



universität  
wien

# MASTER THESIS

Titel der Master Thesis / Title of the Master's Thesis

„Untersuchung zur Ablegereife von textilen sicherheits-  
relevanten Bestandteilen persönlicher Schutzausrüstung  
(gegen Absturz) aus Polyamid im Outdoor-Bereich“

verfasst von / submitted by

Walter Siebert

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of  
Master of Science (Outdoor Training and Development) (MSc)

Wien, 2016 / Vienna 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt /

A 992 882

Postgraduate programme code as it  
appears on  
the student record sheet:

Universitätslehrgang lt. Studienblatt /

Integrative Outdoor Aktivitäten (MSc) /

Postgraduate programme as it appears on  
the student record sheet:

Integrative Outdoor Activities (MSc)

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Günter Amesberger

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet, und die benutzten Quellen beziehungsweise wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Wien, den 14.6.2016

Unterschrift

## **Zusammenfassung**

Eine Untersuchung zur Ablegereife von textilen Bestandteilen von Persönlicher Schutzausrüstung gegen Absturz aus Polyamid im Outdoor-Bereich. Bestandteile Persönlicher Schutzausrüstung müssen abgelegt werden, wenn das Ergebnis der Inspektion ergibt, dass der Zustand einen Punkt erreicht hat, wo im weiteren Gebrauch die Sicherheit nicht mehr gewährleistet werden kann. Dieser Punkt wird durch die Ablegereife bestimmt.

Diese Arbeit vergleicht die Ablegekriterien, die in Herstellererklärungen, Standards und Regelwerken angegeben sind mit den Ergebnissen empirischer Methoden.

## **Abstract**

Research on discard criteria regarding textile components of Personal Protective Equipment (PPE) against falls from a height made of Polyamide used in the outdoors.

Components of PPE require replacement when the result of an inspection indicate that its condition has diminished to the point where further use would be unwise from a safety standpoint.

This point is determined by discard criteria.

This research compares the discard criteria defined in manufacturers declaration, in standards and regulations with the results of empirical methods.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Eidesstattliche Erklärung</b> .....	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Vorwort und persönlicher Zugang</b> .....	<b>6</b>
1.1. Vorwort .....	6
1.2. Persönlicher Zugang .....	7
<b>2. Forschungsfragen und Ziele</b> .....	<b>9</b>
2.1. Forschungsfragen .....	9
2.2. Ziele der Arbeit .....	9
2.3. Nicht-Ziele .....	9
<b>3. Theorie</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1. Begriffe</b> .....	<b>11</b>
3.1.1. PSA – Persönliche Schutzausrüstung .....	11
3.1.2. Ablegereife .....	11
3.1.3. Alterung .....	12
3.1.4. Vorschlag einer Definition für die Begriffe Alterung und Ablegereife .....	14
3.1.5. Seile .....	15
3.1.6. Toprope .....	16
3.1.7. Sicherheitsfaktor bzw. Betriebskoeffizient .....	17
<b>3.2. Zum Grundmaterial Polyamid</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3. Konstruktionsarten</b> .....	<b>20</b>
3.3.1. Konstruktion von Seilen .....	20
3.3.2. Gurte und Bänder (Konstruktion) .....	21
<b>3.4. Einflüsse auf Entscheidungen zur Ablegereife</b> .....	<b>22</b>
3.4.1. Historische Einflüsse auf Entscheidungen zur Ablegereife .....	22
3.4.2. Die Entwicklung der PSA .....	29
3.4.3. Die Entwicklung von Standards .....	30
3.4.4. Die Gründung von Normungskommissionen .....	32
3.4.5. Diskussion der Alterung in den Normungskommissionen .....	32
3.4.6. Systemische Einflüsse auf die Ablegekriterien – kritische Würdigung .....	35
<b>3.5. Unfälle, tatsächliches Versagen</b> .....	<b>38</b>
<b>3.6. Angaben der Hersteller zur Lebensdauer und Ablegereife</b> .....	<b>39</b>
<b>3.7. Hersteller zu Abnutzung und sichtbare Schäden</b> .....	<b>41</b>
<b>3.8. Kritische Bewertung der Einflüsse</b> .....	<b>42</b>
<b>4. Stand der Forschung</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1. Bisherige Untersuchungen</b> .....	<b>44</b>
4.1.1. Einfluss der Alterung ohne Benutzung .....	44
4.1.2. Einfluss des Waschvorgangs .....	44

4.1.3.	Einfluss von Nutzung .....	45
4.1.4.	Festigkeitsverminderung durch Wasser .....	48
4.1.5.	Festigkeitsverminderung durch Verschmutzung .....	49
4.1.6.	Festigkeitsverminderung durch Rost .....	49
4.1.7.	Festigkeitsverminderung durch UV und Licht.....	50
4.1.8.	Festigkeitsverminderung durch zyklische Belastung.....	50
4.1.9.	Festigkeitsverminderung durch Lastbiegewechsel.....	51
4.1.10.	Festigkeitsverlust durch Seilendverbindungen .....	55
4.1.11.	Festigkeitsverminderung durch hohe Temperaturen.....	56
<b>4.2.</b>	<b>Exkurs: Der „Coefficient of Variation“ als Kriterium für den Seilzustand .....</b>	<b>57</b>
<b>5.</b>	<b>Empirische Untersuchung/Labortests .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1.</b>	<b>Vortests.....</b>	<b>58</b>
<b>5.2.</b>	<b>Befragungen.....</b>	<b>58</b>
5.2.1.	Befragung1 zum Fachwissen von Experten .....	58
5.2.2.	Befragung 2 zur praktischen Einschätzung von PSA (Alter und Bruchkraft) .....	60
<b>5.3.</b>	<b>Forschungsregion .....</b>	<b>64</b>
<b>5.4.</b>	<b>ForschungspartnerInnen (GesprächspartnerInnen).....</b>	<b>64</b>
<b>5.5.</b>	<b>Forschungsdesign.....</b>	<b>65</b>
5.5.1.	Hypothesen.....	65
5.5.2.	Überblick über das Forschungsdesign .....	66
5.5.3.	Referenzseil .....	67
5.5.4.	Umgang mit Seilproben .....	68
5.5.5.	Datenspeicherung.....	70
5.5.6.	Datenanalyse .....	70
5.5.7.	Zerreißmaschine .....	71
5.5.8.	Versuchsplanung des Topropesimulators .....	72
5.5.9.	Design Topropesimulator.....	73
<b>6.</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>77</b>
<b>6.1.</b>	<b>Ergebnisse der Vortests: .....</b>	<b>77</b>
6.1.1.	Ergebnisse der Vortests: Seile .....	77
6.1.2.	Ergebnisse der Vortests: Bandschlingen.....	77
6.1.3.	Ergebnisse der Vortests: Gurte .....	78
<b>6.2.</b>	<b>Ergebnisse der Haupttests .....</b>	<b>78</b>
6.2.1.	Zusammenhang zwischen Alter und statischer Reißfestigkeit .....	78
6.2.2.	Einfluss des Alters auf die statische Reißfestigkeit von Gurten .....	79
6.2.3.	Verbindungsmittel .....	80
<b>6.3.</b>	<b>Einfluss der Lastbiegewechselzahl .....</b>	<b>82</b>
6.3.1.	Methode .....	82
6.3.2.	Zerreitest:.....	82
6.3.3.	Testobjekt .....	83
6.3.4.	Testaufbau .....	84
6.3.5.	Temperaturmessung.....	84
6.3.6.	Unterschiedliche Lasten .....	85
6.3.7.	Halbstatisches Seil (Mammut Performance) .....	85
6.3.8.	Dynamikseil.....	86
6.3.9.	Dynamikseil Beal (verklebter Kern) .....	88
6.3.10.	Mikroskopische Untersuchung von Seilkernen.....	90

6.4.	Interpretation der Ergebnisse aus dem Lastbiegewechselfest .....	91
6.5.	Vergleich mit realer Situation .....	92
6.5.1.	Einfluss von Batteriesäure .....	94
7.	<b>Bewertung der Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>95</b>
7.1.	Kritische Bewertung von Materialtests .....	95
7.2.	Wie schwach ist der „Schwarze Schwan“? .....	98
7.3.	Lastannahmen und Sicherheitsfaktor (Betriebskoeffizient) .....	98
7.4.	Schlussfolgerung aus dieser Arbeit .....	101
7.5.	Kritische Würdigung der Ablegekriterien .....	104
7.6.	Kritische Würdigung der eigenen Hypothesen .....	108
7.7.	Implikationen für die Praxis .....	109
7.8.	<b>Weiterführende Forschung .....</b>	<b>109</b>
7.8.1.	Soziologische bzw. psychologische Untersuchungen .....	110
7.8.2.	Wirtschaftswissenschaftliche Untersuchungen .....	110
7.8.3.	Zerstörungsfreie Tests .....	110
7.8.4.	Ausschalten der Reibung im Karabiner .....	110
7.8.5.	Vergrößerung des Radius .....	110
7.8.6.	Langsameres Tempo .....	111
7.8.7.	Einfluss von Sicherungs- und Abseilgeräten .....	111
7.8.8.	Dehnung .....	111
7.8.9.	Echte Dauerschwingfestigkeit von PSA .....	111
7.9.	<b>Epilog: Wissenschaftskritische Betrachtungen .....</b>	<b>111</b>
8.	<b>Literatur .....</b>	<b>114</b>
9.	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>118</b>

# 1. Vorwort und persönlicher Zugang

## 1.1. Vorwort

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Ablegereife von textilen Materialien. Textile Materialien sind zentrale Bestandteile von Persönlicher Schutzausrüstung gegen Absturz (PSA): Seile, Gurte, Verbindungsmittel, Sicherungsschlingen ergänzen metallische Teile (Karabiner usw.). Sie werden als wesentliche und sicherheitskritische Materialien im Outdoor-Bereich eingesetzt.

Dabei halten sie großen Belastungen stand und können wiederholt eingesetzt werden. Allerdings können sie nicht bedenken- und grenzenlos eingesetzt werden, ohne die Sicherheit der Nutzer zu gefährden: Sie müssen nach bestimmten Kriterien ausgeschieden werden (Ablegereife), weil sonst die Gefahr des Versagens und damit eines Unfalls mit schweren Folgen inklusive Tod droht - – unfallkausal oder eine Erhöhung der Folgen bewirkend. Wie in dieser Arbeit gezeigt wird, sind die dafür herangezogenen Kriterien teilweise unklar und basieren nicht auf empirischen Fakten. Ein Beispiel ist die altersbedingte Ablegereife: Die Hersteller legen fest, nach wie vielen Jahren die Materialien in jedem Fall abgelegt werden müssen. In einschlägigen Regelwerken, im Allgemeinen in den Euronormen, wird festgelegt, dass sich vor allem der kommerzielle Nutzer an diese Angaben zu halten hat. Allerdings halten sich zahlreiche Nutzer nicht daran. Sie nutzen PSA wesentlich länger, ohne dass es zu Versagensfällen kommt. 20 Jahre alte Seile zu verwenden ist gebräuchliche Praxis (Hellberg & Semmel, 2010), die von den Herstellern bestimmte zeitliche Ablegereife liegt hingegen zwischen 5-10 Jahren bei mäßiger Nutzung (siehe Kap. 3.6).

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen annehmen, dass die Forderung, Seile und Gurte nach einem bestimmten Zeitraum auszuscheiden, nicht auf einer tatsächlichen Gefährdung basiert: Sie halten wesentlich länger als in den Regeln vorgegeben (Schubert, 2000).

Regelmäßig werden somit, den Herstellerangaben folgend, unbenutzte und möglicherweise voll einsatzfähige Gegenstände zerstört. Dies ist aus Nachhaltigkeitsgründen bedenklich, hat aber auch Auswirkungen auf die Sicherheit: Wenn Geld unnötigerweise für neue Ausrüstung ausgegeben wird, fehlt es möglicherweise in wirklich sicherheitsrelevanten Bereichen.

Andererseits wird auch in dieser Arbeit aufgezeigt, dass es PSA-Teile gibt, die nicht die notwendigen Anforderungen erfüllen und vor Erreichung der Ablegereife versagen: Bandschlingenmaterial reißt zum Beispiel bei normaler Benützung, auch ohne Sturzeinwirkung (Bauernfeind & Patterer, 2015).

Diese Arbeit bietet wissenschaftliche Grundlagen für Handlungsanleitungen betreffend die Ablegereife.

## **1.2. Persönlicher Zugang**

Ich bin in einer Bergsteigerfamilie aufgewachsen. „Mit Seil und Haken alles zu wagen, hängen wir in steiler Wand“ lautet ein uraltes Bergsteigerlied und hat meine Kindheit begleitet. Seile, Gurte und Schlingen haben mein Leben begleitet, oft das Überleben ermöglicht.

Später habe ich dieses Hobby zum Beruf gemacht: Als Bergführer. Dann habe ich Outdoor-Trainings entdeckt, habe begonnen Seilgärten zu bauen. Seit 8 Jahren beschäftige ich mich als Seilgarteninspektionsstelle und Gerichtssachverständiger auch intensiv mit den Normen.

In den letzten Jahren ist mir immer unangenehmer die Inkongruenz zwischen dem wirklichen Versagen bzw. Nicht-Versagen von Seilen und Gurten aufgefallen und den Ablegekriterien bzw. den Industrienormen.

Als Inspektionsstelle und Gutachter für PSA muss ich entscheiden: „Dieses Seil, dieser Gurt hat die Ablegereife überschritten, gemäß Norm muss dieses Material ausgeschieden werden, obwohl es keine Anzeichen von Verschleiß aufweist und voll funktionsfähig ist“. Das bedeutet: Material, das noch jahrelang ohne Beeinträchtigung der Sicherheit verwendet werden könnte, muss weggeworfen werden.

Kriterien für die Entscheidung herauszuarbeiten, Teile weiterzuverwenden oder abzulegen, ist eine digitale Entscheidung in einer analogen Welt. Analog deswegen, weil die Bruchkraft eines Seils (ex ante) nicht vorhersehbar ist. Die Bruchkraft kann nur mit einer gewissen Bandbreite vorhergesagt werden. Abnützungerscheinungen eines Seils sind nicht digital einschätzbar. Irgendwann entscheidet man: Jetzt ist es genug, und kann dennoch nur (ex post) durch Zerstören feststellen, ob man richtig gelegen ist.

Mit steigendem Interesse an Nachhaltigkeit und sozialem Engagement stieg meine Motivation, diesen Sachverhalt eingehend zu untersuchen. Ich möchte etwas zur Nachhaltigkeit beitragen und die Sicherheit der Nutzer erhöhen.

Last but not least haben mich Materialtests fasziniert, seit ich in den 1970er Jahren Pit Schuberts Artikel zu Karabinertests gelesen habe (Schubert, 1969).

## 2. Forschungsfragen und Ziele

### 2.1. Forschungsfragen

Fragengruppe 1: Wie lange können textile Materialien eingesetzt werden, ohne praktisch relevant an Bruchkraft zu verlieren? Gibt es einen Zusammenhang zwischen Alter und Reißfestigkeit? Lässt sich ein zeitliches Kriterium wie „10 Jahre<sup>1</sup>“ auf empirische Belege zurückführen?

Frage 2: Durch welche Einflüsse wird die Tragfähigkeit soweit herabgesetzt, dass die Schwächung sicherheitsrelevant wird?

Frage 3: Ist es möglich, für den Nutzer einfach anwendbare, auf Fakten basierende Kriterien zu bestimmen, durch die festgelegt wird, wann PSA abgelegt werden muss?

Wenn diese Fragen beantwortet werden,

... gibt es Handlungsanleitungen für die Entscheider empirische Grundlagen für Handlungsanweisungen, nach denen PSA abgelegt werden muss.

... sind wissenschaftliche Grundlagen geliefert, um die PSA-Normen und Richtlinien an die empirischen Daten anzupassen.

### 2.2. Ziele der Arbeit

Für die am häufigsten verwendeten Materialien textiler PSA wird festgestellt, inwieweit die Bruchfestigkeit im Laufe der Zeit abnimmt, welche Einflüsse die Bruchfestigkeit der Materialien herabsetzen und woran man die Wirkung dieser Einflüsse und den Zustand der Materialien erkennen kann. Es wird eine Untergrenze der Haltekraft festgelegt und nach „Ausreißen nach unten“ gesucht. Zusätzlich werden Kriterien definiert, die durch den Nutzer einsetzbar sind. Ein Ergebnis sind Handlungsanleitungen, die sicherstellen, dass die Ablegereife nicht überschritten wird. Ein Überschreiten der Ablegereife würde bedeuten, dass die prognostizierte Bruchlast über den erwarteten Belastungen liegt.

### 2.3. Nicht-Ziele

---

<sup>1</sup> Typische Angabe zur Ablegereife in vielen Herstellererklärungen,

PSA aus Metall bzw. metallische Teile von PSA gegen Absturz unterliegt auch heute schon in den Herstellererklärungen keiner zeitlichen Ablegereife und wurde daher auch nicht in das Forschungsgebiet aufgenommen.

Gestreift wurden auch die thermischen Einflüsse, da sie eine sehr eingegrenzte Bedeutung haben (z.B. bei Reibung von Seil an Seil) sowie die chemischen Einflüsse, da hier bereits umfangreiche Literatur vorliegt. (Bürkle, 2003; Schubert, 1995)

Schlingen wurden nur in geringer Zahl untersucht, da ausreichend Belege für ihre Unzuverlässigkeit verfügbar sind (Bauernfeind & Patterer, 2015).

## 3. Theorie

### 3.1. Begriffe

#### 3.1.1. PSA – Persönliche Schutzausrüstung

Persönliche Schutzausrüstung ist in der Richtlinie 89/686/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen definiert (Rat, 1989).

Artikel 1 (2) „Für die Zwecke dieser Richtlinie gilt als PSA jede Vorrichtung oder jedes Mittel, das dazu bestimmt ist, von einer Person getragen oder gehalten zu werden, und das diese gegen ein oder mehrere Risiken schützen soll, die ihre Gesundheit sowie ihre Sicherheit gefährden können“ (Rat, 1989, p. 4).

Diese Richtlinie ist in allen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union verpflichtend national umzusetzen.

Diese Arbeit ist auf *textile* PSA gegen Absturz, also Gurte, Seile und Schlingen aus Polyamid beschränkt.

#### 3.1.2. Ablegereife

Dieser Begriff ist unklarer definiert. Eine allgemeine Definition konnte nicht gefunden werden. Auf Wikipedia findet man dazu:

**Ablegereife** bei Ladungssicherungs- und Anschlagmitteln bedeutet, dass „festgelegte Verschleißmerkmale erreicht worden sind und das Sicherungsmittel deshalb nicht mehr verwendet werden darf“. (Wikipedia, 2014)

In der Ladungssicherung und Anschlagtechnik ist die Ablegereife ein Fachausdruck, der für Sicherungsmittel verwendet wird, die kein zeitliches Ablaufdatum besitzen, sondern so lange genutzt werden dürfen, bis die in der entsprechenden Norm beschriebenen Verschleißgrenzen erreicht worden sind (DIN, 2001).

Im Zusammenhang mit PSA (Rat, 1989) oder auch mit Stahlseilen (DIN, 2013b) wird dieser Begriff ganz allgemein für den Zustand oder Zeitpunkt verwendet, ab dem aus Sicherheitsgründen ein Teil nicht mehr verwendet wird.

In den untersuchten Normen wird der Begriff Ablegereife zwar verwendet, aber nicht definiert. Die untersuchten Industrienormen<sup>2</sup> weisen keine Definition für Ablegereife auf, sondern lediglich Bedingungen, unter denen sie eintritt.

Die Ablegereife tritt bei Spanngurten unter folgenden Bedingungen ein: Garnbrüche oder Einschnitte von mehr als 10 %, Beschädigungen der Verbindungen (Nähte), Verformung durch Wärmeeinfluss, fehlendes oder unlesbares Kennzeichnungsetikett, Schäden durch Einwirkung von aggressiven Chemikalien. (DIN, 2001)

In der Norm für Statikseile wird für die Herstellerinformationen einschließlich Gebrauchsanleitung gefordert:

„... erwartete Lebensdauer des Produkts (Verfallszeit) oder eine Angabe, wie der Benutzer die Lebensdauer bestimmen kann“ (DIN, 1998, p. 11).

Hier werden weitere Begriffe verwendet, die nicht definiert sind: Verfallszeit und Lebensdauer.

Wie gezeigt gibt es mehrere Begriffe, die als Synonym für Ablegereife bzw. die Zeitspanne bis zur Ablegereife verwendet werden:

### 3.1.3. **Alterung**

In den einschlägigen Industrienormen wird der Begriff Alterung im Zusammenhang mit ähnlichen Begriffen<sup>3</sup> verwendet, die nicht definiert werden.

Hier ein Auszug aus einigen Normen:

In der Richtlinie 89/686/EWG des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen wird festgelegt:

Können die von dem Hersteller für die neuen PSA angestrebten Leistungen durch **Alterung** zugegebenermaßen spürbar beeinträchtigt werden, so ist das Herstellungsdatum und/oder, wenn möglich, das **Verfalldatum** unauslöschlich und eindeutig auf jedem Exemplar oder austauschbaren Bestandteil der in den Verkehr gebrachten PSA sowie auf der Verpackung anzugeben.

...

Kann der Hersteller keine präzisen Angaben über die **Lebensdauer** einer PSA machen, so hat er in seiner Informationsbroschüre alle zweckdienlichen

---

<sup>2</sup> Eine Liste der von mir zitierten Normen siehe DIN im Literaturverzeichnis

<sup>3</sup> Sie sind im Folgenden fett hervorgehoben

Angaben aufzuführen, die dem Käufer oder Benutzer die Möglichkeit geben, eine unter Berücksichtigung des Qualitätsniveaus des Modells und der tatsächlichen Bedingungen der Lagerung, Verwendung, Reinigung, Überprüfung und Wartung in der Praxis plausible **Verfallzeit** zu bestimmen. (Rat, 1989, p. 17)

(Hervorhebungen durch den Verfasser).

Der Begriff „Alterung“ wird hier nicht ausreichend definiert. In der kommentierten Version vom 12. April 2010 findet man: “The ageing factors influencing the performance of the PPE that need to be taken into account are the effects of time, environment and use”. (Commission, 2010, p. 54)

Aus diesem Satz geht nicht hervor, was Alterung ist, sondern nur durch welche Faktoren Alterung beeinflusst wird. Das Wort „beeinflussen“ beinhaltet die Möglichkeit, dass diese Faktoren auch die Lebensdauer verlängern – was paradox ist.

Die EN 354 (Verbindungsmittel) fordert für die Herstellerinformationen: „ ... die **Gebrauchsdauer** des Produktes und Empfehlungen/Angaben über mögliche Reduzierungen der **Lebensdauer** ...“ (DIN, 2010)

Der Begriff Alterung kommt hier nicht vor.

In den Normen für Bergsteiger (z.B. für Seile, Bandmaterial, Reepschnur oder Schlingen) gibt es zusätzlich zur „**Lebensdauer** des Produktes oder wie diese abzuschätzen ist“ noch den „Einfluss von Lagerung und **gebrauchsbedingter Alterung**“, aber auch die ist nicht definiert. (DIN, 2007a), (DIN, 2007b) (DIN, 2007), (DIN, 2012a)

Bei Falldämpfern findet die Alterung hingegen keine Erwähnung, lediglich die bekannte Formulierung „Lebensdauer des Produktes und wie diese abzuschätzen ist“ (DIN, 2011a).

Im Gegensatz zu diesen Normen formuliert die Norm für Statikseile: Hier wird im Anhang auf die PSA-Richtlinie verwiesen „Die folgenden Abschnitte dieser Europäischen Norm unterstützen wahrscheinlich Anforderungen des Anhangs II der Richtlinie 89/686/EWG:“ und weiter: „PSA, die einer **Alterung** ausgesetzt sind“ wird im Kapitel 7 unterstützt. Nicht nachvollziehbar ist das Wort „wahrscheinlich“, denn im Kapitel 7 „ Herstellerinformation“ findet man tatsächlich nichts über Alterung sondern nur „erwartete **Lebensdauer** des Produkts (**Verfallszeit**) oder eine Angabe, wie der Benutzer die Lebensdauer bestimmen kann;“. (DIN, 1998).

Bei Verbindungsmitteln muss angegeben werden:

„falls Angaben darüber vorhanden sind, die zu erwartende **Gebrauchsdauer** des Verbindungsmittels (Verfallsdatum), oder wie diese bestimmt werden kann“; ... (DIN, 2010). Daraus kann geschlossen werden, dass die Gebrauchsdauer entfallen kann, wenn keine Angaben darüber vorhanden sind.

Ein Blick in eine Norm eines anderen Fachgebietes: In der Deutschen Industrienorm DIN 50035 „Begriffe auf dem Gebiet der Alterung von Materialien – Polymere Werkstoffe – findet man eine Definition:

### 2.1 **Alterung**

Gesamtheit aller im Laufe der Zeit in einem Material irreversibel ablaufenden chemischen und physikalischen Vorgänge.

ANMERKUNG 1 Für Prüfzwecke wird eine **Alterung** oft künstlich herbeigeführt.

(DIN, 2012, p. 3)

Hier werden sämtliche Vorgänge inkludiert, auch mechanische Beanspruchungen.

### 3.1.4. **Vorschlag einer Definition für die Begriffe Alterung und Ablegereife**

Wie gezeigt wurde findet man in den einschlägigen europäischen Normen und technischen Regelwerken zu PSA die Begriffe **Alterung**, **Verfallzeit**, **Verfalldatum**, **Lebensdauer**, **Gebrauchsdauer**, **gebrauchsbedingte Alterung**, ohne dass sie definiert werden und ohne, dass eine Systematik erkennbar wäre.

Mangels Definitionen werden hier folgende Definitionen angeboten:

Ablegereife ist ein Zustand oder ein Datum (zumeist abhängig vom Herstellungsjahr), gemäß dem eine PSA aus dem Betrieb genommen werden sollte. Der Zustand wird durch die Ablegekriterien beschrieben. Solche sind z.B. Arten der Abnutzung, Überbelastung, Einfluss von Chemie oder Hitze, Alter usw.

Alterung ist der Prozess, die Summe aller Einflüsse im bestimmungsgemäßen Gebrauch, die zur Schwächung des Materials führen.

Der Begriff „bestimmungsgemäß“ schließt aus, dass Schwefelsäure oder ein Messerschnitt unter den Begriff Alterung fallen. Es sei denn, die PSA wird für diesen Zweck in Verkehr gebracht.

Es empfiehlt sich auch eine Einschränkung im Begriff:

Nutzungsbedingte bzw. gebrauchsbedingte Alterung (alternativ: Verschleiß) ist der Prozess, die Summe aller Einflüsse, die durch die bestimmungsgemäße Benutzung (den Gebrauch) zur Schwächung des Materials führen.

Hilfreich könnte die Unterscheidung in innere Alterungsursachen und äußere sein. Die inneren sind durch die Instabilität des Materials bedingt, also durch unvollständige Kondensation oder durch Nach-Polykondensation, (Nach-)Polymerisation, Autooxidation oder Polyaddition. Es kann aber auch Weichmachereextraktion sein (Affolter, o.J.).

Unter die äußeren Alterungsursachen könnte man die Schädigung durch Mikroorganismen anführen, jedoch wird hier die Grenze zu schädigenden Einflüssen fließend (Affolter, o.J.).

Verfallzeit ist der Zeitraum bis zur Ablegereife

Verfalldatum ist der Zeitpunkt der Ablegereife

Lebensdauer ist die gesamte Zeitdauer ab Produktion bis zur Ablegereife.

Gebrauchsdauer ist die Zeitdauer ab Inbetriebnahme bis zur Ablegereife.

Lebensdauer = Gebrauchsdauer + Lagerung

Verschleiß (gemäß Online-Duden): „durch langen, häufigen o. ä. Gebrauch verursachte starke Abnutzung, die den Gebrauchswert von etwas mindert, durch die etwas verbraucht wird“ (Anonym, 2014).

Ein weiterer Begriff ist die Schädigung, die durch nicht bestimmungsgemäße Nutzung oder Einflüsse eintritt, z.B. Kettensägenschnitt, Anflexen, Säure, Schmelzen, ...

### **3.1.5. Seile**

Seile sind ein wesentlicher Bestandteil der PSA. Sie werden in den unterschiedlichsten Konstruktionen hergestellt. Hier sind die gebräuchlichsten Konstruktionen angeführt:

#### **1. Kernmantelseil**

Der Kern ist im Allgemeinen das wesentliche lasttragende Element und besteht üblicherweise aus parallelen Elementen, die zusammengezogen und in einzelnen oder mehreren Schichten zusammengedreht sind, oder

aus geflochtenen Elementen. Der Mantel ist im allgemeinen geflochten und schützt den Kern z. B. gegen Abrieb und UV-Schädigungen“ (DIN, 1998).

Die meisten Seile der PSA sind Kernmantelkonstruktionen, aber nicht alle.

## 2. dynamisches Bergseil

„Seil, das als ein Glied der Sicherungskette in der Lage ist, den Sturz eines Bergsteigers oder Kletterers bei einer begrenzten maximalen Fangstoßkraft aufzufangen“ (DIN, 2012a).

Dieses Seil wird als Kletterseil zum Bergsteigen genommen, da dort im Allgemeinen mit Stürzen gerechnet werden muss.

## 3. Kernmantelseil mit geringer Dehnung

„Ein Textilseil aus einem von einem Mantel umschlossenen Kern zur Benutzung durch Personen bei seilunterstützten Arbeiten einschließlich aller Arten der Arbeitsplatzpositionierung und des Rückhaltens, bei der Rettung und in der Höhlenforschung“ (DIN, 1998).

Diese Seile werden im alltäglichen Sprachgebrauch als halbstatische oder statische (Statik-) Seile bezeichnet.

### **3.1.6. Toprope**

„Toprope“ ist kein Gegenstand sondern eine Sicherungsvorrichtung zum Zwecke der Personensicherung, bei der ein Seil am oberen Punkt in einem Karabiner umgelenkt wird. Die sichernde Person steht am Boden und bedient das Sicherungsgerät im einen Seilstrang, die kletternde Person ist am Seilende des anderen Stranges immer von oben gesichert. (Livesey, 1978)

Im Lastfall wird die kletternde Person aufgefangen und bis zum Boden abgelassen. Der Lastfall tritt ein, wenn die Person den obersten Punkt (Umlenkkarabiner) erreicht hat oder vorher das Klettern beendet.

Bei sachgemäßer Sicherung kann es zu keinen nennenswerten Sturzhöhen kommen. (Unterscheidung zu Vorstiegsklettern, wo man über die Sicherung hinaussteigt und somit größere Stürze möglich sind).(Harder & Elsner, 1987)

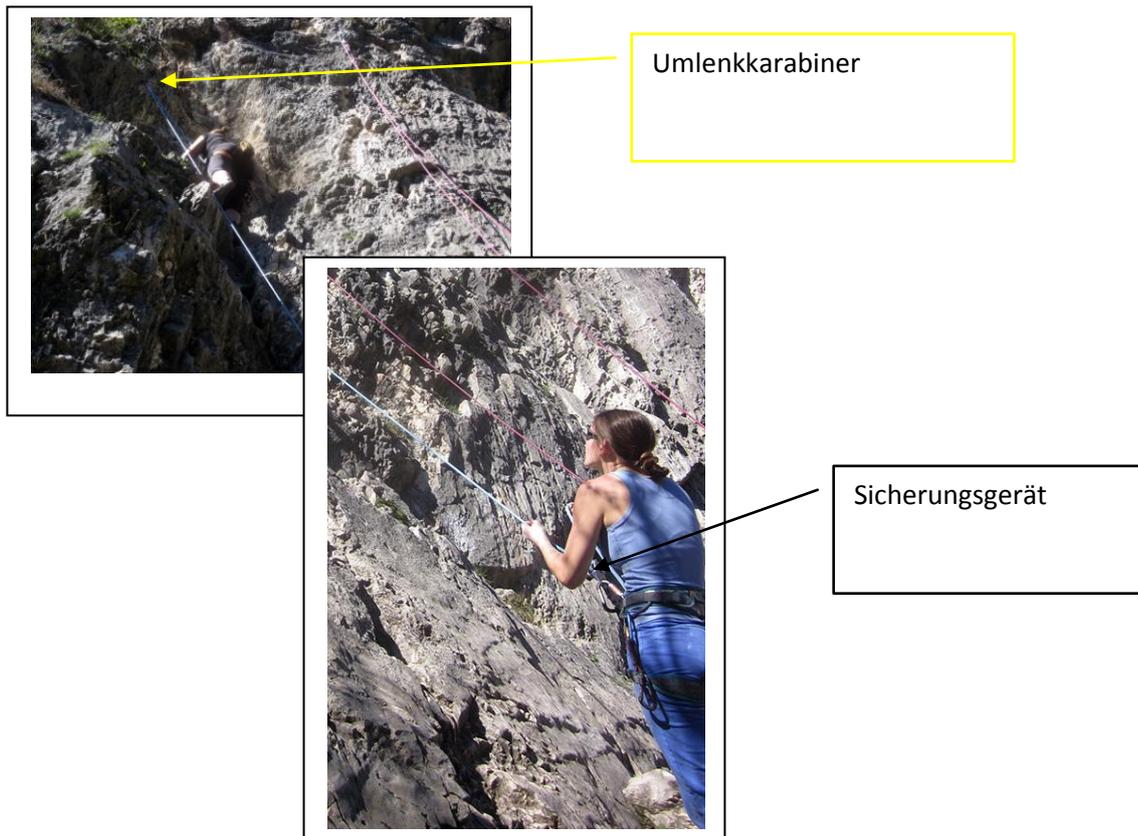


Abbildung 1 Toprope

### 3.1.7. Sicherheitsfaktor bzw. Betriebskoeffizient

„Der **Sicherheitsfaktor**, auch *Sicherheitszahl* genannt, gibt an, um welchen Faktor die Versagensgrenze eines Bauwerks, Bauteils oder Materials höher ausgelegt wird, als es durch theoretische Ermittlung wie zum Beispiel Statische Berechnung sein müsste“ (Wikipedia, 2015)

Der Begriff Sicherheitsfaktor soll durch den Begriff **Betriebskoeffizient** ersetzt werden (Zeller, 2014).

Der Eurocode 1990 „Grundlagen der Tragwerksplanung“ verwendet den Ausdruck **Sicherheitsbeiwert**, ohne ihn zu definieren. Dort ist aber näher beschrieben:

„(10)P Wenn keine Teilsicherheitsbeiwerte vorliegen, die statistisch abgeleitet sind, sind auf der sicheren Seite liegende Werte zu verwenden.

(4) Es kann auch zweckmäßig sein, die Bemessungswerte auf der sicheren Seite direkt festzulegen“ (DIN, 2002).

### 3.2. Zum Grundmaterial Polyamid

Organische Materialien (Baumwolle, Seide, Hanf) werden heutzutage nicht mehr für PSA verwendet. Die erste Synthesefaser für PSA war Polyamid, bekannt unter den Handelsnamen Nylon und Perlon. In weiterer Folge wurden auch andere Stoffe eingesetzt (Polyethylen und Polypropylen), in neuester Zeit kommen vermehrt hochfeste Synthesefasern zum Einsatz (Becker, 1998):

- TLCP (Thermotropic Liquid Crystalline Polymers, bekannt unter dem Handelsnamen Vectran)
- Aromatische Polyamide (Aramid, Handelsname Kevlar),
- HPPE (High Performance Polyethylene, bzw. HMPE, hochmodulares Polyethylen, Handelsname Dyneema, Spectra oder Certran)

Deren Vorteile liegen vorwiegend in der höheren Reißfestigkeit, so hat die Dyneemafaser z.B. eine um ca. 40 % höhere Zugfestigkeit als Aramid und eine fast fünffache Zugfestigkeit von Polyamid. (Gelhaar & Meyer, 1998)

Seit den 1950er Jahren in der PSA-Industrie eingesetzt, ist Polyamid auch noch heute einer der häufigsten Grundstoffe.

