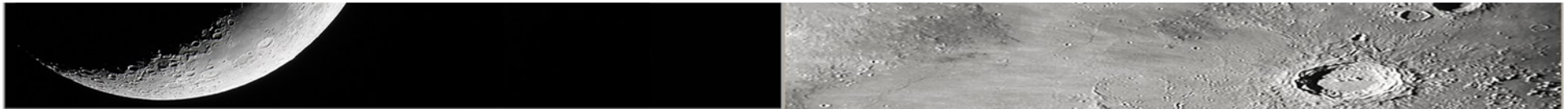


# Untersuchung des Langzeit-Dehnverhaltens von PE-Seilen



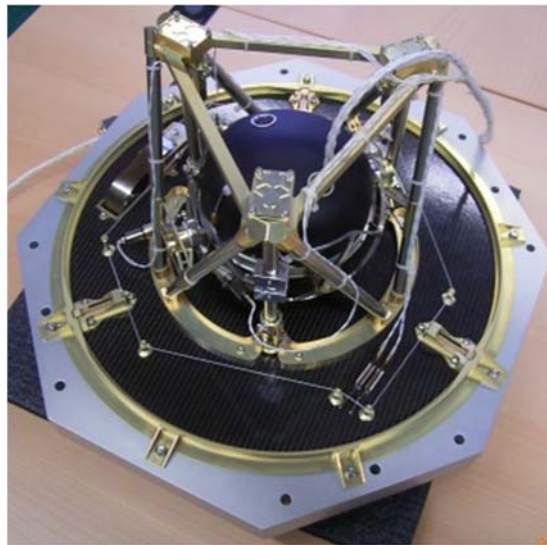
**Dr.-Ing. Marco Bierwirth**

**Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung  
Katlenburg-Lindau**

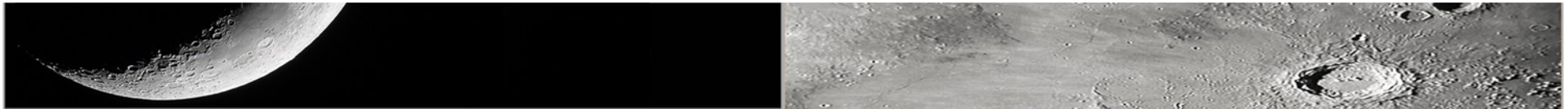


## Anwendung von Seilen in Space Mechanismen

**Seilmechanismen werden sehr oft für Startverriegelungen eingesetzt, um einzelne Einheiten während des Flugs oder nach der Landung zu entriegeln.**



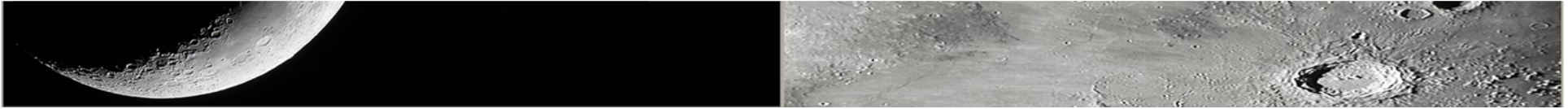
**Vorteile gegenüber anderen Mechanismen: wenig Gewicht, wenig Energie**



## Drahtseile oder Kunststoff-Seile?

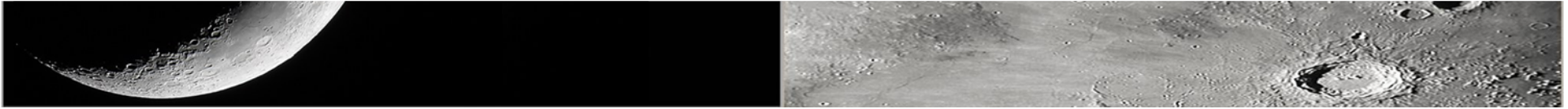
	<b>Stahlseil</b>	<b>Kevlar®-Seil</b>	<b>Dyneema® Seil</b>
Material		Aramid Faser	HM PE Faser
Dichte	7,8 g/cm <sup>3</sup>	1,45 g/cm <sup>3</sup>	0,96 g/cm <sup>3</sup>
Zugfestigkeit	1,8 GPa	2,8 GPa	3-4 GPa
Festigkeit der Faser	2 cN/dtex	23 cN/dtex	35-40 cN/dtex
Trennverfahren	cable cutter	verschmort ab 400 C	schmilzt ab 144 C

“Dyneema® rope consists of an Ultra-High Molecular Weight Polyethylene (UHMwPE) fibre. The Dyneema® rope yields the maximum in strength-to-weight ratio. It is insensitive to most chemicals, has a good UV light resistance, but its temperature stability is rather poor and it has the affinity to creep under higher loads.”



