Seilzugang GmbH
HÖHENARBEIT | INDUSTRIEKLETTERN | ARBEITSSICHERHEIT
Gaiserstrasse 120A
CH-9050 Appenzell Meistersrüte

Dehnung Halbstatische Seile bis F_{max} = 6 kN

3.11.2021, Kubel SG, Manuel Siegl

Gaiserstrasse 120A
CH-9050 Appenzell Meistersrüte

Inhalt

1 Ausgangslage ... 3
2 Versuchsaufbau ... 3
2.1 Statische Dehnung gem. EN 1891, Ziffer 4.5 (Norm 1998) ... 3
2.2 Dehnung zwischen 0.5 und 6 kN gem. eigener Interessenbekundung ... 4
2.3 Seiltypen ... 4
3 Ergebnisse ... 5
3.1 Statische Dehnung gem. EN 1891, Ziffer 4.5 (Norm 1998) ... 5
3.2 Dehnverhalten ... 5
3.2.1 Interpretation der Ergebnisse ... 6
3.2.2 Mammut – Typ: k.A. – Dm 11.0 mm ... 8
3.2.3 Kordas – Typ: Lluisa 10.5 – Dm 10.5 mm ... 9
3.2.4 Petzl – Typ: Parallel 10.5 – Dm 10.5 mm ... 10
3.3 Dynamisches Dehn- und Rückstellungsverhalten ... 11
3.3.1 Mammut – Typ: k.A. – 11.0 mm ... 11
3.3.2 Kordas – Typ: Lluisa 10.5 – Dm 10.5 mm ... 12
3.3.3 Petzl – Typ: Parallel 10.5 – Dm 10.5 mm ... 13
4 Zusammenfassung ... 14
5 Schlussfolgerungen ... 15
6 Ausblick ... 15

1 Ausgangslage

Das Transportmittel der Höhenarbeiter sind halbstatische Seile. Wie die Bezeichnung vermuten lässt, handelt es sich nicht um statische Systeme, sondern um etwas zwischen dynamischer und statischer Verhaltensweise. Trotz nicht normierter, nicht vorhandener oder nicht kommunizierter Angaben seitens der Hersteller erhält die Dehnungseigenschaft der Seile im Sturzfall eine massgebliche Bedeutung bezüglich des zu erwartenden Fangstosses und der weiteren Verwendung. Bei korrekter Handhabung und Einhaltung der Rahmenbedingungen, wirkt im Falle eines Sturzes eine maximale Kraft von 6 kN auf das System ein. Diese Obergrenze des Fangstosses wird sowohl durch die Begrenzung der Sturzfaktoren als auch durch die Verwendung von Bandfalldämpfer bestimmt.
Dies war Anlass um Versuche zu starten, aus denen die Dehnungseigenschaften von halbstatischen Seilsystemen hervorgehen sollen.

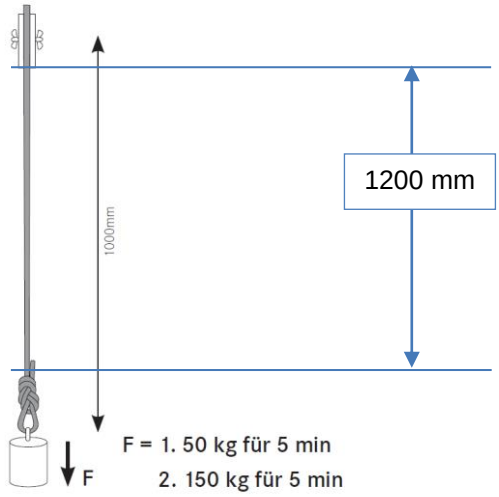
Die Versuche wurden im Ausbildungszentrum „Kubel“ des Schweizer Bergführerverbandes durchgeführt.

2 Versuchsaufbau

Zwei Versuche sollen Aufschluss über die Dehnungseigenschaften der verwendeten Seiltypen geben.

- Ermittlung statischer Dehnung in Anlehnung an EN 1891
- Ermittlung der Dehnungseigenschaften im Lastbereich zwischen 0.5 bis 6 kN

2.1 Statische Dehnung gem. EN 1891, Ziffer 4.5 (Norm 1998)

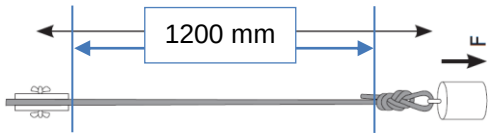


- Seillänge zwischen Klemmplatte und Achterknoten betrug 1200 mm
- Nach Ablauf der 5 min bei 50 kg Belastung wurde innerhalb dieser Strecke die 1000 mm lange Messstrecke aufgetragen.
- Nach weiteren 5 min bei 150 kg Belastung wurde die Längenänderung der Messstrecke ermittelt

Gaiserstrasse 120A
CH-9050 Appenzell Meistersrüte

2.2 Dehnung zwischen 0.5 und 6 kN gem. eigener Interessenbekundung

In einem zweiten Versuch sind auf einer hydraulischen Horizontal-Zugmaschine, zwischen 0.5 und 6 kN, die Dehnungswerte ermittelt worden.



Seillänge zwischen Klemmplatte und Achterknoten betrug 1200 mm

- Auftragen der Messstrecke von 1000 mm bei 0.5 kN Vorspannung
- Hydraulischer Zug, bis der gewünschte Kraftwert erreicht ist.
- Messung der Längenänderung
- Weitere Erhöhung der Kraft bis zum nächsten Messpunkt.
- Intervallzeit zwischen den einzelnen Krafterhöhungen: ca. 30 – 60 Sekunden

2.3 Seiltypen

Alle getesteten Seiltypen liegt der Kern / Mantel Aufbau zu Grunde. Der Mantelanteil liegt bei allen Seilen zwischen 20 und 30%.