Die Vorteile gegenüber den anderen Kunstfasern ist die hohe Scheuerfestigkeit und Dehnung und somit die Aufnahme von kinetischer Sturzenergie (Eyerer, Elsner, & Hirth, 2008).

Der häufigste Grundstoff für textile PSA ist Polyamid 6. Hier sind einige physikalische Eigenschaften angeführt:

Tabelle 1: Physikalische Eigenschaften von Polyamid 6 nach Elsner et al

<b>Eigenschaft</b>	<b>Einheit</b>	<b>Wert</b>
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	1,13
Wasseraufnahme	%	2,5-3,5
Streckspannung/Reißfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	40
Reißdehnung	%	200
E-Modul	N/mm <sup>2</sup>	1400
Gebrauchstemperatur ohne mechanische Beanspruchung kurzzeitig	°C	140-180
dauernd	°C	80-100
Schmelztemperatur	°C	220

(Elsner, Eyerer, & Hirth, 2004, p. 672)

Allerdings ist Polyamid instabil gegenüber bestimmten Einflüssen (UV, Ozon, Licht, Sauerstoff usw.), weswegen das Grundmaterial mit Stabilisatoren versehen wird: Lichtstabilisatoren, Radikalfänger, Quencher usw (Forsström & Terselius, 2000).

Über das Grundmaterial liegt umfangreiche Literatur über Eigenschaften vor, weswegen hier auf eine genaue Beschreibung verzichtet wird. Zum Beispiel (Becker, 1998):

Das Grundmaterial kann jedoch nicht unabhängig von der Anwendung im Seilverbund gesehen werden. Der Seilverbund (Flechtart, Kernmantelkonstruktion, Behandlung während der Produktion) verändert die Eigenschaften des Grundmaterials in Bezug auf die Anwendung, insbesondere bei Biegevorgängen aber auch in Bezug auf Dehnung und Reißfestigkeit.

### 3.3. Konstruktionsarten

Textile PSA aus Polyamid wird geflochten. Die Art des Geflechts hat deutliche Auswirkungen auf die Eigenschaften eines Seils, eines Gurtes, einer Bandschlinge (DIN, 2007).

#### 3.3.1. Konstruktion von Seilen

Kletterseile sind seit der Erfindung der Polyamidseile in Kernmantelkonstruktion geflochten. Dabei schützt ein dicht geflochtener Mantel einen Kern, der in erster Linie der Kraftaufnahme dient, vor Umwelteinflüssen, wie UV-Strahlung (die die Fasern schwächt, auch wenn sie UV-stabilisiert sind), aber auch vor mechanischen Beschädigungen durch Abrieb (DIN, 2012a).

Drei Konstruktionsprinzipien werden in dieser Arbeit unterschieden:

1. Die „klassische“ Konstruktion, bei der der Kern aus einer Anzahl (12-156) Litzen besteht
2. Geflochtener Kern, bei der der Kern aus einem Stück besteht,
3. Konstruktionen, bei denen Kern und Mantel verbunden sind (geklebt oder geflochten).

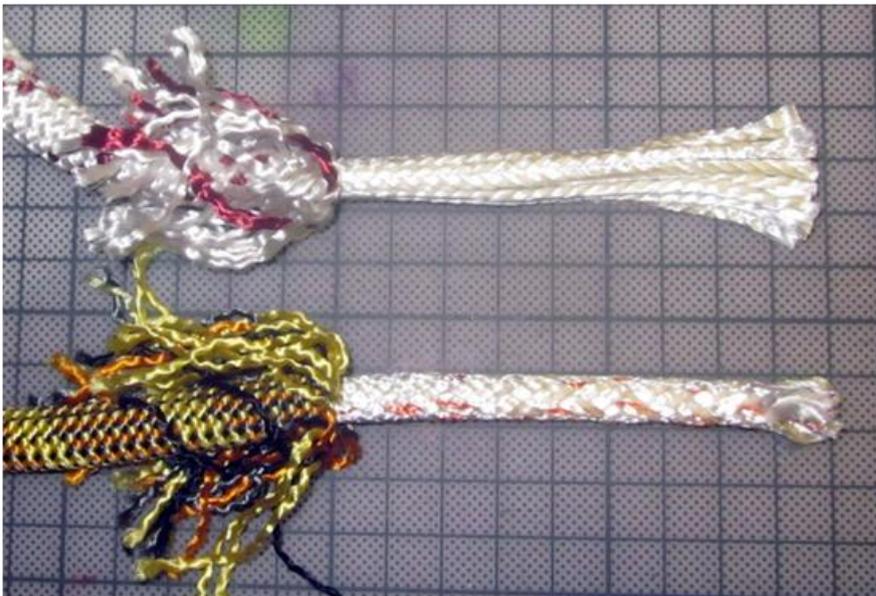


Abbildung 2: "Klassische Konstruktion (oben) und geflochtener Kern (unten)



**Abbildung 3: Geklebter Kern. Sichtbar sind Reste des Klebestoffs am Mantel, der die Litzen des Kerns mit dem Mantel verbindet.**

Wie in Kapitel 4.1.9 ausgeführt wird, hängt die Haltbarkeit im Lastbiegewechsel von der Flechtart des Kerns bzw. der Verbindung zwischen Kern und Mantel ab.

Hier muss erwähnt werden, dass die Zahl der unterschiedlichen Konstruktionen unüberschaubar ist. Baumpflegeseile, Seile der Feuerwehr usw. haben jeweils unterschiedliche Macharten (DIN, 2010a).

Diese Arbeit nimmt die gebräuchlichsten Konstruktionen der Seile aus dem alpinen Bereich (Bergsteigen, Höhlenforschen, ...).

### **3.3.2. Gurte und Bänder (Konstruktion)**

Diese werden im Allgemeinen<sup>4</sup> nicht in Kernmantelkonstruktion hergestellt sondern als Band oder Schlauch geflochten (DIN, 2007). Der tragende Teil liegt außen. Daher wirken sich Umwelteinflüsse und Abnutzung direkt auf die tragenden Fasern aus. Das

---

<sup>4</sup> Ausnahme sind neue Konstruktionen von Bandschlingenmaterial, bei denen ein Mantel aus Polyamid einen Kern aus Aramid schützt.

erklärt, warum es zu Unfällen mit Bandschlingen gekommen ist, die längere Zeit der UV-Strahlung und/oder Abnutzung ausgesetzt waren (Bauernfeind & Patterer, 2015).

Gurte und Schlingen, die nur bei persönlichem Gebrauch verwendet werden und danach sachgerecht gelagert sind, werden durch UV nicht ausreichend geschädigt (Schubert, 1995).

### **3.4. Einflüsse auf Entscheidungen zur Ablegereife**

Entscheidungen im Bereich PSA können auf unterschiedlichen Ebenen getroffen werden. Eine Analyse dieser Entscheidungen nach dem handlungstheoretischen Ansatz (Nitsch, 1986) wäre ein interessantes Forschungsfeld, umso mehr, als handlungsorientierte Ansätze ein zentraler Bestandteil des Ansatzes der IOA sind (IOA, 2014). Einige Aspekte konnten im Zuge der Arbeit nur gestreift werden, so z.B. das Entwicklungspostulat (Kap. 3.4.1) oder das Systempostulat (Kap. 3.4.6.).

#### **3.4.1. Historische Einflüsse auf Entscheidungen zur Ablegereife**

„Wir entwerfen unser Handeln auf der Grundlage unserer Geschichte und der damit verbundenen Erwartung an die Zukunft. Das wiederum ist untrennbar damit verbunden, dass wir in eine ganz bestimmte kulturhistorische Entwicklung hineingeworfen sind, die es uns ermöglicht und andererseits auch aufzwingt, so zu tun, wie wir tun“ (IOA, 2014, p. 18).

Ein Verständnis von der Anwendung von Ablegekriterien kann demnach nur vor der (kultur)historischen Entwicklung hergestellt werden. Deswegen wird hier darauf eingegangen.

Diese Arbeit kann keine historische Aufarbeitung leisten. Es wird versucht, die wesentlichen handlungsleitenden Eckpfeiler herauszuarbeiten.

In vielen Publikationen aus dem ausgehenden 19. und dem frühen 20. Jahrhundert wird deutlich, dass der PSA mehr Bedeutung beigemessen wird, als nur ein Gegenstand zu sein. Man war diesem Gegenstand schicksalhaft verbunden:

„Das Seil macht aus zwei Menschen – ein Fleisch – ein Wesen. Es wird fast zu einem lebendigen Organ zwischen den beiden, mit dem behutsam umgegangen werden muss. Denn es ist oft nur der Faden, an dem das Leben des einen oder aller beider“ (Fendrich, 1922, p. 69).

Dies scheint bis in die heutige Zeit zu wirken, wo der Begriff „Seilschaft“ eine Metapher für Gruppierungen von Personen ist, die ihr berufliches oder anderweitiges Vorankommen gegenseitig fördern

Die Bedeutung des Seils wird dann deutlich, wenn die Zuverlässigkeit nicht gegeben ist: Bis in die 1960er Jahre rissen Seile manchmal bei normalem Gebrauch, sogar ohne Sturzeinwirkung, beim gewöhnlichen Abseilen (Kornacher, 1954).

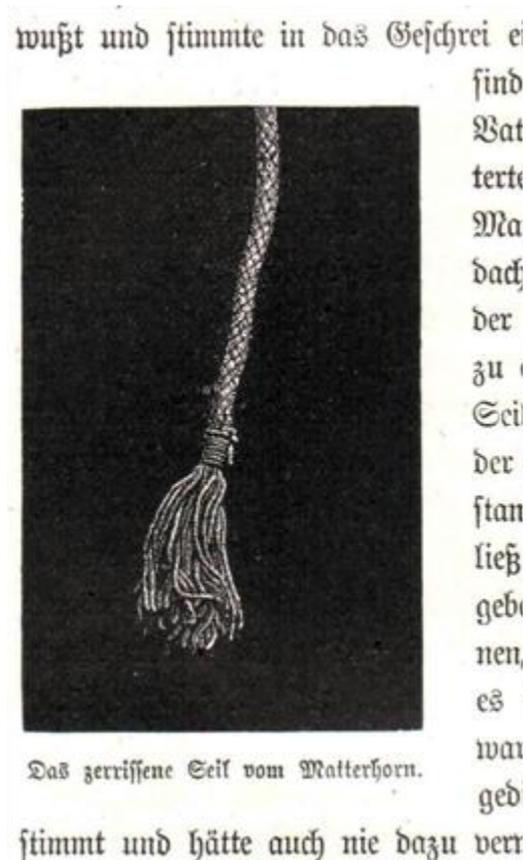


Abbildung 4 Gerissenes Seil am Matterhorn (Nachbildung). (Whymper, 1922, p. 486)

Spätestens seit der Katastrophe am Matterhorn am 14. Juli 1865, als im Zuge der Erstbesteigung 4 von 7 Bergsteiger wegen eines gerissenen Seils abstürzten<sup>5</sup>, ist der Begriff des Seilrisses im Bewusstsein der Bergsteiger verankert. Damals wiesen Seile eine geringe Reißfestigkeit auf. Seile bestanden aus Naturfasern, (zumeist aus Hanf), die bei Feuchtigkeit verrotten. Seilrisse waren deshalb früher keine Seltenheit (Schubert, 2000). Das Seil, das am Matterhorn riss, wurde vermutlich mit kaum mehr als 5 kN belastet und riss „in der Luft“ (Whymper, 1922, p. 486), also ohne

<sup>5</sup> Es ist nicht nachzuvollziehen, ob das Seil, wenn es gehalten hätte, den Absturz eines Teils der Gruppe verhindern hätte können oder ob der Seilriss den Absturz Aller verhindert hat. Im kollektiven Bewusstsein der Bergsteiger hat sich der Seilriss als Absturzursache eingebrannt.

Scharfkanteneinwirkung. Es ist bemerkenswert, dass es damals zu einem Gerichtsprozess (wenngleich mit Freisprüchen) kam. Zusätzlich wurde einer der Überlebenden, Peter Taugwalder, beschuldigt, das Seil durchgeschnitten zu haben (Whymper, 1922, p. 493). Dies ist ein Beispiel dafür, dass von Beginn des modernen Alpinismus an Hypothesen im Zusammenhang mit Seilversagen aufgestellt wurden, die nicht durch empirische Befunde bestätigt wurden bzw. auf ihnen basieren.

Bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts war die Technologie noch nicht ausgereift, es gab Seilrisse trotz bestimmungsgemäßer Nutzung, ohne die bekannten Ursachen (Kanteneinfluss, Säure, Hitze). Das Wissen um Material, Haltbarkeit, Wartung und Ablegereife begann sich vor allem in den ersten beiden Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts zu entwickeln. Die publizierten Informationen zu Beginn des Jahrhunderts waren noch dürftig: Es wird zwischen kunstgewebten und gedrehten Seilen unterschieden (die Belastungsfähigkeit ist bei kunstgewebten Seilen geringer) und es werden Seile aus bestem Manilahanf empfohlen (König, 1902, p. 25).

In den zahlreichen Werken, die in den 1920er Jahren erschienen sind, ist bereits eine wesentlich differenzierte Betrachtungsweise festzustellen.

Frühzeitig wurde gefordert, Seile zu testen. 1929 wurde im Standardwerk von Karl Prusik („Ein Wiener Kletterlehrer“) eine Tabelle von Festigkeitswerten veröffentlicht, wo Hanfseile unterschiedlicher Machart und unterschiedlichen Materials getestet wurden. Es ist zwar nicht nachvollziehbar, wie die Testanlage aufgebaut war, aber es wird deutlich, dass bei Belastung mit 75 kg von 10 Proben 3 gerissen sind, eine angerissen.



... was die Frage aufwirft, was „rechtzeitig“ ist – dies festzustellen ist auch das Ziel dieser Arbeit.

Auch die ökonomische Komponente, Seile aus Kostengründen über die Ablegereife hinaus zu verwenden, wurde explizit erörtert („der hohe Preis eines Seiles berechtigt nicht dazu, dasselbe über seine Gebrauchstauglichkeit hinaus zu benützen“ (ebenda).

Hier wird bereits die ökonomische Komponente ins Spiel gebracht, die auch heutzutage eine Rolle spielt. Nicht selten wird bei Unfällen durch Materialversagen unterstellt „man würde an der falschen Stelle sparen“ (Siehe Abbildung 7)

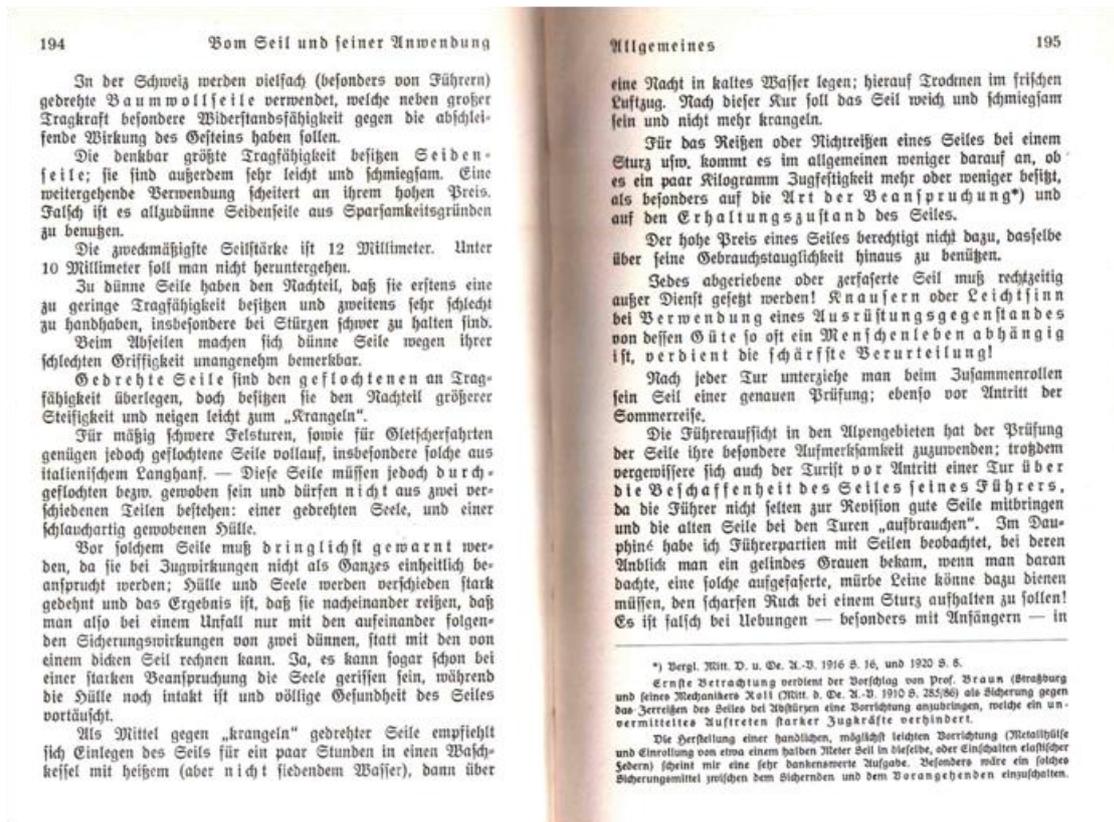


Abbildung 6 Ablegekriterien in den 1920er Jahren (Zsigmondy & Paulcke, 1927)

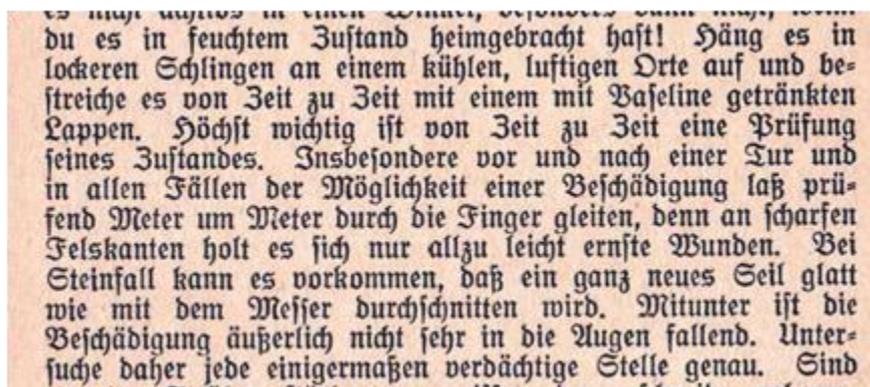


Abbildung 7: Prüfung des Seils (Nieberl, 1922, p. 54)

Zsigmondy verweist dabei auf Franz Nieberls „Das Klettern im Fels“, wo genau beschrieben wird, wie die Prüfung des Seils zu erfolgen hat. (Nieberl, 1922, p. 54).

Diese Technologie wurde bis in die 1950er Jahre unverändert verwendet (Engländer, 1959).

Nur 10 Jahre nach diesen Publikationen wurden von einem gewissen Herrn Carothers bei DuPont in den USA Versuche mit Polyamid mit dem Ziel vorgenommen, eine spinnbare synthetische Faser herzustellen. Das Produkt erhielt den Handelsnamen Nylon 66. Polyamidseile in den USA heißen daher Nylonseile. Typisch für die Geschichte von Erfindungen ist, dass zeitgleich ein gewisser Herr Schlack in Deutschland bei der Firma I.G. Farben ähnliche Versuche vornahm und Polyamid 6 entwickelt, das unter dem Handelsnamen Perlon auf den Markt kam. In Europa bekamen aus Polyamid hergestellte Kletterseile den Handelsnamen „Perlonseile“ (Gelhaar & Meyer, 1998, p. 513).

Bereits während des zweiten Weltkriegs wurden die ersten Perlonseile von Kletterern ausprobiert (Schließler, 1954).

Im allgemeinen Aufschwung der synthetischen Fasern nach dem zweiten Weltkrieg ergänzten viele Seilhersteller ihr Angebot mit synthetischen Kletterseilen aus Polyamid.

Die Eigenschaften von Fasern aus Polyamidmolekülen haben gegenüber denen von Hanf bei Kletterseilen enorme Vorteile. Sie weisen eine vielfache Bruchkraft auf, haben besseres Energieaufnahmevermögen und sind gegenüber Verrottung wenig bis gar nicht anfällig (Schubert, 1978).

Diese neue Erfindung hat sich nicht rasant durchgesetzt, die neuen Perlonseile haben nicht rasch die Hanfseile verdrängt. Wie zur Bestätigung des Entwicklungspostulats – hielt die Community am „bewährten“ Hanfseil fest. Ein passender Begriff für dieses Phänomen wäre „Kognitiv dissonantes Paradoxhandeln“: Etwas trotz besseren Wissens tun. Dies ist bemerkenswert, geht es schließlich um Leben und Tod, ist aber ein Beleg für die Irrationalität unserer Handlungsentscheidungen.

„Eine Kritik gegenüber etwas Neuem (was Perlon eigentlich schon lange nicht mehr ist), sollte nur hingenommen werden nach eingehender Prüfung, da es sonst allzu leicht eine Verwirrung gibt, bei der die Gefahr besteht, Menschenleben aufs Spiel zu setzen“ (Schließler, 1954).

In den 1950er Jahren tauchten bereits zahlreiche Inserate für das neue Perlonseil auf:

Geworben wurde mit der – im Vergleich zu Hanf – enormen Reißfestigkeit, jedoch war es auf Grund fehlender Standards nicht klar, welche Qualität das jeweilige Seil hatte. Deswegen wurden Kennfäden eingesetzt und „amtliche Prüfungen“ bestätigt.

**FÜSSENER PERLON-BERGSEILE MATTERHORN**

*handlich · griffig · reißfest  
zuverlässig*

lieferbar in 8, 10 und 12 mm Durchmesser

12-mm-Seile aus Stapelfaser  
1870 kg Reißfestigkeit  
73 g Gewicht je Meter

12-mm-Seile aus Faser endlos  
2180 kg Reißfestigkeit  
84 g Gewicht je Meter  
(Amtlich ermittelte Prüfungsergebnisse)

Nur echt mit grünem Kennfaden,  
blau-weißem „Matterhorn“-Etikett  
und Plombe mit Schutzmarke

**HANFWERKE FÜSSEN-IMMENSTADT AG.  
FÜSSEN**

6

*Wir bitten, bei Anfragen und Bestellungen auf unsere Zeitschrift Bezug zu nehmen*

Abbildung 8 Werbung für Polyamidseil (Füssen, 1955)

### 3.4.2. Die Entwicklung der PSA

Bis in die 1970er Jahre konnte man nicht von „Persönlicher Schutzausrüstung“ sprechen. Die verwendeten Gegenstände und Technologien waren nur teilweise für ihren Zweck geeignet. Als Sicherungstechnik wurde zumeist die Schultersicherung eingesetzt. Ausnahme war die DDR, wo die Kreuzsicherung verwendet wurde (Kind, Pankotsch, & Scheumann, 1977). Die Schultersicherung hat eine Bremskraft, die nicht viel höher als das Körpergewicht eines Menschen ist, und die Reibungshitze wird in erster Linie in den Körper des Sichernden abgeleitet. Die Anseilmethode, das Seil um die Brust zu binden hielt zwar einen Sturz, aber führte kurzfristig zum Hängetrauma, wenn man es nicht schaffte, den Körper innerhalb einer Minute zu entlasten (Kind et al., 1977).



Abbildung 9: Anseilmethode in den 1970er Jahren

Erst ab Mitte der 1970er Jahre wurde die Technologie soweit entwickelt, dass man von

„Funktionieren“ sprechen kann: Auffanggurte (Sitz- und Brustgurt, Ganzkörpergurte), die Halbastwurfsicherung, Bandschlingenmaterial, leistungsfähige Karabiner, der Abseilachter wurden damals erfunden.

Im Gegensatz zur Schultersicherung wurden am Institut für Sportwissenschaften der Universität Wien Sturzversuche durchgeführt, um die Wirkungsweise der Sicherungsmittel empirisch zu erforschen. Dabei kam es zu Unfällen mit der Schultersicherung. Auch vom Bergführerverband wurden Sturzversuche durchgeführt (Nairz, 1980).

Dennoch hielt sich die „alte Schule“ noch ein weiteres Jahrzehnt. Pit Schubert stellte 1984 fest: „Am Geiselstein ... führte die vielfach noch gebräuchliche, nicht mehr

empfehlenswerte Körpersicherung zu einem 35 m –Sturz des ... Seilzweiten“ (Schubert, 1984, p. 43).

Wie an den bisherigen Ausführungen deutlich wird, fließen Erfahrungswerte nicht in einer angemessenen Zeit in die Handlungsentscheidungen ein. Angemessen könnte man dort, wo es „um Leben und Tod“ geht, als „sofort“ bezeichnen. Die Erfahrungen zeigen aber, dass hier das Beharrungsvermögen im Bereich von ungefähr 2 Jahrzehnten liegt, bis sich eine neue Erkenntnis durchsetzt.

### **3.4.3. Die Entwicklung von Standards**

Bis zum 2. Weltkrieg waren statische Zerreißversuche zur Ermittlung der statischen Bruchlast das Hauptkriterium für die Qualitsprfung. Kletterseilen wurde nach diese Bruchlast bewertet.

In einer Tabelle wurden folgende Werte angegeben (Gleistein, 1957):

Durchmesser in mm	Festigkeit ca. Kg
12	2600
10	1800
8	1100
5	400

**Tabelle 2 Bruchlast von Kletterseilen 1957**

Unklar ist die Testanordnung, es dürfte aber nach modernen Prinzipien getestet worden sein (Schlingscheiben).

Nach dem 2. Weltkrieg begann in Frankreich Maurice Dodero mit einem dynamischen Test. Er ging davon aus, dass der statische Zerreitest, knotenfrei und ohne Kanteneinwirkung (mittels Schlingscheiben), nicht die Anforderungen von Kletterseilen widerspiegelt, da diese Stürze auffangen müssten und somit Fallenergie umwandeln. 1951 war die dynamische Fallprfungsanlage fertig entwickelt, die Versuchsanordnung als „Fallprfungsmethode von Grenoble“ bekannt (Engländer, 1959). Das „Französische Gütezeichen“ war darauf aufgebaut.

Vor dem Entwicklungspostulat ist bemerkenswert, dass diese Fallprüfung seit damals nahezu unverändert eingesetzt wird und die Kriterien trotz stark veränderter Sicherungstechnologie beibehalten wurden. Dies kann entweder ein Zeichen von

enormem Weitblick von Maurice Dodero oder ein Zeichen dafür sein, dass eine Revision dringend notwendig wäre (Schubert, 2008).

Neue Entwicklungen werden oft von der Industrie vorangetrieben. So hat die ehemalige österreichische Firma Teufelberger noch in den 1950er Jahren eine Seilprüfungskommission angeregt (ANONYM, 1957).

Dies wurde bereits 1958 umgesetzt: Die Arbeitsgruppe Sicherheit des Österreichischen Normenausschusses wurde mit der Ausarbeitung von Prüfnormen für alle Arten von PSA betraut (Engländer, 1959).

Im gleichen Jahr kam es in Kufstein zu einem internationalen Treffen von Experten aus Frankreich, Italien, Jugoslawien, Schweiz, Österreich und Deutschland, um über einen internationalen Standard zu beraten. Der daraus resultierende „Kufsteiner Vorschlag“ legt in den Grundzügen die dynamische Fallprüfung fest, wie sie auch in der gültigen Euronorm für dynamische Bergseile festgelegt ist (DIN, 2012a).

Vom handlungstheoretischen Standpunkt gesehen ist auch der höchst unterschiedliche Umgang in den unterschiedlichen Ländern interessant:

Während in Deutschland, Österreich und Frankreich konkret an Fallprüfständen intensiv geforscht wurde, heißt es über Italien (1959!):

„Seit ... 1953 wurden von Italien, das gegenüber Kunstfaserseilen eine abwartende Haltung einnahm, keine neuen Ergebnisse in der Bergseilprüfung bekannt. Die Erzeuger des bekannten Langhanfes ... sind jedenfalls bestrebt, am Markt zu bleiben“ (Engländer, 1959, p. 296). Sozialisierung in so einer Kultur der Ablehnung gegenüber Neuem kann handlungsleitend werden, wenn es um die Anpassung an neue Technologien geht. Die Vorteile der Kunstfaser gegenüber dem Hanf waren hinlänglich bekannt und belegt.

Es wird auch die uneinheitliche Rolle der industriellen Hersteller deutlich: Einerseits sind die Innovativen die Treiber bei Standards, andererseits sind diejenigen Bremser und Verhinderer, die dem technischen Fortschritt hinterherhinken und die Entwicklung von höheren Sicherheitsstandards verhindern versuchen.

In den 1970er Jahren legte Ernst Kosmath eine Forschungsarbeit vor, die den Zusammenhang zwischen der Lebensdauer eines Seils und der Anzahl gehaltener Stürze in der UIAA Fallprüfanlage (Dodero-Anlage) belegte (Schubert, 1979). Dieser Vorgang wird als „Normsturz“ bezeichnet. Dies war eine Entwicklung, die die Standards

von Kletterseilen nachhaltig beeinflusste. Seit damals ist für Kletterseile nicht mehr die statische Reißfestigkeit von Bedeutung, sondern die dynamische Leistung. In den folgenden Jahren kam es zu einer enormen Steigerung der dynamischen Leistung, bereits Ende der 1970er Jahre wurden die ersten Multisturzseile mit bis zu 12 gehaltenen Stürzen entwickelt (Schubert, 2008, p. 142).

Der Normsturz ist weitgehend unverändert in die nationalen Normen (DIN, Önorm,...) und in weiterer Folge in die entsprechende Euronorm eingeflossen. Er wird nach wie vor als wichtigstes Qualitätskriterium für Kletterseile gesehen, was man daran erkennen kann, dass für dynamische Kletterseile keine Reißfestigkeit angegeben wird (DIN, 2012a).

#### **3.4.4. Die Gründung von Normungskommissionen**

1932 fand die Gründung der UIAA, der Internationalen Vereinigung der Bergsteigerverbände, statt (Grupp, 2008, p. 167). Ein wesentliches Anliegen war die Entwicklung von Normen und Standards von Bergsteigerausrüstung. Ergebnis Mitte der 1950er Jahre kam es zur Entwicklung eines „UIAA Gütesiegels“, das auf der Basis von Tests vergeben wurde (Schubert, 1979).

Daraus entwickelten sich 1982 zuerst die DIN-Normen für Bergsteigerausrüstung und bald darauf die Önormen, und seit 1991 existiert ein Gremium, das im CEN (Europäisches Normungsinstitut) Euronormen erstellt (Schubert, 1991).

Grundsätzlich unabhängig von den UIAA- und DIN/Önormen muss man den Sicherheitskreis im DAV sehen.

An 28. Oktober 1968 hat der Deutsche Alpenverein einen Kreis extremer Kletterer eingeladen, um über die Möglichkeit einer Verbesserung der Sicherheit am Berg zu diskutieren. (Schubert, 1969) Diese Bergsteiger beschlossen noch am gleichen Tag, einen so genannten „Sicherheitskreis“ zu gründen. Anlass war ein tödlicher Unfall, was zur Schlussfolgerung führt, dass Sicherheitsmaßnahmen häufig anlassbezogen sind (Schubert, 1969).

#### **3.4.5. Diskussion der Alterung in den Normungskommissionen**

„Wenn man aber einen Fachmann fragt, wie lange nun ein Kletterseil ... verwendet werden kann, dann windet er sich entweder wie ein Wurm oder aber er schlägt den

Anfrager mit Kantenzugversuchen, Restarbeitsvermögen und Meter-Kilopond in die Flucht“ (Baumgartner, 1973, p. 35).

1972 formulierte Pit Schubert, die Untersuchung der Seilalterung in Abhängigkeit aller in der Praxis möglichen Einflussfaktoren sei eines der dringendsten Probleme des DAV Sicherheitskreises (Schubert, 1972).

Eine der ersten systematischen Untersuchungen zur Alterung von Seilen führte Peter Baumgartner, der Leiter des Wiener Arbeitskreises für Alpine Sicherheit, gemeinsam mit der Universitäts-Turnanstalt (später Universitäts-Sportinstitut) und Alpenverein durch (Baumgartner, 1973). Dabei wurden Seile bei Kletterkursen beansprucht und anschließend in der Fallprüfanlage sowie im statischen Zerreißversuch an der TU Wien getestet. Dabei wurde folgendes festgestellt (Baumgartner, 1973):

**Tabelle 3: Untersuchung der Alterung von Seilen in der Fallprüfanlage**

Seil	Stunden	Anzahl Stürze	Reißkraft		Bruchdehnung in %
			dynamisch	statisch	
1	0	8	1520		
2	0	7	1290	2540	49,5
3	214	4	1340	2200	50
3	214	3	1220	2200	50
3	214	4	1180	2200	50
4	191	4	1020	2000	50
4	191	3	1220	2000	50
4	191	4	950	2000	50
5	105	5	1180	2150	49
5	105	5	1200	2150	49
5	105	3	1220	2150	49

Seil 1 ist das neuwertige Referenzseil.

Seil 2 wurde nicht verwendet, sondern 3 Jahre lang aufbewahrt.

Seil 3 bis 5 bei Kletter- oder Eiskursen verwendet.

Die statische Bruchkraft wurde bei Seil 1 nicht ermittelt. Die statische Bruchkraft der bei Kletter- und Eiskursen verwendeten Seilen beträgt 79%, 85% und 87% der Bruchkraft des nicht verwendeten 3 Jahre lang aufbewahrten Seils.

Die Korrelationen sind wie folgt:

Stunden	gehaltene Stürze	-0,847214384
Stunden	Reißkraft dynamisch	-0,551724498
Stunden	Reißkraft statisch	-0,664100642
Stunden	Bruchdehnung	0,723914866

**Tabelle 4 Korrelationen zwischen Alter (Stunden) und Seilparametern (gehaltene Stürze, Reißkraft statisch und dynamisch, Bruchdehnung)**

Bereits 1973 vermutete Peter Baumgartner, dass die von den Herstellern angegebene Gebrauchsdauer von 2 bis 4 Jahren zu niedrig angesetzt sei (Baumgartner, 1973).

1978 galt immer noch der Zusammenhang zwischen Anzahl der gehaltenen Normstürze und zu erwartende Lebensdauer:

Anzahl der ausgehaltenen Stürze nach UIAA-Norm	Grober Mittelwert für zu erwartende Lebensdauer (in Stunden)
2	50
4	200
6 und mehr	400

**Tabelle 5: Relation der Gebrauchsdauer in Stunden zur Anzahl der Normstürze in der Normprüfung 1978**

(Schubert, 1978)

Im Vergleich sind hier die Werte (Lebensdauer in Stunden) aus dem Jahr 1986 hinzugefügt (Mayer & Schubert, 1986):

Anzahl der ausgehaltenen Stürze nach UIAA-Norm	Lebensdauer 1978	Lebensdauer 1986
4	200	
6	400	100
9		150
12		200

**Tabelle 6 Relation der Gebrauchsdauer in Stunden zur Anzahl der Normstürze in der Normprüfung 1986**

Es ist bemerkenswert, dass innerhalb von 8 Jahren die Qualität der Bergseile zwar massiv zugenommen hat, die angegebene Lebensdauer aber ebenso massiv verkürzt wurde. Beim 6-Sturz-Seil von 400 auf 100 Stunden.

Es konnte nicht in Erfahrung gebracht werden, was der Grund dafür ist.

Die Formulierung „... verkürzt wurde“ ist bewusst gewählt, da die Lebensdauer eine willkürlich festgelegte Dimension ist, für die empirische Belege nicht gefunden wurden.

Eine umfassende Auflistung der Faktoren, die zur Seilalterung führen, findet sich in einer Publikation aus der DDR aus dem Jahre 1977 (Kind et al., 1977, p. 56):

- Zeit seit der Herstellung der Faser
- Zeit seit der Herstellung des Seiles
- Verschleiß (Reibung an Fels, Karabiner, interne Reibung, Sand)
- Klimaeinflüsse (Feuchtigkeit, Temperatur, Sonneneinstrahlung).

Wissenschaftlicher Beleg für diese Liste konnte nicht gefunden werden.