## Eigenschaften von HM-PE-Fasern

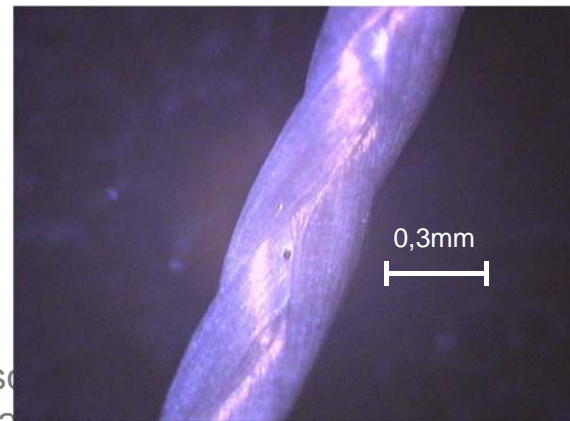
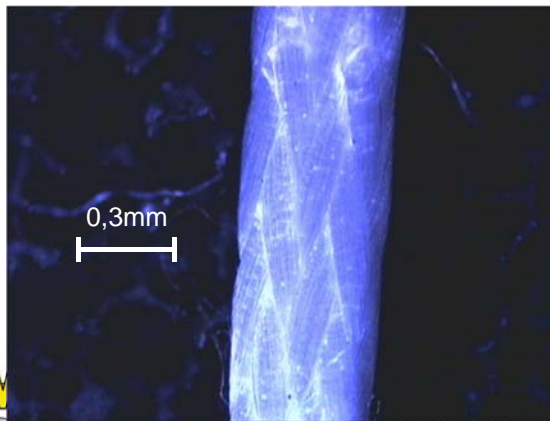
- keine Wasseraufnahme
- vakuumtauglich
- gute UV Beständigkeit
- chemisch inert
- hohe Reißfestigkeit
- leicht thermisch trennbar („heißes Messer“)
  
- schlechte Temperatur-Stabilität
- Bruchdehnung gering
- dehnt sich unter Last
- Knotenfestigkeit gering



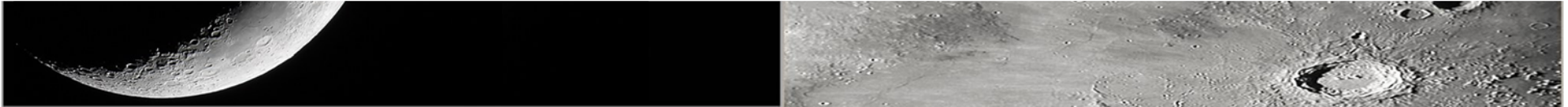
## Übersicht HM-PE-Seile

- Seile werden aus Faserbündeln geflochten oder gedreht
- Seile sind teilweise gezielt vorgereckt

Hersteller	Durchmesser	maximale Last
A	0,25mm	22daN
B	0,30mm	25daN
C	0,31mm	10daN
D	0,49mm	46daN
D	0,58mm	80daN
D	0,79mm	104daN