Hersteller	Typ	Norm	Durchmesser	Alter	Gebrauch
Mammut	k.A.	En 1891	11.0	> 10 Jahre	Starker Gebrauch
Kordas	Lluisa 10.5	EN 1891 EN 892	10.5	< 2 Jahre	Ungebraucht
Petzl	Parallel	EN 1891	10.5	< 2 Jahre	Ungebraucht

Gaiserstrasse 120A
CH-9050 Appenzell Meistersrüte

3 Ergebnisse

3.1 Statische Dehnung gem. EN 1891, Ziffer 4.5 (Norm 1998)

Die statische Dehnung eines EN 1891 zertifizierten, halbstatischen Seils, darf 5% nicht überschreiten.

Hersteller	**Typ**	**Norm**	**Durchmesser**	**Längenänderung**	**Dehnung**
Mammut	k.A.	En 1891	11.0	80 mm	8.0 %
Kordas	Lluisa 10.5	EN 1891 EN 892	10.5	44 mm	4.4%
Petzl	Parallel	EN 1891	10.5	40 mm	4.0 %

Das intensiv genutzte Mammutseil erfüllt die Anforderungen der EN 1891 nicht mehr. Die Gebrauchsdehnung wird mit 8% deutlich überschritten. Die starke Nutzung lässt vermuten, dass die Festigkeitswerte des Seils reduziert sein könnten.

3.2 Dehnverhalten

Die nachfolgende Tabelle bildet die Längenänderung beim Erreichen der jeweiligen Zugkraft ab. Wegen der polymeren, thermoplastischen Materialbeschaffenheit bauen sich die Zugkräfte aufgrund von Relaxations- und Kriecheffekten langsam wieder ab.

Diesem Versuch liegen keine normativen Vorgaben zu Grunde.

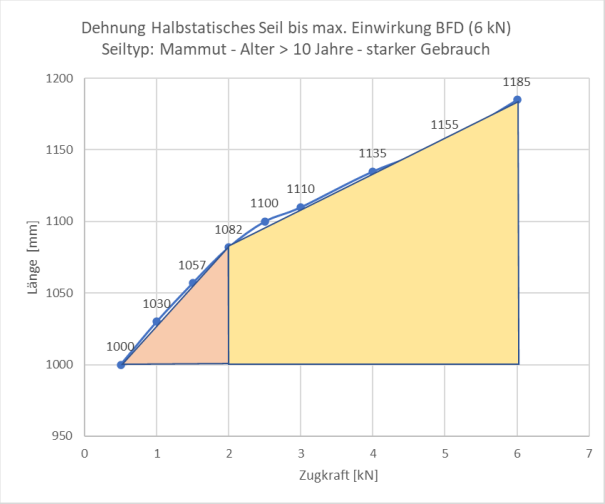
Zugkraft [kN]	Mammut 11.0 Länge [mm]	Lluisa 10.5 Länge [mm]	Parallel 10.5 Länge [mm]
0.5	1000	1000	1000
1	1030	1015	1023
1.5	1057	1032	1032
2	1082	1045	1043
2.5	1100	1049	1053
3	1110	1060	1065
4	1135	1095	1083
5	1155	1110	1098
6	1185	1130	1110

3.2.1 Interpretation der Ergebnisse

Aus den Versuchen sind mehrere Kennwerte gemessen bzw. berechnet worden, um die Vergleichbarkeit der Seile untereinander zu gewährleisten. Nachfolgend werden die Kennwerte in ihrer Herleitung und Interpretation erleutert:

Energie: Einheit in Joule [J] oder Newtonmeter [Nm]

Berechneter Wert aus dem Integral (Flächeninhalt) des Kraft / Dehnungsdiagramms. Das Integral beginnt bei 0.5 kN und endet bei 6 kN. Dabei werden die Kraft [F] mit der effektiven Längenänderung (Dehnung) [s] multipliziert. Der berechnete Wert beschreibt das Energieaufnahmevermögen des Seils.
Das nachfolgende Diagramm soll exemplarisch verdeutlichen, wie das Integral zur Ermittlung der Energie zu Stande kommt.



Ein Beispiel zum Verständnis der Energie:

- Gleiche Sturzhöhe
- Gleiche Masse
- Gleiche Seillänge
- Unterschiedliche Seilmaterialien (Stahl, Dyneema, Aramid, Polyamid, Dynamisches Bergseil, Halbstatisches Seil, Bungee-Seil)

Alle diese Werkstoffe weisen unterschiedliche Dehnungswerte im Falle eines Sturzes auf. Diejenigen Materialien mit geringen Dehnungseigenschaften, haben demzufolge ein reduziertes Energieaufnahmevermögen, diejenigen mit hohen Dehnungseigenschaften ein entsprechend Grosses. Ein hohes Mass an Energieaufnahmevermögen, resultiert in einem tiefen, bzw. reduzierten Fangstoss. Daraus lässt sich ableiten, dass im Falle eines Sturzes bei Materialien mit geringen Dehnungseigenschaften hohe Fangstösse auftreten, bei Materialien mit erhöhten Dehnungseigenschaften entsprechend geringere Fangstösse zu erwarten sind. Eine Korrelation zwischen Sturzfaktor und Fangstoss ist nur innerhalb der gleichen Materialgruppe vorhanden.

→Eine allgemeine Vergleichbarkeit zwischen dem Sturzfaktor und dem Fangstoss ist deshalb nicht möglich.

Gaiserstrasse 120A
CH-9050 Appenzell Meistersrüte

Dehnung: Einheit [%], [m/m]

Gemessener Wert aus dem Versuch. Längenänderung welche mit der Ursprungslänge ins Verhältnis gesetzt wird.