1985 galt in der DDR folgende Formel für die Seilalterung: Anzahl der Normstürze x 10 = Nutzungsdauer in Klettertagen zu je 8 – 10 Stunden. Das bedeutete für ein in der DDR hergestelltes 11-mm-Seil 400 Stunden (ZFK & Felsklettern, 1985).

### **3.4.6. Systemische Einflüsse auf die Ablegekriterien – kritische Würdigung**

„Handeln wird als ganzheitliches Geschehen in einem horizontal, vertikal und zeitlich vernetzten dynamischen System verstanden“ (Nitsch, 2004, p. 13).

In welches System sind Ablegekriterien gebettet? Hier ist vor allem das soziale System interessant:

„Menschliches Verhalten ist wesentlich sozial geprägt und sozial orientiert. Dies reicht von handlungsleitenden Wertvorstellungen und (auch körperbezogenen) Idealbildern bis hin zu konkreten Verhaltensmustern im Umgang mit Dingen und anderen Personen“ (Nitsch, 2004, p. 14).

Ausgehend von der Person, die die Entscheidung trifft, einen Gegenstand abzulegen und zu entsorgen, wird das System aufgebaut – in diesem Modell der Betreiber eines Hochseilgartens<sup>6</sup>.

---

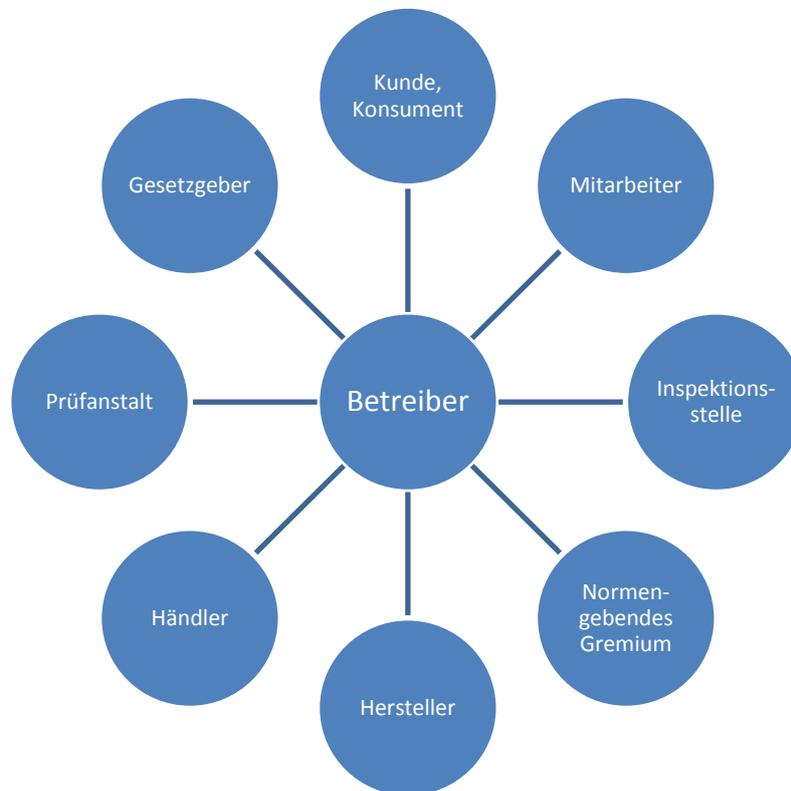
<sup>6</sup> Es könnte ebenso ein Bergführer, Alpinschulleiter, Höhenarbeiter usw. sein

Der Gegenstand wurde von einem *Händler* erstanden. Dieser bekam ihn von einem *Hersteller*. Der Gegenstand wurde von einer *Prüfanstalt* auf Normkonformität überprüft. Die Normen werden von den normengebenden Institutionen (nationale Institute, europäisches Normungsinstitut und Internationales Normungsinstitut) erstellt, die ein System im System ist, deren Elemente teilweise die gleichen sind.

Die Kunden (Konsumenten) oder die Mitarbeiter des Betreibers nutzen die Gegenstände und fragen auch manchmal nach der Normkonformität.

Wenn der Betreiber/Errichter Normkonformität erreichen möchte, muss er eine unabhängige Inspektionsstelle konsultieren, die bei der Auswahl der PSA mitredet.

In den Bereich PSA greifen auch Gesetze, somit ist der Gesetzgeber Teil des Systems.



**Abbildung 10 Soziales System der Entscheider betreffend Ablegereife**

Interessant ist es, herauszufinden, wo Abhängigkeiten bestehen:

Die offensichtlichste wechselseitige Abhängigkeit besteht zwischen Hersteller und Nutzer (Betreiber, Konsument,...). Der Nutzer benötigt wahrheitsgemäße Aussagen über Ablegereife und funktionierende Ausrüstung. Der Hersteller benötigt das Geld des Nutzers.

Der Konsument und der Betreiber sind nur über den Konsumentenschutz vor willkürlichen Ablegeregeln geschützt, da die anderen Systemspieler von kurzer Nutzungsdauer profitieren (sieht man hier einmal von persönlichen Moralvorstellungen über Nachhaltigkeit und Verschwendung ab).

Allerdings ist der Konsumentenschutz wegen der geringen Personenanzahl und somit der geringen Bedeutung nicht vorhanden. Bei Autos ist das deutlich anders. Hier würde der Konsumentenschutz intervenieren, wenn plötzlich ein Hersteller sagt: Nach 10 Jahren muss man das Auto aus Sicherheitsgründen „ablegen“, also verschrotten.

Die alpinen Vereine würden hier die Rolle der Konsumentenvertreter übernehmen, jedoch besteht wegen Sponsorverträgen, Inseraten usw. auch hier eine Abhängigkeit von den Herstellern.

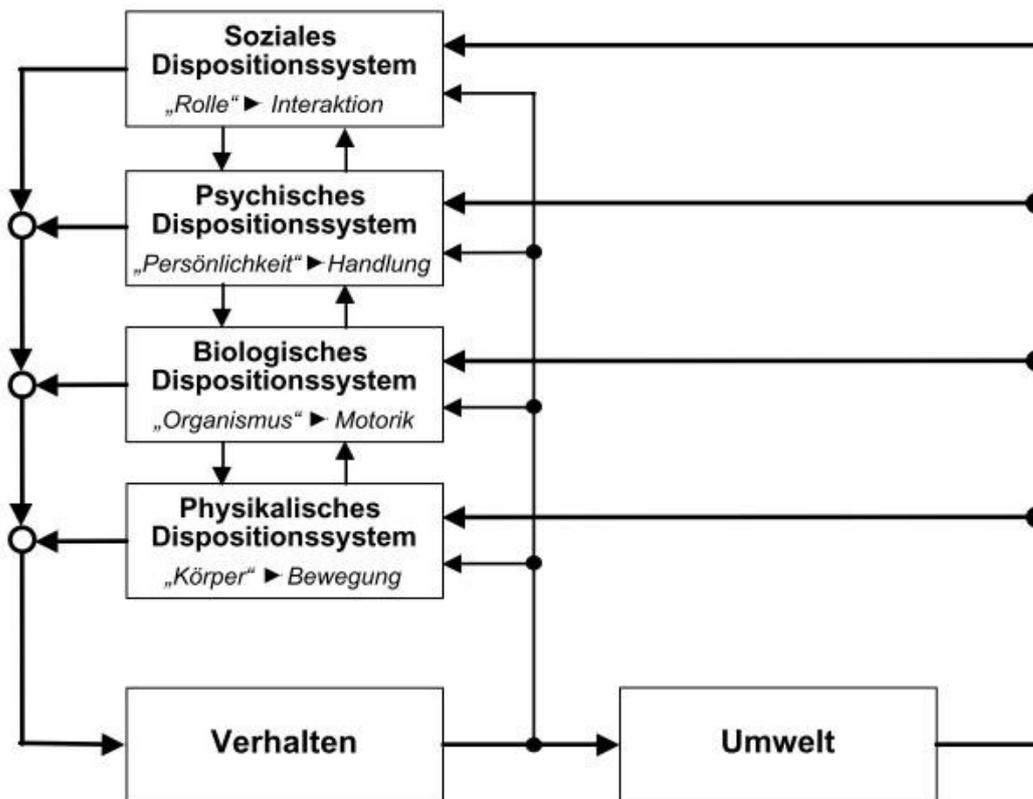


Abbildung 11 Elemente des Systempostulats nach Nitsch (Nitsch, 2004, p. 14)

Ausgehend vom Akt der Entscheidung, einen Gegenstand „abzulegen“, also nicht mehr weiter zu verwenden, lässt einige Erklärungen aus der Sicht des Systempostulats zu: Das Physikalische Dispositionssystem ist geprägt durch die Gefahr des Absturzes, also Lebensgefahr. Dies erzeugt Angst für sich und Angst um die Teilnehmer, für die der Entscheider die Verantwortung trägt. Angst engt das biologische Dispositionssystem ein. Möglicherweise ließe sich auch eine gewisse „Persönlichkeit“ dem Entscheider zuschreiben – vielleicht entscheidet sich eine Gruppe mit bestimmter Persönlichkeitsstruktur, die dazu führt, Regeln (Normen) nicht zu hinterfragen für den verantwortungsvollen Beruf des Entscheiders?

Schließlich befindet man auch in sozialen Zwängen. Die Frage, ob man sich an die Ablegekriterien hält, wird, wenn der Frager aus dem Personenkreis des Entscheiders kommt, zumeist mit einem schlechten Gewissen verneint.

### 3.5. Unfälle, tatsächliches Versagen

Eine Recherche von Unfällen im Jahrbuch des Österreichischen Kuratoriums für Alpine Sicherheit seit 1972 ergab, dass die seit Ende der 1970er Jahre produzierte PSA soweit ausgereift ist, dass damals produzierte Seile und Gurte bis heute bei bestimmungsgemäßer Nutzung halten<sup>7</sup>. In diesen Publikationen befindet sich kein dokumentierter Unfall, wo ein Seil oder ein normgerechter Gurt durch altersbedingte Überbelastung im Karabiner oder im Knoten gerissen wäre.

Die Seilrisse der letzten 30 bis 40 Jahre haben drei Ursachen: Riss<sup>8</sup> durch Belastung über eine scharfe Kante, Riss auf Grund von Materialschwächung durch Batteriesäure und Riss durch Durchschmelzen eines Seiles durch ein zweites (Schubert, 2008).

Unfälle durch Versagen des Auffanggurtens sind noch seltener als Seilversagen. Der bekannteste ist der Absturz des bekannten Bergsteigers Todd Skinner 2006 durch Bruch der Anseilschleife beim normalen Abseilen. Die Schleife muss sichtbar auffällig abgenutzt gewesen sein, da sie im Vorfeld ein Diskussionsthema mit seinen Seilpartnern war: „Was, mit dem Teil kletterst Du noch?“ – „Ja, ich weiß, ich muss den Gurt tauschen“ (Samet & Bechtel, 2006).

Ein weiterer Unfall ereignete sich ebenfalls 2006 in der Martinswand, wo bei einem Sturz im Klettersteig ein Gurt gerissen ist. Der Gurt war aus einer Serie, die fehlerhaft war: Sämtliche Vergleichsgurte hatten kein CE Zeichen und hielten weniger als die Hälfte der geforderten Festigkeit (Sammel, 2007).

Ein dritter Unfall beim Brückenspringen hatte ebenso Abnutzung als Ursache (Plattner, 2007).

Diese Unfälle haben ihre Ursache im übermäßigen, deutlich erkennbaren Verschleiß bzw. in der falschen, nicht normgerechten Konstruktion und sind nicht mit zeitlich bedingter Alterung begründbar.

### **3.6. Angaben der Hersteller zur Lebensdauer und Ablegereife**

Zumeist wird die Ablegereife durch die Herstellererklärungen festgelegt.

In Deutschland verweisen manche Hersteller auf die Vorgaben der gesetzlichen Unfallversicherer. (Skylotec, 2013) Dort konnte die Quelle trotz Recherche nicht mehr eruiert werden. Eine telefonische Recherche brachte kein Ergebnis.

---

<sup>7</sup> Dies gilt für Österreich. Hier werden Unfälle durch die Alpinpolizei dokumentiert und die Daten an das Kuratorium für alpine Sicherheit weitergeleitet.

<sup>8</sup> Technisch richtig muss es „Bruch“ heißen.

Skylotec verweist in seinen Herstellerangaben auf die BGR 198 (Benutzung von Persönlichen Schutzausrüstungen gegen Absturz) Dort wird angegeben: „Nach den bisherigen Erfahrungen kann unter normalen Einsatzbedingungen bei Gurten von einer Gebrauchsdauer von sechs bis acht Jahren und bei Verbindungsmitteln (Seil/Bänder) von einer Gebrauchsdauer von vier bis sechs Jahren ausgegangen werden“ (DGUV, 2011, p. 48).

Untersucht wurden die Herstellerinformationen von 12 Herstellern.

Laut EN 15567 Teil 2 (Euronorm für Seilgärten) ist die tatsächliche Lebensdauer der Ausrüstung die vom Hersteller vorgegebene (DIN, 2013a).

Das bedeutet, man „darf“ gemäß Norm keinen Gurt, kein Seil länger verwenden, auch wenn es aussieht wie neu, keine Schädigung aufweist usw.

Hersteller	Land	ständig benutzt (fast täglich)	häufig benutzt (1 x / Woche)	regelmäßig (mehrmals/Monat)	gelegentlich (1 x / Monat)	selten (1-2 x/Jahr)	nie benutzt
Mammut	Schweiz	weniger als 1 Jahr	1	3	5	7	10
Tendon	Tschechien	weniger als 1 Jahr	1-2	2-3	3-5	5-7	10
Austrialpin	Österreich	3 Monate - 1 Jahr		2-3	4-5		10
Edelrid	Deutschland		1		3		10
Skylotec	Deutschland	wenige Wochen					4-6
Sterling	USA	3-6 Monate			1-2	2-5	10
Bluewater	USA					5-10	
DMM	Frankreich	wenige Wochen			6		10
Beal	Frankreich	Lagerdauer: 5 Jahre, Gebrauchsdauer: 10 Jahre, Lebensdauer: 15 Jahre.					
Petzl	Frankreich						10
Teufelberger/Edelweiss	Österreich	keine Angaben					
Millet	Frankreich	keine Angaben					

Abbildung 12 Abergreifangaben verschiedener Hersteller

4), (Skylotec, 2008), (Sterling, 2014), (Bluewater, 2014), (DMM, 2014), (Beal, o.J.), (Petzl, o.J.), (Teufelberger, 2014), für Millet konnte kein User Guide gefunden werden.

Bei vergleichbaren Produkten gibt es eine erhebliche Schwankungsbreite, beispielsweise für die maximale Lebensdauer zwischen 4 Jahren (Skylotec) und 15 Jahren (Beal).

Wenn man das Seil selten benutzt, streut die Zahl zwischen 2 Jahren (Sterling) und 10 Jahren (Bluewater).

Einige Hersteller geben 10 Jahre ab Herstellungsdatum als Lebensdauer an (Petzl, o.J.): „Die Lebensdauer beträgt 10 Jahre ab Herstellungsdatum“. Man darf die Ausrüstung nicht weiter verwenden: „Zerstören und entsorgen Sie ausgesonderte Gegenstände sofort, um einen weiteren Gebrauch zu verhindern“ (Austriapin, 2014).

Ein anderer Hersteller schreibt: „Bei Nutzung 1 bis 2 Mal im Monat 5 Jahre“ (Mammut, 2010).

Ein dritter Hersteller wiederum ermöglicht in der gleichen Anwendung 15 Jahre (Beal, o.J.).

Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, dass Ausgangsmaterial, Verarbeitung und Qualitätssicherung (Tests, Zertifizierung) bei allen Herstellern ziemlich ident sind, ungeachtet dessen die angegebene maximale Lebensdauer 5 Jahre bis 15 Jahre beträgt

Es wurden 5 Hersteller nach einer Begründung für die Ablegereife gefragt. Eine Antwort lautete:

„Die 10 Jahre wurden festgelegt weil nach diesem doch sehr langen Zeitraum die Produkte sehr häufig als überholt gelten, neue, bessere Materialien auf dem Markt sind...“ (Berger, 2012)

### **3.7. Hersteller zu Abnutzung und sichtbare Schäden**

Folgende Kriterien wurden von den unter Kap.3.6 untersuchten Herstellern angeführt:

Abgelegt werden muss...

... ein Seil, bei dem der Mantel beschädigt ist und der Kern sichtbar ist, wo der Mantel stark verschoben ist oder der Kern deformiert

... ein Seile oder Bandmaterial, das „pelzig“, also oberflächlich stark abgenutzt ist

... wenn Nähte beschädigt sind.

... textile Teile, die Schmelzverbrennungen aufweisen.

... textile Teile, die stark verschmutzt sind (Öl, Fett, Teer).



Abbildung 13: Ablegereife Schlinge auf Grund von Abnutzung. Haltekraft mehr als 10 kN.

#### Unsichtbare Schäden:

Abgelegt werden müssen (Herstelleraufstellung siehe Kap. 3.6)...

... Textilien, die mit Chemikalien in Berührung gekommen sind

... Teile, die stark belastet wurden, z.B. durch einen harten Sturz

### **3.8. Kritische Bewertung der Einflüsse**

1. Seilrisse auf Grund mangelnder Reißfestigkeit waren bis in die 1950er Jahre in der Geschichte des Bergsteigens vergleichsweise häufig. Allerdings sind seit ca. 40 Jahren überhaupt keine Seilrisse wegen mangelnder Reißfestigkeit mehr dokumentiert. Daraus ergibt sich die These: Die Seile weisen ausreichend Reißfestigkeit auf in dem Sinne, dass die Belastungen niedriger sind als die Restbruchlasten der in Gebrauch befindlichen Seile.
2. Die Diskrepanz zwischen „keine altersbedingten Seilrisse bekannt“ und der Regel „Seile müssen altersbedingt ausgeschieden werden“ könnte dadurch erklärt werden, dass die Angst vor Seilrissen im kollektiven Bewusstsein immer noch gegenwärtig ist.
3. Gleichzeitig ist die Branche zum Teil sehr konservativ, wie am Beispiel der italienischen Normenentwicklung deutlich wird.

„Handeln als Spezialform des Verhaltens ist also zielgerichtet und reflektiert“ (IOA, 2014, p. 12).

Kann man von Handeln sprechen, wenn es irrational ist, oder ist es Verhalten? Zur Zeit der Hanfseile und Schulthersicherung war es klar, dass diese Art der Sicherung nicht funktioniert. Teilweise haben die Menschen so getan, als würde es funktionieren.

Heutzutage ist es umgekehrt. Seile reißen nicht aus Gründen der Alterung, und Menschen verhalten sich, als würden sie häufig reißen.

Deutlich wird dieses Thema bei der Diskussion um den Sicherheitsfaktor. Wie unter Kap. 7.3 zu sehen ist, ist der Sicherheitsfaktor, also die Differenz zwischen dem tatsächlich erwarteten Versagen und der angenommenen Last, eine willkürliche Zahl, die (wenn es um die Formulierung von Normen geht) in Verhandlungen festgelegt wird.

Seit über 30 Jahren wurde kein Versagen durch Alterung eines zertifizierten Seiles oder zertifizierten Gurtes dokumentiert.

Anders ist es bei Schlingenmaterial (Bandschlingen), (DIN, 2007a). Hier sind 3 Unfälle dokumentiert, einer davon ist auf Grund des Datenschutzes (Verschwiegenheitspflicht als Gerichtssachverständiger) nicht veröffentlicht. Bei diesem Unfall riss eine Bandschlinge im Einzelstrang im Knoten bei Belastung durch höchstens 2-faches Körpergewicht. Die beiden anderen Unfälle sind bei Abseilvorgängen oder Ablassen passiert, was ebenfalls auf eine Belastung von ca. 1,6 kN maximal schließen lässt (Bauernfeind & Patterer, 2015).

## **4. Stand der Forschung**

### **4.1. Bisherige Untersuchungen**

#### **4.1.1. Einfluss der Alterung ohne Benutzung**

Der US-amerikanische Standard empfiehlt 10 Jahre als maximale Lebensdauer eines Seils (Section 5.2.2 of ASTM F1740-96 (2007) Guide for Inspection of Nylon, Polyester, or Nylon/Polyester Blend, or Both Kernmantle Rope).

Nach 10 Jahren Lagerung sollte man ein Seil nicht verwenden.

“Any rope which is greater than 10 years`old shall be retired, regardless of history and usage” (Institute, 2003) – also egal, wie intensive es verwendet wurde.

Untersuchungen in den USA zeigten jedoch, dass dies nicht auf Fakten basiert. 7 Jahre alte Seile zeigten, dass die Bruchlast über der angegebenen Bruchlast des Herstellers im Neuzustand lagen und nur minimal unter der tatsächlich im Neuzustand gemessenen Bruchlast lagen (CMC, 2012). Die Autoren dieser Studie gehen von einer jährlichen Bruchlastverringerung von 1,5 bis 2% pro Jahr bei wenig Gebrauch und 3-4% bei schwerem Gebrauch aus.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass bereits 1992 nach dem Test eines 23 Jahre alten Seils, das noch 4800 lbs (Neuzustand: 6800 lbs) hielt, formuliert wurde:

„Some people say that a rope should automatically be retired after 10 years, regardless of its condition. That’s obviously not very empirical. A more manifest or apparent guideline is to make the determination based on damage or wear” (Minert, 1994, p. 22).

#### **4.1.2. Einfluss des Waschvorgangs**

King und Bucknall untersuchten den Einfluss von Waschvorgängen auf Polyamidseile. Dabei konnten nur minimale Veränderungen durch Waschmittel festgestellt werden (King & Bucknall, 2005).

Eine Untersuchung der Fa. Teufelberger ergab für Polyamidseile nach 8 Waschvorgängen mit „Grobwaschmittel“ eine Restbruchlast von ca. 80% bezogen auf die Nennlast im Neuzustand (Teufelberger, o.J.).

Eigene Tests wurden mit dem 7 Jahre alten Referenzseil durchgeführt, wo 5 Proben 60 Mal bei 60 Grad mit Vollwaschmittel gewaschen wurden.

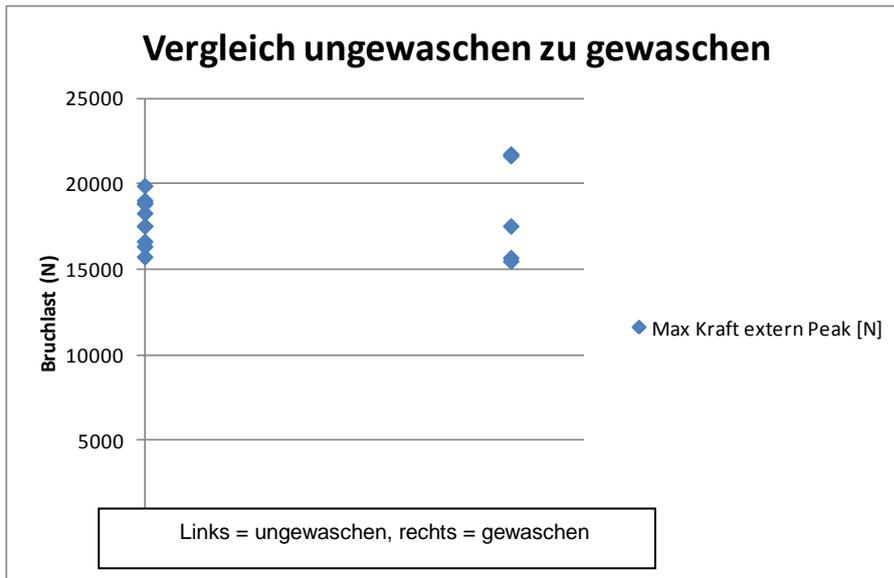


Abbildung 14: Einfluss des Waschvorgangs

In Abb. 12 sieht man die Bruchlastwerte des Referenzseils in der linken Punkteschar, im Bulinknoten gerissen, in der rechten Punkteschar die Testseile, ebenfalls im Bulin. Eine auffällige Schwächung ist jedenfalls nicht zu beobachten.

#### 4.1.3. Einfluss von Nutzung

Eine Untersuchung der Bruchkraft von benutzten Höhlenseilen wurde im statischen Zerreitest an Seilproben durchgeführt und mit der Nennbruchkraft verglichen. Je nach Probe betrug die Bruchkraft zwischen 35 und 59 Prozent der Nennbruchkraft neuer Seile.

Seiltyp	Verwendung	Alter in Jahren	Geschmeidigkeit	Gewicht g/m neu a)	Gewicht g/m gebraucht	Nennreißkraft a) kN	gemessene Reißkraft kN b)	relative Reißkraft in % b)
Edelrid Einfachseil	Kletterseil	4	flexibel	69	72	21,3	8,9( 7,9)	43(38)
Edelrid Einfachseil	Höhlenseil	8	sehr steif	72	92	21,3	7,9( 7,0)	37(33)
Edelrid Speleoseil	ein Mal gebraucht	1	steif	63	65	25,9	15,3(13,6)	59(52)
Edelrid Speleoseil	wenig gebraucht	2	steif	63	73	25,9	10,8( 9,6)	42(37)
Edelrid Speleoseil	künstlich verlehmt	1	steif	63	71	25,9	12,4(11,0)	48(43)
Perlonseil DIN	vier Jahre in Kar=grabenhöhle	5	sehr steif	79	104	24,3	8,5( 7,5)	35(31)

a) Herstellerangabe  
b) Die in Klammern angegebenen Werte für den Spierenstich sind um 11% gegenüber der Reißkraft mit Bulinknoten reduziert.

Tabelle 3: Eigenschaften gebrachter Seile

**Abbildung 15 Höhlenseile (Kipp, 1978)**

In diesem Artikel wird auch angegeben, dass die Festigkeit von Seilen nach 2-jähriger Bewitterung bei 70% der Nennreißkraft des Neuseiles liegt.

Eine britische Studie wurde von den Autoren kommentiert: „Die Tabelle zeigt, dass manche guten Seile nach einer maximalen Gebrauchsdauer von 3, 5 oder sogar 10 Jahren unnötig aussortiert würden“ (Krause, 1999).

TABELLE 1

Verhalten verschiedener Seile bei einer Serie von mehreren Stürzen mit einem 80kg - Prüfgewicht unter Sturzfaktor 1,0 bei nassem Seil und nach 100 kontrollierten Abstiegen während des SPELEO - ROPE - PROJECT 1987 - 89.

Hersteller und Typ Gebrauch	Neues Seil	sauberer Gebrauch	dreckiger Gebrauch
Edelrid Superstatic L.L.	8 mm	1 - 1	1 - 0 - 0
Edelrid Superstatic L.L.	9 mm	5 - 5	2 - 4 - 3
Edelrid Superstatic L.L.	10 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
Edelrid Superstatic L.L.	11 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
Edelrid Extrastatic Dry	10 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
Edelrid Dynaloc	11 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
P.M.I. Flex	9 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
P.M.I. Flex	11 mm	5 - 5	5 - 5 - 4
Marlow Abseil Rope	11 mm	5 - 5	1 - 2 - 1
Seine & Lys 1522	9 mm	4 - 4	1 - 1 - 1
Seine & Lys 1522	10,5 mm	5 - 5 - 5	4 - 4 - 3
Seine & Lys 1523	9 mm	1 - 1 - 2	1 - 1 - 1
Seine & Lys 1523	10,5 mm	5 - 5	2 - 2 - 1
Bluewater II	11 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
Bluewater II	8,5 mm	4 - 3 - 4	2 - 2 - 2
Bridon Nylon Super Braidline - 0	10 mm	1 - 1 - 1	1 - 1 - 1
Bridon (Viking) Super Speleo - 1	11 mm	1 - 0 - 0	2 - 2 - 2
Bird Yellow Prototype	9,5 mm	3 - 3 - 3	1 - 1 - 1
Cousin Super Spelunca Allcord - 2	10,5 mm	5 - 5	3 - 4 - 2
Joany Watertight	10,5 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
Beal Dynastat	10,5 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
Beal Statique	10,5 mm	5 - 5	3 - 4 - 3
Teufelberger Edelweiss (Old) - 2	10 mm	5 - 5	5 - 5 - 5
Teufelberger Edelweiss Speleo - 1	10,5 mm	5 - 5	3 - 5 - 5
Teufelberger Expedition Power - 5	10 mm	5 - 5	5 - 5 - 3
Beal (Lyon) Antipodes	9 mm	1 - 3 - 2	0 - 0 - 0
Beal (Lyon) Antipodes	11 mm	2 - 2 - 2	1 - 1 - 1

Die Zahlen geben die Anzahl der gehaltenen Stürze durch drei Prüfstücke eines jeden der kontrollierten Nutzung unterworfenen Seiles.  
Einige Hersteller, einschliesslich Beal, haben seit 1989 ihre Seile verbessert.

Tabelle 7 Vergleichswerte verschiedener Seile der Anzahl der Stürze in der Normprüfungsanlage

Man sieht in den jeweils rechten drei Spalten die Vergleichswerte der in der Fallprüfanlage gehaltenen Stürze: Linke Spalte als neues Vergleichsseil, mittlere Spalte gebraucht, sauber, rechte Spalte: benutzt, künstlich verschmutzt. Ein gehaltener Sturz belegt, dass das Seil auf jeden Fall einen Vorstiegssturz gehalten hätte (Schubert, 2000a).

Die Daten belegen, dass die Seile mit Durchmesser 10 und größer im sauberen Gebrauch sämtlich für Vorstiegsstürze geeignet waren, europäische Markenseile auch im verschmutzten Zustand

#### **4.1.4. Festigkeitsverminderung durch Wasser**

Polyamid kann Wasser aufnehmen (Becker, 1998).

Eine umfangreiche Untersuchung zum Einfluss von Wasseraufnahme und dynamischer Festigkeit wurde von Spierings et al. vorgelegt, der einen Rope Working Simulator (RWS) designed hat: Das Seil wird unter Biegewechseln unterschiedlich mit Wasser besprüht. Der dynamische Test erfolgt gemäß EN 892:2004.

„we investigated qualitatively the dramatic decrease in the number of drops sustained in the standard rope test according to EN 892. With water absorption by the rope between 6% and 16%, the number of drops sustained runs the risk of falling below the threshold value of 5 drops” (Spierings, Henkel, & Schmid, 2007, p. 213).

Bemerkenswert ist die Interpretation, die darin eine Gefahr sieht und entsprechende Lagerung von Seilen in feuchtigkeitstemperierten Räumen vorsieht.

„the user should be careful not to store a rope in a warm and dry environment (low air humidity), as the humidity absorption of PA6 in a normal air humidity of about 40–60%, especially in the core of a rope, usually takes several hours” (ebenda).

Über die Bedeutung der Normstürze und Probleme bei der Interpretation der Abnahme der Normstürze erklärte Peter Popall, der Cheftechniker der Fa. Petzl, am Alpinforum 2014: Die Normstürze sind Vergleichswerte, die dazu dienen, neue Produkte zu vergleichen, nicht jedoch Rückschlüsse auf die Praxis zulassen (Popall, 2014).

Bedenkt man, dass ein Normsturz wesentlich härter ist, als er in der Praxis jemals auftritt, wirkt sich das Absinken auf 4 Normstürze nicht auf die Sicherheit des Seils in der Praxis aus (Schubert, 2000a).

Die Schwächung durch Nässe wurde oft bestätigt, z.B. durch Pit Schubert bzw. Signoretti:

„... ropes that held 2 falls when dry (the minimum imposed by the standards at that time) only held up to 1 fall, or none, when wet” (Signoretti, 2001).

Signoretti spricht von einem “alarming effect”, obwohl laut Schubert 1 gehaltener Normsturz bedeutet, dass das Seil ausreichend überdimensioniert ist. Die Schlussfolgerung kann dementsprechend nicht nachvollzogen werden:

“In conclusion, it would be a good idea to change our ropes more often!”

Es konnte jedoch kein dokumentierter Fall eines Seilrisses eruiert werden. In einer Untersuchung wurden Bojenseile im Mittelmeer untersucht: “In our previous study about nylon ropes, we got following knowledge: after using in water, even if short days, tensile strength of nylon rope goes down by 10 to 20%. (manufacturer shows it is 15% down in wet condition) nylon rope stored in a proper indoors environment keeps its strength without significant degradation. annual decrease rate of tensile strength may possible be at most 20% in use at sea or in wet condition storage” (Yamaguchi et al., 2004, p. 1924).

Die Autoren stellten fest, dass nach 2 Jahren Nutzung als Bojenseil im Meerwasser die Restfestigkeit 60% betrug.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es durch Benutzung zu einer Abnahme der statischen Bruchlast sowie des dynamischen Arbeitsvermögens der Seile kommt. Durch Verschmutzung wird der Effekt der Schwächung verstärkt – siehe nächstes Kapitel.

#### 4.1.5. Festigkeitsverminderung durch Verschmutzung

Kipp stellte fest, dass im Vergleich zu einem gewässerten Seil nach fünftägiger Verschmutzung in Lehmbrühe die Restfestigkeit bei 78% liegt (Kipp, 1978).

Probenbehandlung	Gewicht je Meter		Nenn-reißkraft kN	gemessene Reißkraft kN	relative Schmutz= festigkeit %
	getrocknet g/m	naß g/m			
gewässert (sauber)	63	82	26	16,1	100
künstlich verlehmt	71	96	26	12,1	78

Tabelle 2: Einfluß der Verschmutzung bei einem neuen Edelrid-Speleoseil

Abbildung 16 Festigkeitsverlust durch Verschmutzung

#### 4.1.6. Festigkeitsverminderung durch Rost

„Ein Rostfleck auf einem Seil ist weit gefährlicher, als es den Anschein hat. Alle getesteten Einfachseile versagten am einen oder anderen der Endknoten, mit Ausnahme der Prüfstücke, bei denen der Mantel auf dem halben Umfang aufgeschnitten wurde und dem einen 10mm Seil mit einem dunklen Rostfleck von 10mm Durchmesser, das an dieser Stelle riss (Krause, 1999).

Dieses Ergebnis konnte durch eine andere Untersuchung nicht bestätigt werden, jedoch wird eingeräumt, dass es unter Umständen zu organischen Verbindungen mit dem Rost kommen kann, die schädigende Wirkung auf das Seil entfalten könnten (Long, 2001, p. 20).

#### **4.1.7. Festigkeitsverminderung durch UV und Licht**

Obwohl das Ausgangsmaterial seit den 1960er Jahren UV stabilisiert ist (Schubert, 2000a), führt UV-Exposition zu einer Schwächung der Fasern.

In einem ausgedehnten Programm zum Einfluss von Bewitterung auf Thermoplaste wurden sowohl im Labor als auch durch Freibewitterung (an mehreren Standorten in der Schweiz) Versuche mit und ohne UV-Bestrahlung durchgeführt. Dabei wurde deutlich, dass ohne UV-Bestrahlung der Festigkeitsverlust unerheblich ist (unter 10%), mit UV-Bestrahlung bei Polyamid jedoch erheblich, um ca. 80% (Schmid, 1995).

Das unterstreicht die Wichtigkeit von Konstruktionen, die die tragenden Fasern vor UV-Licht schützen.

Eine italienische Untersuchung hat Kletterseile einer Freibewitterung ausgesetzt.

“after a three month exposure on the Kostner hut (altitude 2250 m) the ropes are still capable to hold an average 65% of falls; those exposed on the Carestiato hut (altitude 1834) on average hold about 85%: a lower degradation, consistent with the lower intensity of the UV radiation at lower altitude” (Signoretti, o.J., p. 6).

Wie in der erwähnten Untersuchung von Signoretti dokumentiert wird, ist die Festigkeitsabnahme der Mantelfasern deutlich höher als die der Kernfasern. Dies mag begründen, warum es mit Bandmaterial, das quasi nur aus einem Mantel ohne Kern besteht, bereits dokumentierte Unfälle gibt, mit Kernmantelseilen nicht<sup>9</sup>.

#### **4.1.8. Festigkeitsverminderung durch zyklische Belastung**

Zyklische Belastungen, auch Schwellbelastung genannt, sind für viele Materialien eine entscheidende Größe. So sind z.B. bei Seilendverbindungen für Stahlseile zyklische Belastungstests durch die Normprüfung vorgeschrieben (DIN, 2011b), nicht so bei Seilen aus synthetischen Fasern.