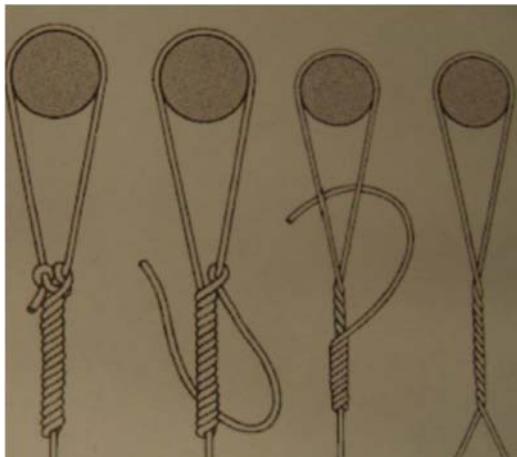




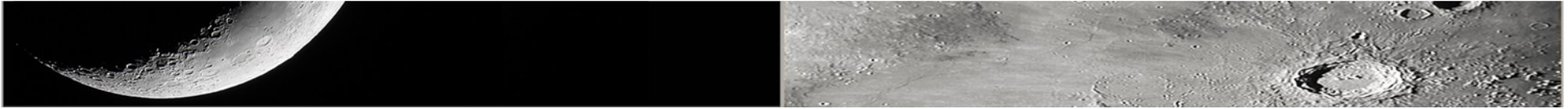


## Seilbefestigung - Knotentechnik

Die geringe Knotenfestigkeit erfordert eine besondere Befestigung:  
Der Bimini-Twist-Knoten auf speziell gefertigter Kausche