Seildurchmesser: Einheit [mm]

Nenndurchmesser – Angabe des Herstellers

Querschnitt: Einheit [mm^2]

Fläche des Seilquerschnitts bezogen auf den Nenndurchmesser

Zugfestigkeit bei 6 kN: Einheit [N/mm^2], [MPa]

Berechneter Wert – Quotient aus Kraft (6 kN) und der Querschnittsfläche.

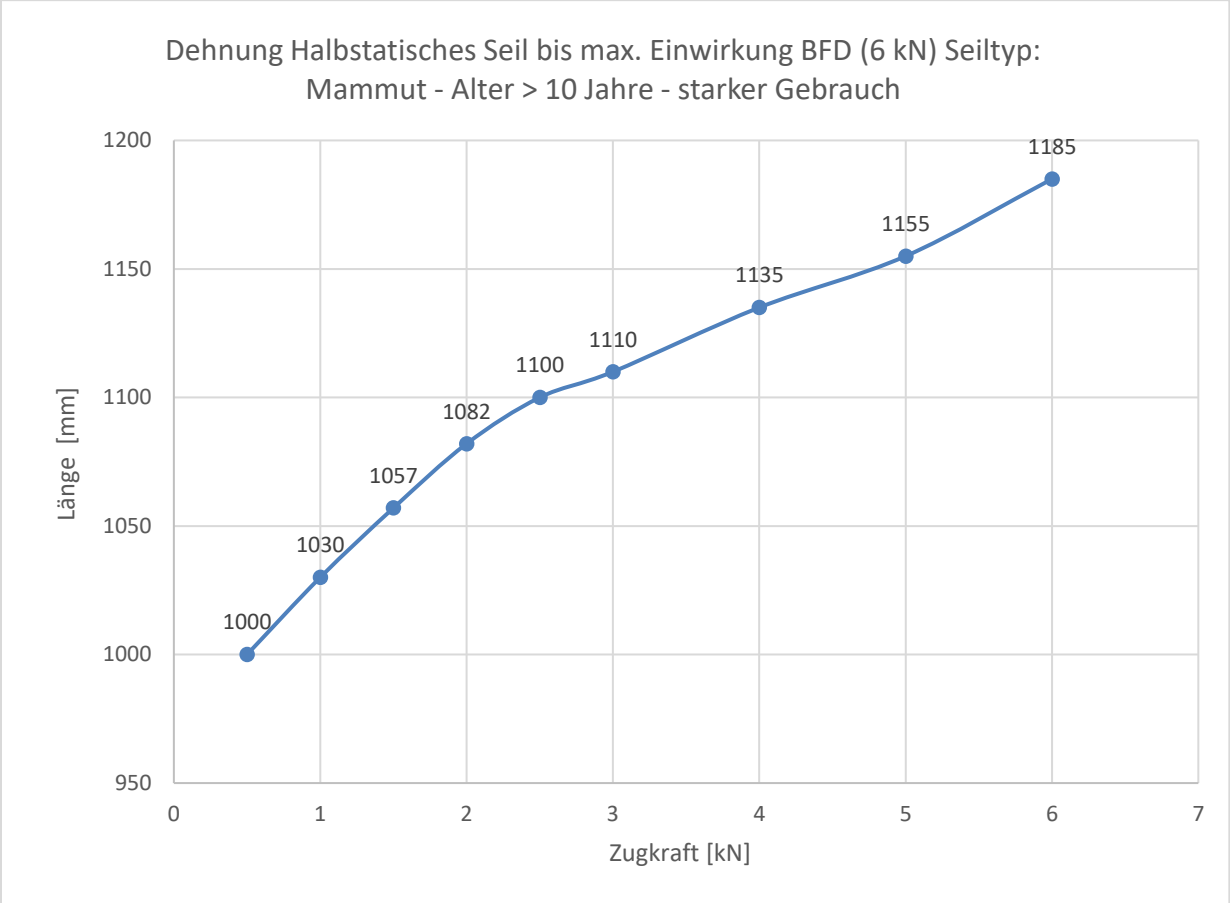
Verformungsmodul bei 6 kN: Einheit [N/mm^2], [MPa]

Berechneter Wert, um die Vergleichbarkeit der verschiedenen Seile auf derselben Ebene zu ermöglichen. Der Wert wird ermittelt aus dem Quotient der Zugfestigkeit bei 6 kN und der korrespondierenden Dehnung. Beschreibt den Widerstand gegen die Verformung – je höher der Wert, desto grösser der Widerstand gegen Verformung. Das Verformungsmodul ermöglicht bei unterschiedlichen Seildurchmessern den relativen Vergleich.

Verformungswiderstand bei 6 kN:

Berechneter Wert, um die Vergleichbarkeit der verschiedenen Seile auf derselben Ebene zu ermöglichen. Der Wert wird ermittelt aus dem Quotient der Zugeinwirkung von 6 kN und der korrespondierenden Dehnung. Beschreibt den Widerstand gegen Verformung. Ähnliche Aussage wie Verformungsmodul. Der Verformungswiderstand ermöglicht den direkten, absoluten Vergleich von unterschiedlichen Seiltypen (bezüglich verschiedener Materialisierung, Flechtarten und Querschnittsflächen)

