEIBER, PETER ; MÜLLER, ERICH: A comparison of ground reaction forces determined by portable force-plate and pressure-insole systems in alpine skiing, S. 9
- [45] NARITA, TETSUYA ; MORI, ATSUSHI ; HASHIGUCHI, HIROSHI ; IIZAWA, NORISHIGE ; TAKEDA, TOMOMICHI ; HATTORI, MIKIHICO ; ITO, HIROMOTO: Anterior Cruciate Ligament Injuries among Wakeboarders: A Case Report. In: *Journal of Nippon Medical School* Bd. 71 (2004), Nr. 1, S. 57–62
- [46] NICKEL, CHRISTOPH ; ZERNIAL, OLIVER ; MUSAHL, VOLKER ; HANSEN, UTE ; ZANTOP, THORE ; PETERSEN, WOLF: A Prospective Study of Kitesurfing Injuries. In: *The American Journal of Sports Medicine* Bd. 32, SAGE Publications Inc STM (2004), Nr. 4, S. 921–927
- [47] *Official WOO Kite - Big Air Leaderboards*. URL <https://leaderboards.woosports.com/kite/bigair>. - abgerufen am 2023-08-04
- [48] PATZER, T. ; HRABAL, S. ; TIMMESFELD, N. ; FUCHS-WINKELMANN, S. ; SCHOFFER, M.: Verletzungsarten und Verletzungshäufigkeiten beim Cable-Wakeboard: eine prospektive saisonbegleitende Studie. In: *Sportverletzung · Sportschaden* Bd. 23 (2009), Nr. 03, S. 141–147
- [49] PETERSEN, W. ; HANSEN, U. ; ZERNIAL, O. ; NICKEL, C. ; PRYMKA, M.: [Mechanisms and prevention of kitesurfing injuries]. In: *Sportverletzung Sportschaden: Organ Der Gesellschaft Fur Orthopadisch-Traumatologische Sportmedizin* Bd. 16 (2002), Nr. 3, S. 115–121
- [50] PETERSEN, W. ; NICKEL, C. ; ZANTOP, T. ; ZERNIAL, O.: Verletzungen beim Kitesurfen:
-

Eine junge Trendsportart. In: *Der Orthopäde* Bd. 34 (2005), Nr. 5, S. 419–425

[51] SBALBI, GABRIELE FABRIZIO: *Do you really use the right kite shape for your riding style?* URL <https://kitesurfculture.com:443/safety/32/Do-you-really-use-the-right-kite-shape-for-your-riding-style>. - abgerufen am 2023-01-17. — kitesurfculture.com

[52] SCHAFER, TROY: *History of Kiteboarding*. URL <http://www.completekiteboarding.com/history-of-kiteboarding.html>. - abgerufen am 2021-05-06. — Complete Kite Boarding lessons Maui Hawaii by Troy Schafer

[53] SCHEIBE, E. ; LIGNITZ, E. ; HINZ, P. ; SCHEIBE, R.: Kitesurfen: Eine neue Trendsportart, doch nicht ohne Gefahren. In: *Rechtsmedizin* Bd. 19 (2009), Nr. 3, S. 145–151

[54] STARR, HARLAN M. ; SANDERS, BRETT: Anterior Cruciate Ligament Injuries in Wakeboarding: Prevalence and Observations on Injury Mechanism. In: *Sports Health: A Multidisciplinary Approach* Bd. 4 (2012), Nr. 4, S. 328–332

[55] ST-GEORGES, MAXIME ; TELES, ALISSON R. ; RABAU, ODED ; SARAN, NEIL ; OUELLET, JEAN A. ; FERLAND, CATHERINE E.: Adolescent idiopathic scoliosis: evaluating perioperative back pain through a simultaneous morphological and biomechanical approach. In: *BMC Musculoskeletal Disorders* Bd. 21 (2020), Nr. 1, S. 466