Huntley et al. Stellten fest,

---

<sup>9</sup> Zwei dieser Fälle sind mir in meiner Funktion als Gerichtssachverständiger bekannt, allerdings bin an die Schweigepflicht gebunden.

“... the residual strength of the rope by itself is of little value. During tension-cyclic loading, the rate of strength reduction is usually very gradual at first and much more rapid as the failure is approached. A rope which has a residual strength of 90% after 10,000 cycles to 40% load level might fail in less than 15,000 cycles. The life of the rope cannot be projected from residual strength measurements (Huntley & Whitehill, 2002, p. 2075).

Diese Erkenntnis in Zusammenhang mit den niedrigen Bruchlasten von Hallen-Topropeseilen gibt Grund zur Überprüfung, wie sich zyklische Lastbiegewechsel auf Seile auswirken. Daher wurde im Zuge dieser Arbeit beschlossen, einen Lastbiegewechsel-Teststand zu designen.

Untersuchungen an Ankerleinen für Bojen lassen hingegen darauf schließen, dass – je nach Konstruktion – zyklische Belastungen keine große Rolle bei Kunststoffseilen spielen (Ridge, Banfield, & Mackay, 2010).

Von Sander wurde die Wöhlerkurve<sup>10</sup> von Polyamid bestimmt, allerdings schränkt er ein, dass sich die Kurve keiner eindeutigen Asymptote annähert und daher keine echte Dauerschwingfestigkeit vorliegt (Sander, 2008).

Ob bei Seilen eine echte Dauerschwingfestigkeit vorliegt, müsste geklärt werden.

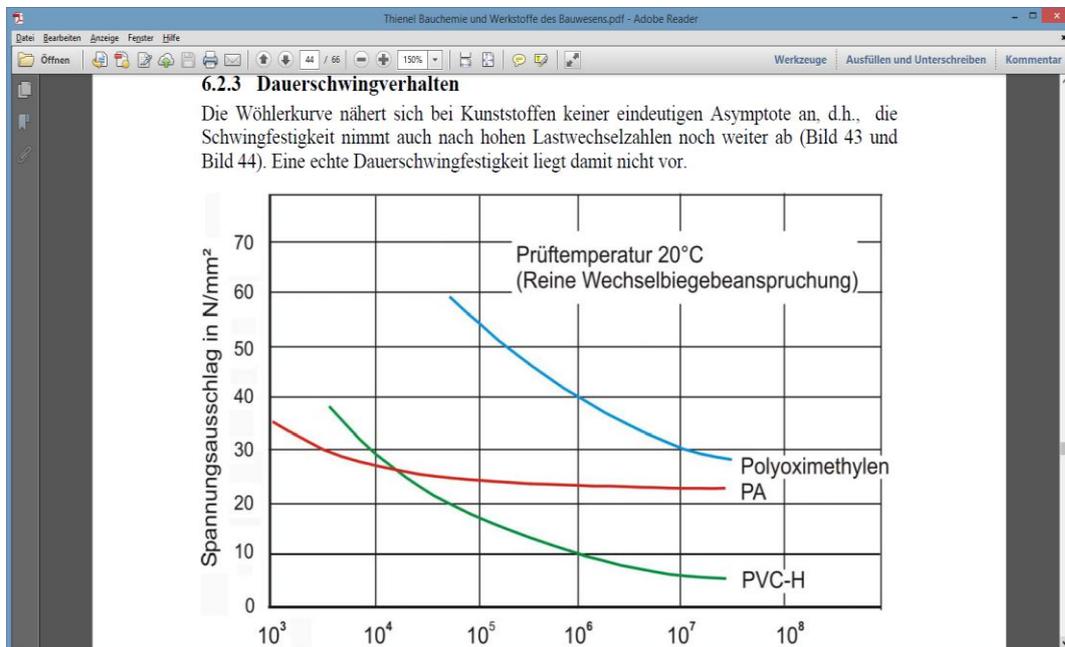


Abbildung 17: Wöhlerkurve für Polyamidseile. Aus: (Sander, 2008)

#### 4.1.9. Festigkeitsverminderung durch Lastbiegewechsel

<sup>10</sup> Die Wöhlerkurve beschreibt das Bruchverhalten in Bezug auf Berlastung (X-Achse) und Zyklen (Y-Achse)

In der Literatur ist wenig darüber zu finden, und wenn, dann nur allgemeine Angaben, wie:

“Parallel strand ropes do poorly, and, in general, braids do not perform as well as some laid constructions ...” (McKenna, 2005).

... was bedeutet, dass praktisch alle Seilkonstruktionen anfällig gegenüber Biegewechseln wären.

Man findet in der theoretischen alpinen Literatur Hinweise zum Einfluss von Lastbiegewechseln, so z.B. die Umlenkung im Abseilachter bzw. unterschiedlichen Abseilgeräten:

“... after about fifty descents with Figure-of-Eight the dynamic resistance of the rope (that is the number falls sustained at the Dodero) is reduced by about 1/3. ... this decay is much faster at the beginning than after continual use (an almost straight line on a logarithmic scale). This remark is to some extent comforting. Indeed it shows that even after thousands of rappels [rappel is the French word for the German Abseil] (a hardly imaginable number during the life of a rope) the rope performance could still be considered good. However, it points out the effect of the type of abseiling device used. In fact tests done with the abseiling device Robot don't seem to seriously affect the dynamic performance of the rope” (Bressan, 2010).

Ein Hinweis bietet eine Arbeit aus einem verwandten Fachgebiet. Das Textilforschungsinstitut in Chemnitz hat die textilen Elemente von Luftfrachtsicherungsnetze in Bezug auf Alterungsverhalten untersucht. Dabei werden auch Erkenntnisse für Polyamid gewonnen (Hierhammer, 2010).

Wie später bei den Ergebnissen ersichtlich sein wird, dürften vor allem die Ergebnisse des Walktests und der Knickversuche auf ähnliches Verhalten wie Statikseile im Topropesimulator hinweisen: Walktest nach 5000 Zyklen noch 85 – 94,5% Bruchfestigkeit, nach 10.000 Zyklen nur mehr 50-69,5% Bruchfestigkeit.

Knickversuche: 10000 Zyklen über 95 % Bruchfestigkeit, 20.000 Zyklen 50-69,9 %. Es dürfte eine Art Plateauphase geben, nach der die Bruchfestigkeit deutlich abnimmt. Aus : (Hierhammer, 2010)

Muster	02 PA 6.6
Freibewetterung 6 Monate	++++
Freibewetterung 12 Monate	+++
Freibewetterung 18 Monate	++
Freibewetterung 24 Monate	+++
Künstliche Bewetterung 10 Wochen	+
Walktest 5.000 (Zyklen)	+++
Walktest 10.000 (Zyklen)	+
10.000 x Knickversuche -30 °C und +40 °C	++++
20.000 x Knickversuche -30 °C and +40 °C	+
Abriebtest 500 (Zyklen)	++
Abriebtest 1000 (Zyklen)	++
Kerosin (24 Stunden)	++++
Kerosin (48 Stunden)	++++
Hydrauliköl (24 Stunden)	++++
Hydrauliköl (48 Stunden)	++++

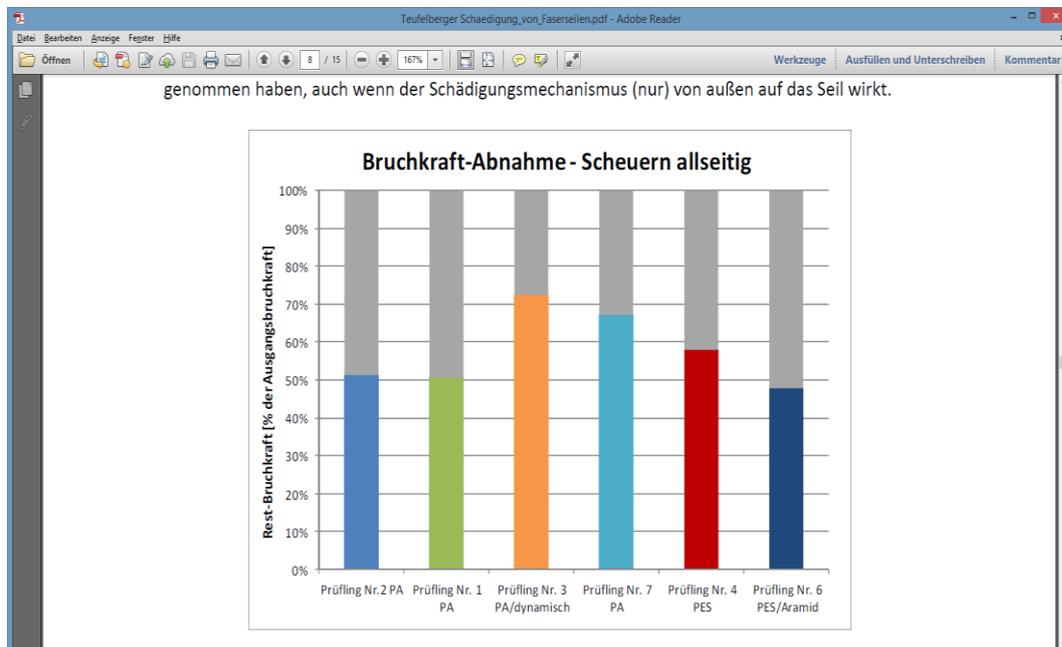
Bewertungsschema

Restfestigkeit [%]	Einfluss	Bewertung
≥ 95,0	kein	++++
94,9–85,0	gering	+++
84,9–70,0	erheblich	++
69,9–50,0	starker	+
≤ 49,9	kritisch	!

Abbildung 18: Bewertung der Labortests zu Freibewetterung, Abrieb, Knick sowie Chemieeinfluss

Interessant ist die Interpretation der Ergebnisse: 50% der Reißfestigkeit ist die kritische Grenze (im Kasten „Bewertungsschema“ die unterste Kategorie). Wie es zu dieser Festlegung kommt, ist nicht belegt. Logisch wäre vielleicht, den Sicherheitsbeiwert zu nehmen, so es einen gibt. Für Gegenstände der PSA gibt es keinen Sicherheitsbeiwert, sondern es wird nur die Mindestbruchlast angegeben. Siehe Kapitel 7.3.

Teufelberger führte einen ähnlichen Test wie in Kap. 4.1.9 beschrieben durch, der aber ein anderes Ziel hatte, nämlich die Scheuerfestigkeit über eine Scharfkante. Die



Last war dabei 10 kg, die Umlenkung 90 Grad. Nach 200 Zyklen wurde die statische Reißfestigkeit getestet.

**Abbildung 19 Bruchkraftabnahme durch Scheuertest (Teufelberger, o.J., p. 8)**

In der Abbildung ist der Vergleich der Bruchlast jeweiligen Probe im Neuzustand (=100%) und in Prozent dieses Neuzustandes nach dem Scheuern dargestellt (bunte Säule).

Die Festigkeitsverminderung von bis zu 50% lässt darauf schließen, dass der Kern beschädigt wurde (Kernanteil über 50%).

„Das bedeutet: Nicht nur der Mantel ist beschädigt, auch der tragende Kern der Seile muss Schaden genommen haben, auch wenn der Schädigungsmechanismus (nur) von außen auf das Seil wirkt“ (Teufelberger, o.J., p. 8).

Was bei dieser Untersuchung außer Acht gelassen wird ist die deutlich höhere Belastung beim Einziehen gegen den Widerstand der Kante, die mehr als das Doppelte der Last betragen muss.

In einer frühen Untersuchung der Fa. Edelrid wurde laut Pit Schubert auf die massive Schädigung beim Topropeklettern hingewiesen. „Nach Erkenntnissen des deutschen Bergseileherstellers EDELRID ist die Alterung durch Toprope-Gebrauch bis

zu zehnmal (!) so stark wie beim normalen Klettern im Vor- und Nachstieg (Schubert, 1995, p. 63).

Wie in Kap. 6.3 ausgeführt, kommt es im Topropesimulator bei Wasserkühlung ebenfalls zu einer massiven Schädigung des Seilkernes, bevor der Mantel so weit geschädigt ist, dass man das Seil als bedenklich einstufen würde.

**Persönliche Anmerkung:**

Im Zuge dieser Arbeit stellte sich heraus, dass möglicherweise dieser Einfluss zu einer gefährdenden Schwächung führen könnte. Da dieses Thema bisher in der Forschung an Betrachtung der Bedeutsamkeit zu wenig behandelt wurde, wurde es in einer Versuchsreihe extra untersucht siehe Kapitel 6.3.

#### **4.1.10. Festigkeitsverlust durch Seilendverbindungen**

Die statische Reißfestigkeit wird normalerweise mittels Schlingscheiben gemessen, wo das Seil über Scheiben läuft und die Kraft sukzessive über die Reibung auf die Scheibe übertragen wird (DIN, 2011). Diese Zahl ist von untergeordneter praktischer Relevanz, da der Fall in dieser Form bei Anwendungen nie eintritt.

Aus Gründen der Praxisrelevanz wird in dieser Arbeit auf Seilendverbindungen mittels Knoten eingegangen.

Die Norm für Kernmantelseile mit geringer Dehnung legt dafür die Mindestfestigkeit fest, die mindestens 15 kN betragen muss (DIN, 1998, p. 4).

Die Knotenfestigkeit ist bereits in zahlreichen Untersuchungen dokumentiert (siehe z.B. Abb. 18)

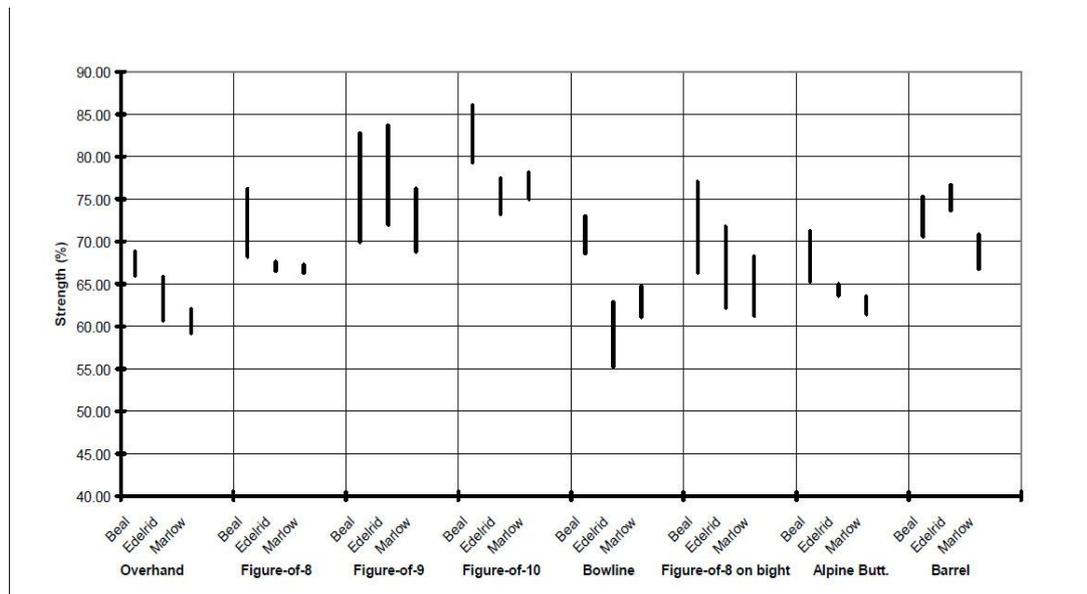


Figure 12  
Knot strengths (percent of manufacturers' stated strength)

#### Abbildung 20: Bruchfestigkeit unterschiedlicher Knoten

(Long, 2001, p. 18)

Hier wird die Streuung der Knotenfestigkeit deutlich, die auch vom Seil abhängt. Für diese Arbeit sind der Figure-of-8 (Achterknoten) und der Bowline (Bulinknoten) relevant.

#### 4.1.11. Festigkeitsverminderung durch hohe Temperaturen

Hohe Temperaturen haben auf Polyamid einen schwächenden Einfluss. Die Grenzwerte werden in der Literatur unterschiedlich angegeben. Temperaturen von Elsner et.al. für permanente Exposition mit 80-100 Grad Celsius angegeben, kurzfristig 120 bis 140 Grad. Bei 280 Grad schmilzt Polyamid 6 (Elsner et al., 2004, p. 675).

Im normalen Gebrauch werden diese Temperaturen nur oberflächlich erreicht. So kann es bei harten Stürzen oder sehr raschem Ablassen durchaus zu Schmelzerscheinungen am Seilmantel kommen. Es konnten keine Hinweise gefunden werden, dass diese die Bruchfestigkeit in einem gefährdenden Ausmaß verringern.

Labortests zeigen, dass es bei einer Exposition von unbehandeltem PA 6 auf eine Temperatur von 100 Grad Celsius nach ca. 10 Tagen zu einem Abfall unter 50% Bruchspannung kommt, ein Zeichen dafür, dass das Material brüchig wird: „The time at which the strain at break dropped below 50% was defined as the point of embrittlement” (Forsström & Terselius, 2000, p. 70).

Das bedeutet, dass das Liegenlassen im Auto auch im Hochsommer keine Gefährdung darstellt, da diese Temperaturen nicht erreicht werden.

Anders ist es, wenn das Seil nicht bestimmungsgemäß verwendet wird, sondern so, dass unter Druck ein Seil über einen anderen Gegenstand aus Polyamid reibt, z.B. wenn zwei Seile im gleichen Karabiner sind und eines auf der gleichen Stelle des anderen Seils reibt, oder wenn man jemanden über eine Bandschlinge ablässt. Dann können Ablassvorgänge von weniger als einer halben Seillänge zum Riss des stehenden Seiles führen. Dies ist eine bekannte Unfallursache (Schubert, 2008).

#### **4.2. Exkurs: Der „Coefficient of Variation“ als Kriterium für den Seilzustand**

Nichols et al beschreiben eine statistische Methode, um mit dem Test von Litzen auf den Zustand des Seiles zu schließen:

“Another indicator of deterioration is the statistical parameter 'Coefficient of Variation' (residual tensile strength and breaking extension, Anmerkung von mir), or CV. It is the standard deviation divided by the mean strength and is expressed as a percentage of the mean strength. For a used rope in good condition, a CV for both parameters is typically 8%. A high CV, showing significant variability in performance of individual rope elements, indicates deterioration in overall rope condition” (Nichols, Stephen, & Flory, 2007).

Ob sich daraus eine Methode zur Feststellung der Ablegereife ableiten lässt, müsste noch untersucht werden.

## 5. Empirische Untersuchung/Labortests

### 5.1. Vortests

Es wurden ZerreiStests mit Seilen und Bandschlingenmaterial mittels mechanischem Zuggerät (Hubzug) und Dynamometer mit Peakfunktion durchgeführt.

Ziel dieser Tests war, herauszufinden, ob diese Arbeit überhaupt sinnvoll ist sowie Anhaltspunkte für das Design der Zugprüfanlage zu finden.

Anfänglich wurden die Versuche zwischen Bäumen durchgeführt. Dabei wurden bereits Hinweise gefunden, dass Bandschlingenmaterial eine zu geringe Bruchlast aufweist.

Um die Zerreißmaschine zu designen wurde ein Rahmen gebaut. In einer nächsten Versuchsreihe konnten die notwendigen Dimensionen getestet werden. Gleichzeitig gab es einen ersten Hinweis auf die niedrige Bruchlast von Hallenseilen.

Aus den Erfahrungen der Vortests konnte das Design der Zerreißmaschine in Hinblick auf den notwendigen Hub und die notwendige Festigkeit des Rahmens erstellt werden.

### 5.2. Befragungen

#### 5.2.1. Befragung1 zum Fachwissen von Experten

##### **Fragestellung**

Einschätzung der Nutzungsdauer eines Seiles bei Bewetterung und Nichtbenützung

Einschätzung der Nutzungsdauer von Seilen und Gurten bei fast täglichem Gebrauch

Fragen nach dem Fachwissen über den Sicherheitsfaktor von PSA

##### **Fragemethode**

Fragebogenunterstütztes Interview. Diese Befragungen dienten der Orientierung, sie wurden nicht wissenschaftlich ausgewertet. Während der Befragung gaben einige der Befragten an, sie würden nur diese Antwort geben, weil sie durch die persönliche Kenntnis des Fragers beeinflusst wurden.

##### **Stichprobe**

Experten und Multiplikatoren: Interviews mit Pit Schubert (6.11.2013), sowie Christoph Brand als Betreiber (15.2.2014), weitere 18 Fachleuten (Bergführer,

Bergretter) im Zuge der Alpinmesse in Innsbruck im November 2014. Eine anonyme Befragung wurde an weiteren 15 Personen mit alpinem Fachwissen im Zuge der Alpinmesse durchgeführt.

### Ergebnisse

Frage: „Wie viele Jahre ist Ihrer Meinung nach ein Seil weiterhin einsatzfähig, wenn es im Freien auf einem Baum befestigt hängt, ohne verwendet zu werden.“

Experte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Jahre	99	3	5	10	50	15	1	15	3	1		10	10		0	1	1	

Mittelwert:	15
Maximum:	99
Minimum:	0
Standardabweichung	26
Mittelabweichung	16

**Tabelle 8: Frage zur Lebensdauer eines bewetterten Seils ohne Benutzung**

Frage: „Wie viele Jahre können Seile/Gurte gemäß Herstellerangaben bei fast täglichem Gebrauch verwendet werden? Die Antworten lagen zwischen 1 und 8 Jahren.“

Experte:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Seil	2	3	1	1	5	5			1	2		1	1					1
Gurt	2		1		5	5		8	1	3			1					1

	Seil	Gurt
Mittelwert:	2	3
Maximum:	5	8
Minimum:	2	1
Standardabweichung	2	2,5
Mittelabweichung	1	2

**Tabelle 9 Einschätzung der Lebensdauer von Seilen und Gurten bei fast täglichem Gebrauch**

Die Fragen lauteten: Wie hoch ist der Sicherheitsfaktor, und wie hoch sollte er nach Ihrer Meinung sein (jeweils Seile und Gurte).

Experte:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Ist Seil			12	2	1	3		4	3	1	3							0
soll Seil	2	2	3	2	4	3	3	4		4	3	4	4					2
Ist Gurt			12	2	1	3		4	3	1	3							2
Soll Gurt	2	2	3	2	4	3	3	4		4	3	3	3					2

	Ist Seil	Soll Seil	Ist Gurt	Soll Gurt
Mittelwert:	3,1666667	2,8846154	3,3888889	2,7692308

Maximum:	12	4	12	4
Minimum:	0	2	1	2
Standardabweichung	3,5355339	0,7679476	3,3706247	0,7250111
Mittelabweichung	2,1481481	0,6627219	2,0493827	0,5976331

**Abbildung 21 Ist- und Sollwerteinschätzung des Sicherheitsfaktors von PSA**

### **Interpretation:**

Die Befragung brachte keine bedeutsamen Ergebnisse: Die Werte in den fragebogenunterstützten Interviews weichen beträchtlich voneinander und von den empirischen Daten wie auch von den Herstellerangaben ab. Eine These könnte lauten, dass die Informationen aus den Herstellererklärungen den Experten nicht bekannt sind.

Dies wird auch durch die Unterschiede in den Antworten zwischen Seilen und Gurten Angaben gestützt: Hersteller machen keinen Unterschied.

Die Frage nach dem Sicherheitsfaktor zeigt auch, dass die Befragten sehr unterschiedliche Ansichten haben und nur die wenigsten wussten, dass Seile und Gurte keinen Sicherheitsfaktor definiert haben:

### **5.2.2. Befragung 2 zur praktischen Einschätzung von PSA (Alter und Bruchkraft)**

Eine andere Erhebung fand am 10. Oktober im Rahmen einer Fortbildungsveranstaltung für Gerichtssachverständige aus dem Fachgebiet der Alpinistik statt, wo auch Alpinpolizisten (ausgebildete Polizeibergführer) teilnahmen.

#### **Fragestellung**

Inwieweit können Experten das Alter von textiler PSA einschätzen sowie die Bruchkraft der Gegenstände prognostizieren?

#### **Fragemethode**

Es wurden 4 Proben dargestellt, und das Alter sowie die Bruchfestigkeit abgefragt. Die Probanden sollten diese Zahlen in eine Tabelle eintragen. Die Proben waren: ein Gurt, Fa. Teufelberger, aus dem Jahr 1981, die anderen Gegenstände waren dynamische Kletterseile zwischen 1 und 50 Jahren alt.

#### **Stichprobe**

17 Experten einer Fachtagung der Expertengruppe „Alpinsachverständige“ des Österreichischen Kuratoriums für alpine Sicherheit im Mai 2015. Die Stichprobe bestand

aus allgemein beedete und gerichtlich zertifizierte Sachverständigen aus dem Fachgebiet der Alpinistik sowie Polizeibergführern.

### Ergebnisse

	Gurt		Seil verpackt		seil weiß		Seil Blau	
Tats Alter	35	24	8	3,1	56	6,8	1	6,8
TN	Alter	Bruchlast	Alter	Bruchlast	Alter	Bruchlast	Alter	Bruchlast
1	31	5	18	15	20	7	27	8
2	30	4	10	12	10	4	25	4
3	28	3,5	12	7	22	5	20	9
4	40	3	22	9				
5	41	3,5	20	8	25	6	20	7
6	35	2,8	10	10	40	6	15	15
7	30	6	14	14	5	20	22	17
8	38	32	28	7,5	38	10	28	11
9	38	4,2	13	16	18	16	16	16
10	32	7	19	7,5	10	10	26	15
11	35	3	15	8	12	8	14	12
12	37	6,5	30	11	14	6	24	14
13	30	12	12,5	15	5,5	7,5	10	17,5
14	30	9	20	9	12,5	12	20	10
15	39	7	20	9	23	10	29	13
16	35	4	20	10	30	10	20	15
17	33	4,5	18	12	10	10	25	9

	Gurt		Seil verpackt		seil weiß		Seil Blau	
	Alter	Bruchlast	Alter	Bruchlast	Alter	Bruchlast	Alter	Bruchlast
Mittelwert	34,2	6,88235	17,7	10,5882	18,4	9,21875	21,3	12,0313
Max	41	32	30	16	40	20	29	17,5
Min	28	2,8	10	7	5	4	10	4
Standardabw	4,09	6,91576	5,7	2,93276	10,7	4,15118	5,47	3,92627
Mittelabwe	3,52	3,83391	4,43	2,45675	8,62	3,03125	4,44	3,28125

**Tabelle 10** Einschätzung von Experten: vergleich tatsächliches Alter und tatsächliche Bruchlast mit Einschätzungen

## Interpretation

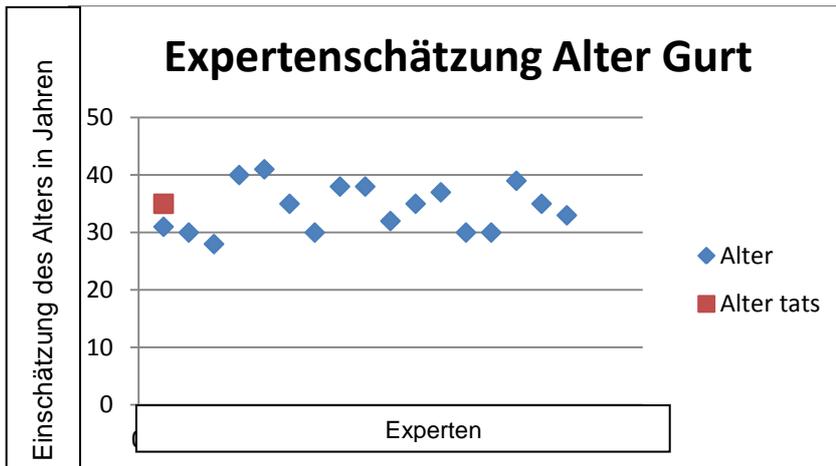


Abbildung 22: Sitz/Brustgurt aus dem Jahr 1981 („Alter“=Expertenschätzung)

Dieser Gurt war eine der ersten Sitz/Brustgurtkombinationen und sehr verbreitet. Die Anwesenden kannten diesen Gurt und konnten ihn daher auch gut altersmäßig einordnen. Stark unterschätzt wurde die Bruchlast:

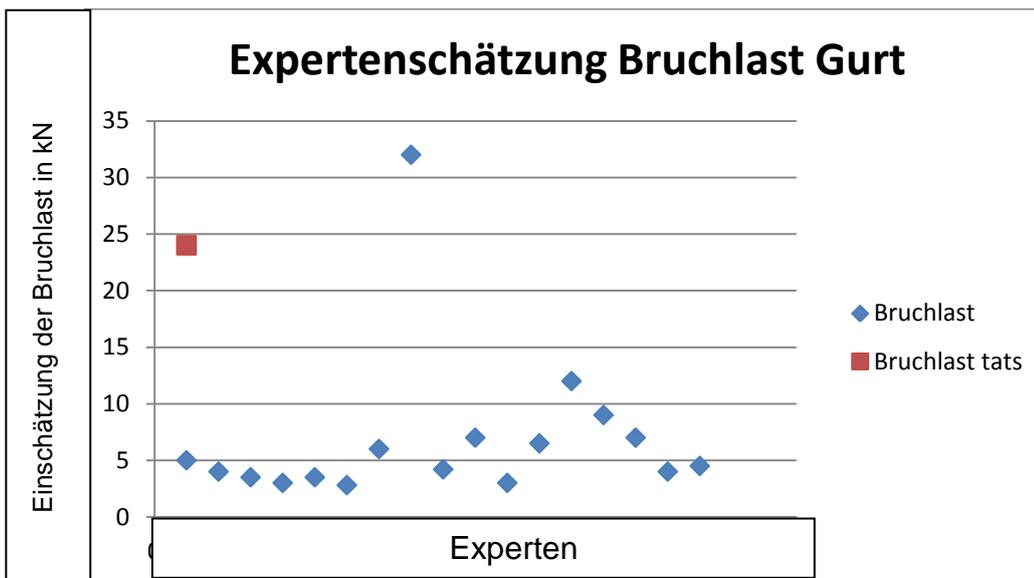


Abbildung 23: Bruchlast Gurt („Bruchlast = Expertenschätzung)

Bis auf eine Person (32 kN) schätzten alle Befragten den Gurt zwischen 3 und 12 kN ein.

Ein deutliches Beispiel für Fehleinschätzungen ist auch das Hallenseil (pelzig, deutliche Gebrauchsspuren), dessen Alter deutlich überschätzt wurde:

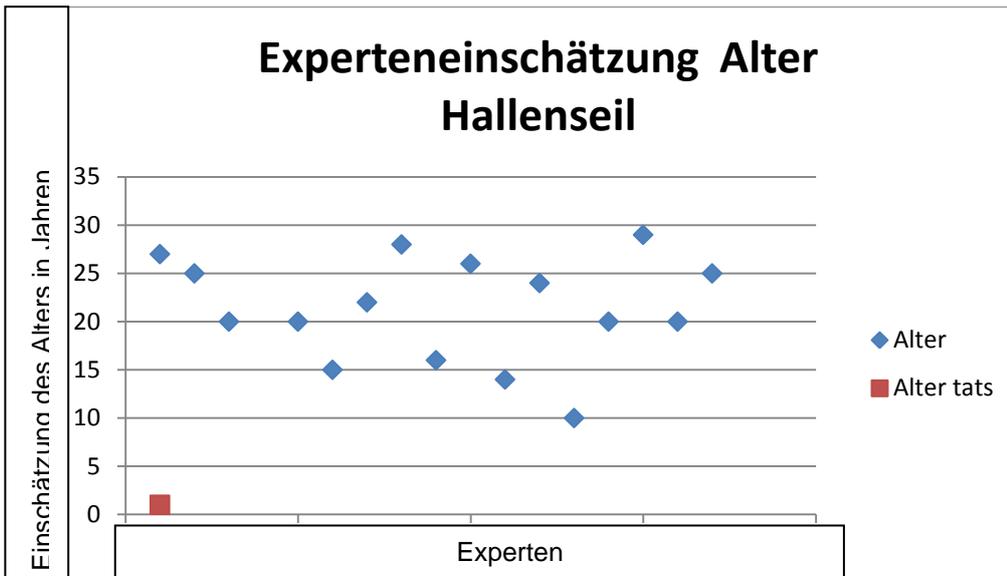


Abbildung 24: Experteneinschätzung Hallenseil Alter („Alter“ = Exertenschätzung)

Das Alter wurde überschätzt, die Bruchlast aber ebenso.

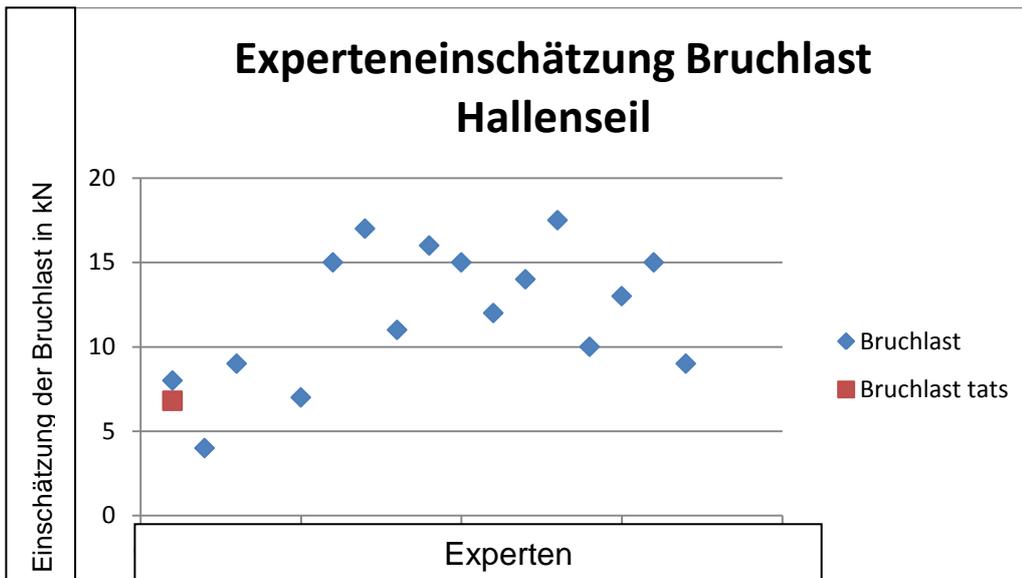


Abbildung 25 Expertenschätzung Bruchlast Hallenseil („Bruchlast“ = Expertenschätzung).

### Interpretation

Der Gurt war den anwesenden Personen bekannt und konnte entsprechend eingeordnet werden. Das Seil weiß war den Anwesenden nicht mehr bekannt. Älteren Bergsteigern (jene, die vor 1965 kletterten) wäre es sehr wohl bekannt, da es vor ca. 50 Jahren eines der gebräuchlichsten Kletterseile war.

Das Hallenseil wurde am meisten unterschätzt.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass selbst Experten das Alter von PSA visuell nicht einschätzen können, sondern wissen müssen. Wenn aber das Alter ein wichtiges Kriterium ist, weil in Herstellererklärungen und Regeln angeführt, stellt sich die Frage, warum es nicht deutlicher gekennzeichnet ist. Bei Bandmaterial (DIN, 2007) muss das Herstellungsjahr nicht auf dem Band, sondern z.B. nur auf der Verpackung vermerkt werden. Das bedeutet, nach dem Abspulen ist nicht mehr feststellbar, wann das Band produziert wurde. In der Herstellererklärung muss nur die Lebensdauer, nicht aber das Herstellungsjahr vermerkt sein. Da es nicht üblich ist, die Verpackung zur Dokumentation zu geben, ist der Zeitpunkt der Ablegereife nicht mehr feststellbar.

Bei dynamischen Bergseilen (DIN, 2012a) von der Spule befindet sich nur die Kennzeichnung an den Enden, nicht aber im Seil, wie bei halbstatistischen Seilen (DIN, 1998). Hier muss auch kritisch angemerkt werden, dass viele Kennzeichnungen (Kennfäden) nach kurzer Zeit unleserlich werden.