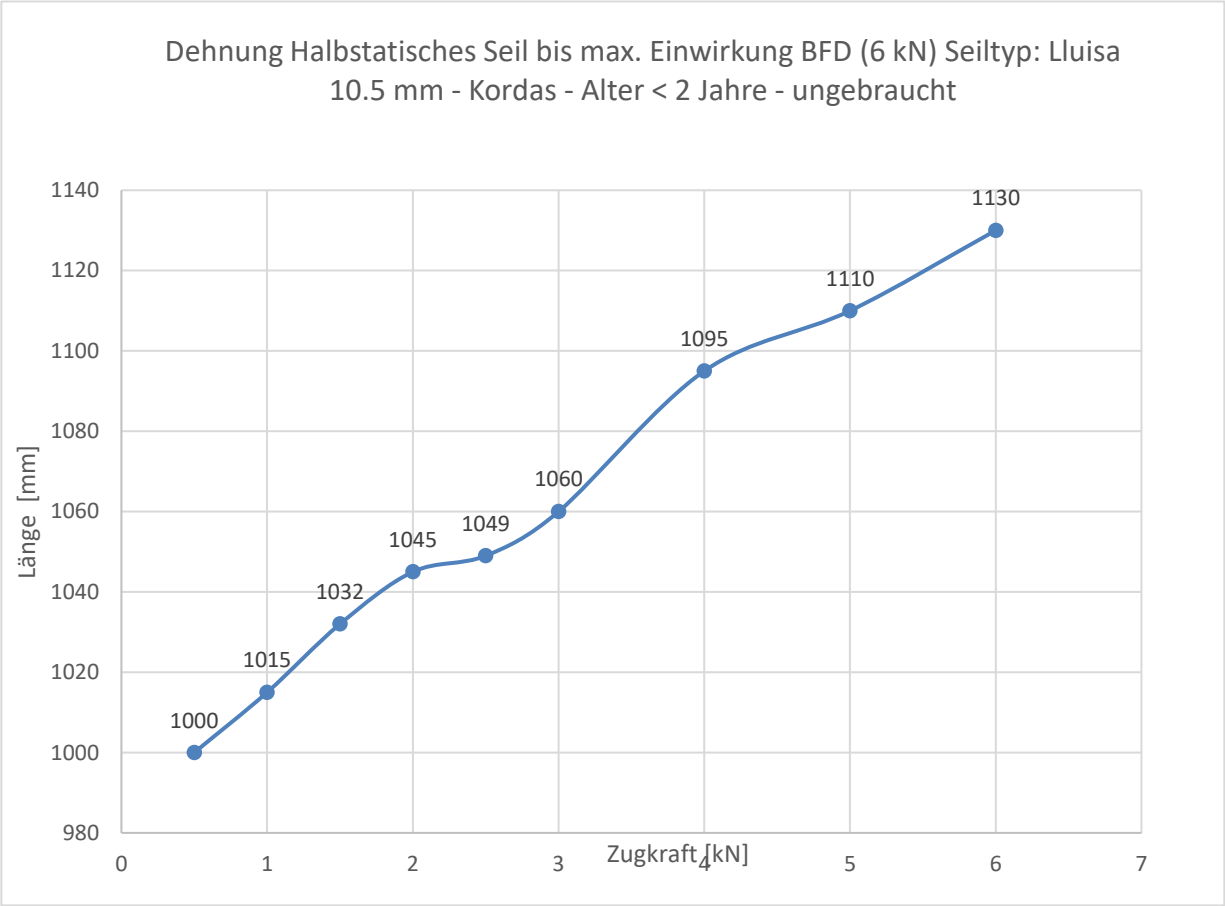
3.2.2 Mammut – Typ: k.A. – Dm 11.0 mm



Energie [Nm]	Dehnung	∅ Seil [mm]	Querschnitt [mm^2]	Zugfestigkeit bei 6 kN [N/mm^2]	Verformungs-Modul bei 6 kN [N/mm^2]	Verformungs-Widerstand bei 6kN [kN]
595.5	18.5%	11	95.03	63.14	341.27	32

- Hoher Dehnungswert
- Entsprechend grosses Energieaufnahmevermögen
- Reduzierte Verformungsmodul / Verformungswiderstand

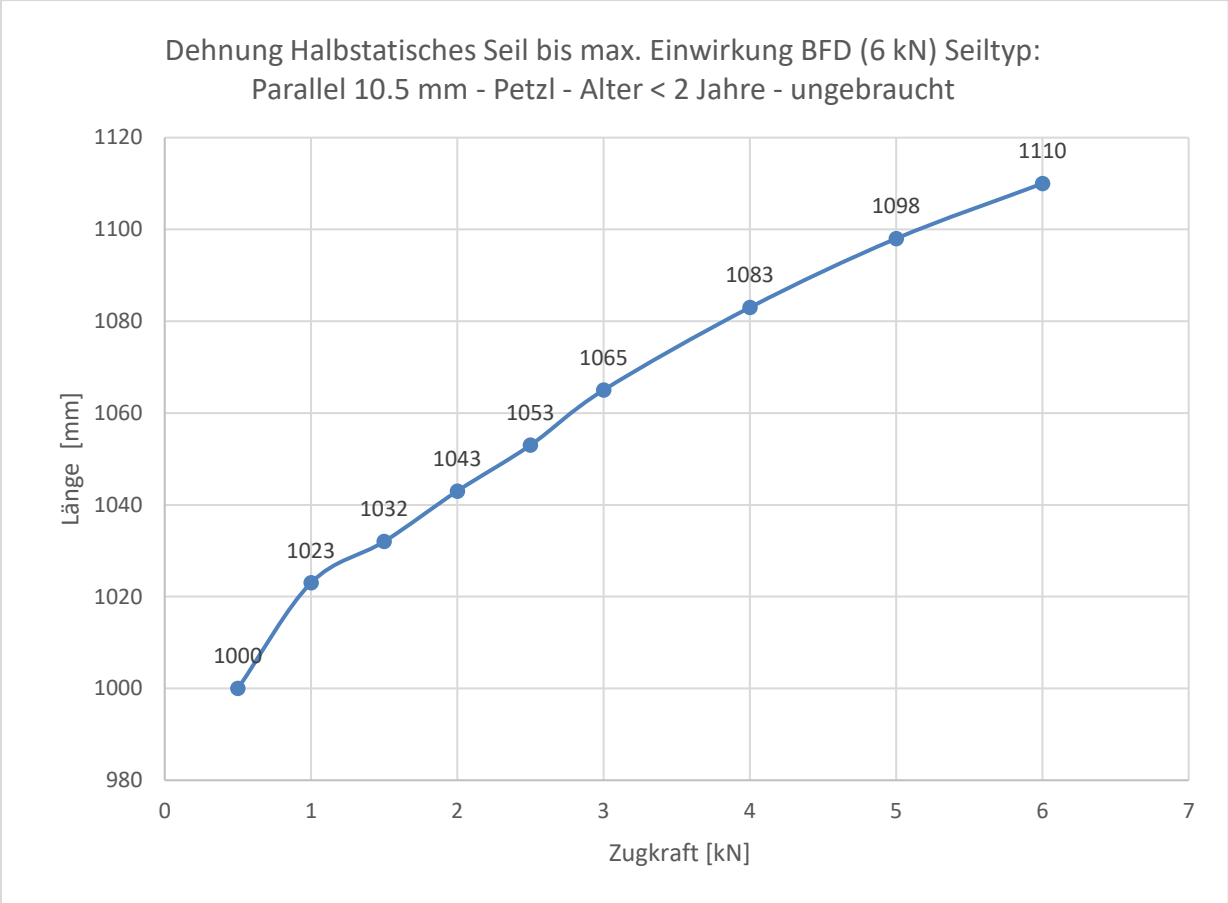
3.2.3 Kordas – Typ: Lluisa 10.5 – Dm 10.5 mm