[56] STÖGGL, THOMAS ; MARTINER, ALEX: Validation of Moticon's OpenGo sensor insoles during gait, jumps, balance and cross-country skiing specific imitation movements. In: *Journal of Sports Sciences* Bd. 35 (2017), Nr. 2, S. 196–206

[57] SURFERTODAY.COM, EDITOR AT: *57.97 knots: Alex Caizergues breaks his own world speed kiteboarding record*. URL <https://www.surfertoday.com/kiteboarding/57-97-knots-alex-caizergues-breaks-his-own-world-speed-kiteboarding-record>. - abgerufen am 2021-05-06. — Surfertoday

[58] SYRÉ, STEFANIE ; KRISTEN, KARL-HEINZ ; HUMENBERGER, MICHAEL: Paris 2024 – Kitesurfen wird olympisch! In: *Sports Orthopaedics and Traumatology, Thema: Neue Olympische Sportarten / New Olympic Sports*. Bd. 36 (2020), Nr. 1, S. 20–25

[59] TARABINI, MARCO ; SAGGIN, BORTOLINO ; SCACCABAROZZI, DIEGO: Whole-body vibration exposure in sport: four relevant cases. In: *Ergonomics* Bd. 58, Taylor & Francis (2015), Nr. 7, S. 1143–1150

[60] *The Concept - Perfected Kite Pad*. URL <https://www.padics-kiteboarding.de/en/pad-concept/>. - abgerufen am 2023-01-19. — PADICS Kiteboarding

[61] VERCRUYSSSEN, F. ; BLIN, N. ; L'HUILLIER, D. ; BRISSWALTER, J.: Assessment of physiological demand in kitesurfing. In: *European Journal of Applied Physiology* Bd. 105 (2009), Nr. 1, S. 103–109

[62] VMG2 13.0. URL <https://www.kite-elements.de/produkt/vmg2-13-0/>. - abgerufen am

2023-01-18. — KITE ELEMENTS

[63] *Wakeboard – International waterski and wakeboard Federation*. URL <https://iwwf.sport/disciplines/wakeboard/>. - abgerufen am 2021-05-12

[64] WEGNER, MANFRED ; WEGENER, FLORIAN: Zum Zusammenhang von Sensation Seeking und unfallbedingten Verletzungsausprägungen beim Kitesurfen. In: *Zeitschrift für Sportpsychologie* Bd. 19 (2012), Nr. 3, S. 122–130

9. Anhang

Informationsblatt für Probanden

Anschrift der Klinik:

Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universitätsmedizin Rostock
Doberaner Straße 142, 18057 Rostock

Name der(s) Ärztin/Arztes:

Prof. Dr. Thomas Tischer

Tel. 0381 494 9374 / 9315

Frank Sander

Tel. 0381 498 9301

„Belastungsmessung beim Wakeboarden und Kitesurfen“

Bitte lesen Sie den folgenden Text sorgfältig, bevor Sie eine Entscheidung treffen.

Wenn Sie etwas nicht verstehen, fragen Sie bitte den für Sie zuständigen Arzt.

Sehr geehrte Sportler,

wir laden Sie ein, an der o.g. Studie teilzunehmen. Bevor Sie sich entscheiden, ist es wichtig für Sie, zu verstehen, was die Studie beinhaltet und warum diese Studie durchgeführt wird. Bitte nehmen Sie sich genügend Zeit, um diese Information sorgfältig zu lesen und zögern Sie nicht, evtl. verbleibende Fragen mit uns zu besprechen. Wir werden zusätzlich mit Ihnen auch direkt über die Studie sprechen.

Im Folgenden informieren wir Sie über die Ziele der Studie und den Umgang mit Ihren Daten, damit Sie sich auf dieser Grundlage Ihre eigene Meinung bilden und eine Entscheidung treffen können. Bitte zögern Sie nicht, alle Punkte anzusprechen, die Ihnen unklar sind. Sie werden danach ausreichend Bedenkzeit erhalten, um über Ihre Teilnahme zu entscheiden.