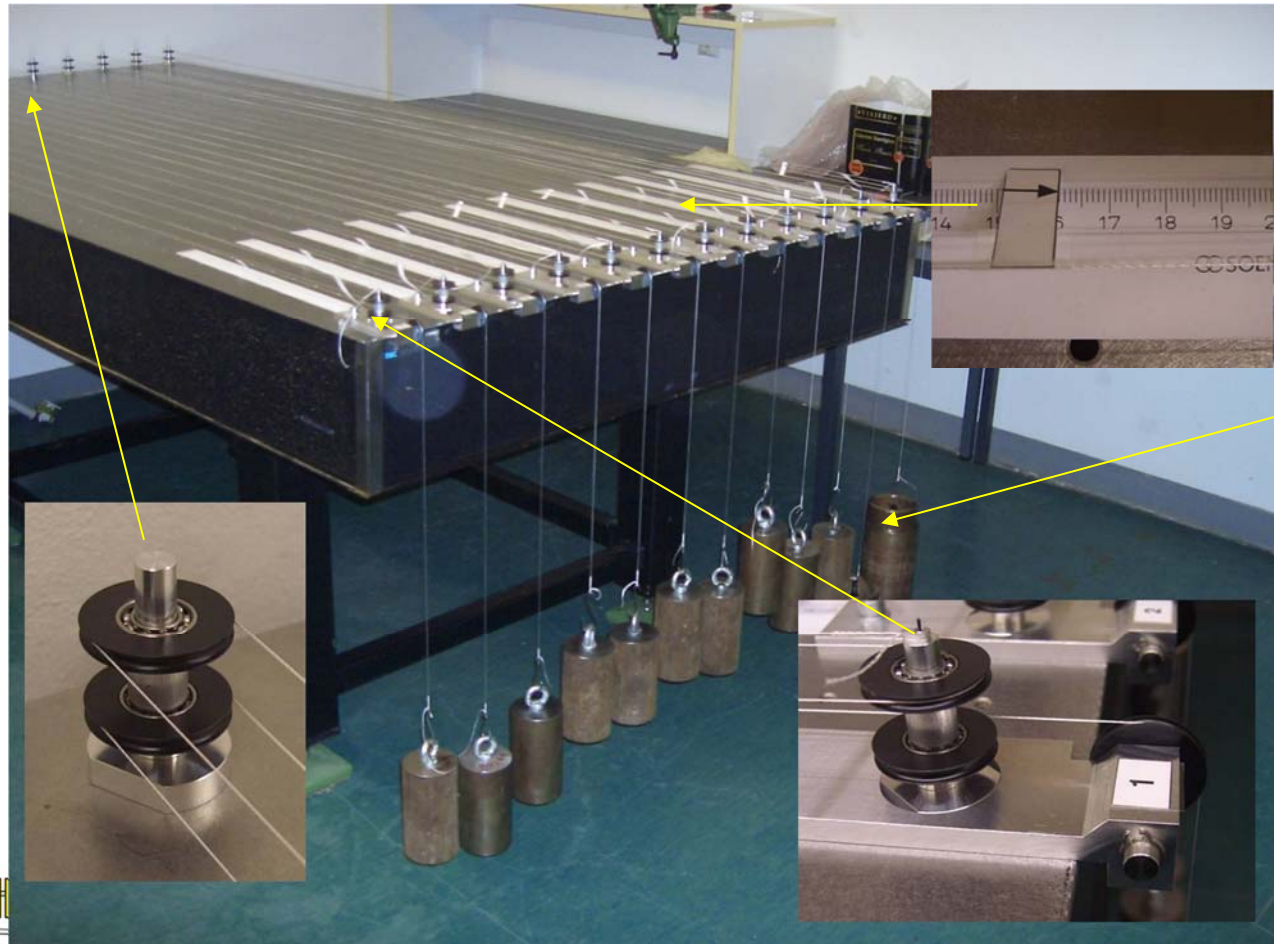


Hersteller	Durchmesser	maximale Last	im Test erreichte Bruchlast
<b>A</b>	0,30mm	25daN	60..80%
<b>B</b>	0,31mm	10daN	50..60%
<b>C</b>	0,35mm	31daN	70..95%



## Testaufbau Langzeit-Dehnverhalten

- 12 Testplätze, Seillänge >10 Meter
- Testdauer: bis zu 6 Monate
- Raum fensterlos, Temperatur 22 ± 3 C