Energie [Nm]	Dehnung	∅ Seil [mm]	Querschnitt [mm^2]	Zugfestigkeit bei 6 kN [N/mm^2]	Verformungs-Modul bei 6 kN [N/mm^2]	Verformungs-Widerstand bei 6kN [kN]
387	13.0%	10.5	86.59	69.29	533.01	46

- Erwarteter Dehnungswert – erhöht gegenüber dem Parallel 10.5, könnte mit der ebenfalls vorhanden EN 892 Norm zusammenhängen
- Reduziertes Energieaufnahmevermögen
- Erhöhte Verformungsmodul / Verformungswiderstände

3.2.4 Petzl – Typ: Parallel 10.5 – Dm 10.5 mm



Energie [Nm]	Dehnung	∅ Seil [mm]	Querschnitt [mm^2]	Zugfestigkeit bei 6 kN [N/mm^2]	Verformungs-Modul bei 6 kN [N/mm^2]	Verformungs-Widerstand bei 6kN [kN]
360.75	11.0%	10.5	86.59	69.29	629.93	55

- Erwarteter Dehnungswert
- Reduziertes Energieaufnahmevermögen
- Erhöhte Verformungsmodul / Verformungswiderstände

3.3 Dynamisches Dehn- und Rückstellungsverhalten

Nach erfolgter Beanspruchung des Seils stellt sich die Frage ob und wie schnell sich die Verformungen zurückbilden.

Elastische Rückstellung:

Sofortige Rückstellung nach der Kraftänderung – Zeitintervall zwischen den Messpukten <= 30 Sekunden

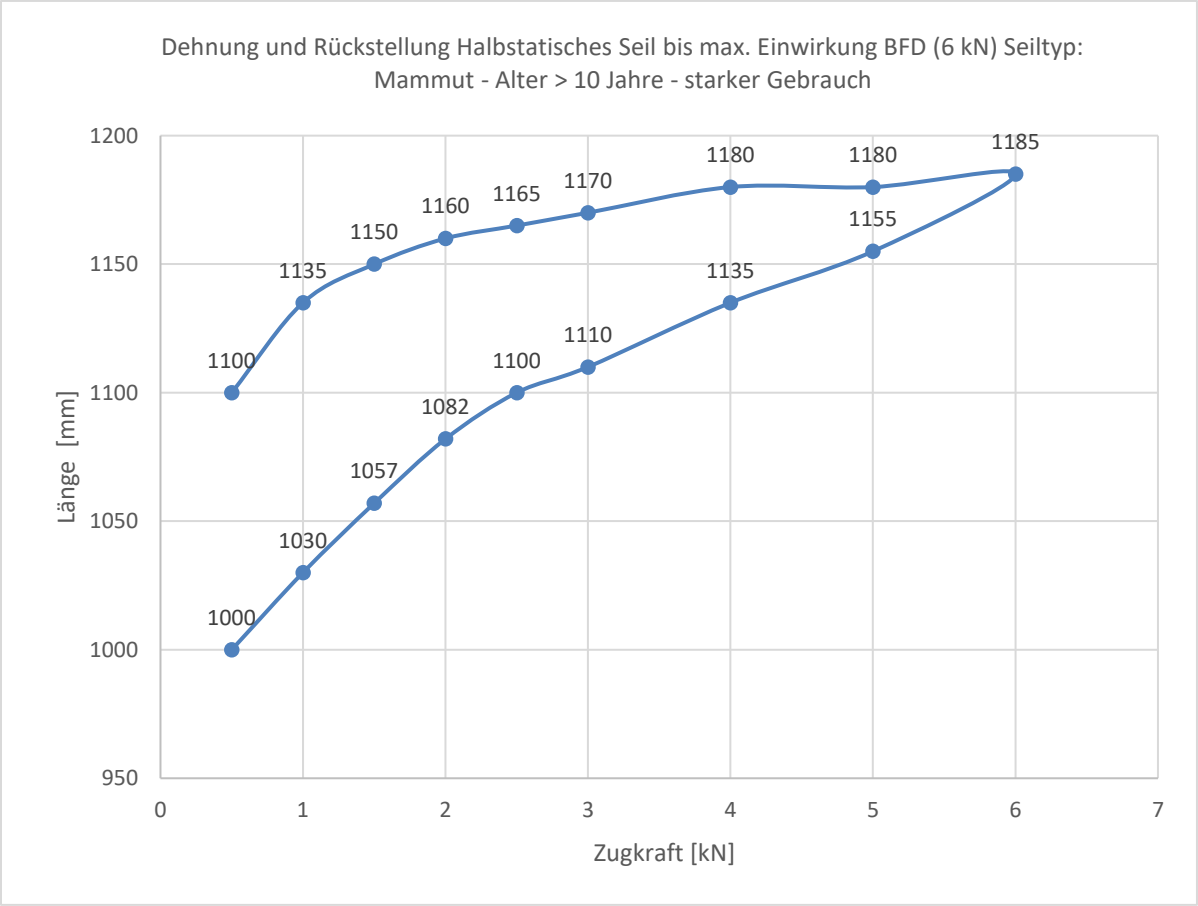
Viskoelastische Rückstellung:

Zeitabhängige Rückstellung innerhalb von 24 Stunden.

Plastische Verformung:

Bleibende Verformung nach 24 Stunden.

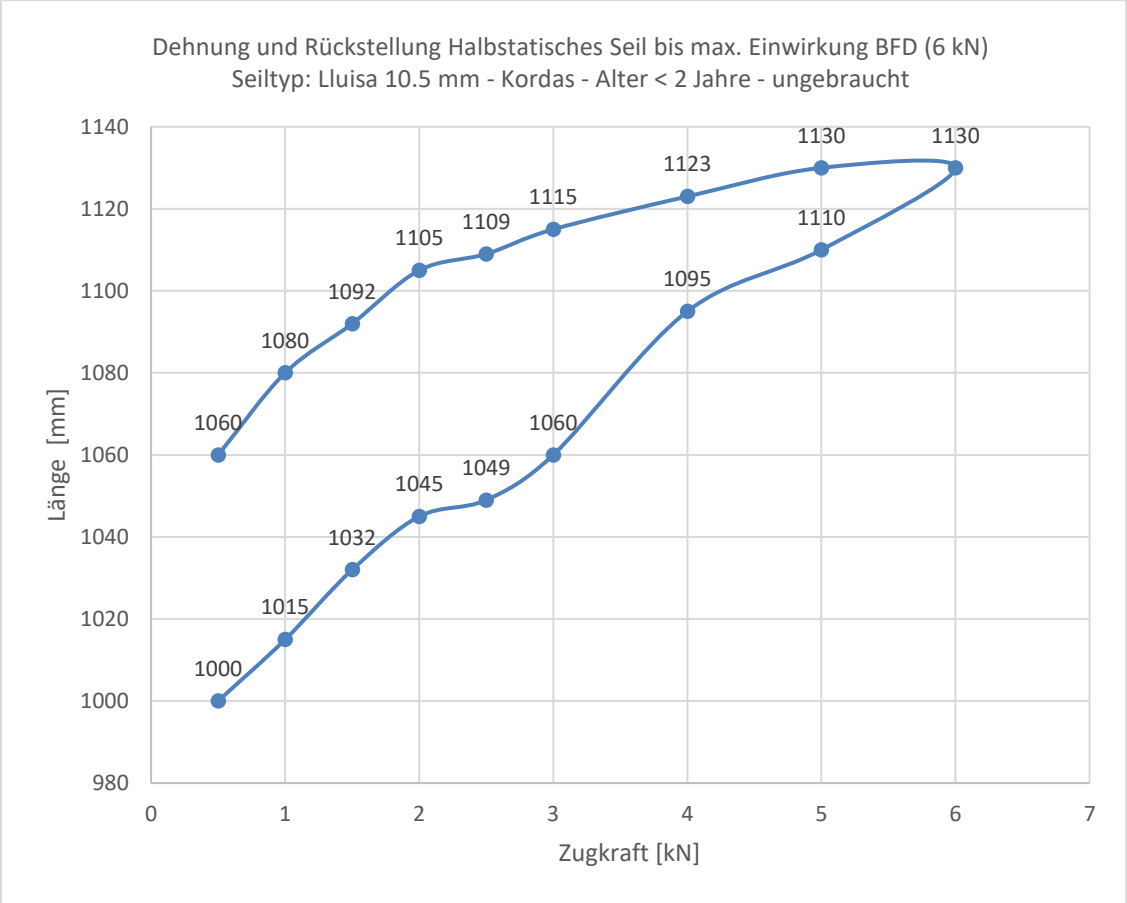
3.3.1 Mammut – Typ: k.A. – 11.0 mm



Dehnung	Elastische Rückstellung	Viskoelastische Rückstellung
18.5%	7.0%	11.5%

- Nach 24h ist keine bleibende / plastische Verformung messbar. Komplette Rückstellung nach 24 h