Ihre Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig. Sie können diese jederzeit ohne Angabe von Gründen beenden. Sie werden in diese Studie nur dann einbezogen, wenn Sie dazu schriftlich Ihre Einwilligung erklären.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Nachuntersuchung vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und

- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer an dieser Nachuntersuchung im Klaren sind.

Die Studie wurde von der zuständigen Ethikkommission geprüft und positiv beurteilt.

1. Was ist das Ziel dieser Studie?

Die Sportarten Wakeboarden und Kitesurfen sind moderne Trendsportarten mit wachsender Beliebtheit und artverwandt mit dem Skate- sowie Snowboarden. Dabei liegt während der sportlichen Aktivität eine große Belastung auf den Füßen, Sprung- und Kniegelenken. Eine weitere Entwicklung in beiden Trendsportarten ist die Zunahme von Tricks in Form von Sprüngen mit unterschiedlichen Drehungen in der Luft. Dadurch hat sich die Druckbelastung während der Landung auf die unteren Extremitäten sowie die Unfallneigung erhöht. Studien sowie wissenschaftliche Literatur zur einwirkenden Belastung mit Hilfe von Druckmessungen beider Trendsportarten existieren derzeit nicht. Diese Studie soll deshalb Antworten auf o.g. Fragen liefern.

2. Wie ist der Ablauf der Studie und welche Untersuchungen sind vorgesehen?

Es wird lediglich die Einlegesohle der Boot-Bindung durch spezielle Druckmesssohlen ausgetauscht oder mit in die Neoprenschuhe eingelegt in Abhängigkeit von der bestehenden Boardbindung, und dann während der regulären sportlichen Tätigkeit die Druckbelastungen telemetrisch aufgezeichnet. Sie üben Ihren Sport somit wie immer aus und werden die gleichzeitig stattfindende Messung nicht wahrnehmen.

3. Welche Risiken sind mit Ihrer Teilnahme verbunden?

Es bestehen die üblichen Risiken Ihrer Sportart. Keine zusätzlichen Risiken durch die Messung.

4. Welcher Nutzen ergibt sich für Sie persönlich durch die Nachuntersuchungsstudie?

Der Nutzen der vorliegenden Nachuntersuchung liegt darin, nach der Studie Aussagen zum Verletzungsrisiko treffen zu können. Somit können ggf. in Zukunft Verletzungen vermieden werden.

5. Welche Rechte und Bedingungen sind mit der Teilnahme verbunden?

Ihre Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Sie können jederzeit, auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahmebereitschaft ablehnen oder widerrufen und aus der Nachuntersuchung ausscheiden, ohne dass Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile für Ihre weitere medizinische Betreuung entstehen. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass für diese Studie keine eigene Versicherung abgeschlossen wurde. Sportverletzungen im Rahmen der Messungen sind somit nicht von Seiten der Studie abgedeckt.

6. Wer ist für die Datenverarbeitung verantwortlich?

Verantwortliche Stelle bzw. Verantwortlicher für die Verarbeitung der personenbezogenen Daten von Studienteilnehmern ist:

Universitätsmedizin Rostock
Orthopädische Klinik und Poliklinik
Prof. Dr. med. habil. Thomas Tischer
Doberaner Straße 142
18057 Rostock

als Studienleitung der Studie. Wenn Sie im Verlauf der Studie oder im Anschluss an die Studie Fragen zum Datenschutz haben, können Sie sich jederzeit gerne an die UMR wenden.