### **5.3. Forschungsregion**

In erster Linie Europa (EU), zusätzlich fließen auch Erkenntnisse aus den USA ein.

### **5.4. ForschungspartnerInnen (GesprächspartnerInnen)**

Wesentlich waren für diese Arbeit Seilproben unterschiedlichen Alters, deren Geschichte zumindest teilweise bekannt sein musste. Insbesondere wurden um Seilproben angesprochen: Betreiber von Seilgärten, Bergretter, Kletterhallenbetreiber, Höhlenforscher, Kletterer, Einsatzkräfte, Höhenarbeiter, aber auch Hobbybergsteiger. Sie wurden eingeladen, textile Materialien zu sammeln, deren Geschichte zumindest teilweise bekannt ist. Gesprächspartner sind hier die Eigentümer und Nutzer dieser Materialien.

Nicht angesprochen, um Seilproben zur Verfügung zu stellen wurden im Zuge der Arbeit Hersteller, um die Unabhängigkeit zu sichern. Die neuen Vergleichsseile wurden gekauft.

## **5.5. Forschungsdesign**

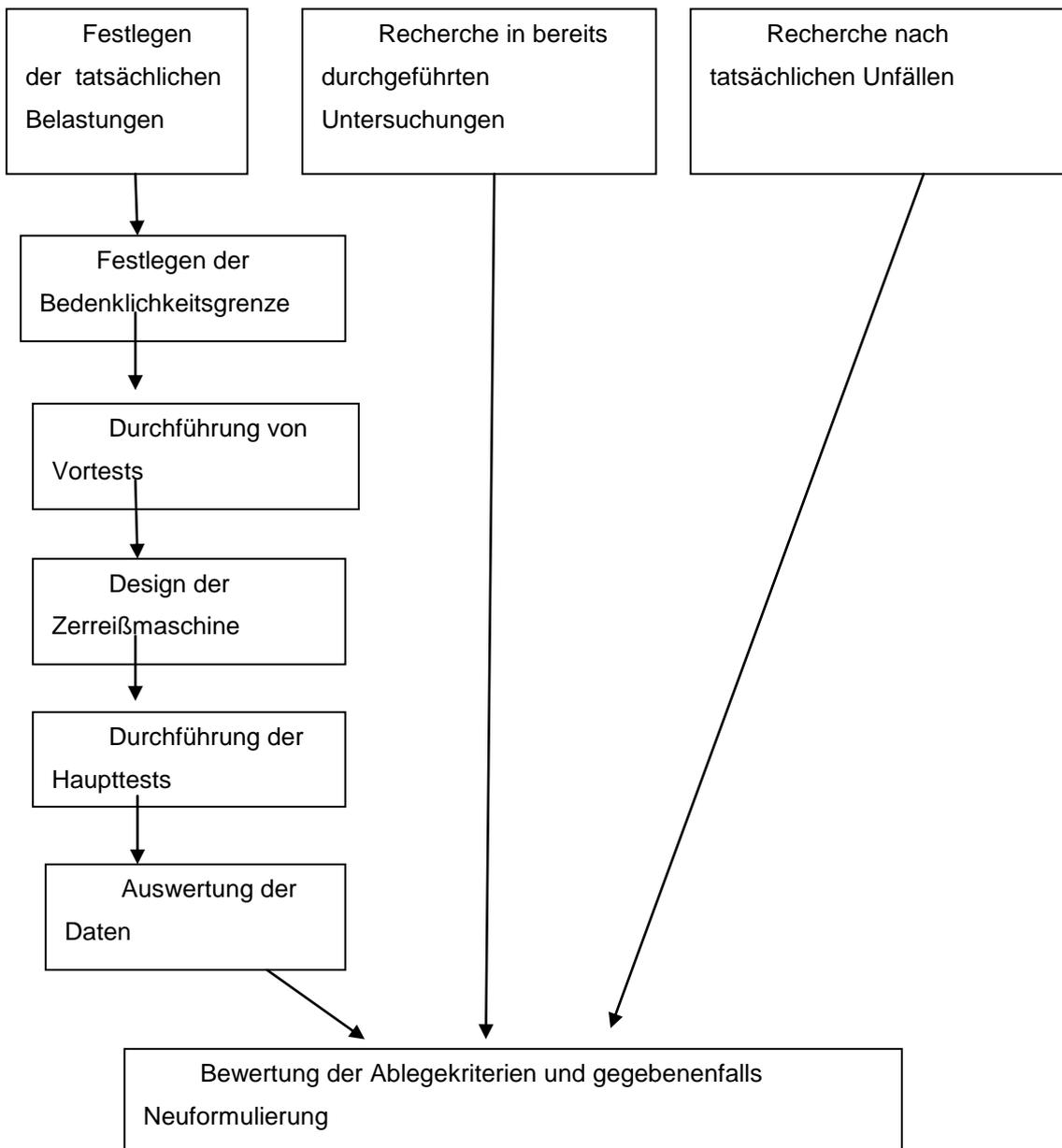
### **5.5.1. Hypothesen**

Basierend auf der Forschungsfrage, ob die Lebensdauer von textilen Materialien im Outdoor-Bereich einer zeitlichen Begrenzung unterliegt, was bedeutet, dass sie so lange eingesetzt werden können, bis andere Ablegekriterien (z.B. sichtbare Beschädigung) wirksam werden, ergeben sich folgende Hypothesen.

Hypothese 1: Es besteht kein Zusammenhang zwischen Alter und Bruchkraft.

Hypothese 2: Man kann Ablegekriterien festlegen, die ermöglichen, dass das Material in seiner maximalen Nutzungsdauer verwendet werden kann, ohne dass die nutzungsbedingten Belastungen die Bruchkraft überschreiten.

## 5.5.2. Überblick über das Forschungsdesign



Ablege Kriterien sollen verhindern, dass ein Gegenstand verwendet wird, obwohl durch diese Verwendung Gefahr droht. Bei PSA gegen Absturz ist eine der Hauptgefahren Versagen durch Bruch. Ein Bruch tritt – neben externen Krafteinwirkungen wie z.B. Schnitt mit einem Messer – ein, wenn die Belastung die Bruchlast übersteigt. In einem ersten Schritt wurden Belege und Untersuchungen zu den tatsächlichen Krafteinwirkungen erhoben. Dies war die Voraussetzung für die Festlegung der Untergrenze der Bruchlasten.

Da nicht bekannt ist, wie hoch die maximale Belastung in der Praxis ist (ein erkenntnistheoretisches Problem: man kann nicht alle Vorgänge messen, sondern immer nur deduktiv vorgehen), sind Sicherheitszuschläge üblich: Man nimmt die höchsten gemessenen Werte, setzt sie mit den berechneten Werten in Verbindung und fügt einen Wert, einen Sicherheitspolster, hinzu – den Sicherheitsfaktor. Der ist willkürlich und kann wissenschaftlich nicht erhoben werden.

Die Vortests dienen dazu, das Forschungsgebiet einzugrenzen, erste Erfahrungen zu sammeln und das Design der Forschungseinrichtungen praxisnahe zu gestalten.

Weiters wurden Proben gesammelt, teilweise auch aktiv eingeholt.

In den Haupttests wurden die Seile, Schlingen und Gurte systematisch auf Bruchlast untersucht, wobei ein Gegenbeispiel („Schwarzer Schwan“) als Beleg für eine Widerlegung einer Hypothese gegolten hat. Dies war bei Bandschlingen der Fall, weswegen die Bruchlasttests eingestellt wurden.

Eine wesentliche Informationsquelle sind auch tatsächliche Unfälle, da in diesen Fällen die Belastung die Bruchlast erreicht bzw. überschritten hat. Umgekehrt kann man annehmen: Wenn trotz hoher Dokumentationsdichte und hohen Fallzahlen keine Evidenz für ein Phänomen gefunden wird, kann die Nichtexistenz dieses Phänomens bis zum Erstfall als empirische Realität gelten. Am Beispiel Deutschland: In Deutschland sind um die 500.000 Kletterer aktiv (DAV, 2015). Wenn sehr konservativ gerechnet jeder nur 10 x/Jahr ein Seil belastet, treten innerhalb von 10 Jahren 50 Millionen Belastungen in Seilen auf. Kein Ereignis bei 50 Millionen Fällen kann als unwahrscheinlich bezeichnet werden.

Im Zuge der Arbeit wurde ein bisher kaum beachtetes Kriterium gefunden, das in einem eigens entwickelten Forschungsdesign untersucht wurde: Der Einfluss von Lastbiegewechseln auf die Bruchfestigkeit von Seilen.

### **5.5.3. Referenzseil**

Für Vergleichen mit einem unbenutzten Seil wurde ein Mammut Statikseil verwendet. Dieses Seil wurde herangezogen, da es ein sehr häufig verwendeter Seiltyp ist. Es war zur Zeit der Tests 7 Jahre alt und unbenützt.

#### **5.5.4. Umgang mit Seilproben**

Die Veröffentlichung der geplanten Seiltests (Siebert, 2015b) brachte zahlreiche Nutzer dazu, Gegenstände zu schicken.

Es wurde angestrebt, pro Gegenstand 10 Proben zu testen (Amesberger, 2014), was aber in der Praxis nicht immer möglich ist, da oft nur kurze Seilstücke vorliegen. Altes Material ist nur begrenzt vorhanden. Ein Jumarseil hat oft nur 10 m Länge. Hier war es notwendig, die Länge für die Zerreißprobe so kurz wie möglich zu halten. Deswegen wurde auf ein symmetrisches Spansschloss gemäß EN 13411-7 zurückgegriffen (DIN, 2009b).

Die Bruchlast beträgt 89% der Nennbruchlast in der Schlingscheibe.

Auf der anderen Seite wurde ein Bulinknoten verwendet. Es kamen entweder Achterknoten oder Bulinknoten infrage, da beide Knoten in Normen definiert sind und als Seilendknoten gebräuchlich sind.

	Mittelwert	Min	Max	STABw
			19900,0	
<b>Bulin</b>	18386,67	15750,00	0	1305,41
			20350,0	
<b>Achter</b>	19640,00	18400,00	0	646,70
			26800,0	
<b>Spannschloss</b>	25264,71	22050,00	0	1352,17
			28500,0	
<b>Schlingscheibe</b>	28233,33	27900,00	0	305,51

Tabelle 11: Referenzwerte weißes Seil (Mammut 11 mm)

Der Mittelwert der Bruchkraft des Bulinknotens ist um 6,3 Prozent niedriger als der Mittelwert der Bruchlast des Achterknotens, die Maxima des Bulins sind jedoch höher als die Minima des Achterknotens.

Nach den Referenztests fiel die Wahl auf den Bulinknoten:

1. Er verbraucht weniger Seil
2. Er hat eine mittlere niedrigere Bruchlast als der Achterknoten, was dem Zweck dieser Arbeit entspricht, Applikationen zu finden, die gefährlich sein können.

Folgende Längen wurden bei Seilen experimentell für einen Test als Mindestlänge ermittelt:

	Achterknoten	Bulin	Spannschloss
<b>Achterknoten</b>	190		
<b>Bulin</b>	140	100	
<b>Spannschloss</b>	110	80	60

Tabelle 12 Längen für Proben mit unterschiedlichen Seilendverbindungen

Folgende Messungen wurden vorgenommen:

- Bruchlast angelehnt an die ISO 2307 (DIN, 2011). Die effektive Länge der Proben war deutlich kürzer, auf die zyklische Belastung wurde verzichtet, da sie nach den Vortests keine Relevanz hatte.

- Steifheit in Form der Knotbarkeit gemäß EN 1891 (DIN, 1998) (wurde nicht in die Auswertung einbezogen)
- Bruchdehnung, angelehnt an die ISO 2307, allerdings mit Knoten, da dies für die praktische Anwendung relevant erscheint (DIN, 2011). Der Begriff „Handkraft“ als Anfangsspannung wurde mit 150 N festgelegt. (wurde nicht in die Auswertung einbezogen).
- Durchmesser, gemäß EN 1891 (DIN, 1998) Der Durchmesser ist am unzuverlässigsten feststellbar, weil die Variationen zu groß sind. Daher können die Angaben nur als Schätzgröße gelten.
- Festgestellt wurde, ob ein Kennstreifen gemäß EN 1891 im Seil ist. Dadurch kann das Alter festgestellt werden. Ein Fehlen lässt allerdings keine zuverlässigen Rückschlüsse auf das Alter zu. Seit 20 Jahren ist dieser Streifen verpflichtend, jedoch fehlten in einigen aktuell produzierten Seilproben die Streifen.
- Thermofixierung gemäß ISO 2307, S. 15. Diese Messung kann unterbleiben: Sämtliche Seile sind thermofixiert (DIN, 2011). (Wurde nicht in die Auswertung einbezogen).

Bei Gurten wurde die Belastungsfähigkeit teilweise nur bis 15 kN gemessen, da laut Norm Gurte auf diese Kraft im Zuge der Normierung getestet werden, aber nicht bis zum Bruch (DIN, 1993, 2002a).

Ein Gurt wurde auf 24 kN (40 Jahre alte Edelweiß Brust-Sitzgurt-Kombination), ein weiterer auf 22 kN (20 Jahre alter Sprunggurt RC1) getestet.

### **5.5.5. Datenspeicherung**

Materialtests: Digitale Datenspeicherung, Foto, Archivieren des Materials

Die Messdaten wurden in einer Dropbox abgelegt und auf einem zweiten PC gespiegelt. Damit stehen zwei Backups zur Verfügung.

### **5.5.6. Datenanalyse**

Jede Probe bekam einen eindeutigen Code zugewiesen:

Folgende Daten wurden für jede Probe erhoben:

9. Charge: Dieser Code zeigt an, von wem/woher das Material stammt

9.1. Gegenstand, z.B. Seil, Gurt, Band, Verbindungsmittel.

9.1.1. Probe,

9.1.1. 1. Gleiche Probe, mehrmals getestet

Für diese Arbeit wurden lediglich das Alter und die statische Bruchkraft herangezogen. Betreffend die anderen Parameter konnte keine Relevanz für dieses Thema gefunden werden.

### 5.5.7. Zerreißmaschine

Es wurde eine hydraulische Zerreißmaschine gebaut. Ein 1,5 kW Aggregat mit elektrischen Ventilen, Druckregulierung (für die Regulierung der Kraft) sowie Durchflussregulierung treibt einen 5-to Zug-Zylinder an.

Es ist möglich, den Druck (Kraft) sowie den Durchfluss (Geschwindigkeit) zu regeln.

Nachträglich wurde bei B1 ein Drosselrückschlagventil eingebaut und der Druckmesser danach, damit die Einzugsgeschwindigkeit an die Norm angepasst werden kann, ohne die Ausfahrgeschwindigkeit zu drosseln.

Die Kraftmessung über den Drucksensor laufen zu lassen führte zu einer Messgenauigkeit von +/- 200 N, was für diese Arbeit als ausreichend eingestuft wurde.

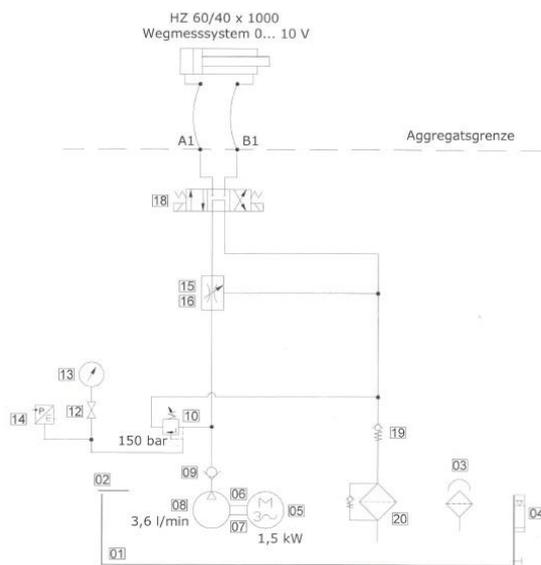
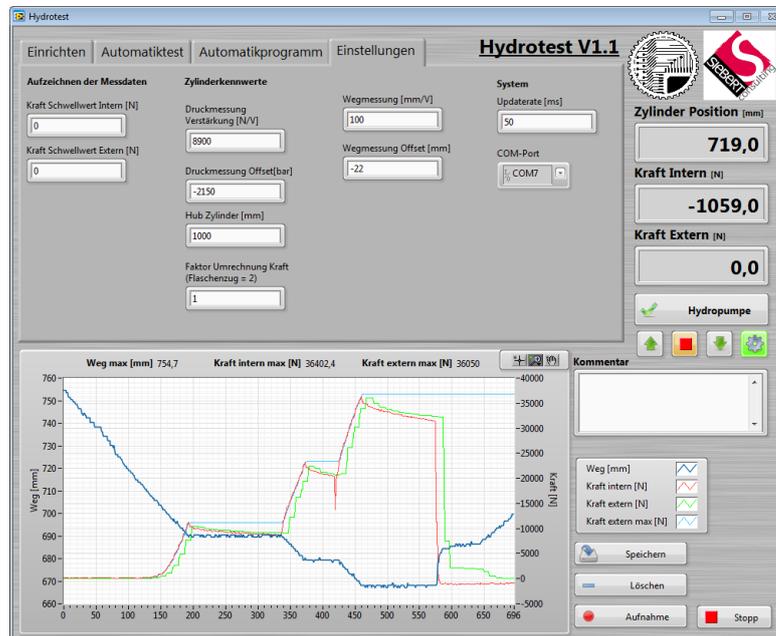


Abbildung 26 Schaltplan der Hydraulikanlage

Für die Wegemessung wurde ein Wegmesssystem (Balluf BTL 7 mit einer Genauigkeit von 0,01%) in den Zylinder eingebaut.

Die Steuerung und Datenverarbeitung erfolgt durch ein Programm der Fa. ZELOS engineering GmbH, das auf der Basis der Systemdesign- und Entwicklungsumgebung Labview (2014) von National Instruments maßgeschneidert programmiert wurde.



Mit der **Abbildung 27: Screenshot der Benutzeroberfläche der Steuerungssoftware** (Hydrotest

V1.1.) können Kraft/Weg/Zeitdiagramme erstellt werden. Zusätzlich können die Daten ins Excel ausgelesen und weiterverarbeitet werden.

Die Kalibrierung erfolgt mit einer werkseitig kalibrierten Dillon 5000 EDX.

Der Rahmen der Zerreißmaschine besteht aus Doppel-U-Trägern (Doka Mehrzweckriegel WU 12 Top 50), der auf 80 cm Länge gekürzt wurde sowie zwei Doka Deckensttzen Eurex 30 top 400, die mit den Doppel-U-Trägern verschraubt sind. Durch die Lngenverstellung der Deckensttzen kann der Rahmen in der Länge an die Probe angepasst werden. Die statische Berechnung erfolgte durch die Fa. Doka.

Für die Befestigung der Waage wurde ein Gabelkopf von der Fa. WA Richter maßgeschneidert, der mit Steckbolzen mit dem Rahmen verbunden wird. Der Zylinder ist mit Gabelkopf ausgestattet, der passgenau in die Doppel-U-Träger passt und verbolzt werden kann.

Zur Feststellung der sichtbaren Abnützung sowie der Entzifferung der Kennstreifen steht ein digitales Auflichtmikroskop (200 fach) zur Verfügung.

### 5.5.8. Versuchsplanung des Topropesimulators

Wie bereits oben erwähnt entstand der Verdacht, dass Lastbiegewechsel einen bedeutsamen schädigenden Einfluss auf Seile haben. Dies wurde im Rahmen eines Seminars an der Technischen Universität Wien untersucht. Teile dieses Kapitels sind aus der unveröffentlichten Seminararbeit entnommen (Siebert, 2015).

Hypothese: Bei der Anwendung wie z.B. beim Topropeklettern entsteht - abgesehen vom Sicherungsgerät - die größte Beanspruchung im Umlenkkarabiner in Form eines Lastbiegewechsels.

Dieser Winkel im Umlenkkarabiner beträgt maximal 180 Grad, zumeist etwas weniger. Dieser Lastbiegewechsel sollte simuliert werden.

Ein entscheidender Faktor ist, dass die Reibung in der Umlenkung nicht durch Rollen herabgesetzt wird, da dies nicht der realen Situation entspricht. Die Reibung ist erwünscht, da sie den Effekt ergibt, dass die Last auf der Halteseite in etwa halbiert wird. Somit fallen Gewichtsunterschiede der kletternden Person zur sichernden Person nicht so sehr ins Gewicht: Wenn die kletternde Person schwerer ist als die sichernde Person würde bei Rollen im Lastfall die sichernde Person hochgezogen werden und die kletternde Person unsanft am Boden landen.

Die Reibung im Karabiner ermöglicht, dass die sichernde Person fast halb so schwer sein kann wie die kletternde Person, ohne weitere Maßnahmen (Anhängen, mit Zusatzgewicht beschweren) treffen zu müssen.

### **5.5.9. Design Topropesimulator**

Simuliert wird die bewegte Umlenkung des Seiles im Karabiner. Damit die Versuche in einer akzeptablen Zeit abgewickelt werden können, wurde eine Hubgeschwindigkeit von 4 Sekunden/Hub und als Hubhöhe 40 cm gewählt.

Beim Hubvorgang kommt es zu erheblicher Reibungshitzeentwicklung, die das Ergebnis verfälschen würde: So wurden (seilabhängig und Karabinermaterialabhängig) Temperaturen über 150 Grad gemessen. Das führt dazu, dass – je nach Umlenkkarabiner und Seilkonstruktion - zwischen 250 und 1900 Hüben der Seilmantel bei deutlichen Schmelzspuren reißt und das Seil nur mehr auf den Litzen läuft. Dies ist ein Zeichen, dass auf der Kontaktfläche Temperaturen über 200 Grad entstehen dürften, da bei dieser Temperatur PA schmilzt. An den Kontaktflächen konnte mangels Messvorrichtung die Temperatur nicht gemessen werden. Um dieses Problem zu vermeiden, wurde ein wassergekühlter Karabiner konstruiert: Das Seil wird um ein Edelstahlrohr mit dem gleichen Radius wie der Karabiner gelenkt, eine Wasserpumpe

kühlt das Rohr. Es wird mittels Temperaturmessung darauf geachtet, dass die Gebrauchstemperatur von Polyamid nicht übersteigt (100 Grad nach Elsner et al., 2004).

Bei Untersuchungen zur Wirkung von hohen Temperaturen wurden Seile „... bei konstanter Temperatur von 100° C bis zu 1000 Stunden (knapp 42 Tage!) gelagert. In Fallversuchen nach DIN EN 892 konnte kein signifikanter Einfluss der Lagerung bei der untersuchten Temperatur und Zeit auf die Anzahl bruchfrei ertragener Stürze gefunden werden“ (Kunigham, 2006).

Als Gewicht wurden in einer ersten Versuchsreihe 20 kg auf der Lastseite gewählt, was zu einer Kraft von ca. 400 N auf der Zugseite führt. Damit wurde das Äquivalent eines Kindes mit 40 kg simuliert.

In der Folge wurde das Gewicht auf 40 kg erhöht, was zu einer Belastung von 0,8 bis 0,85 kN auf der Lastseite führt und somit dem durchschnittlichen Personengewicht entspricht.

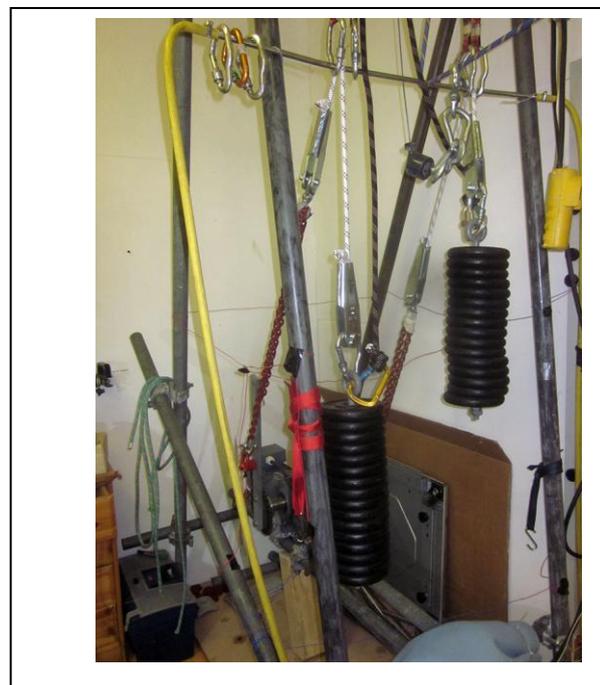


Abbildung 28 Topropesimulator

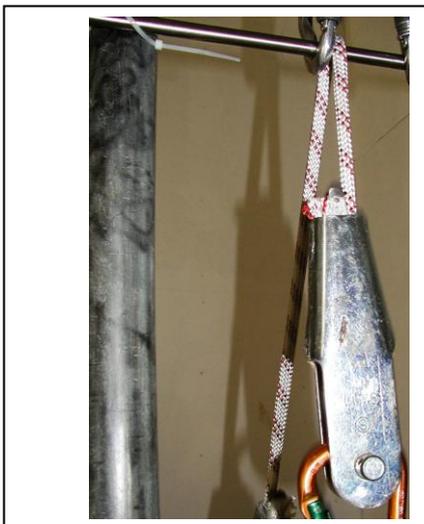


Abbildung 29 Befestigung und Umlenkung

Als Antrieb für den Hub dient ein Drehstrommotor mit Untersetzungsgetriebe, das



die Kraft auf einen zweiseitigen Exzenter mit unterschiedlichen Hubmöglichkeiten überträgt.

Daten: Drehstrom-Schneckengetriebe-Motor, KEB S32A, DM90LC4 IE2, 230/400V/D/Y, 50Hz, 6,10/3,50A, 1,5kW, 18U/min, 670Nm,  $i=77,54$ ,  $c_G=0,90$ , IP55, F, S1 (Dauerbetrieb)

#### 4. Wasserkühlung

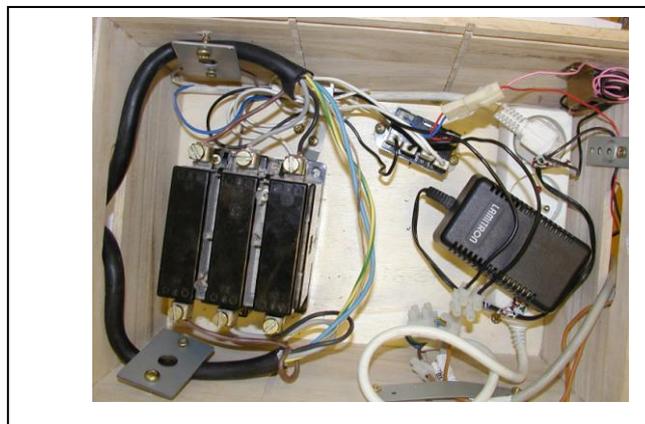
Kühlung: 12 V Wasserpumpe mit ca. 10 L/Min., Batterie, Ladegerät.

Das Wasser wird bei ca. 25 Grad getauscht und durch ca. 15 Grad kühles Leitungswasser ersetzt.



#### Automatische Abschaltung:

Damit die Maschine bei Seilriss nicht beschädigt wird und aus Sicherheitsgründen zum Personenschutz, wurde eine 12-V-Ringleitung verlegt, die alle kritischen Punkte umfasst. Unterbrecherkontakte sind zusammengedrehte Litzen.



Der 12-V Abschaltstrom steuert ein 12V/230V-Relais an, dieses steuert den Drehstromschütz an.

Abbildung 32: Automatische

#### 5. Zähler und Steuerungskasten

Der Impulsgeber für den Zähler liegt an der Hauptachse des Getriebes und wird durch einen Magneten gesteuert.

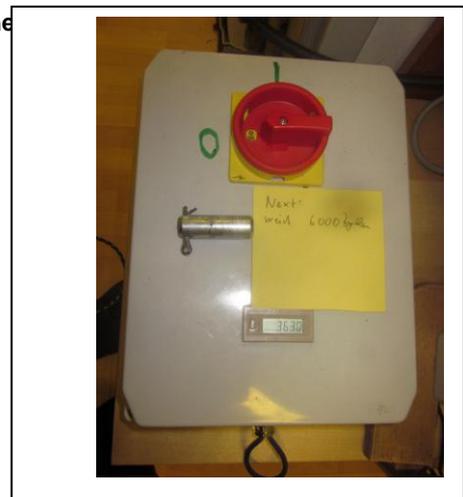
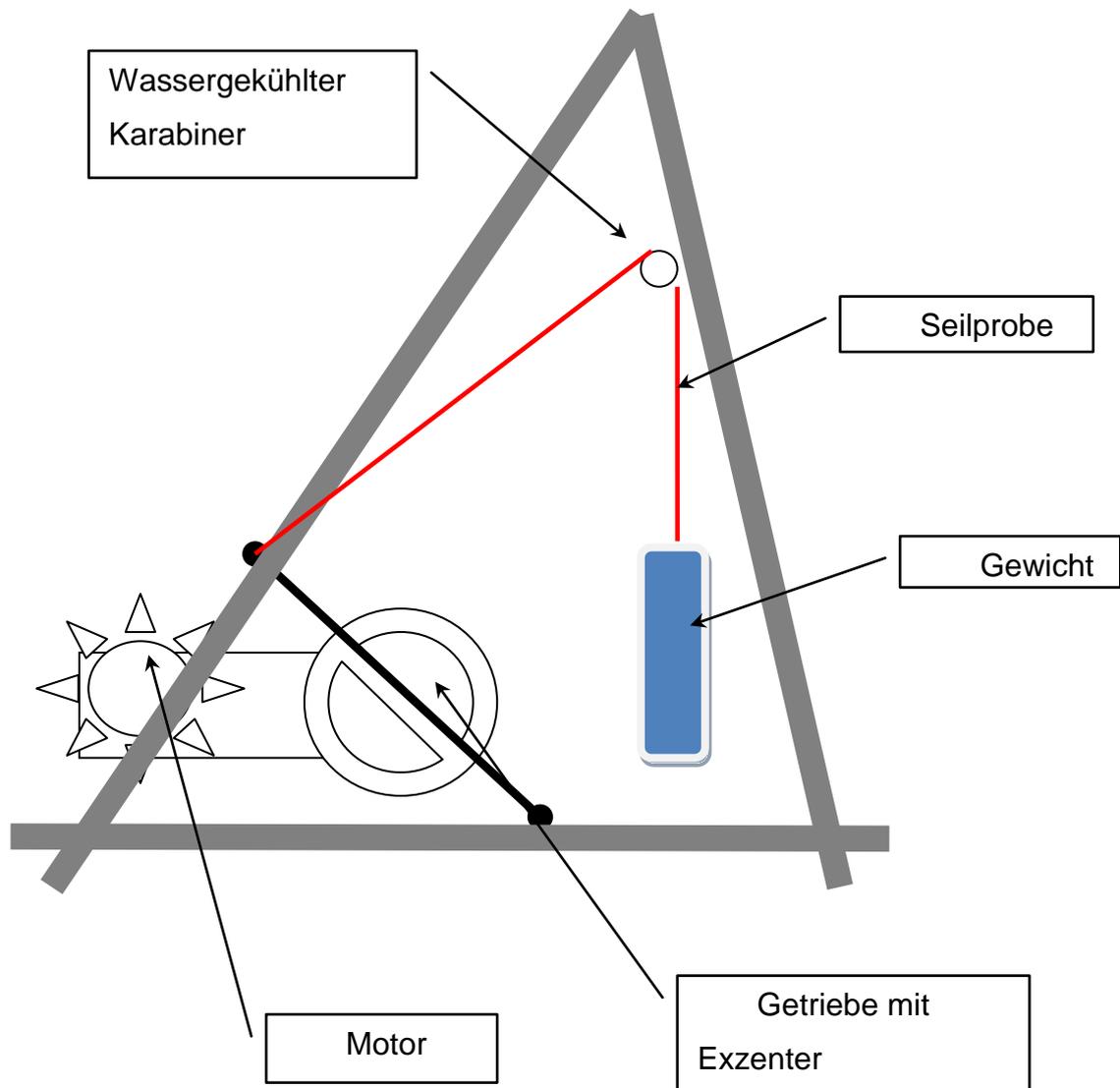


Abbildung 33: Zähler und

Der Zähler wird durch eine Batterie gespeist, wodurch sichergestellt ist, dass die Daten bei Abschaltung nicht verloren gehen.

Abbildung 34: Schema Topropesimulator:



## **6. Ergebnisse**

### **6.1. Ergebnisse der Vortests:**

Es wurden vor dem Bau der Zerreißmaschine mittels Greifzug vorwiegend alte<sup>11</sup> Seilproben sowie Bandschlingenmaterial, das zwischen 10 und 20 Jahren in Bäumen hing, getestet.

#### **6.1.1. Ergebnisse der Vortests: Seile**

Alle Seilproben bis auf eine hielten mehr als 9 kN im Knoten (Achter oder Bulin).

Die Vortests lieferten keine Hinweise, dass ältere Seile bedeutend schwächer wären als jüngere. Tatsächlich hielten oft ältere Proben deutlich mehr als jüngere Proben.

Bei Seilen in Kernmantelkonstruktion zeigte sich: Solange der Mantel unbeschädigt war, hielten die Proben deutlich mehr als 9 kN.

Allerdings sei hier festgehalten, dass retrospektiv eine Seilprobe ein Ausreißer nach unten war. Diese Probe hielt um die 6 kN, war ein Hallen-Topropeseil. Dieser Test wurde allerdings so interpretiert, es sich um ein Seil mit Vorschädigung durch vorangegangene Tests handelte. Diese Probe war bei einem vorangegangenen Test bis in die Nähe der Bruchlast belastet worden. Es war ein Seilstück, das an beiden Enden mit dem gleichen Knoten bis zum Bruch (der in einem der beiden Knoten erfolgt) belastet worden war. Die niedrige Bruchlast wurde so interpretiert, dass durch diese Belastung eine Schädigung erfolgt war. Dies war aber nicht der Fall, wie auch spätere Experimente mit zyklischen Belastungen zeigten. Es war vielmehr der erste Hinweis auf das Thema Lastbiegewechsel, da es ein Hallen-Topropeseil war. In dieser Phase war noch nicht bekannt, dass Vorbelastungen keinen nennenswerten Einfluss auf die Bruchlast haben.

#### **6.1.2. Ergebnisse der Vortests: Bandschlingen**

---

<sup>11</sup> Alt im Sinne von 30-40 Jahre alt

Bandschlingenmaterial hingegen riss teilweise bei unter 6 kN im Ring. Somit wurden bereits in den Vortests Hinweise gefunden, dass Bandschlingenmaterial teilweise deutlich herabgesetzte Bruchlast hat.

### 6.1.3. Ergebnisse der Vortests: Gurte

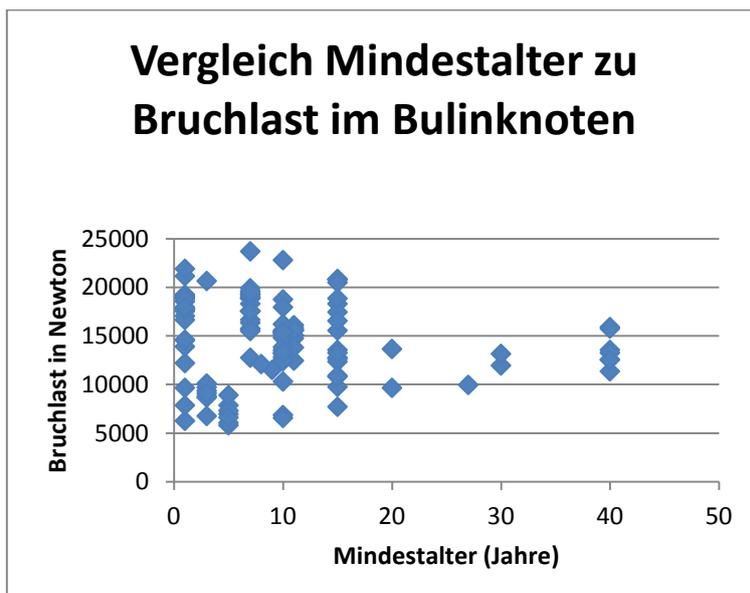
Gurte wurden in den Vortests nicht getestet.