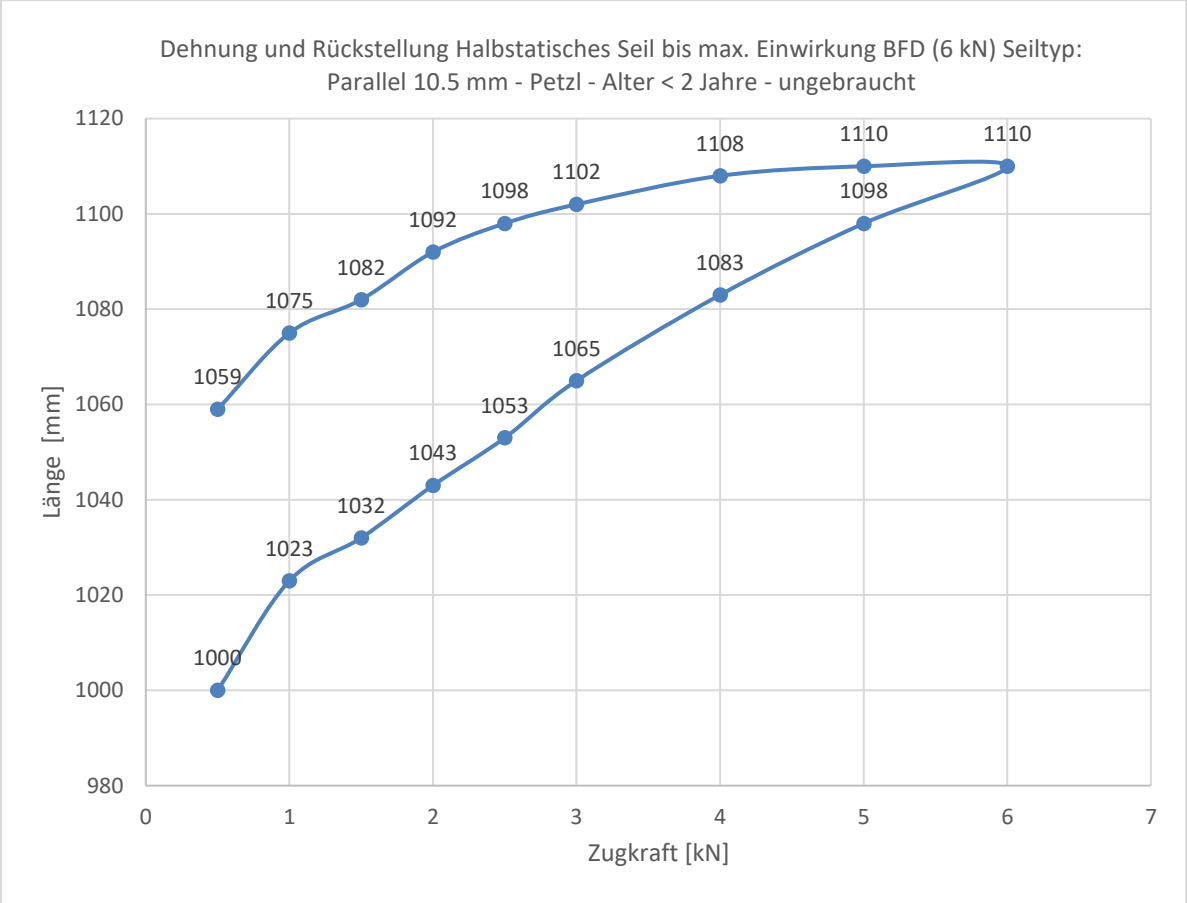
3.3.2 Kordas – Typ: Lluisa 10.5 – Dm 10.5 mm



Dehnung	Elastische Rückstellung	Viskoelastische Rückstellung
13.0%	6.0%	7.0%

- Nach 24h ist keine bleibende / plastische Verformung messbar. Komplette Rückstellung nach 24 h

3.3.3 Petzl – Typ: Parallel 10.5 – Dm 10.5 mm



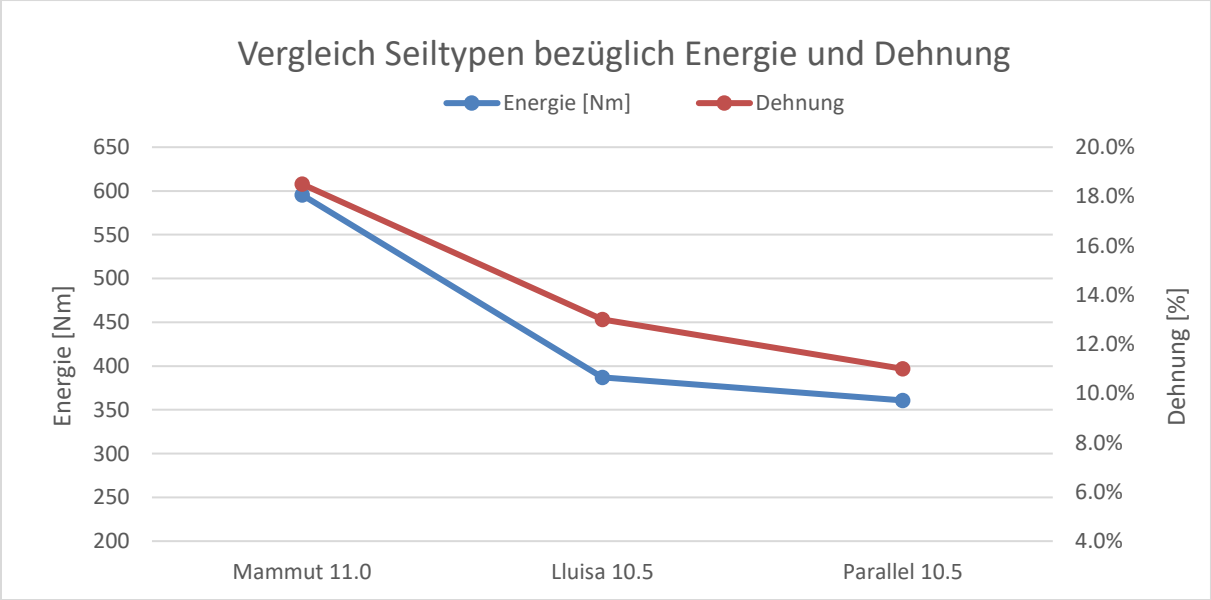
Dehnung	Elastische Rückstellung	Viskoelastische Rückstellung
11.0%	5.0%	6.0%