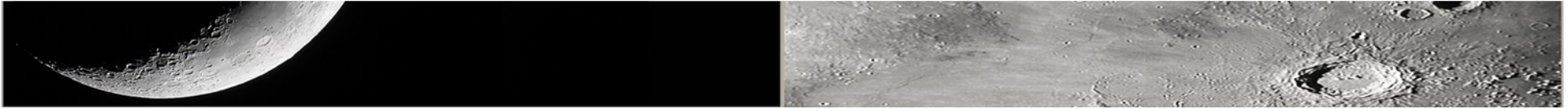


Skala

Gewichte  
5...15kg

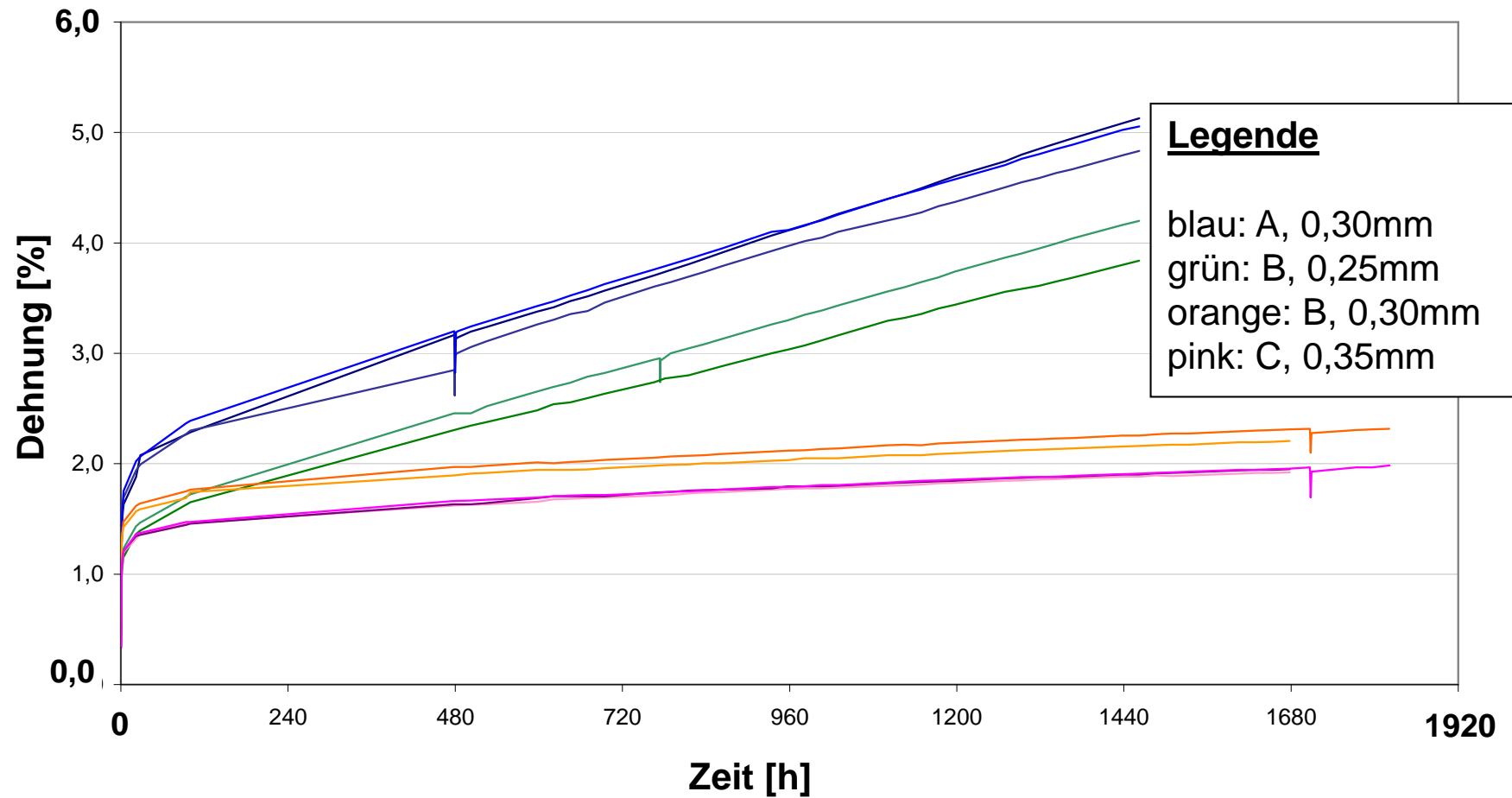
leicht  
bewegliche  
Umlenkrollen

Seilende und  
Umlenkrollen



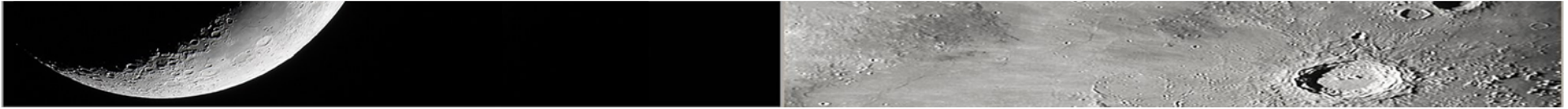
## Ergebnisse

Dehnung verschiedener Seile bei einer Belastung von 5kg



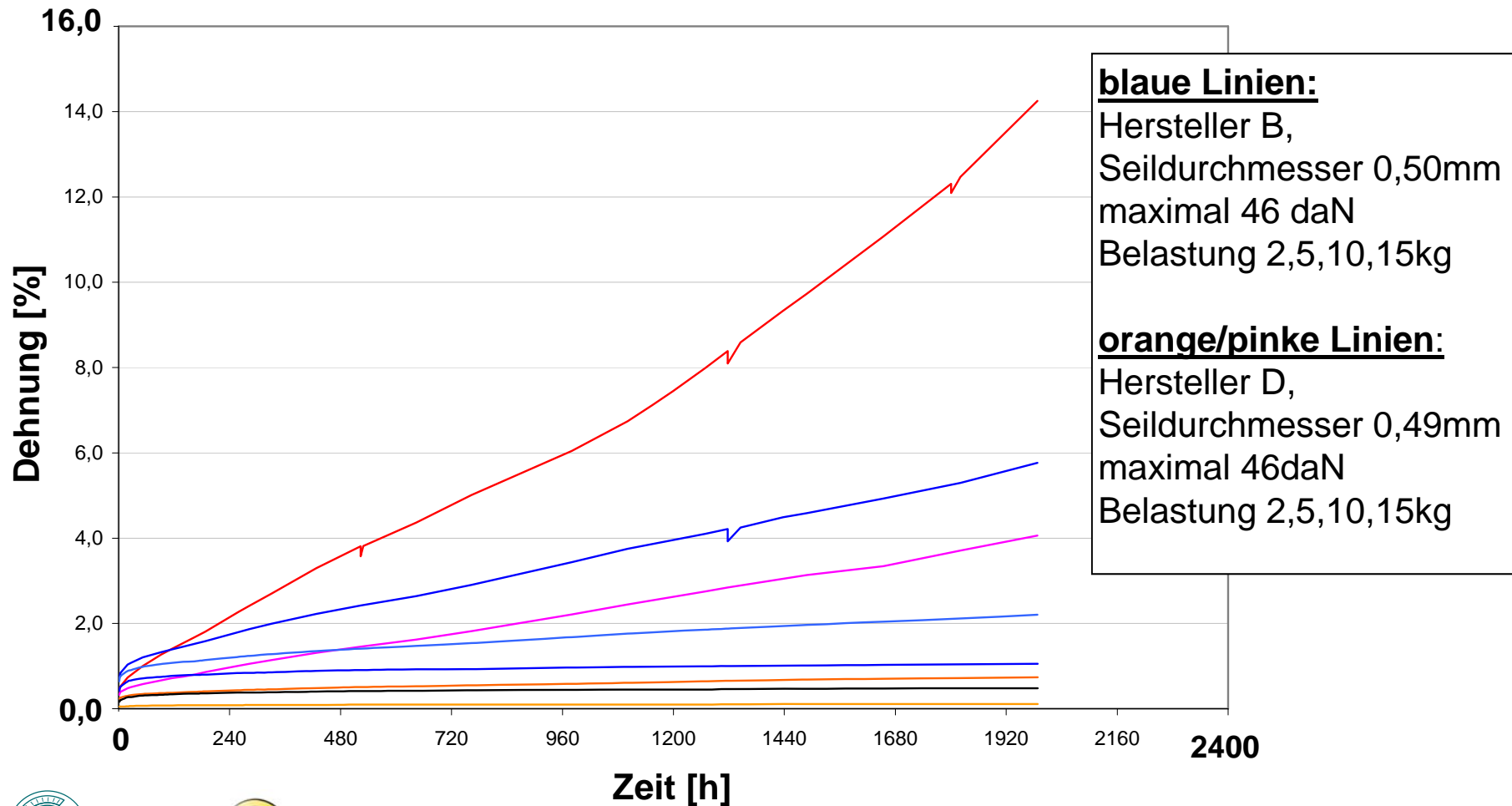
1920h=80 Tage