## 6.2. Ergebnisse der Haupttests

### 6.2.1. Zusammenhang zwischen Alter und statischer Reißfestigkeit

Es wurden 153 Seilproben bis zum Bruch belastet. Es waren Seile, die gemäß Herstellerangaben die Ablegereife erreicht bzw. überschritten hatten, ausgenommen das 7 Jahre alte Referenzseil. Das Alter der Proben war zumeist nicht mehr genau feststellbar, daher wurde das Mindestalter gewählt, das zweifelsfrei feststellbar war. Viele Seile sind tatsächlich älter. Ein Aufstiegsseil, das 15 Jahre an einem Mast hing, ist möglicherweise 25 Jahre alt, da man für die Installation nicht immer die neuesten Seile genommen hat. Getestet, aber nicht in die Berechnung aufgenommen wurden Seile, die älter als 40 Jahre sind, da eine Verwendung solcher Seile sehr unwahrscheinlich erscheint.

Um einen Vergleich zu ermöglichen wurden die Seilproben, die im Bulinknoten getestet wurden, berechnet.



In dieser Tabelle sind die Bruchlasten in N mit dem Mindestalter in Relation gesetzt. Das Mindestalter bedeutet, dass das Seil zwar älter sein kann aber nicht jünger.

Man sieht, dass es jüngere Seile ( $\leq 10$  Jahre) gibt, die im unteren Bereich der Bruchlast liegen sowie ältere Seile, die deutlich im oberen Bereich der Bruchlast liegen.

Der Korrelationskoeffizient nach Pearson beträgt  $r(118) = -.08$ ,  $p = .38$ , was auf einen nicht signifikanten Zusammenhang hinweist.

Wenn man Seile mit einem deutlich beschädigten Mantel wegrechnet, ist die Korrelation Mindestalter zu Bruchlast  $r(114) = -.10$ ,  $p=.28$ .

Wenn man zusätzlich die unbenutzten Seile wegrechnet, beträgt der Korrelationskoeffizient  $r(79) = .19$ ,  $p=.10$

Erst wenn man zusätzlich fix installierte Hallenseile wegrechnet beträgt der Korrelationskoeffizient  $r(51) = .29$ ,  $p=.04$ , somit ist der geringe negative Zusammenhang signifikant.

Zur Interpretation der Ergebnisse siehe Kap. 7.

## 6.2.2. Einfluss des Alters auf die statische Reißfestigkeit von Gurten

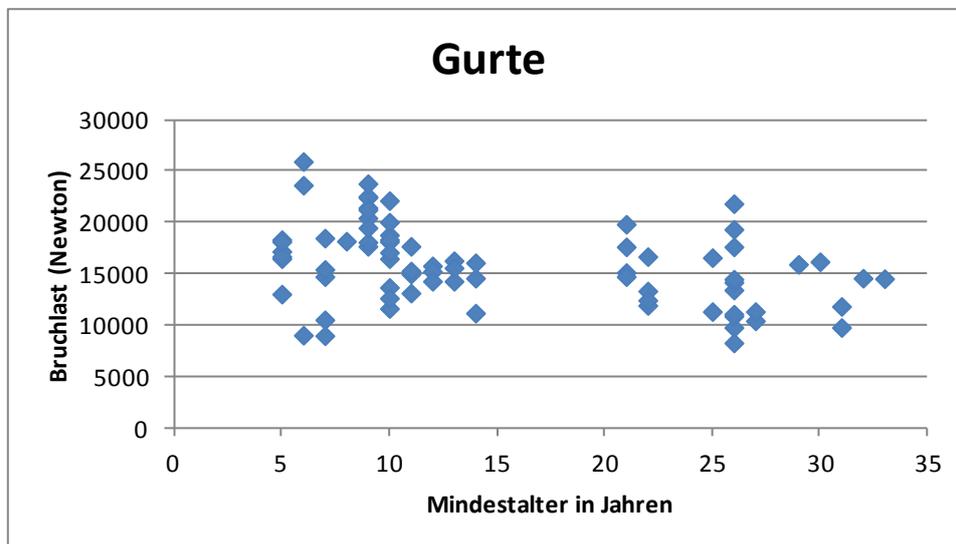


Abbildung 36 Vergleich Mindestalter zu Reißfestigkeit von Gurten

In den Vortests hielt eine 40 Jahre alte Brust-Sitzgurtkombination 24 kN, bevor die Beinschlaufen rissen. Bei jeder Belastung, die über 6 kN hinausgeht muss mit gesundheitlichen Schäden (z.B. Schäden der Wirbelsäule) gerechnet werden (Schubert, 1995).

Die vorliegenden Bruchlastzahlen bedeuten, dass die Gurte jedenfalls deutlich mehr Kraft aufnehmen können als ein menschlicher Körper verträgt.



**Abbildung 37** Gurttest

Dieser Gurt aus dem Jahr 1999 hielt bis zum Bruch 22 kN.

Eine 40 Jahre alte Brust/Sitzgurtkombination hielt 24 kN. Alle getesteten Gurte hielten mehr als 9 kN.

Der Korrelationskoeffizient (Alter zu Bruchlast) beträgt -0,38951875.

### **6.2.3. Verbindungsmittel**

Verbindungsmittel dienen der Verbindung zwischen Gurt und Sicherungspunkt. Sie werden aus textilen Materialien hergestellt: Seil (Kernmantelseil oder seltener geflochtenes Seil), sowie Bandschlingenmaterial. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Erkenntnisse über diese Materialien aus anderen Anwendungen (Seil als Kletterseil, Bergsteigerbandschlingenmaterial ) auf Verbindungsmittel übertragbar sind. Es wurden daher aus Zeitgründen nur stichprobenartig (ca. 20) abgelegte Verbindungsmittel getestet. Keines der Verbindungsmittel riss unter 10 kN inklusive Seilendverbindung.



Abbildung 38 Test eines Verbindungsmittels (Gebrauchsspuren)

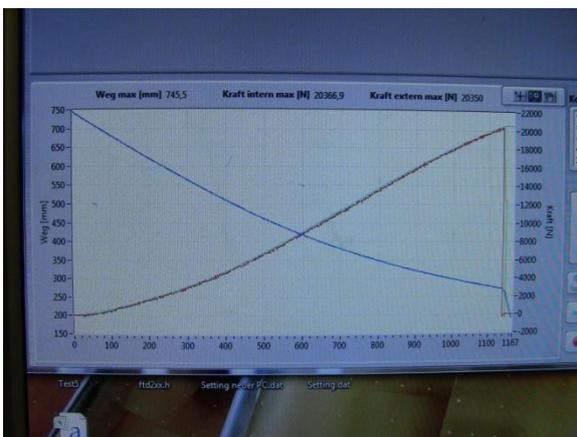


Abbildung 39 Testergebnis: Mehr als 20 kN

Bei der Verwendung von Verbindungsmitteln aus Bandmaterial sollte beachtet werden, dass die Bruchlast möglicherweise für die auftretenden Belastungen nicht ausreicht. (siehe Kap. 3.3.2)

### 6.3. Einfluss der Lastbiegewechselzahl

#### 6.3.1. Methode

Im Topropesimulator wurden Serien vergleichender Dauerbiegeversuche vorgenommen. Entweder bis zum Bruch (was einer Belastung durch eine Norm-Person entspricht) oder die Proben wurden nach Abkühlung auf Raumtemperatur im statischen Zerreißversuch getestet. Weitere Einflussparameter wurden gemessen: Bruchdehnung, Oberflächenstruktur der Fasern für die inneren Ermüdungs- und Abrieberscheinungen. Die Dehnung kann berechnet werden, da die Anfangslänge der Probe gemessen wurde. Mittels Wegemesssystem in der Zerreißmaschine ist die Dehnung bekannt. Dadurch könnte die prozentuelle Dehnung berechnet werden.

#### 6.3.2. Zerreitest:

Auf der hydraulischen Zerreißmaschine wurde der statische Zerreitest angelehnt an die EN 1891 durchgeführt (DIN, 1998).

Als Seilendverbindung wurde ein Seilschluss nach EN 7 (DIN, 2009b) verwendet, da es wenig Seil benötigt, eine sehr hohe relative Bruchfestigkeit hat und für die Einspannung in Maschinen bestens geeignet ist.



Abbildung 40: Zerreitest

13411-  
wenig



Abbildung 41: Bruchverhalten eines Seils aus dem Topropesimulator

Im Bild (Abb. 41) sieht man, wie der Bruch „auf freier Strecke“ im Inneren des Seiles beginnt, was auf eine Schädigung des Seilkernes hinweist.

Beim unbenutzten Referenzseil erfolgt der Bruch immer im Seilverschluss.

### 6.3.3. Testobjekt

Getestet wurden folgende Seile:

Seil	Nennbruchlast	Konstruktion	Lastbiegewechsel bis zum Bruch bei 0,8 kN
Referenzseil	27 kN statische Bruchlast	13 parallele lose Stränge/Litzen -	Ca. 8.000 *
Statikseil Mammut Performance	18 kN Bruchlast im Knoten		
Mammut 10,2 Gym Rope Grip	unbekannt	Geflochtener Kern	Ca. 4.000
Beal Top Gun	2100 kg statisch	Parallele geklebte Stränge - wie Mammut Performance, nur dass Mantel und Kern verbunden sind	Ca. 35.000 *

Tabelle 13 Seilproben im Dauerlastbiegewechselsimulator

\*Bruch des Seilmantels

Bild rechts oberes Seil: Referenzseil Statikseil Mammut

Bild rechts unteres Seil: Dynamikseil Mammut Gym Rope Grip

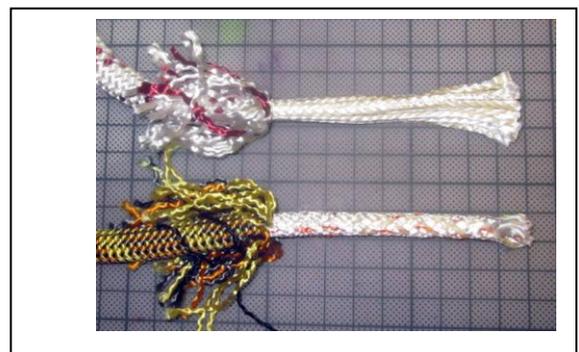


Abbildung 42: Seilaufbau Statikseil Mammut und Dynamikseil Gym Rope Grip

Bild Abb. 43: Dynamikseil Beal Top Gun - hier sieht man den Kleber (grauer Film) am Mantel, der die mantelnahe Stränge festklebt)



Abbildung 43: Seilaufbau Beal Top Gun

#### **6.3.4. Testaufbau**

Grundsätzlich wurden die Seile bis zum Bruch getestet. Das bedeutet, es lief der Simulator bis die Gewichte wegen Seilversagens zu Boden fielen bzw. das Seil nur mehr auf den Litzen lief. Im Falle des Bruchs mit Absturz der Gewichte entsprach die Belastung ungefähr der Normperson von 0,8 kN. Um das Verhalten im Laufe der Zyklen zu dokumentieren wurde zumindest alle 1000 Zyklen die statische Bruchfestigkeit getestet. Das Beal Top Gun war die Ausnahme, hier wurden über 5000 Zyklen größere Abstände gewählt.

Wegen der starken Abnahme der Bruchlast im Bereich unter 1000 Zyklen (Lastwechseln) wurden hier kleinere Intervalle gewählt.

#### **6.3.5. Temperaturmessung**

Bemerkenswert ist, dass bei Temperaturmessungen die Temperatur an der Innenseite (Kontaktseite) um ca. 5-6 Grad niedriger als an der Außenseite ist. Vermutlich entsteht die Erwärmung durch die innere Reibungshitze bzw. Dehnung der kurvenäußeren Fasern.

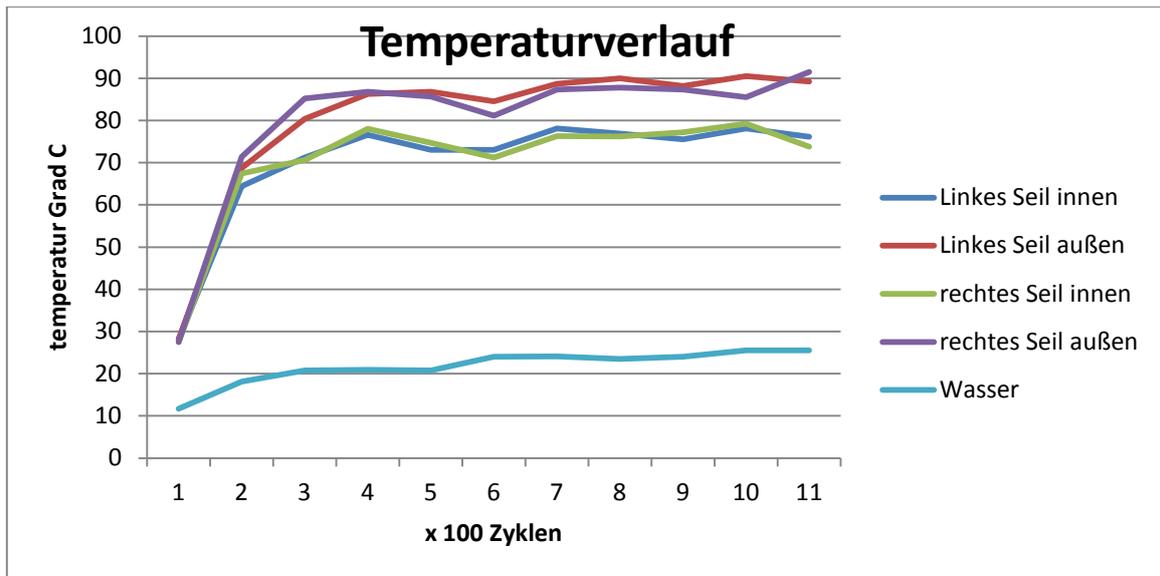
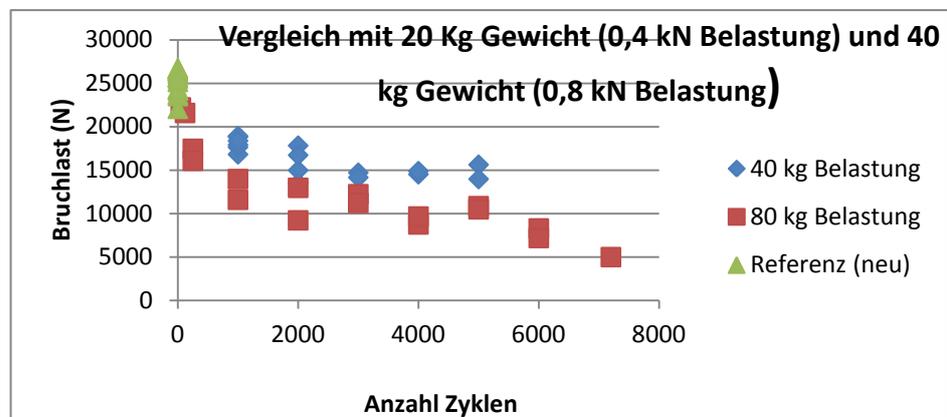


Abbildung 44: Temperaturverlauf

1 = 100 Zyklen (=Lastwechsel)

### 6.3.6. Unterschiedliche Lasten

Der Vergleich unterschiedlicher Lasten ergab beim Statikseil eine parallele Ausprägung der Ergebnisse. Das mit 80kg belastete Seil hält etwas weniger als das mit



40kg belastete Seil:

Abbildung 45: Unterschiedliche Lasten

Nach anfänglicher starker Abnahme in den ersten paar hundert Zyklen kommt es zu einer Periode von keiner weiteren Abnahme. Die Versuchsreihe mit 20 kg Gewicht (entspricht 40 kg auf der Zugseite) wurde aus Zeitgründen abgebrochen.

### 6.3.7. Halbstatisches Seil (Mammut Performance)

Getestet wurde ein halbstatisches Seil gemäß EN 1891. (DIN, 1998).

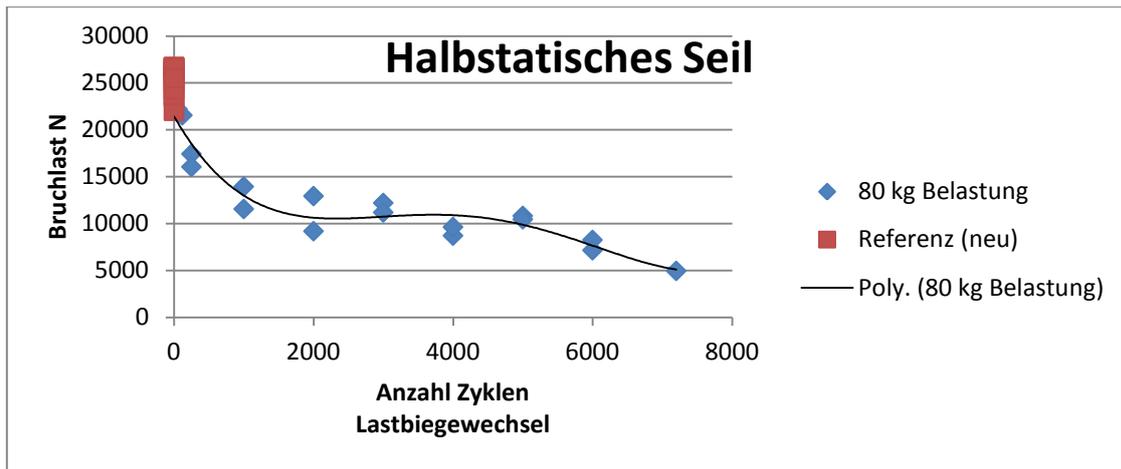


Abbildung 46: Ergebnisse halbstatistisches Seil

Bei 7.800 Zyklen riss eine Probe im Topropesimulator (Mantelriss, Belastung 0,8 kN), die andere Probe wurde in der Zerreißmaschine getestet.

Die Werte des unbenutzten Referenzseils liegen Seilverschluss deutlich über 20 kN. Sobald das Seil Lastbiegewechseln ausgesetzt wird, nimmt die Bruchlast deutlich ab, bleibt dann aber zwischen 2000 und 5000 Lastbiegewechseln konstant um die kN. Danach sieht man wieder einen Abfall der Kurve. 7.800 kam es zum Bruch des Mantels.

Abbildung 47: Riss und Bruch des Mantels

Der Anstieg in der Mitte der Kurve liegt innerhalb der Streuung der Knotenfestigkeit des Seils.



im  
10  
Bei

### 6.3.8. Dynamikseil

Getestet wurden zwei dynamische Seile (gleichen Typs, gleicher Hersteller, unterschiedliche Farben) gemäß EN 892 (DIN, 2012a) und die Bruchlasten verglichen.

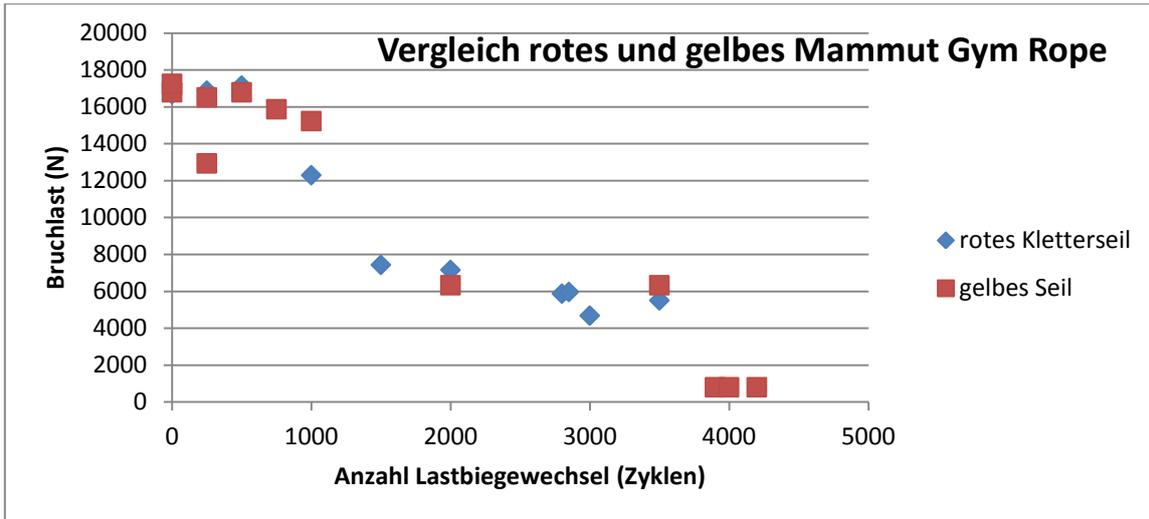


Abbildung 48: Dynamikseil

Beide Seile wurden zusammengefasst, da die Korrelation dies zulässt:

	<i>rotes Kletterseil</i>	<i>gelbes Seil</i>
rotes Kletterseil	1	
gelbes Seil	0,91298908	1

Tabelle 14 Korrelation von Seilen unterschiedlicher Farbe gleichen Seiltyps

Zusammengefasst zeigt dieser Seiltyp folgendes Bild:

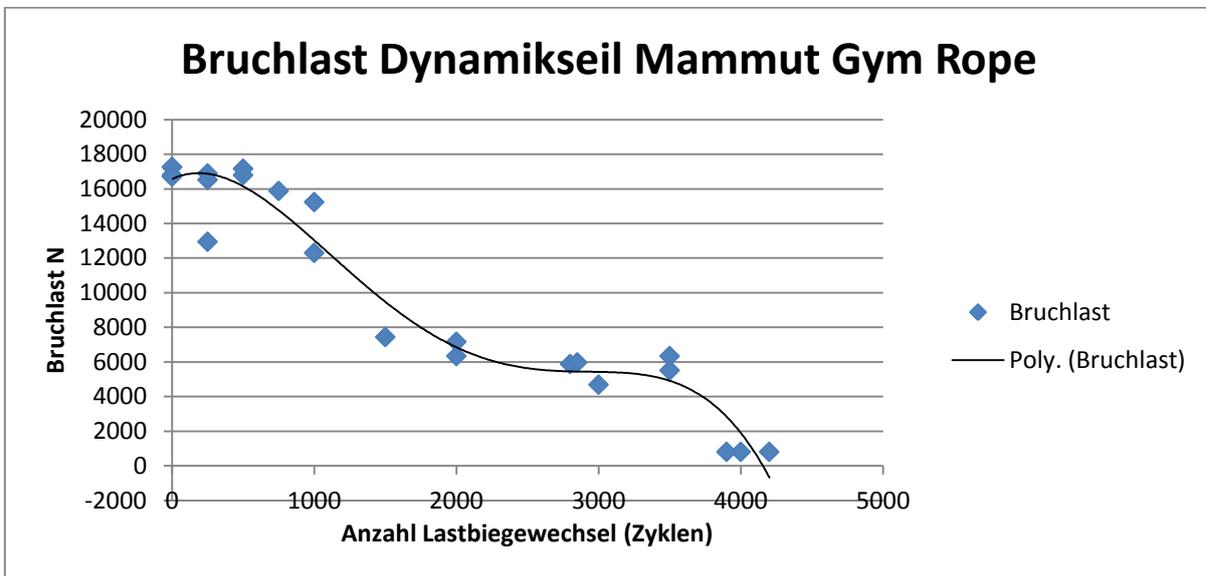


Abbildung 49: Bruchlast zu Lastbiegewechsel

Die Kurve ist ähnlich dem halbstatistischen Seil, nur steiler – das Seil hält zwischen 3900 und 4200 Zyklen, bevor es bei der Belastung von 800 N reißt.

Das Bruchverhalten im Dauertest zeigt ein Hervortreten des Seilkerns ca. 200 Zyklen vor dem Bruch durch den Mantel. Dies wird manchmal bei Seilen beobachtet.

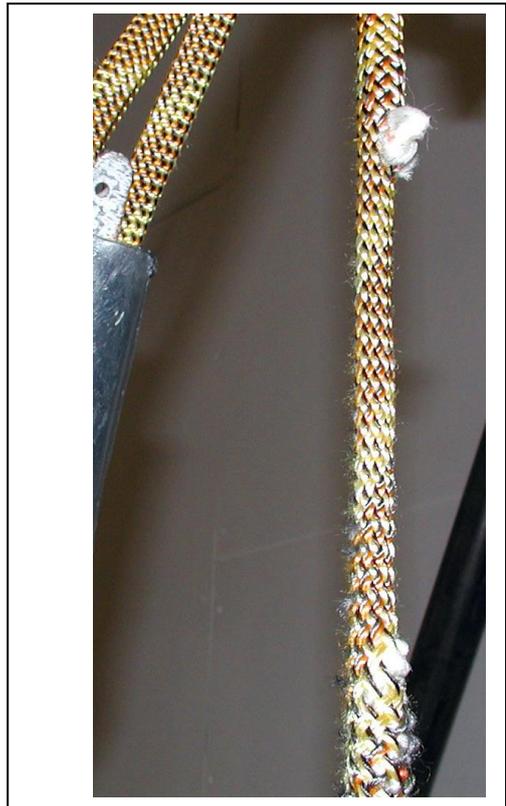


Abbildung 50: Hallenseil knapp vor dem Bruch

### 6.3.9. Dynamikseil Beal (verklebter Kern)

Dieses Seil hielt bis zum Mantelriss 29.000 Lastbiegewechsel aus. Bei 35.000 Zyklen wurde der Versuch abgebrochen, als das Seil nur mehr auf den Litzen des Kerns lief.

Interessant ist der Temperaturverlauf: Es hatte auch deutlich niedrigere Temperatur als die anderen Seile ohne verbundenem Kern.

Wegen der langen Dauer der Versuche wurden nur wenige Proben genommen, diese deuten aber auf den typischen Verlauf hin.

Der Referenzwert bei 0 Zyklen ist unzuverlässig, da das Seil ungewöhnlich glatt ist und die Knoten gerutscht sind, ohne dass das Seil gebrochen wäre.

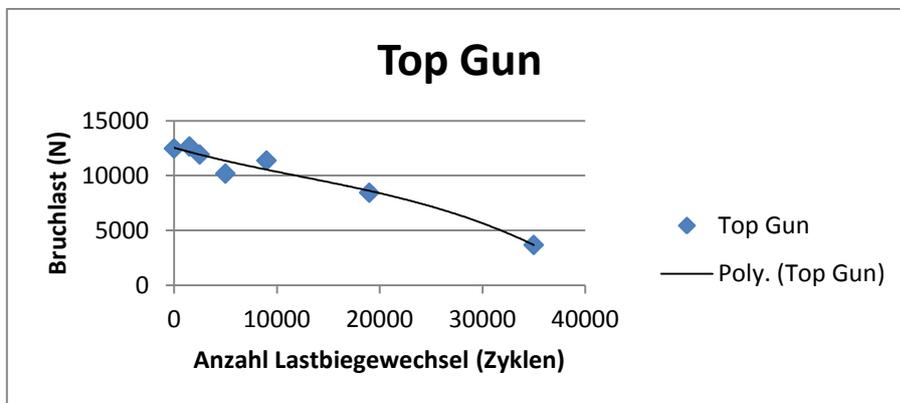


Abbildung 51: Bruchlast zu Lastbiegewechsel verklebter Kern



Abbildung 52: Top Gun bei 29.500 Zyklen: Mantelriss

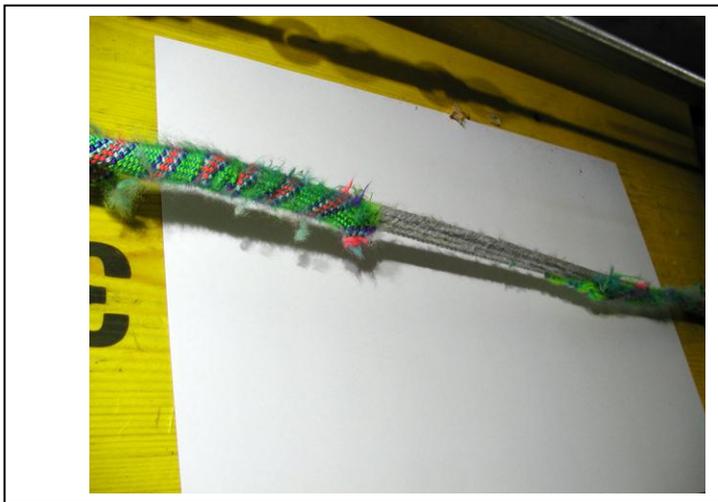
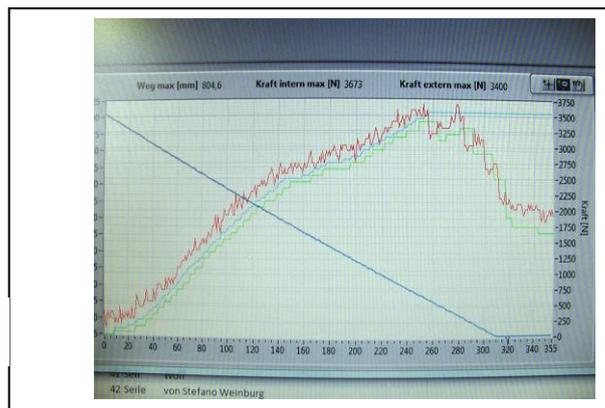


Abbildung 53: Top Gun nach 35.300 im Zerreißversuch

Bruchkraft des Seils Abb. 54:  
Das Seil (bzw. die verbliebenen Litzen des Kerns) brach bei 360 N.

Abbildung 54: Bruchkraft Top Gun



Zyklen

D  
as  
bede

utet, beim Topropeklettern, wo Lasten bis zu 2,5 Mal Körpergewicht auftreten, hätte dieses „Seil“ gerade noch gehalten.

### 6.3.10. Mikroskopische Untersuchung von Seilkernen

Wenn man den Seilkern eines abgelegten Hallenseils mit dem eines unbenutzten Seils vergleicht, wird die Verformung der Filamente deutlich:

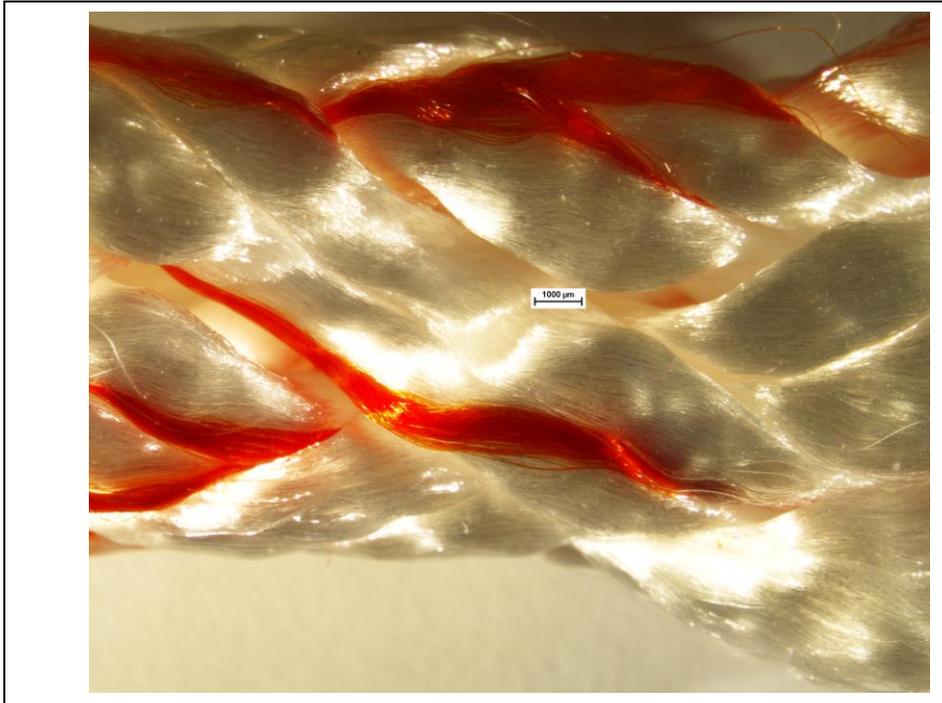


Abbildung 55: Seilkern unbenutztes Seil (eingblendete Maßeinheit 1000µm):



Abbildung 56: Seilkern abgelegtes Seil:

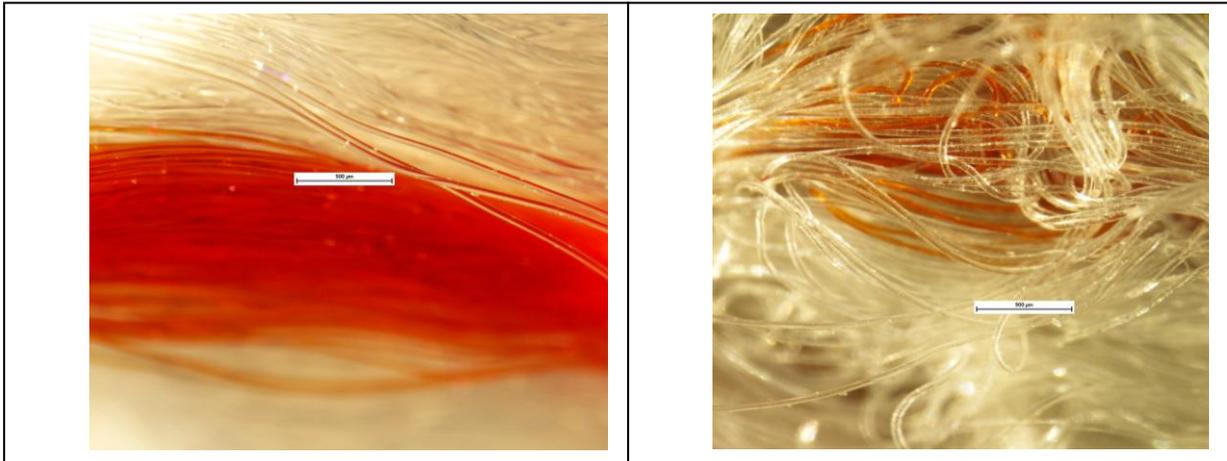


Abbildung 57: Linkes Seil unbenutzt, rechtes Seil abgelegt (Maßeinheit 500µm)

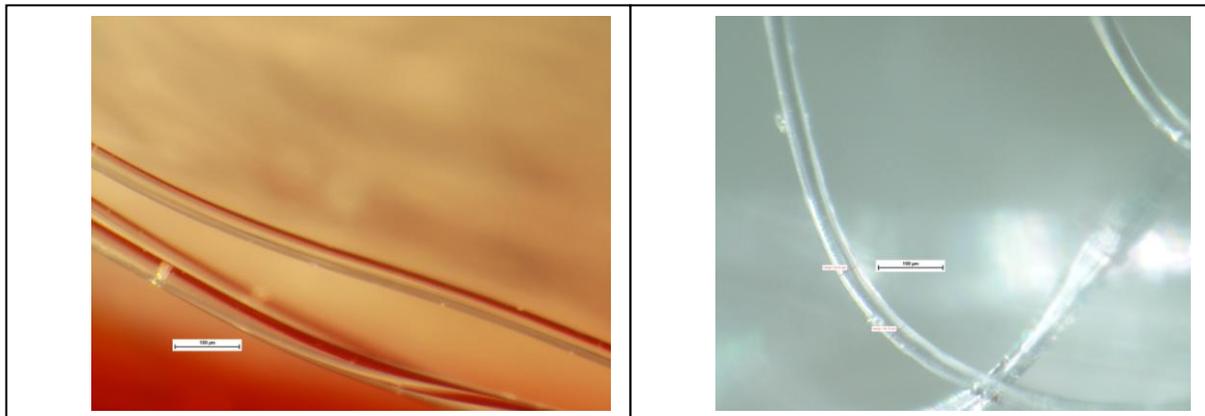


Abbildung 58: Maßeinheit 100µm

Auf diesen Bildern wird deutlich, dass es in erster Linie zu Biegungen kommt, Brüche wurden keine gefunden.