7. Welche Daten werden von mir verarbeitet?

Um die Studie durchführen zu können, müssen eine ganze Reihe von personenbezogenen Daten von Ihnen erhoben und verarbeitet werden. Dazu gehören zunächst folgende *allgemeine personenbezogene Daten*:

- demografische Daten (z.B. Angaben zu Ihrer Person, Kontaktdaten, um Sie erreichen zu können (z. B. Telefonnummer, Mobilfunknummer, ggf. E-Mail-Adresse))
- Gewicht, Größe
- Eigenanamnese (Vorgeschichte von Operationen)
- andere Gelenkerkrankungen

Natürlich benötigen wir, um die Studie durchführen zu können, auch Informationen zu Ihrer Gesundheit und auch Messwerte. Wir fassen diese als **Gesundheitsdaten** zusammen.

Rechtsgrundlage für die Verarbeitung: Artikel 6 Absatz 1 Buchstabe a DSGVO (Ihre Einwilligung)

8. Woher erhalten wir die Daten?

Die Daten, die wir bei der Durchführung der Studie über Sie verarbeiten, erhalten wir von Ihnen. Im Zusammenhang mit der Studie werden wir Ihnen u.a. Fragen zu Ihrem Gesundheitszustand stellen.

9. Wo werden die Daten gespeichert

Die Daten werden in einem zentralen und geschützten Laufwerk der Orthopädischen Klinik und Poliklinik der Universitätsmedizin Rostock gespeichert.

10. Wofür und wie werden die Daten verwendet?

Die Auswertung Ihrer Daten und Messwerte kann wertvolle Daten über Verletzungsrisiken liefern.

11. Wer bekommt Kenntnis von meinen Daten?

Kenntnis haben zunächst die Ärzte, das medizinische Personal und die wissenschaftlichen Mitarbeiter, Hilfswissenschaftler und Doktoranden der Orthopädischen Klinik und Poliklinik der Universitätsmedizin Rostock, mit denen Sie im Zusammenhang mit der Studie zu tun haben und die die Studie medizinisch begleiten. Diese Personen unterliegen der Schweigepflicht.

Zugriff auf Studiendaten hat außerdem bei Bedarf die Gesundheitsbehörde.

Aufgrund studienbezogener Regelungen haben bestimmte Personen (autorisierte Dritte) ein Recht auf Einsichtnahme in Ihre personenbezogenen Daten. Dazu zählen Beauftragte der Klinik wie z. B. Monitore, die zu Ihrer Sicherheit und dem Schutz Ihrer Daten die Richtigkeit, Vollständigkeit und Qualität der erhobenen Daten vor Ort in der Klinik prüfen.

Die Einsichtnahme erfolgt nur im Rahmen der gesetzlich geregelten Aufgaben der Einsichtnehmenden, nämlich zum Zwecke der Überprüfung der Daten. Diese Personen sind zur Verschwiegenheit verpflichtet.

Bei technischen Problemen kann es im Einzelfall erforderlich sein, dass eine Wartung der IT-Systeme, auf denen die Daten verarbeitet werden, durch technisches Personal der Universitätsmedizin Rostock erfolgt. In diesen Fällen ist es nicht ausgeschlossen, dass dieses Personal Kenntnis von Studiendaten erhält.

Kenntnis von Ihren Daten erhalten schließlich noch Ihre weiterbehandelnden Ärzte.

Gemäß den geltenden Datenschutzbestimmungen verfügen Sie selbst grundsätzlich über ein Recht auf Auskunft über gespeicherte Daten, Berichtigung unzutreffender Daten, Löschung von Daten, Einschränkung der Verarbeitung von Daten, Widerspruch gegen unzumutbare Datenverarbeitung und über ein Recht auf Datenübertragbarkeit der zu Ihrer Person gespeicherten Daten. Diese Rechte können Sie jederzeit gegenüber der verantwortlichen Stelle ausüben.

Daneben steht Ihnen ein Beschwerderecht über rechtswidrige Datenverarbeitungen bei der zuständigen Aufsichtsbehörde (Der Landesbeauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit Mecklenburg-Vorpommern, Schloss Schwerin, Lennestraße 1, 19053 Schwerin) zu.