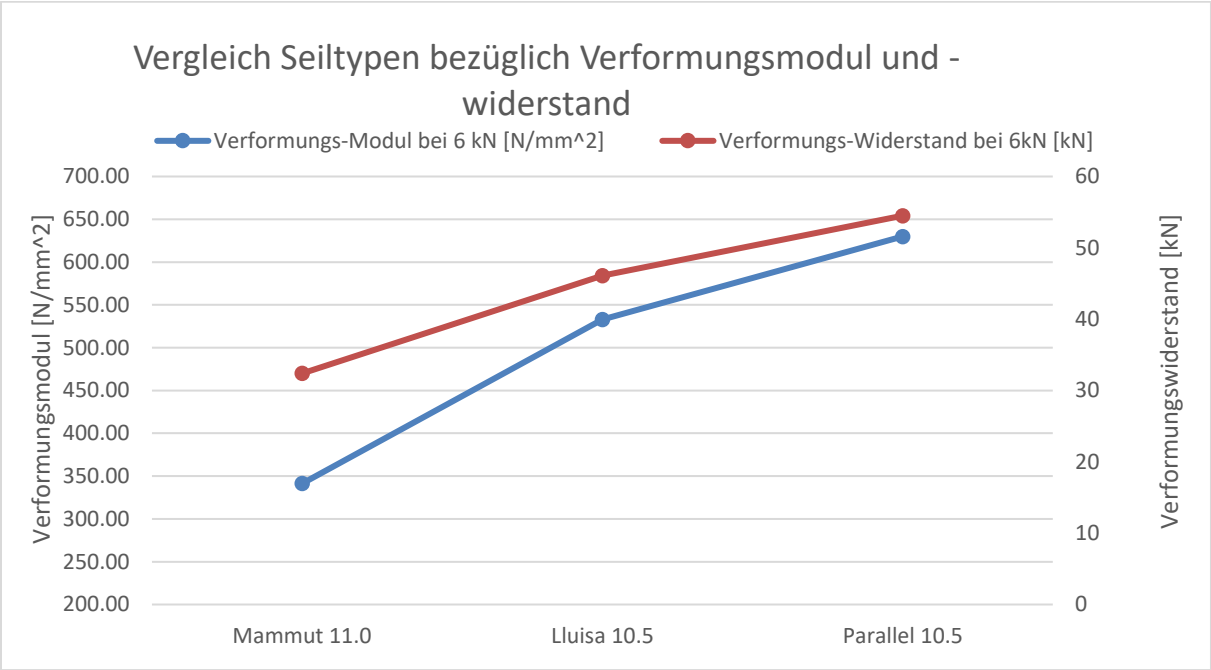
- Nach 24h ist keine bleibende / plastische Verformung messbar. Komplette Rückstellung nach 24 h

4 Zusammenfassung

- Die realistischen Dehnungswerte halbstatischer Seile liegen bei einer Belastung von 6 kN bei 10 - 14%
- Dehnungswerte nehmen bei langer Gebrauchsdauer und intensiver Nutzung zu.
- Festigkeit / Verformungswiderstände nehmen bei langer Gebrauchsdauer und intensiver Nutzung ab
- Die Rückstellung der Dehnung nach der Belastung ist nach 24h zu 100% erfolgt.
- Belastungen im Bereich von 6 kN führen zu keiner oder nur sehr kleiner plastischen Verformung.
- Die Verformungsanteile beschränken sich auf elastische und viskoelastische Verformung.
- Die zeitabhängige Rückstellung der Verformung nimmt mit langer Gebrauchsdauer und intensiver Nutzung zu

	Energie [Nm]	Dehnung	∅ Seil [mm]	Querschnitt [mm^2]	Zugfestigkeit bei 6 kN [N/mm^2]	Verformungs-Modul bei 6 kN [N/mm^2]	Verformungs-Widerstand bei 6kN [kN]
Mammut 11.0	595.5	18.5%	11	95.03	63.14	341.27	32
Lluisa 10.5	387	13.0%	10.5	86.59	69.29	533.01	46
Parallel 10.5	360.75	11.0%	10.5	86.59	69.29	629.93	55





5 Schlussfolgerungen

- Stark beanspruchte Seile (aus Tyroliennes oder langen Hängebeanspruchung) können nach einer Ruhezeit über ein paar Tage wieder eingesetzt werden (viskoelastische Erholung)
- Eine Beanspruchung über 6 kN für eine längere Zeit kann zu Materialermüdungen und plastischen Verformungen führen, welche die Festigkeit des Seils erheblich reduzieren können.
- Ältere bzw. stark gebrauchte Seile haben zwar eine geringere Festigkeit, dafür ein grösseres Energieaufnahmevermögen. Die wirklichen Probleme bei Einsatz von älteren Seilen ist vermutlich die verminderte Kantenfestigkeit.

6 Ausblick

- Für tiefere Untersuchungen müssten zusätzliche Versuchsreihen lanciert werden
- Gerade im Bergsportbereich (Seil gem EN 892) könnte folgende Kenntnis wertvoll sein: Wie gross ist die Geschwindigkeit der elastischen Rückstellung nach einem Fangstoss und darauffolgendem Ausbruch einer Zwischensicherung? Ist die Rückstellungsgeschwindigkeit grösser als die Fallgeschwindigkeit des Stürzenden? Wenn ja: dann würde das Seil bei der folgenden Zwischensicherung wiederholt als Energieabsorber wirken. Wenn Nein, dann würde der Stürzende bei der zweiten Zwischensicherung in ein wenig elastisches Seil stürzen und sich ungünstig auf den Fangstoss auswirken.