#### 6.4. Interpretation der Ergebnisse aus dem Lastbiegewechseltest

Einige Ergebnisse deuten darauf hin, dass der innere Verschleiß im Seil, insbesondere der durch die Reibung zwischen Kern und Mantel hervorgerufene Verschleiß die Ursache für die deutliche Abnahme der Bruchkraft sein könnte.

Die Temperatur ist bei der Umlenkung auf der Außenseite um 5 - 10 Grad höher als auf der Innenseite. Wenn die Reibung mit dem Karabiner alleine für die Temperaturerhöhung verantwortlich wäre, müsste sie innen höher sein als außen.

Diese Hypothese wird unterstützt durch den Test des Seils mit verklebtem Kern, wo die Temperatur deutlich niedriger ist als in den Seilen ohne verbundenem Kern.

Dieses Seil hielt auch deutlich länger als die anderen beiden Seile – 10 Mal so lange wie das Seil mit dem geflochtenen Kern.

Ein Indikator für diese Hypothese ist, dass das Kletterseil mit dem geflochtenen Kern am wenigsten gehalten hat. Dieser Kern ist aus einem geflochtenen Stück gefertigt, was möglicherweise die Reibung zwischen Kern und Mantel erhöht. Bei dem Statikseil besteht der Kern aus mehreren parallelen Strängen, die sich gegeneinander bewegen können und möglicherweise die innere Reibung verteilen und so verringern. Möglicherweise verschieben sich die Stränge bei der Umlenkung gegeneinander über einen längeren Bereich. Das kurzgeflochtene Seil hat hingegen in sehr kurzem Abstand sehr viele Umlenkungen, die reiben. Die Kraft muss sich also über eine sehr kurze Distanz abbauen, die kurze Faserlänge kann sich nicht dehnen. Es werden daher einzelne Fasern überlastet, die versagen. Durch die Flechtung sind viele Fasern des Kerns immer wieder „außen“ und somit der Reibung gegen den Mantel ausgesetzt.

Unterstützt wird diese Hypothese durch die Erkenntnisse von Teufelberger, wo im Scheuertest um eine Kante mit engem Radius das Seil unter 50% Bruchlast hatte. Dies kann nur dadurch erklärt werden, dass auch der Kern geschädigt wurde, da der Anteil des Kerns an der Bruchlast über 50 % liegt (Teufelberger, o.J.).

Die Erkenntnisse aus den Versuchen im Topropesimulator lauten:

**Lastbiegewechsel führen zu einer bedeutsamen Schädigung des Kerns.**

**Seile mit geflochtenem Kern ohne Verbindung mit dem Mantel verschleiß am stärksten, Seile, wo der Kern mit dem Mantel verbunden ist am wenigsten.**

Diese Hypothese müsste statistisch abgesichert werden, damit sie zur Theorie wird.

## **6.5. Vergleich mit realer Situation**

Hier wird der Versuch unternommen, den Topropesimulator zu „kalibrieren“, das heißt mit der realen Beanspruchung eines Topropeseiles zu vergleichen.

Leider brachte die Befragung von Hallenbetreibern über die Benützungintensität ihrer Routen keine nutzbaren Ergebnisse.

Um an die realen Daten zu kommen, musste selbst eine Zählung vorgenommen werden. Dazu wurde in der Kletterhalle Wien (von wo die getesteten Seile stammen) eine GoPro installiert, die alle 30 Sekunden ein Bild macht und die 3 Toproperouten überblickt. Der Speicher reichte für 5 Tage. Diese über 6000 Bilder wurden ausgewertet.

Es ergab sich folgende Verteilung:

<b>Route</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Tag 1</b>	6	4	19
<b>2</b>	11	17	12
<b>3</b>	11	11	17
<b>4</b>	7	11	11
<b>5</b>	3	10	7
<b>Summe</b>	38	53	66
<b>Tagesschnitt (4 Tage)<sup>12</sup></b>	9,5	13,25	16,5

**Tabelle 15: Häufigkeit der Benutzung von fix installierten Toprope-Hallenseilen**

Eine Rückfrage beim Betreiber ergab, dass diese 5 Tage zu 0,5 % des Jahresschnitts ausgelastet waren. Daraus errechnet sich wie folgt die eine durchschnittliche Benützung der Seile = Anzahl von Lastbiegewechseln:

	<b>Route 1</b>	<b>Route 2</b>	<b>Route 3</b>
<b>Für 5 Tage</b>	47,5	66,25	82,5
<b>Jahresdurchschnitt</b>			
<b>5 Tage</b>	130,13	181,5	226
<b>Tagesschnitt</b>	<b>26</b>	<b>45,05</b>	<b>56,1</b>
<b>Monatsschnitt</b>	780	1089	1356
<b>3 Monate</b>	2342	3267	4068

**Tabelle 16 Hochrechnung der tatsächlichen Benutzung**

Wenn ein Seil dieser Routen nach 3 Monaten ausgeschieden wird, erfuhr es zwischen 2300 und 4000 Lastbiegewechseln.

Solche Seile hielten durchschnittlich ca. 12kN im statischen Bruchlasttest in dem Bereich, der von den Lastbiegewechseln beansprucht wurde.

Im Topropesimulator wurde dieser Wert mit diesem Seil nach ca. 1000 Zyklen erreicht.

Dies würde bedeuten, dass der Topropesimulator die Seile 2,3-fach bis vierfach so stark belastet werden wie in der Kletterhalle.

<sup>12</sup> Der erste und der 5. Tag waren jeweils Halbtage

Das würde wiederum bedeuten, dass die Seile, die nur 6 kN halten (was im Simulator bei ca. 4.000 Zyklen der Fall ist) 9.000 bis 16.000 Mal in der Halle beansprucht wurden.

Dies tritt innerhalb eines Jahres auf.

All diese Zahlen sind als Richtwert zu sehen und müssten in weiterführenden Untersuchungen statistisch abgesichert werden, was diese Arbeit nicht leisten kann.

Die Schlussfolgerung lautet: Topropeseile sollten nur zum Topropeklettern verwendet werden und nicht für Anwendungen, wo weite und harte Stürze oder gar Scharfkantenbelastungen auftreten können (alpines Klettern).

Regelmäßiges Abtasten auf Kernschäden (alle 500 Zyklen) ist empfehlenswert.

### 6.5.1. Einfluss von Batteriesäure

Es wurde lediglich ein Versuch mit Batteriesäure vorgenommen. 2 Wochen nach Kontaminierung war der Festigkeitsverlust unauffällig, 3 Monate nach Kontaminierung signifikant und betrug 3 kN:

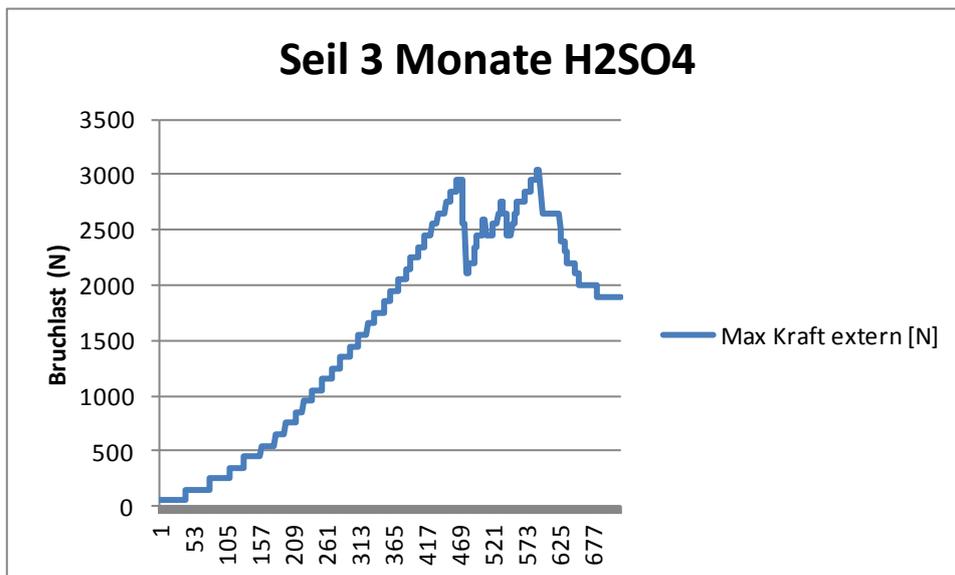


Abbildung 59 Bruchlast einer Probe mit Batteriesäurekontaminierung

## 7. Bewertung der Ergebnisse und Diskussion

„Die Festigkeitslehre hat sich „... immer in dem Niemandsland zwischen Empirie und mathematischer Theorie bewegt“ (Flügge, 1967).

Letztendes geht es um die Frage: „Hält es oder hält es nicht“. (ebenda)

Dazu hält Pit Schubert fest:

„In Practice, today´s ropes will neither break in the attachment knot nor at the carabiner ... “ Das betrifft selbst 30 Jahre alte Seile, die mindestens einen Normsturz hielten, was bedeutet: “... they will not break in practice“ (Schubert, 2000a, p. 13).

Bemerkenswert ist, dass die Konklusio der Forschungsarbeit des DAV Sicherheitskreises lautet:

„This shows the doubtfulness of any indication of time of use for ropes.“ (ebenda)

### 7.1. Kritische Bewertung von Materialtests

„1000 Seile können nicht beweisen, dass wir recht haben, doch 1 Seil kann beweisen, dass wir uns irren“. Frei nach Nassim Taleb, Der Schwarze Schwan (Taleb, 2009).

Wie Nassim Taleb schlüssig darlegt, ist es nicht möglich, einen Beweis zu führen – weder für etwas, noch gegen etwas. Wir können bestenfalls wissenschaftlich gesprochen gemäß Popper Behauptungen aufstellen („Hypothesen“), diese mit von der Wissenschaftscommunity zugelassenen Untersuchungsmethoden untersuchen und sie solange als gültig erklären, als sie innerhalb dieses geschlossenen Systems nicht widerlegt werden (Niemann, 2005).

„Es gibt keine bestätigenden Beweise“ (Taleb, 2009, p. 84). Die Frage um die Reissfestigkeit von Seilen führt in ein Dilemma: Es ist nicht möglich, zu beweisen, dass Seile halten. Es ist nur möglich, es zu widerlegen, wenn einmal ein Seil versagt. Wissenschaft ist „ein Prozess, in dessen Verlauf Hypothesen falsifiziert werden“ (Ziegler, 2008).

Es gibt auch keine Möglichkeit, festzustellen, ob jemals ein Seil gerissen ist, da man Nichtexistenz nicht beweisen kann. Es ist nur möglich, festzustellen, dass trotz Recherche kein dokumentierter Fall gefunden wurde.

Was die Wahrscheinlichkeit der Richtigkeit der Aussage „Seile reißen nicht unter bestimmungsgemäßem Gebrauch“ erhöht ist die Tatsache, dass: Versagensfälle von Sicherheitsausrüstung, also z.B. Risse von Seilen und Gurten in der Personensicherung

wegen der Folgen (meistens tödlich) spektakulär sind und Aufsehen erregen, so dass sie kaum der Öffentlichkeit unbemerkt bleiben. Es erscheint daher zulässig, die Hypothese aufzustellen:

Bisher ist der Community kein Seil- oder Gurtversagen im bestimmungsgemäßen Gebrauch bekannt, wo die Zeitspanne zwischen Produktion und Ereignis eine Rolle gespielt hätte.

Versagensfälle (Brüche) von Bandschlingenmaterial sind jedoch bekannt. Für die Hypothese „Bandschlingenmaterial hält im bestimmungsgemäßen Gebrauch“ würde ein Versagensfall ausreichen, um die Hypothese zu widerlegen, tatsächlich sind drei Fälle dokumentiert.

Im Falle von Seilen und Gurten stellt sich – wie schon eingangs erwähnt - die Frage, ob es sich um das „Der Mann, der die Elefanten vertreibt“-Phänomen handelt (Watzlawick, 2001):

Auf die PSA umgelegt wäre der Mann, der klatschend durch die Straßen einer Großstadt geht, der Hersteller, der „10 Jahre Ablegereife“ fordert. Auf die Frage, was er da tut, antwortet er: „Ich verhindere Seilrisse“ („Ich vertreibe die Elefanten“). Auf den Einwand, es habe seit der Erfindung der Norm keine Seilrisse mehr gegeben (hier gäbe es gar keine Elefanten) meint er triumphierend: „Na siehst Du. Es wirkt.“

Man könnte also gemäß dieser Metapher einwenden, es gibt nur deswegen keine Seilrisse, weil die Hersteller so rigorose Ablegeregeln haben. Dem gegenüber steht die Tatsache, dass diese Regeln nicht nur in Einzelfällen ignoriert werden.

Es ist nicht feststellbar, wie nahe die einzelnen Belastungen bereits an einem Seilriss gewesen sind. Es ist ähnlich wie bei Lawinen: Es ist nicht mit Sicherheit vorhersagbar, ob ein Hang sicher oder labil ist. Nur, weil er sich bei einer Person nicht löst, bedeutet das nicht, dass er bei der nächsten Person auch hält oder vielleicht sogar spontan abrutscht. Es ist nur retrospektiv der folgende Schluss zulässig: In dem Augenblick, wo sich die Lawine löst, den Hang als labil zu bezeichnen. Ein erkenntnistheoretisches Beweisproblem. Umgelegt auf die PSA bedeutet das:

Bisher hat noch kein Seil oder Gurt durch zeitliche Alterung versagt, sondern nur durch Verschleiß oder zerstörende Einflüsse (Kanteneinwirkung, Schmelzbeschädigung, Batteriesäure). Wobei es durchaus möglich ist (wenngleich unwahrscheinlich), dass ein Gegenstand bereits tatsächlich versagt hat, dies aber nicht dokumentiert wurde, oder „beinahe“ versagt hat, also bei einem Newton höherer Belastung versagt hätte. Das ist weder wissbar noch beweisbar.

Gesucht wurde in dieser Arbeit der „Schwarze Schwan“, das Versagen durch Alterung, jenes unwahrscheinliche Ereignis, von dem die Hypothese 1 postuliert, dass es ihn nicht gibt.

In der statistischen Sprache ist es der Ausreißer nach unten, also jener (einzelne) Wert, der stark von den restlichen Werten abweicht (Kuckartz, Rädiker, Ebert, & Schehl, 2013, p. 60).

Es stellt sich die Frage:

Wie groß muss die Stichprobe sein, damit man den Schwarzen Schwan ausschließen kann?

Antwort: Unendlich groß. Ausschließen kann man ihn nicht.

Folgende Faktoren erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass er gefunden wird:

1. Je dichter der Erhebungs- und Informationsfluss in der Community ist.
2. Je vielfältiger die Probenauswahl ist.
3. Je mehr Untersuchungen bereits stattgefunden haben.

Die in den eigenen Labortests durchgeführten Untersuchungen dienten den Zielen

1. Festzustellen, wie nahe sich die Bruchlasten den zu erwartenden Belastungen nähern und
2. Trends und Tendenzen zu erkennen.

Die Bewertung von Daten unterliegt der subjektiven Einschätzung des Beobachters. In einer Publikation über die Schädigung von Faserseilen schreibt z.B. ein Hersteller

„Wir als Hersteller ... sehen die Notwendigkeit, die Anwender ... zu sensibilisieren, dass Seile ... einen gravierenden Bruchlastverlust aufweisen können. Dies ist vor allem bei UV-Belastungen der Fall...“ (Teufelberger, o.J.)

Als Bruchlastverlust durch UV wurden von diesem Hersteller zwischen 9 und 17 % angegeben. Diese Größenordnung kann durchaus, wenn man sie der tatsächlichen Belastung gegenüberstellt, als eine zu vernachlässigende Größe interpretiert werden, da auf Grund der Überdimensionierung und Sicherheitsreserve der Teile selbst Bruchlastverringern von 50% noch nicht zu einer Gefährdung des Anwenders führen.

9% liegen auch noch innerhalb der Streuung von Belastungstests bei Seilen (Kuningham, 2004).

Die Interpretationen stehen diametral einander gegenüber: Von „vernachlässigbar“ bis „gravierend“ ist die Bandbreite bei vergleichbaren Größenordnungen.

## **7.2. Wie schwach ist der „Schwarze Schwan“?**

Eine Schwierigkeit ist es, die Grenze des „Schwarzen Schwans“ festzulegen. Nach meiner Ansicht ist es jene Grenze, wo die mögliche Höchstbelastung unterschritten wird. 6 kN sind hier eine allgemein anerkannte Grenze im Bereich der PSA: In vielen Normen muss die maximale auftretende Belastung auf diese 6 kN limitiert werden (DIN, 2015a). In der Praxis wird diese Last kaum erreicht<sup>13</sup>, es kann aber nicht ausgeschlossen werden (Schubert, 1995).

Wenn man beispielsweise ein Seil an eine sehr starre Struktur mit einem sehr festgezogenen Knoten oder einem vernähten Auge anschlägt und Faktor 2 hineinspringt/stürzt, könnten theoretisch Werte über 6 kN auftreten. Hier würde man sich dem konstruktiv bedingten Fangstoß weiter nähern, der in der Norm für Dynamikseile mit 12 kN (DIN, 2012a) festgelegt ist. Ebenso können in Hochseilgärten bei nicht normkonformer Bauweise solche Kräfte auftreten, wenn z.B. bei Aufstiegen ein Stahlseil ähnlich einem Klettersteig eingebaut ist, wo man ohne Falldämpfer mit einem Faktor höher als 2 in statische Verbindungsmittel stürzen kann.

Im Normsturz werden Werte zwischen 6,8 und 10,1 kN erreicht (Kuningham, 2004, p. 26). Diese Werte werden aber in der Realität nie erreicht, selbst bei Vorstiegsstürzen kommt man nicht einmal auf 6 kN (Semmel, Hellberg, & Ernst, 1990).

Wie kommt man nun auf die Untergrenze, ab der ein Bauteil als unsicher, nicht mehr zuverlässig bezeichnet wird? Dazu dient der Begriff des Sicherheitsfaktors.

## **7.3. Lastannahmen und Sicherheitsfaktor (Betriebskoeffizient)**

Eine wesentliche Kenngröße, um die empirischen Erkenntnisse in Bezug auf Praxisrelevanz zu interpretieren und Erkenntnisse im Sinne der Anwendung zu finden, ist die Lastannahme. Da man auftretende Kräfte nur durch Messen zuverlässig feststellen kann, dies aber nur sehr eingeschränkt möglich ist (wer trägt schon immer

---

<sup>13</sup> Es konnten zumindest keine Hinweise darauf gefunden werden

ein Dynamometer mit sich herum?), sind Lastannahmen notwendig. Außerdem ist es bei der Nutzung von PSA zu spät, wenn man feststellt, dass eine Belastung die Festigkeit übersteigt.

Lastannahmen entstehen durch Extrapolieren von Messdaten. Es werden eine Reihe von Belastungen, z.B. durch Abseilen, Stürzen usw. gemessen und angenommen, dass unter gleichen Bedingungen auch gleiche Belastungen auftreten.

Diesen extrapolierten Werten werden die Haltekräfte (Bruchkräfte) von Teilen der Sicherungskette gegenübergestellt.

Grundsätzlich braucht (theoretisch) die Sicherungskette nur 1 Newton mehr tragen als die eingebrachte Last plus Eigengewicht. Wenn die Bruchlast und die eingebrachte Last plus lastwirksames Eigengewicht ident sind, bricht das Bauteil. (Flügge, 1967)

Die Tatsache, dass beim Aufstieg an einem Seil im ungünstigsten Fall 3 g auftreten, lässt folgern, dass bei einem Körpergewicht von weniger als 120 kg eine Bruchkraft von 3,6 kN ausreichend ist (Schubert, 1995).

Die PSA muss nun für diese Anwendung mindestens diese Last aufnehmen können.

Diese Betrachtungsweise ist aber für das Sicherheitsbedürfnis der meisten Menschen nicht ausreichend. Deswegen „wird festgelegt“, dass ein Teil mehr aushalten soll, als eigentlich nötig wäre. Diese Sicherheitsreserve wird Sicherheitsfaktor genannt.

Der Sicherheitsfaktor legt nun fest, wie hoch die Sicherheitsreserve sein soll. Bei einem Sicherheitsfaktor von 2 muss das Seil mindestens 720 kg halten. Der Sicherheitsfaktor erscheint vor dem Hintergrund sinnvoll, dass unterschiedliche Autoren zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen:

So wurden tatsächlich beim Aufstieg an einem Höhlenseil mit der Raupenmethode maximal 3 g gemessen (Kipp, 1978).

Andere Autoren geben für Abseilen und Aufsteigen maximal 200%, also 2 g des Personengewichts an (Long, 2001, p. 28).

Bei einseitiger Auswahl der Autoren kann man durchaus abstürzen, wenn man den Sicherheitsfaktor auf Null setzt.

Speziell für Seile und Gurte legt die europäische Maschinenrichtlinie fest:

„Der Betriebskoeffizient von Textilfaserseilen oder -gurten ist abhängig von Werkstoff, Fertigungsverfahren, Abmessungen und Verwendungszweck. Er muss so gewählt werden, dass er ein angemessenes Sicherheitsniveau gewährleistet; er hat in der Regel den Wert 7, sofern die verwendeten

Werkstoffe von nachweislich sehr guter Qualität sind und das Fertigungsverfahren den vorgesehenen Einsatzbedingungen entspricht.

Andernfalls ist der Betriebskoeffizient in der Regel höher zu wählen, wenn ein vergleichbares Sicherheitsniveau gewährleistet sein soll. Textilfaserseile oder -gurte dürfen außer an den Enden bzw. bei Endlosschlingen an den Ringschlussstellen keine Knoten, Spleiße oder Verbindungsstellen aufweisen“(Rat & Parlament, 2006, p. 59).

Nicht klar ist es, ob der Betriebskoeffizient hier auf das Norm-Personengewicht oder auf die tatsächliche Belastung referenziert.

Bemerkenswert ist, dass es für PSA keinen Sicherheitsfaktor bzw. Betriebskoeffizienten gibt. Es ist lediglich die Mindestbruchlast in den Normen festgelegt, mit der Ausnahme der EN 892 von dynamischen Kletterseilen, wo nicht einmal diese festgelegt wird, sondern nur die Mindestanzahl der gehaltenen Stürze in der Normsturzanlage (DIN, 2012a).

Einerseits war das bisher offensichtlich kein Problem, weil die Normprüfungen für PSA so streng sind, dass sämtliche Belastungen ausgehalten werden.

Andererseits gibt das Spielraum für Interpretationen: Wenn die Normanforderung unterschritten wird, könnte man argumentieren, dass das Bauteil ausgeschieden werden muss. Dies ist in vielen Veröffentlichungen der Fall, wo eine Unterschreitung der Normsturzanzahl als Sicherheitsrisiko bezeichnet wird.

Noch unverhältnismäßiger sind die Konsequenzen, wenn eine Verringerung der Bruchlast (oder Anzahl gehaltener Normstürze) als gefährdend bezeichnet wird, auch wenn die Restzahl immer noch die Normanforderung übertrifft.

Der Normsturz ist so überdimensioniert, dass ein Seil auf jeden Fall für die Praxis geeignet ist, wenn es nur einen Sturz aushält.(DIN, 2012a)

Im englischsprachigen Raum gibt es die Begriffe SWL (Safe Work Load), der durch den Ausdruck WLL (Work Load Limit) ersetzt wurde. Darauf wird der Design Factor aufgesetzt. Für Seile heißt es: „Design Factors less than five are rarely used for fiber ropes ....“ Bei hohem Risiko sollte ein Faktor von 12 angewendet werden (McKenna, 2005, p. 3).

Es wäre sinnvoll, für PSA solche Betriebskoeffizienten festzulegen.

Für Anwendung beim industriellen Klettern muss der Anschlagpunkt immer eine Mindestfestigkeit von 10 kN aufweisen (DIN, 2012b).

## 7.4. Schlussfolgerung aus dieser Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wurden 9 kN als kritische Grenze herangezogen, um die Schwächung des jeweiligen Teils genauer zu betrachten. Da bei normalem Gebrauch weniger als 6 kN tatsächliche Last gemessen wurden, liegt man bei 9 kN bei einem Sicherheitsfaktor von  $>1,5$ .

Diese 9 kN werden nun als Untergrenze in die Daten eingezogen:

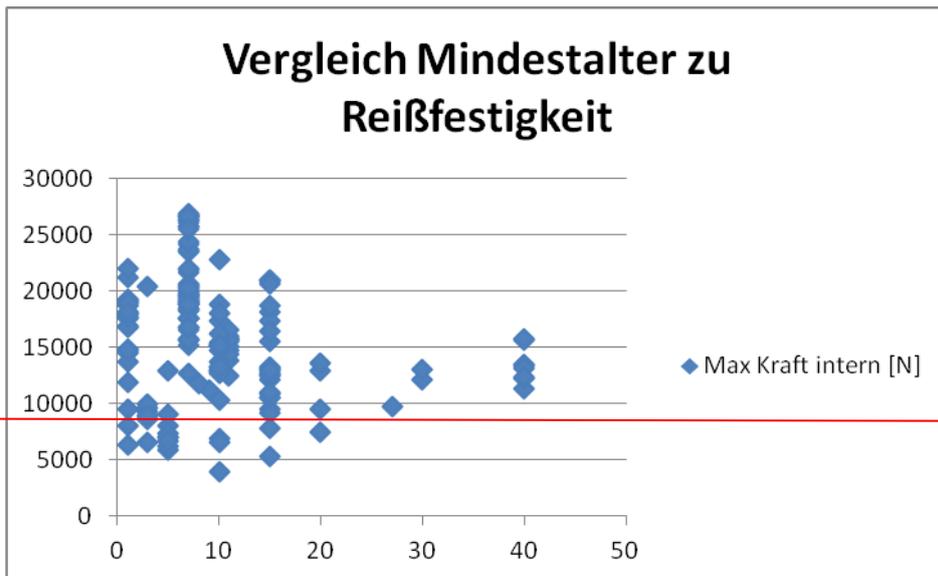


Abbildung 60 Vergleich Mindestalter zu Reißfestigkeit mit eingezogener Grenze (9 kN)

In der Abbildung 57 wurden die Bruchlastwerte von Seilen mit dem Mindestalter dargestellt. Die rote Linie sind die 9 kN als Grenze für den „Schwarzen Schwan“.

Im Laufe der Labortests kristallisierten sich zwei Ursachen für niedrige Bruchlasten heraus: Offensichtlich zerstörte Seile und stark benutzte Topropeseile.

Eine Analyse der Werte unterhalb der 9 kN ergibt folgendes Bild, wenn man Topropeseile herausrechnet (1 = Topropeseile):

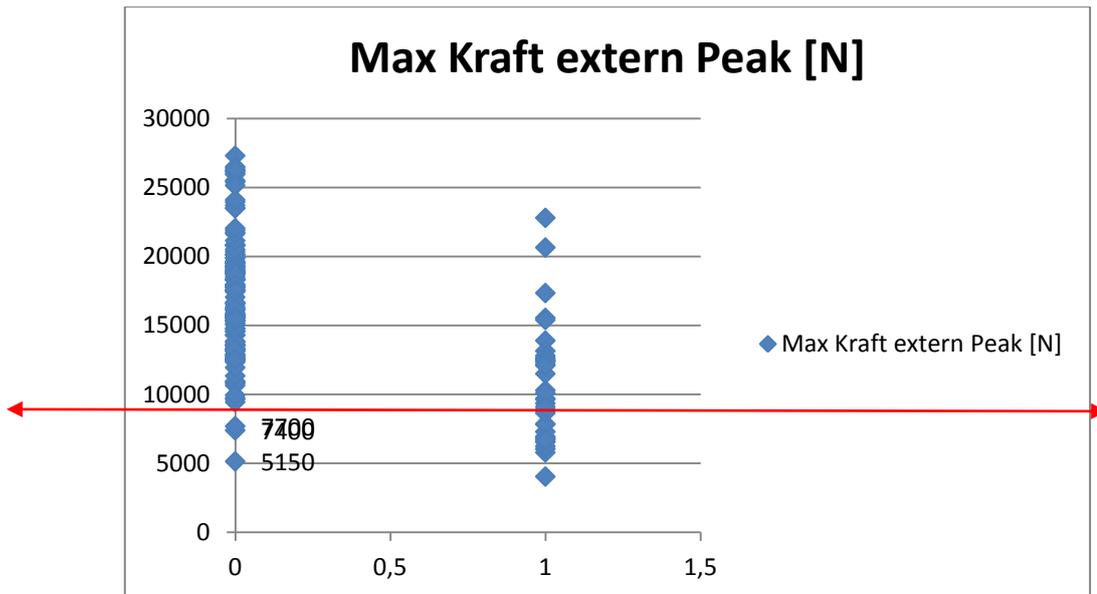


Abbildung 61 Topropeseile herausgerechnet (rechte Datenreihe „1“. Vertikale Achse Belastung in N, rote Linie 9 kN)

Die rechte Datenreihe sind die Topropeseile bzw. Seile in topopeähnlichen Anwendungen mit häufigen Lastbiegewechseln: Fix installierte Hallenseile, Ablass-Seile, ein Aufzugsseil beim Swing. Man sieht deutlich, dass mehrere Seile unterhalb der 9 kN Grenze liegen.

Links, bei den Nicht-Topropeseilen, die mit wenigen Lastbiegewechseln verwendet werden, bleiben nur mehr drei Seile übrig mit einer Bruchlast unter 9 kN. Das waren Aufstiegsseile, die 20 Jahre an einem Mast in der Sonne waren und bei denen der Mantel durchgescheuert war (siehe Abb. 59). Der UV-Schutz war somit entfernt.



Abbildung 62 Seil 31.4.

Dieses Seil ist deutlich erkennbar ablegereif.

Viele der Seile in der rechten Spalte sind ebenfalls durchaus als verschlissen erkennbar und deswegen ausgeschieden worden:

Zum Beispiel:



Abbildung 63 stark verschlissenes Ablasseil (39.1.)

Ein Seil, mit dem Teilnehmer im Halbmastwurf abgelassen wurden-  
Oder:



Abbildung 64 Ein Aufzugsseil für den Swing (48.1.).

Diese Seile hielten noch fast eine halbe Tonne, was für statische Belastungen (Aufstieg, Abseilen) einen Sicherheitsfaktor von 1,5 überschreitet.

Somit mussten noch die fix installierten Hallenseile näher untersucht werden (siehe Kap. 6.3).

Als Schlussfolgerung bietet sich an, dass einerseits Seile, deren Mantel intakt ist und die in den letzten 40 Jahren normgemäß produziert wurden, unbedenklich sind und es andererseits eine mögliche Ausnahme gibt: Seile, die einer hohen Anzahl an Lastbiegewechseln ausgesetzt sind.

Bei den getesteten fix installierten Hallenseilen hielt der ursprüngliche Knoten an den Enden erwartungsgemäß über 1 Tonne. Wenn man aber den durchgewalkten Teil durchschneidet, dort einen Knoten macht, hält dieser im ungünstigsten Fall 4,8 kN. Hier nähert sich die Bruchlast der möglichen Belastung an. Die schädigende Wirkung des Dauerlastbiegewechsels wurde im Topropesimulator bestätigt – siehe Kapitel 6.3.

## 7.5. Kritische Würdigung der Ablegekriterien

Noch sind technische Lösungen zur Feststellung der Ablegereife nicht in Sicht, wie z.B. eingebaute Messstreifen (Wipfler, Laar, Jockenhövel, & Gries). Deswegen muss man auf konventionelle Methoden der Einschätzung zurückgreifen.

Im folgenden werden die Ablegekriterien der Hersteller nach den vorliegenden Erkenntnissen beurteilt:

Nach Herstellerangaben<sup>14</sup> (siehe Aufzählung in Kap. 3.6) muss/müssen ausgeschieden werden<sup>15</sup> ...

*... ein Seil, bei dem der Mantel beschädigt ist.*

Es kommt drauf an, wie stark der Mantel beschädigt ist. Sobald der Kern sichtbar ist, sollte das Seil abgelegt werden.

*... ein Seil, wo der Kern sichtbar ist.*

Sobald der Kern sichtbar ist, sollte das Seil abgelegt werden. Auch, oder besonders dann, wenn der Kern bzw. Kernlitzen durch den Mantel dringen.

*... ein Seil, wo der Mantel stark verschoben ist.*

Diese Angabe kann weder bestätigt noch widerlegt werden, da zu wenige Seile getestet wurde, wo der Mantel verschoben ist.

*... ein Seil, wo der Kern deformiert ist.*

Dies deutet auf erhebliche Schädigung durch Lastbiegewechsel hin und sollte zum Ablegen führen.

*... ein Seil, das „pelzig“, also oberflächlich stark abgenutzt ist*

Dies hat nur dann Bedeutung, wenn die Abnutzung auf Lastbiegewechsel zurückzuführen ist. Es konnte kein Hinweis gefunden werden, dass ein durch Scheuern am Fels pelziges Seil ohne hohe Lastbiegewechselanzahl bedenklich sei<sup>16</sup>.

*... Bandmaterial, das „pelzig“, also oberflächlich stark abgenutzt ist*

Dies sollte abgelegt werden, außer es ist eine Bandschlinge in Kernmantelkonstruktion.

---

<sup>14</sup> Hier in kursiv gehalten

<sup>15</sup> Siehe oben

<sup>16</sup> Im Sinne einer Reduktion der Bruchlast unter 9 kN.

*... textile Teile, wo Nähte beschädigt sind.*

Wenn es tragende Nähte sind, ist das Teil abzulegen.

*... textile Teile, die Schmelzverbrennungen aufweisen.*

Hier kommt es darauf an, ob es sich um Kernmantelkonstruktion handelt. Bei Teilen, die keine Kernmantelkonstruktion sind (Bandschlingen, Gurte) sollte das Teil abgelegt werden, da der tragende Teil beschädigt ist. Bei Kernmantelkonstruktionen muss untersucht werden, ob es sich um Reibungshitze handelt, wodurch nur der Mantel beschädigt wurde. Dann kann das Teil weiterverwendet werden. Wenn der Mantel durchgeschmolzen wurde, muss es abgelegt werden. Das gleiche gilt, wenn das Teil so hoher Umgebungstemperatur ausgesetzt wurde, dass es geschmolzen ist.

*... textile Teile, die stark verschmutzt sind (Öl, Fett, Teer).*

Hier ist auf die aktuelle Liste hinzuweisen. Normalerweise schädigen Öle, Teere und Fette Polyamid nicht (Bürkle, 2003).

*... Teile, die stark belastet wurden, z.B. durch einen harten Sturz*

Für die Schädigung durch harten Sturz konnte kein Hinweis gefunden werden. Eventuelle Nähte sollten auf Schädigung überprüft werden. Seile, Gurte und Schlingen konnten im Labor mehrmals bis knapp zur Bruchfestigkeit belastet werden, ohne dass dies zu einem Versagen führte.

**Für alle textile PSA (Seile, Gurte, Schlingen) aus Polyamid gelten gemäß der vorliegenden Ergebnisse folgende Grundsätze:**

Grundsatz 1:

Das Alter ist kein Ablegekriterium

Nach dem derzeitigen Stand der Forschung gibt es keinen Hinweis darauf, dass das Alter eine gefährdende Wirkung hat.

Grundsatz 2: Bestimmte Chemikalien sind gefährdend

Wenn das Gewebe mit Säure, insbesondere mit Batteriesäure (Schwefelsäure) in Kontakt kam. Besonders tückisch: Solcherart geschädigte Teile reißen bei

Körpergewicht, die Schädigung ist nicht sichtbar. Alle paar Jahre gibt es deswegen einen Seilriss.

Eine Liste der Chemikalien findet sich hier:

<https://www.buerkle.de/de/wissenswertes/informationen/chemische-bestaendigkeit.html>

(Bürkle, 2003)

Grundsatz 3: Temperaturen über 120 Grad sind gefährdend.

Wenn die PSA Temperaturen über 120 Grad ausgesetzt war. Wenn massive Schmelzspuren sichtbar sind, das Teil sehr steif ist, vor allem stellenweise.

### **Für Seile im speziellen**

Wenn der Seilkern sichtbar ist bzw. wenn man dünnere Stellen ertastet (Seilkeren möglicherweise gerissen) sollte das Seil abgelegt werden.