Bei etwaiger Weitergabe der Daten im In- und Ausland werden Sie nicht namentlich genannt. Auch in Veröffentlichungen der Daten dieser klinischen Studie werden Sie nicht namentlich genannt.

12. Wie lange werden die Daten gespeichert?

Die erhobenen Daten werden nach Beendigung der Studie pseudonymisiert. Die pseudonymisierten Daten und die Fragebögen werden für einen Zeitraum von 30 Jahren aufbewahrt.

13. Werde ich nach der Studie noch einmal befragt?

Nein.

14. Kann ich meine Einwilligung widerrufen?

Grundsätzlich können Sie ihre Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen. Wenden Sie sich hierfür an den zuständigen Studienarzt. Damit ist die für die Datenverarbeitung verantwortliche Stelle informiert. Ihr Widerruf gilt allerdings erst ab dem Zeitpunkt, zu dem Sie diesen aussprechen. Er hat keine Rückwirkung. Die Verarbeitung Ihrer Daten bis zu diesem Zeitpunkt bleibt rechtmäßig. Im Falle eines Widerrufs wird die Löschung der personenbezogenen Daten veranlasst. Systembedingt kann die vollständige Löschung der personenbezogenen Daten 14 Tage dauern.

Die verbleibenden Studiendaten, die nicht mehr Ihrer Person zugeordnet werden können, werden aber im Rahmen der Studie weiterverwendet.

15. Was sollten Sie noch wissen?

Falls im Verlauf der Studie wichtige neue Erkenntnisse bekannt werden, die sich auf Ihre Entscheidung über die weitere Teilnahme an dieser Studie auswirken könnten, werden Sie darüber umgehend informiert.

Die Studie wurde durch die zuständigen Ethikkommissionen ethisch geprüft und genehmigt.

16. Haben Sie noch Fragen?

Falls Sie Fragen haben über Ihre gespeicherten personenbezogenen Daten bzw. Auskunft hierüber möchten, wenden Sie sich bitte an:

Kontaktdaten der betreuenden Studienärztin bzw. des betreuenden Studienarztes

Prof. Thomas Tischer	Tel.	0381 494 9315
Frank Sander	Tel.	0381 494 9374

Adressinformationen

Falls Sie Fragen haben oder Auskunft über Ihre gespeicherten personenidentifizierenden Daten möchten, wenden Sie sich bitte an die Studienleitung:

Universitätsmedizin Rostock
Datenschutzbeauftragter
Doberaner Straße 142
18057 Rostock
Telefon 0381 494-5155

Die Datenverarbeitung erfolgt bei: Klinische Forschung der Orthopädischen Klinik und Poliklinik der Universitätsmedizin Rostock

Personenidentifizierende Studiendaten und Identifizierungsschlüssel: Studienarzt
Studiendaten: Studienassistent

Wir bedanken uns für Ihr Interesse an einer Studienteilnahme. Mit Ihrer möglichen Teilnahme an dieser Studie können Sie dazu beitragen, das Wissen über Ihre Krankheit und über neue Behandlungsmöglichkeiten zu verbessern, so dass auch andere Patienten später davon profitieren können. Wir würden uns freuen, Sie als Teilnehmer in der Studie begrüßen zu dürfen.

Einwillungserklärung der Probanden

Anschrift der Klinik :

Orthopädische Klinik und Poliklinik der Universitätsmedizin Rostock,
Doberaner Straße 142, 18057 Rostock

Patientenetikett

Name der(s) Ärztin/Arztes:

Prof. Dr. Thomas Tischer

Tel.: 0381 494 9374 / 9315

Frank Sander

Tel: 381 9301

Hauptzielkriterium der Studie:

Die Sportarten Wakeboarden und Kitesurfen sind moderne Trendsportarten mit wachsender Beliebtheit und artverwandt mit dem Skate- sowie Snowboarden. Dabei liegt während der sportlichen Aktivität eine große Belastung auf den Füßen, Sprung- und Kniegelenken. Eine weitere Entwicklung in beiden Trendsportarten ist die Zunahme von Tricks in Form von Sprüngen mit unterschiedlichen Drehungen in der Luft. Dadurch hat sich die Druckbelastung während der Landung auf die unteren Extremitäten sowie die Unfallneigung erhöht. Studien sowie wissenschaftliche Literatur zur einwirkenden Belastung mit Hilfe von Druckmessungen beider Trendsportarten existieren derzeit nicht. Diese Studie soll deshalb Antworten auf o.g. Fragen liefern.

Das Studienprotokoll und die Einwilligungserklärung wurden von der zuständigen Ethikkommission geprüft und positiv beurteilt.

Patient: _____

Geburtsdatum: _____

(Name, Vorname in Blockschrift)

Zentrums-ID: 1

Ich wurde durch _____

(Name Studienärztin/Studienarzt, Blockschrift)

vollständig über die Studie am _____ (dd.mm.jjjj)– mündlich und schriftlich – über Wesen, Bedeutung, Tragweite und Dauer der Studie im Allgemeinen, sowie über erwartete

Wirkungen und absehbare Risiken, meine Rechte und Pflichten, den mir zustehenden Versicherungsschutz und die Freiwilligkeit der Teilnahme aufgeklärt. Mir wurde zugesichert, dass diese Aufklärung vollständig war.

Ich hatte die Gelegenheit und ausreichend Zeit, Fragen zu stellen. Diese wurden zufriedenstellend und vollständig beantwortet und ich akzeptiere sie.

Zusätzlich zu der schriftlichen Information wurden folgende Punkte besprochen:

Ich nehme freiwillig an der Studie „Belastungsmessung beim Wakeboarden und Kitesurfen“ teil und erkläre hiermit meine Einwilligung zu den Datenschutzhinweisen und der nachfolgend beschriebenen Verarbeitung meiner personenbezogenen Daten und Gesundheitsdaten. Ich habe die Datenschutzhinweise aufmerksam gelesen und verstanden. Mir ist bekannt, dass kein Versicherungsschutz im Rahmen der Studie vorliegt.

☐ Ich bin mit der Erhebung, Verarbeitung und Nutzung meiner Daten, insbesondere meiner Gesundheitsdaten, für die Durchführung der „Belastungsmessung beim Wakeboarden und Kitesurfen“ Studie einverstanden.

Widerrufsrecht

Ich wurde darüber aufgeklärt, dass ich meine Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen beenden kann, ohne dass mir dadurch Nachteile entstehen. Mir ist ebenfalls bekannt, dass ich meine Einwilligung in die Datenverarbeitung jederzeit mit Wirkung für die Zukunft widerrufen kann, ohne dass die Rechtmäßigkeit der aufgrund der Einwilligung bis zum Widerruf erfolgten Verarbeitung berührt wird. Die Informationen zum Widerruf der Einwilligung in der dazugehörigen *Patienteninformation* habe ich zur Kenntnis genommen.

Name des Patienten

Datum

Unterschrift

Name des Studienarztes

Datum

Unterschrift

10. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während des Studiums und bei der Fertigstellung der Dissertation unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Dr. med. Thomas Tischer, ohne dessen Geduld und Unterstützung bei allen Fragen und Problemen der Abschluss dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Des Weiteren danke ich meinem Betreuer Dr. med. Frank Sander für das Durchhaltevermögen trotz widriger Wind- und Wetterbedingungen während der Datenerhebung und dafür, dass er immer spontan ein offenes Ohr für jegliche Fragen hatte. Ebenso danke ich PD Dr. med. Christoph Lutter für die tolle Betreuung bei der Vorbereitung des Vortrags beim GOTS-Jahreskongress 2020 und für die konstruktive Kritik und Hilfe bei der Korrektur. Darüber hinaus danke ich Prof. Dr. med. Mittelmeier dafür, dass er die Durchführung dieses Forschungsprojektes an der orthopädischen Klinik der Universitätsmedizin Rostock möglich gemacht hat.