### **Haltegurte im speziellen**

Wenn das Gurtband beschädigt ist, die Nähte durchgescheuert sind, muss das Teil abgelegt werden.

### **Schlingen im speziellen**

Schlingen sind teilweise UV-empfindlich sowie gegen Scheuern und zyklische Belastung. Sie sollten nicht mehr bzw. nur redundant (am besten mit Schlingen aus Kernmantelseil) verwendet werden.

## 7.6. Kritische Würdigung der eigenen Hypothesen

Hypothese 1: Es besteht kein Zusammenhang zwischen Alter und Bruchkraft.

Bei der Gesamtheit der Seilproben, die im Bulinknoten getestet wurden, besteht zwischen Mindestalter und Bruchlast ein sehr geringer Zusammenhang. Entfernt man Seile mit Mantelbeschädigung und Topropeseile aus dieser Gesamtheit, so erhöht sich der Zusammenhang, bleibt aber immer noch in einem niedrigen Bereich.

Nach den vorliegenden Ergebnissen (niedriger statistischer Zusammenhang zwischen Bruchlast und Alter sowie Eingrenzung der kritischen Faktoren auf deutlich sichtbare Beschädigungen kann folgendes postuliert werden:

Die Lebensdauer Seilen unterliegt im Outdoor-Bereich keiner zeitlichen Begrenzung. Sie können so lange eingesetzt werden, bis andere Ablegekriterien wirksam werden.

Das gleiche gilt für Gurte, wo der Zusammenhang gering ist.

Es konnte kein Indiz gefunden werden, das diese Hypothese betreffend Seile und Gurte falsifiziert. In der Literatur und in den Herstellerangaben finden sich Hinweise, die sich als nicht empirisch belegt herausstellen. Teilweise sind sie nicht belegt, teilweise sind die empirischen Belege falsch interpretiert. Der empirische Beleg, dass sich im Laufe der Zeit die Bruchlast verringert muss der tatsächlichen Belastung gegenübergestellt werden. Die Tatsache einer Verringerung/Schwächung alleine als „gefährdend“ zu bezeichnen, ist wissenschaftlich nicht zulässig. Gefährdend müsste definiert werden: Es muss zumindest der theoretische Fall angedacht werden, dass ein Teil versagt und es dadurch zu einer Gefährdung für Leib und Leben kommt. Dieser Beleg konnte nicht gefunden werden, weder in der Theorie noch in der Praxis.

Bandschlingenmaterial:

Hier wurden mehrere „Schwarze Schwäne“ gefunden. Sowohl dokumentierte Unfälle als auch eigene Schlingen, wo die Bruchlast unter der möglichen Last liegt. (Bauernfeind & Patterer, 2015)

Hypothese 2: Man kann klare, eindeutige und praxisnahe Ablegekriterien festlegen, die ermöglichen, dass das Material in seiner maximalen Nutzungsdauer verwendet werden kann, ohne die Sicherheit zu beeinträchtigen.

Diese Hypothese wurde mit zwei Einschränkungen verifiziert:

1. Bei Seilen, die einem hohen Lastbiegewechsel ausgesetzt wurden kann theoretisch ein Fall konstruiert werden, der zum Versagen führen könnte. Hier sind weitere Forschungen notwendig, auch wird die Praxis zeigen, ob es zum Versagen von solchen Seilen kommt.
2. Bandschlingenmaterial reißt, ohne dass die Gefahr des Risses klar erkennbar ist.

## **7.7. Implikationen für die Praxis**

1. Die Normtests sollten beibehalten werden, keinesfalls verringert.
2. Zeitliche Ablegekriterien sollten entfallen. Die Lebensdauer sollte nicht durch Jahresangaben begrenzt werden.
3. Bandschlingenmaterial sollte redundant verwendet werden, durch Kernmantelkonstruktionen ersetzt werden, diese laufend auf ihre Dauerbeständigkeit überprüft werden.
4. Seile mit hohen Lastbiegewechseln (z.B. Hallen-Toprope-Seile) sollten nicht für statische Faktor-2-Stürze eingesetzt werden.

Auf der Basis der mir vorliegenden Forschungsergebnisse bieten sich folgende Lösungen an:

Die bestehenden Normen über Seile und Gurte haben sich bewährt: Es hat zu keinem Versagen geführt bei gleichzeitigem Beweis der Wirtschaftlichkeit, Angemessenheit und Machbarkeit. Sie sollten nicht verändert werden.

Die Normen betreffen neu produzierte Teile.

Man darf nicht in den Fehler verfallen, Rückschlüsse oder Vergleiche zwischen Normen und Praxis herzustellen. Normen beinhalten keine Praxistests, sie sollen das auch nicht. Sie sollen einerseits Vergleichswerte liefern, andererseits sicherstellen, dass sicherheitsrelevante Teile nicht bei bestimmungsgemäßer Nutzung versagen. Das tun sie.

Für nicht neu produzierte Teile bietet sich ein Sicherheitsfaktor von 1,5 als Richtwert zur Bewertung von Bruchlasten beim Test von gebrauchten Teilen an.

Wie oben erwähnt treten in einem Seil kaum höhere Werte als 6 kN auf.

## **7.8. Weiterführende Forschung**

### **7.8.1. Soziologische bzw. psychologische Untersuchungen**

Wie eingangs erwähnt muss man vermuten, dass die zeitliche Ablegereife nicht aus dem Wissen, um tatsächliche Seilrisse bzw. Festigkeiten eingehalten wird, sondern aus anderen Gründen, wie Angst vor rechtlichen Konsequenzen, Unsicherheit, Sozialisation,.... Diese Phänomene zu untersuchen könnte weitere Hinweise für eine Umsetzung der Erkenntnisse in der Praxis geben.

Eine weitere interessante Arbeit wäre auch festzustellen, ob die unklare Verwendung der Begriffswolke „Alterung“, „Lebensdauer“, „Verfallzeit“ usw, ein intendiertes Phänomen ist und wenn ja, durch welche Personenkreise.

### **7.8.2. Wirtschaftswissenschaftliche Untersuchungen**

Es wäre interessant, den Zusammenhang zwischen steigendem Gewinndruck der Hersteller durch die neoklassische Wirtschaftspolitik und der sinkenden Lebensdauer in den Herstellererklärungen in den ersten Jahren zu untersuchen.

### **7.8.3. Zerstörungsfreie Tests**

Sinnvoll wäre weiterführende Forschung, zerstörungsfreie Prüfungen von textiler PSA zu entwickeln. Eine Möglichkeit wäre der statische Belastungstest, dies wirft aber Fragen auf: Wie groß darf die Belastung sein, ohne die Probe zu schädigen? Kann hier eine Schallmessung hilfreich sein, da Polyamidfabrikate im Allgemeinen deutlich vernehmbare Geräusche von sich geben, bevor sie reißen?

Wie löst man das Problem, wenn ganze Seile getestet werden sollen? (Vielleicht ließe sich dieses Problem mittels Klemmscheiben lösen, wie sie in Höhensicherungsgeräten oder Rettungsgeräten eingebaut sind).

### **7.8.4. Ausschalten der Reibung im Karabiner**

Die Hypothese könnte erhärtet werden, wenn man Karabiner mit eingebauter Rolle verwendet und die Versuchsreihen wiederholt, weil damit die Reibungshitze zwischen Karabiner und Seil ausgeschaltet wird.

### **7.8.5. Vergrößerung des Radius**

Für die praktische Anwendung wären Versuche mit größerem Radius von Bedeutung. Aus Erfahrungswerten weiß man, dass Seile länger halten, wenn sie um

Radien mit mehreren Zentimetern Durchmessern laufen („Spin Statics“, „Share Reduction Device“).

#### **7.8.6. Langsameres Tempo**

Der Topropesimulator lässt zur Zeit nur eine Geschwindigkeit zu. Mittels Frequenzumwandler könnte man die Geschwindigkeit drosseln und möglicherweise innere Überhitzung vermeiden und näher an reale Verhältnisse kommen.

#### **7.8.7. Einfluss von Sicherungs- und Abseilgeräten**

In Sicherungsgeräten finden teilweise extreme Lastbiegewechsel, Quetschungen, Walkarbeit usw. statt. Die Auswirkung dieser Geräte könnte mit einem einfachen Umbau des Topropesimulators getestet werden. Voraussetzung wäre, dass das Gerät symmetrisch wirkt, weswegen insbesondere HMS, Achter und Tuber in Frage kommen.

Ich initiiere auch einen Praxistest in der Kletterhalle Wien, (ein) Seil(e) nur in einer Verwendung zuzulassen, indem eine Seite für Einhängungen verschlossen wird. Dann hat man die Hälfte des Seils durch Umlenker, die andere Hälfte durch das Sicherungsgerät belastet.

#### **7.8.8. Dehnung**

Die Dehnung könnte ein Äquivalent für das dynamische Arbeitsvermögen sein. Allerdings müsste hier der Zusammenhang zwischen Dehnung, Dehnungsgeschwindigkeit und Fangstoß in der Fallprüfanlage hergestellt werden.

#### **7.8.9. Echte Dauerschwingfestigkeit von PSA**

Hier konnten keine Untersuchungen gefunden werden.

### **7.9. Epilog: Wissenschaftskritische Betrachtungen**

Eine selbstkritische und supervidierte Reflexion meines Forschungshandelns hat mir zwei kritische Elemente der Wissenschaften aufgezeigt:

1. Die Forderung nach der Formulierung einer Hypothese vor der eigentlichen Forschung.
2. Die Enge der wissenschaftlichen Forschung

Ad 1.

Mir erscheint es schwierig, vielleicht sogar unmöglich zu sein, eine Hypothese verifizieren wollen und dennoch zu hundert Prozent offen für falsifizierende Belege zu

sein. Der Bruch eines Seils weit unter der angenommenen Kraft wird in der gleichen Sekunde, wo er stattfindet, interpretiert und Begründungen gefunden, die von einem falsifizierenden Effekt wegführen. Im Klartext: Irgendwas war falsch bei diesem Versuch, ich erkläre ihn aus diesen und jenen Gründen für ungültig.

Ich erinnere mich genau an die ersten diesbezüglichen Ergebnisse, die gar nicht zu der Hypothese passten. Bei den Bandschlingen war es dann noch vergleichsweise einfach, die Ergebnisse zur Kenntnis zu nehmen, tauchte doch in einem meiner Erinnerungsräume ein entsprechender Unfall auf. Recherchen ergaben rasch weitere Unfälle. Bei den Seilen war das schon schwieriger, da gab es diesen Unfall noch nicht. Daher vernachlässigte ich diesen einen Vorfall, der bei den Vortests auftrat, und ich wurde erst später beim gehäuftem Auftreten von schwachen Seilen darauf gedrängt, dieses Phänomen zu untersuchen, was diese Arbeit um ein gutes halbes Jahr verlängert und erhebliche Mehrkosten verursacht hat.

Ein Ignorieren dieser schwachen Seile hätte wissenschaftlich keine Konsequenzen gehabt, meine Arbeit wäre früher fertig geworden. Erst wenn ein Unfall passiert wäre (der hoffentlich nie auftreten wird), wäre diese Lücke in meiner Arbeit deutlich geworden.

Wenn mein Arbeitsauftrag gelautet hätte: „Ich untersuche Seile und formuliere danach die Hypothesen“ wäre es mir leichter gefallen (unter der Voraussetzung, meine Annahmen zu supervidieren und möglichst zu eliminieren), ungewöhnliche Ergebnisse festzuhalten und ihnen nachzugehen.

Meine Forderung an die Wissenschaft lautet daher: verzichten wir auf Arbeitshypothesenbildung vor den Forschungsergebnissen.

Ad 2.

Ich las sehr viel höchst unterschiedliche Literatur, immer in Hinblick auf das Thema „wissenschaftliches Arbeiten“. Da fiel mir auf, wie oft ich bei Forschungen, die abseits des wissenschaftlichen Mainstreams liegen, lesen musste „... doch leider hat sich die etablierte Wissenschaft damit noch nicht beschäftigt.“ Ein Beispiel ist hier ein Buch, dessen Autor wissenschaftliche Belege für eine spontane Kontinentalverschiebung vor ca. 7000 Jahren gesammelt und dokumentiert hat (Flem-Ath & Flem-Ath, 1996). Immer wieder beklagt er, dass sich die etablierte Wissenschaft nicht damit auseinandersetzt. Bedenkt man, dass die Theorie von Wegener auch erst nach dessen Tod anerkannt wurde, erscheint es eigentlich als fahrlässig, dass sich die Wissenschaft nicht damit beschäftigt.

Meine zweite Forderung lautet daher: Zumindest die durch öffentliche Gelder finanzierte Wissenschaft sollte gezwungen werden, sich seriös mit sämtlichen Theorien auseinander zu setzen, sie entweder wissenschaftlich zu falsifizieren oder in den Kanon der offiziellen Theorien aufzunehmen. Ignorieren muss ein No-Go sein.

## 8. Literatur

- Affolter, S. (o.J.). Langzeitverhalten von Thermoplasten.
- Amesberger, G. (2014). [Persönlicher Kommentar].
- ANONYM. (1957). Seilprüfungstage in Wels. *Der bergsteiger und Berge und Heimat, September 1957*(12, 24. Jahrgang), 168.
- Anonym. (2014). Duden Online. 18.11.14.
- Austrialpin. (2014). *Herstellerinformation: Karabiner nach EN 12275:1998, Verbindungselemente nach EN 362:2004, Seilrolle nach EN 12278:2007*. Download am 25.12.2014.
- Bauernfeind, F., & Patterer, H. (2015). Gerissene Schlingen. *bergundsteigen*, 91(Sommer 2015), 44-46.
- Baumgartner, P. (1973). Die Seilalterung als Kriterium bei der Beurteilung des bergsteigerischen Risikos *Für die Sicherheit im Bergland. Jahrbuch 1973* (pp. 35-43). Wien: Österreichisches Kuratorium für Alpine Sicherheit.
- Beal. (o.J.). *Herstellerinformation Beal Gurte*.
- Becker, G. W. (1998). *Kunststoff-Handbuch. 3, Technische Thermoplaste : 4. Polyamide*. München ; Wien: München ; Wien : Hanser.
- Berger, M. (2012, Mailantwort Friday, August 31, 2012 4:45 PM). [Subject: AW: Petzl Information Klettersteigsets].
- Bluewater. (2014). Retirement Criteria. (Download 25.12.2014).
- Bressan, G. (2010). Rope wear in climbing and in laboratory. *CCMT Centro Studi Materiali e Tecniche - realizzato da BFConsulting*.
- Bürkle. (2003). *Chemische Beständigkeit von Kunststoffen*. (Version 2.0e). Bad Bellingen.
- CMC. (2012). Rope Life. When to retire your life safety rope: CMC Rescue.
- Commission, E. (2010). PPE GUIDELINES. GUIDELINES ON THE APPLICATION OF COUNCIL DIRECTIVE 89/686/EEC OF 21 DECEMBER 1989 ON THE APPROXIMATION OF THE LAWS OF THE MEMBER STATES RELATING TO PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT.
- DAV. (2015). Klettern im DAV. Retrieved 30.10.2015, from DAV
- DGUV. (2011). *BGR/GUV-R 198 Benutzung von Persönlichen Schutzausrüstungen gegen Absturz*. Berlin.
- DIN. (1993). *Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz - Prüfverfahren*. Berlin: Beuth.
- DIN. (1998). *DIN EN 1891 Kernmantelseile mit geringer Dehnung*. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin: Beuth.
- DIN. (2001). *DIN EN 12195-2 Ladungssicherungseinrichtungen auf Straßenfahrzeugen*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN. (2002). *DIN EN 1990 - Grundlagen der Tragwerksplanung*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN. (2002a). *DIN EN 361 Persönliche Schutzausrüstung gegen Absturz – Auffanggurte*. Berlin: Beuth.
- DIN. (2007). *DIN EN 565 Bergsteigerausrüstung - Band*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag.
- DIN. (2007a). *DIN EN 566, Bergsteigerausrüstung - Schlingen*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag.
- DIN. (2007b). *DIN EN 564 bergsteigerausrüstung - Reepschnur*: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag.
- DIN. (2009b). *DIN EN 13411-7 Endverbindungen für Drahtseile aus Stahldraht-Teil 7: Symmetrische Seilschlösser*; . Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin.
- DIN. (2010). *DIN EN 354 Verbindungsmittel*. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag.
- DIN. (2010a). *DIN 14920 Feuerwehrleine – Anforderungen, Prüfung, Behandlung*. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN. (2011). *DIN EN ISO 2307. Faserseile - Bestimmung einiger physikalischer und mechanischer Eigenschaften*. Deutsche Fassung. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag.
- DIN. (2011a). *DIN EN 958, Fangstoßdämpfer für die Verwendung auf Klettersteigen*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag.

- DIN. (2011b). DIN EN 13411-3 - Endverbindungen für Drahtseile aus Stahldraht – Sicherheit – Teil 3: Pressklemmen und Verpressen; . Berlin: Beuth verlag.
- DIN. (2012). DIN 50035 Begriffe auf dem Gebiet der Alterung von Materialien. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag.
- DIN. (2012a). DIN EN 892, Bergsteigerausrüstung - Dynamische Seile. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag.
- DIN. (2012b). DIN EN 795 Persönliche Absturzschnur – Anschlageneinrichtungen; Deutsche Fassung EN 795:2012. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin.
- DIN. (2013a). prEN 15567-2:2013 Sport- und Freizeitanlagen – Seilgärten – Teil 2: Anforderungen an den Betrieb; Deutsche Fassung Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth verlag.
- DIN. (2013b). DIN ISO 4309 Krane - Drahtseile - Wartung und Instandhaltung, Inspektion und Ablage (ISO 4309:2010). Berlin: Beuth Verlag.
- DIN. (2015a). EN 15567-1:2015 Sport- und Freizeitanlagen – Seilgärten – Teil 1: Konstruktion und sicherheitstechnische Anforderungen; Deutsche Fassung Berlin: Beuth Verlag.
- DMM. (2014). Rope User Guide. (Download 25.12.2014).
- Edelrid. (2014). Lebensdauer von Kletterseilen. (Download 25.12.2014).
- Elsner, P., Eyerer, P., & Hirth, T. (2004). *Kunststoffe. Eigenschaften und Anwendungen* (7 ed.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Engländer, H. (1959). Bergseilprüfung - International. *Der bergsteiger und Berge und Heimat*, 6(26. Jahrgang), 295-300.
- Eyerer, P., Elsner, P., & Hirth, T. (2008). Polymer Engineering : Technologien und Praxis. *Technologien und PraxisMm*.
- Fendrich, A. (1922). *Der Alpinist* (9 ed.). Stuttgart: Franckhs Sportverlag, Dieck & Co.
- Flem-Ath, R., & Flem-Ath, R. (1996). *Atlantis - der versunkene Kontinent unter ewigem Eis*. Hamburg: Hofmann und Campe.
- Flügge, W. (1967). *Festigkeitslehre*. Berlin [u.a.]: Berlin [u.a.] : Springer.
- Forsström, D., & Terselius, B. (2000). Thermo oxidative stability of Polyamide 6 films. Mechanical and chemical characterisation. *Polymer Degradation and Stability*, 67, 69-78.
- Füssen, H. (1955). Füssener Perlon-Bergseile Matterhorn. *Der Bergsteiger*, München: Bruckmann.
- Gelhaar, H. G., & Meyer, R. V. (1998). Aliphatische Polyamidfasern *Becker G.W. (1998). Kunststoff-Handbuch. 3, Technische Thermoplaste : 4. Polyamide*.
- Gleistein, G. (1957). Spezial PERLON Bergseile. *Der bergsteiger*, Heft 8, Mai 1954: Bruckmann.
- Grupp, P. (2008). *Faszination Berg. Die Geschichte des Alpinismus*. Köln Weimar Wien: Böhlau.
- Harder, G., & Elsner, D. (1987). *Bergsport Handbuch*. Reinbek: Rowolt.
- Hellberg, F., & Semmel, C. (2010). Lebensdauer von Alpinausrüstung - im Zweifel für den Zweifel. *DAV Panorama*, 5.
- Hierhammer, M. (2010). Alterungsverhalten textiler Elemente von Luftfrachtsicherungsnetzen. *Melliand Textilberichte*, 3, 87-88.
- Huntley, M. B., & Whitehill, A. S., Sr. (2002). Retirement criteria for nylon ropes (Vol. 4, pp. 2074-2080). Institute, C. (2003). CI 2005-03. Inspection of Kernmantel ropes for Life Safety Applications. Wayne.
- IOA. (2014). *Handlungsorientierte Ansätze in der Persönlichkeitsentwicklung*. Arbeitsunterlage zum Seminar. Wien.
- Kind, W., Pankotsch, H., & Scheumann, H. (1977). *Bergsteigen*. Berlin: Sportverlag.
- King, S. M., & Bucknall, D. G. (2005). Microstructural characterisation of surfactant treated nylon fibres. *Polymer*, 46(25), 11424-11434. doi: 10.1016/j.polymer.2005.09.064
- Kipp, M. (1978). Die Gebrauchsfestigkeit von Kernmantelseilen. *Die Höhle*, 29, 125-135.
- König, E. (1902). *Alpiner Sport*. Leipzig: Grethlein & Co.
- Kornacher, H. (1954). Damals, als das Seil riss. *Der bergsteiger und Berge und Heimat*, 4, 21. Jahrgang, Ausgabe Oe, 153-157.

- Krause, M. (1999). Britische Erfahrungen beim Test von Höhlenseilen. Übersetzung und Zusammenfassung eines Vortrags von Owen Clarke in der Reihe Ausrüstung beim 12. UIS-Kongress in La Chaux de Fonds, Schweiz, 1999.
- Kuckartz, U., Rädiker, S., Ebert, T., & Schehl, J. (2013). Statistik : Eine verständliche Einführung. *Eine verständliche Einfüh.* doi: 10.1007/978-3-531-19890-3
- Kuningham, K. (2004). *Sicherheitsbetrachtungen zu Seilbrücken bei mobilen Aufbauten in der Erlebnispädagogik und bei Outdoor-Trainings.* (Diplomarbeit), Deutsche Sporthochschule Köln, Köln.
- Kuningham, K. (2006). Spannende Seile 2. *bergundsteigen*, 2, 36-40.
- Livesey, P. (1978). *rock climbing* (1 ed.). Seattle: The Mountaineers.
- Long, A. e. a. (2001). Industrial rope access - Investigation into items of personal protective equipment. Colegaste: Copyright Unit, Her Majesty's Stationery Office,.
- Mammut. (2010). *Mammut Seilfibel.* Seon.
- Mayer, R., & Schubert, P. (1986). *Ausrüstung Sicherung Sicherheit. Alpin-Lehrplan 6.* München: BLV.
- McKenna, H. A. (2005). Evaluation of new and used fiber ropes (pp. 2439-2445).
- Minert, R. (1994). Rope Strength & Care. *Nylon Highway*, 38(September), 20-22.
- Nairz, W. (1980). Wirksamkeit von Sicherheitsmaßnahmen in Fels, Schnee und Eis. *Sicherheit im bergland, Jahrbuch 1980 des Österreichischen Kuratoriums für alpine Sicherheit.*
- Nichols, J., Stephen, B., & Flory, J. (2007). *Forensic Techniques for Investigating the Causes of Fiber Rope Failures.* Arbroath.
- Nieberl, F. (1922). *Das Klettern im Fels* (5 ed.). München: Bergverlag Rudolf Rother.
- Niemann, H.-J. (2005). 70 Jahre Falsifikation: Königsweg oder Sackgasse? *Aufklärung und Kritik*, 2, 52-79.
- Nitsch, J. R. (1986). Zur handlungstheoretischen Grundlegung der Sportpsychologie. In H. N. Gabler, J.R.; Singer, R. (Ed.), *Einführung in die Sportpsychologie* (pp. 188-270). Schorndorf: Hofmann.
- Nitsch, J. R. (2004). Die handlungstheoretische Perspektive: ein Rahmenkonzept für die sportpsychologische Forschung und Intervention. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 11(1), 10-23. doi: 10.1026/1612-5010.11.1.10
- Petzl. (o.J.). *(DE) Halbstatisches Seil. Herstellerinformation.* Crolles.
- Plattner, P. (2007). Ausrüstung & Verantwortung. *bergundsteigen*, 2.
- Popall, P. (2014). [Dyneema, Aramid, Kevlar & Co im Bergsport].
- Prusik, K. (1929). *Ein Wiener Kletterlehrer.* Wien: Artaria.
- Rat, D. (1989). Richtlinie 89/686/EWG des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen: Der Rat der Europäischen Gemeinschaften.
- RICHTLINIE 2006/42/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung) (2006).
- Ridge, I. M. L., Banfield, S. J., & Mackay, J. (2010). Nylon fibre rope moorings for wave energy converters (pp. 1-10).
- Samet, M., & Bechtel, S. (2006). 2006 - Loss of a Legend. The death of Todd Skinner. Retrieved 19.2., 2014
- Sander, M. (2008). Sicherheit und Betriebsfestigkeit von Maschinen und Anlagen : Konzepte und Methoden zur Lebensdauervorhersage.
- Schließler, M. (1954). Rückblick auf das Perlonseil. *Der bergsteiger und Berge und Heimat*, 10, 21. jahrg., 122\*.
- Schmid, H. (1995). Einflüsse der Umwelt auf Synthesefasern. *CHIMIA International Journal for Chemistry*, 49(6), 226-232.
- Schubert, P. (1969). Was halten unsere Karabiner? *Jahrbuch des Österreichischen Alpenvereins 1969, Alpenvereinszeitschrift Band 94*, 214-224.
- Schubert, P. (1972). Sicherheitskreis im DAV *Alpenvereinsjahrbuch 1972* (pp. 194-202): Deutscher und Österreichischer Alpenverein.
- Schubert, P. (1978). *Moderne Felstechnik.* München: Rudolf Rother.

- Schubert, P. (1979). Seil ist nicht gleich Seil. *Tätigkeitsbericht 1978 - 197* (pp. 43 - 70): Sicherheitskreis im DAV.
- Schubert, P. (1984). DAV Unfallstatistik 1979 - 1982 *Sicherheit in Firn und Eis* (pp. 27 - 58). München: Sicherheitskreis im DAV.
- Schubert, P. (1991). Von einem, der auszuog, etwas bewegen zu wollen. Über die Schwierigkeit von Normung von Bergsteigerausrüstung. In D. u. Ö. Alpenverein (Ed.), *Berg 91. Alpenvereinsjahrbuch* (pp. 289-302). München: Rudolf Rother.
- Schubert, P. (1995). *Sicherheit und Risiko in Fels und Eis. Band 1* (Vol. Band 1). München: Rother Verlag.
- Schubert, P. (2000). Moderne Zeiten für Bergseile. *Berg & Steigen*, 3, 22-24.
- Schubert, P. (2000a). About Ageing of Climbing Ropes. *UIAA*, 3/2000, 12-13.
- Schubert, P. (2008). *Sicherheit und Risiko in Fels und Eis Band III* (2 ed.). München: Bergverlag Rother GmbH.
- Semmel, C. (2007). Risiko Klettersteig. *bergundsteigen*, 3.
- Semmel, C., Hellberg, F., & Ernst, B. (1990). Schlingen & Stand. *bergundsteigen*, 1/1990.
- Siebert, W. (2015). *Untersuchung zum Einfluss der Lastbiegewechselzahl im Umlenkkarabiner auf die statische Bruchkraft von Polyamidseilen in Kernmantelkonstruktion für Persönliche Schutzausrüstung*. Seminararbeit. E206 Institut für Hochbau und Technologie. Technische Universität Wien. Wien.
- Siebert, W. (2015b). Traum und Wirklichkeit - PSA am Prüfstand. *oben. Magazin für Seilgartenbetreiber und Trainer*, 15-17.
- Signoretti, G. (2001). *Wet and Icy Ropes May be Dangerous!* La Rivista del Club Alpino Italiano.
- Signoretti, G. (o.J.). *The influence of water, ice and sunlight on the dynamic performance of mountaineering ropes*.
- Skylootec (Producer). (2008, 25.12.14). Gebrauchsanleitung Seile.
- Skylootec (2013, 19.11.2013). [Kontaktformular].
- Spierings, A. B., Henkel, O., & Schmid, M. (2007). Water absorption and the effects of moisture on the dynamic properties of synthetic mountaineering ropes. *International Journal of Impact Engineering*, 34(2), 205-215. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2005.08.008>
- Sterling. (2014). Rope Care, Use and Retirement. (Download 25.12.2014).
- Taleb, N. N. (2009). *Der Schwarze Schwan : die Macht höchst unwahrscheinlicher Ereignisse* (7. [Dr.] ed.). München: München : Hanser.
- Tendon. (2014). Hinweise für Benutzer
- Teufelberger. (2014). User Instructions: Braided safety Blue, Tachyon, Fly, Arbor Elite. (Download 25.12.2014).
- Teufelberger. (o.J.). Gezielte Schädigung von Faserseilen.
- Watzlawick, P. (2001). Anleitung zum Unglücklichsein. *Anleitung zum Unglücklich*.
- Whymper, E. (1922). *Berg- und Gletscherfahrten in den Jahren 1860 bis 1869* (D. F. Steger, Trans. 4 ed.). Braunschweig Hamburg: Georg Westermann.
- Wikipedia. (2014). <http://de.wikipedia.org/wiki/Ablegereife>, 17.2.2014, 16.40.
- Wikipedia. (2015, 6.1.2015, 18.37). Sicherheitsfaktor.
- Wipfler, M., Laar, N., Jockenhövel, S., & Gries, T.). *Smart RopEx - Vorhersage des Versagenszeitpunkts synthetischer geflochtener Seile durch integrierte textilbasierte Monitoringsysteme*. Aachen.
- Yamaguchi, M., Kakuta, S., Ito, A., Ishihara, Y., Matsumoto, T., & Tanaka, T. (2004). Criterion of reusability of nylon ropes in the TRITON buoy system (Vol. 4, pp. 1923-1926).
- Zeller, M. (2014). *Informationsschreiben Sicherheit in Bauteilen (Kurzfassung)*. Eichstetten.
- ZFK, & Felsklettern. (1985). Auswertung des Sicherheitsseminars Felsklettern. . *der tourist. Mitteilungsblatt*, 10/85, 7-8.
- Ziegler, B. (2008). *Geschichte des Ökonomischen Denkens*. München.
- Zsigmondy, E., & Paulcke, W. (1927). *Die Gefahren der Alpen* (8 ed.). München: Bergverlag Rudolf Rother.

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Toprope .....	17
Abbildung 2: "Klassische Konstruktion (oben) und geflochtener Kern (unten) .....	20
Abbildung 3: Geklebter Kern. Sichtbar sind Reste des Klebstoffs am Mantel, der die Litzen des Kerns mit dem Mantel verbindet. ....	21
Abbildung 4 Gerissenes Seil am Matterhorn (Nachbildung). (Whymper, 1922, p. 486) .....	23
Abbildung 5: Festigkeitswerte nach Prusik (Prusik, 1929, p. 41) .....	25
<b>Abbildung 6 Ablegekriterien in den 1920er Jahren (Zsigmondy &amp; Paulcke, 1927).....</b>	<b>26</b>
<b>Abbildung 7: Prüfung des Seils (Nieberl, 1922, p. 54) .....</b>	<b>26</b>
Abbildung 8 Werbung für Polyamidseil (Füssen, 1955) .....	28
Abbildung 9: Anseilmethode in den 1970er Jahren.....	29
Abbildung 10 Soziales System der Entscheider betreffend Ablegereife .....	36
<b>Abbildung 11 Elemente des Systempostulats nach Nitsch (Nitsch, 2004, p. 14) .....</b>	<b>38</b>
Abbildung 12 Ablegereifeangaben verschiedener Hersteller .....	40
Abbildung 13: Ablegereife Schlinge auf Grund von Abnützung. Haltekraft mehr als 10 kN. ....	42
Abbildung 14: Einfluss des Waschvorgangs .....	45
Abbildung 15 Höhlenseile (Kipp, 1978) .....	46
Abbildung 16 Festigkeitsverlust durch Verschmutzung.....	49
Abbildung 17: Wöhlerkurve für Polyamidseile. Aus: (Sander, 2008) .....	51
Abbildung 18: Bewertung der Labortests zu Freibewitterung, Abrieb, Knick sowie Chemieeinfluss ...	53
<b>Abbildung 19 Bruchkraftabnahme durch Scheuertest (Teufelberger, o.J., p. 8) .....</b>	<b>54</b>
Abbildung 20: Bruchfestigkeit unterschiedlicher Knoten .....	56
Abbildung 21 Ist- und Sollwerteinschätzung des Sicherheitsfaktors von PSA.....	60
Abbildung 22: Sitz/Brustgurt aus dem Jahr 1981 („Alter“=Expertenschätzung).....	62
Abbildung 23: Bruchlast Gurt („Bruchlast = Expertenschätzung) .....	62
Abbildung 24: Experteneinschätzung Hallenseil Alter („Alter“ = Exertenschätzung) .....	63
Abbildung 25 Expertenschätzung Bruchlast Hallenseil („Bruchlast“ = Expertenschätzung). ....	63
Abbildung 26 Schaltplan der Hydraulikanlage.....	71
Abbildung 27: Screenshot der Benutzeroberfläche der Steuerungssoftware .....	72
Abbildung 28 Topropesimulator .....	74
Abbildung 29 Befestigung und Umlenkung .....	74
Abbildung 30: Antrieb .....	74
Abbildung 31: Wasserkühlung.....	75
Abbildung 32: Automatische Abschaltung .....	75
Abbildung 34: Schema Topropesimulator: .....	76
Abbildung 33: Zähler und Steuerung.....	75
Abbildung 35 Vergleich Mindestalter zu Bruchkraft von Seilen.....	78
Abbildung 36 Vergleich Mindestalter zu Reißfestigkeit von Gurten .....	79
Abbildung 37 Gurttest .....	80

Abbildung 38 Test eines Verbindungsmittels (Gebrauchsspuren) .....	81
Abbildung 39 Testergebnis: Mehr als 20 kN .....	81
Abbildung 40: Zerreitest .....	82
Abbildung 41: Bruchverhalten eines Seils aus dem Topropesimulator .....	82
Abbildung 42: Seilaufbau Statikseil Mammut und Dynamikseil Gym Rope Grip .....	83
Abbildung 43: Seilaufbau Beal Top Gun .....	84
Abbildung 44: Temperaturverlauf .....	85
Abbildung 45: Unterschiedliche Lasten .....	85
Abbildung 46: Ergebnisse halbstatistisches Seil.....	86
Abbildung 47: Riss und Bruch des Mantels.....	86
Abbildung 48: Dynamikseil .....	87
Abbildung 49: Bruchlast zu Lastbiegewechsel .....	87
Abbildung 50: Hallenseil knapp vor dem Bruch.....	88
Abbildung 51: Bruchlast zu Lastbiegewechsel verklebter Kern.....	88
Abbildung 52:Top Gun bei 29.500 Zyklen: Mantelriss.....	89
Abbildung 53:Top Gun nach 35.300 Zyklen im Zerreißversuch.....	89
Abbildung 54: Bruchkraft Top Gun .....	89
Abbildung 55: Seilkern unbenutztes Seil (eingeblandete Maßeinheit 1000µm):.....	90
Abbildung 56:Seilkern abgelegtes Seil: .....	90
Abbildung 57: Linkes Seil unbenutzt, rechtes Seil abgelegt (Maßeinheit 500µm) .....	91
Abbildung 58: Maßeinheit 100µm.....	91
Abbildung 59 Bruchlast einer Probe mit Batteriesurekontaminierung.....	94
Abbildung 60 Vergleich Mindestalter zu Reißfestigkeit mit eingezogener Grenze (9 kN).....	101
Abbildung 61 Topropeseile herausgerechnet (rechte Datenreihe „1“. Vertikale Achse Belastung in N, rote Linie 9 kN).....	102
Abbildung 62 Seil 31.4.....	103
Abbildung 63 stark verschlissenes Ablassseil (39.1.) .....	103
Abbildung 64 Ein Aufzugsseil für den Swing (48.1.) .....	104