Auch möchte ich mich selbstverständlich bei allen Probanden bedanken, die an dieser Studie teilgenommen haben, sowie beim LiEBAU Sanitätshaus & Orthopädietechnik in Lütten-Klein für die unkomplizierte und spontane Unterstützung bei der Präparation und dem Einschweißen der Messsohlen.

Zudem danke ich meinen Freunden und meiner WG in der Paulstraße 20 für die unvergessliche Zeit in Rostock und dafür, dass sie mich während der letzten Jahre durch alle Höhen und Tiefen begleitet haben.

Meinen Eltern, Wilma Neuse und Alfred Neuse, meiner Patentante Sabine Tiling, meinem Bruder Oliver und meiner Schwägerin Astrid Wintering, sowie meinem Freund Adrian Luyken danke ich für die emotionale Unterstützung und Ermutigung während der gesamten Studienzzeit.

Zu guter Letzt möchte ich mich noch bei Sjard, Jan, Jannis, Noah, Carl und Patricius ganz herzlich für die fachliche Expertise und Beratung, sowie für das Bereitstellen von privaten Sportfotos für diese Arbeit bedanken.

11. Lebenslauf

Nina Johanna Neuse

Geboren 1998 in Essen

SCHULISCHER WERDEGANG

2004 - 2008	Grundschule: Schmachtenbergschule in Essen
2008 - 2016	Gymnasium Essen-Werden in Essen
08/2013 – 02/2014	Auslandssemester Thomas Edison Senior High School in Minneapolis, MN, USA
06/2016	Schulabschluss Abitur

MEDIZINISCHE AUSBILDUNG

2016 - 2022	Studentin der Humanmedizin an der Universität Rostock
08/2018	Erstes Staatsexamen der Humanmedizin
10/2019	Wahlfach „EKG im klinischen Kontext“
03/2021 – 06/2021	Covid-19 Impfzentrum der Stadt Rostock
10/2021	Zweites Staatsexamen der Humanmedizin
11/2021 – 03/2022	Erstes Tertial des Praktischen Jahres St. Joseph Stift, Bremen Abteilung für Anästhesiologie, Schmerzmedizin und Intensivmedizin
03/2022 – 06/2022	Zweites Tertial des Praktischen Jahres Spitalzentrum Oberwallis, Visp, Schweiz Abteilung für Chirurgie
06/2022 – 10/2022	Drittes Tertial des Praktischen Jahres Bodden-Kliniken Ribnitz-Damgarten GmbH Abteilung für Innere Medizin
11/2022	Drittes Staatsexamen der Humanmedizin
01.12.2022	Approbation als Ärztin
Seit 01.10.2023	Assistenzärztin in der Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin am Südstadtklinikum Rostock

SPRACHLICHE KENNTNISSE

Englisch fließend in Wort und Schrift
Französisch Grundkenntnisse

12. Veröffentlichungen

Vorträge:

In Vivo Belastungsmessung im Wakeboardsport: Implikation für Belastungssteuerung und präventive Ansätze

N. Neuse, F. Sander, C. Lutter, T. Tischer

35. GOTS-Jahreskongress, 16. – 18.06.2020, Onlinekongress

Preise:

3. Platz GOTS Young Investigator Award 2020

In Vivo Belastungsmessung im Wakeboardsport: Implikation für Belastungssteuerung und präventive Ansätze

N. Neuse, F. Sander, C. Lutter, T. Tischer

13. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere eidesstattlich durch eigenhändige Unterschrift, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht und ist in gleicher oder ähnlicher Weise noch nicht als Studienleistung zur Anerkennung oder Bewertung vorgelegt worden. Ich weiß, dass bei Abgabe einer falschen Versicherung die Prüfung als nicht bestanden zu gelten hat.

Rostock

Dezember 2023

(Abgabedatum)

(Vollständige Unterschrift)