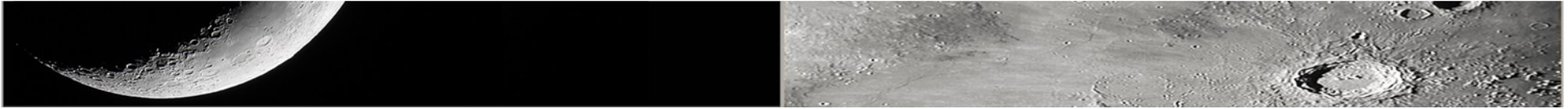




## Ergebnisse

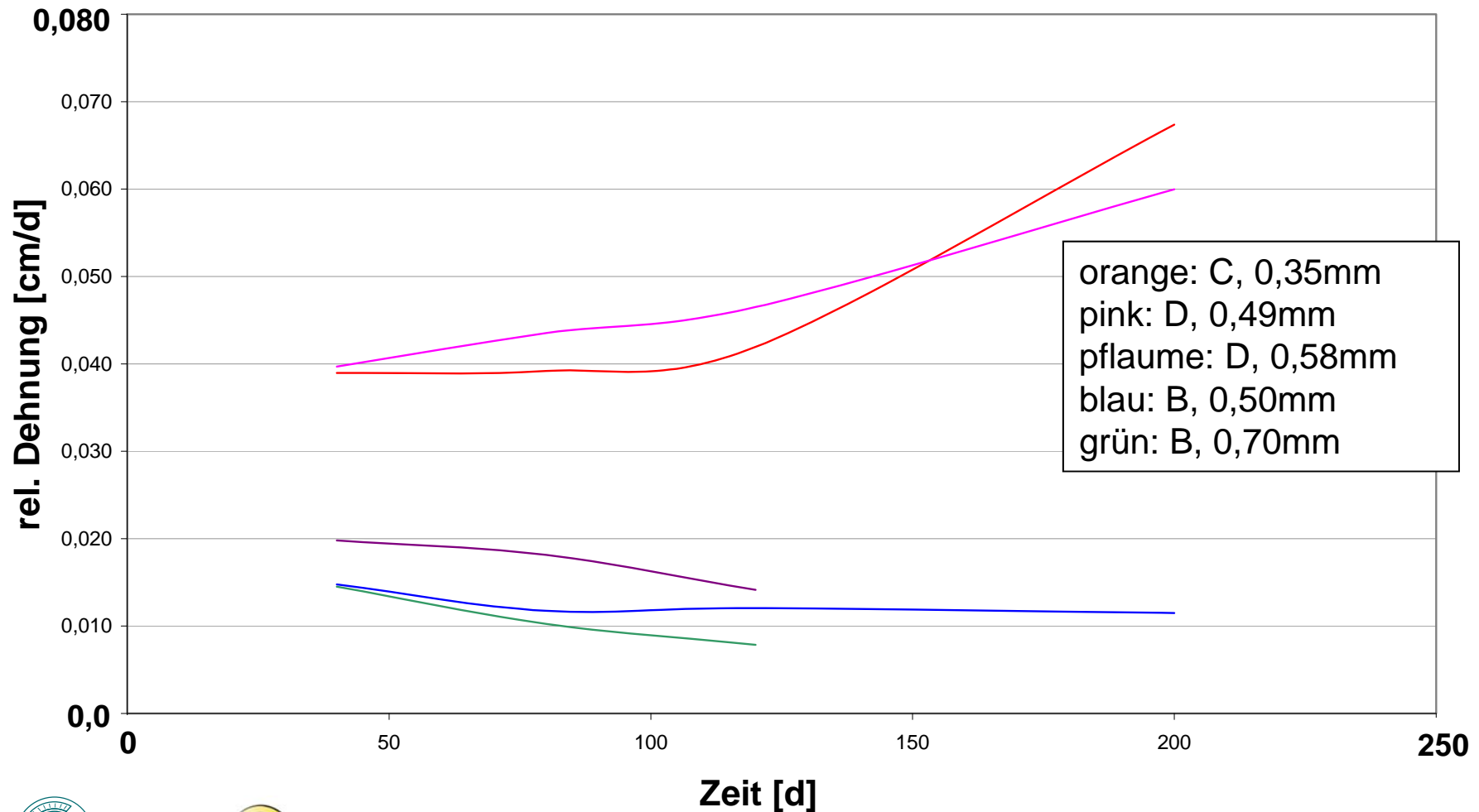
Dehnung von vergleichbaren Seilen zweier Hersteller bei unterschiedlicher Belastung

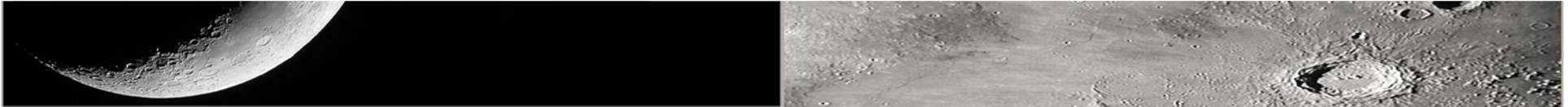




## Ergebnisse

Dehnung pro Tag verschiedener Seile bei einer Belastung von 10kg

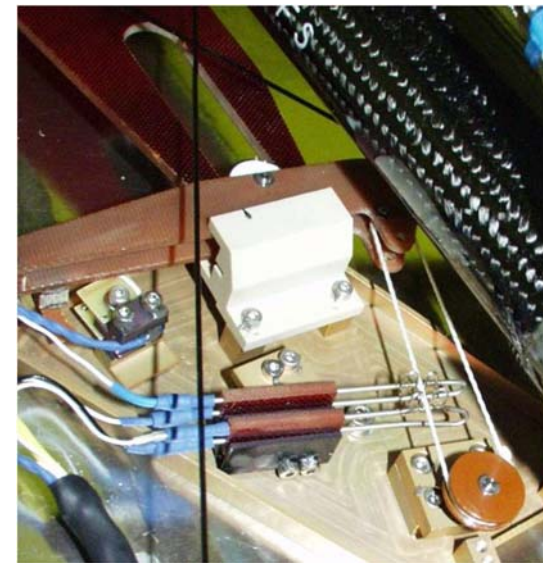




## Zusammenfassung

**Seile aus HM-PE-Fasern bieten trotz ihres Dehnverhaltens eine interessante Alternative für Startverriegelungen wenn:**

- die benötigte Kraft relativ gering bleibt
- die Seilstärke groß genug gewählt wird
- die Zeitdauer der Krafteinleitung bestimmt werden kann
- die Umgebungstemperaturen den Einsatz zulassen



Verriegelung Rosetta Lander

**Aber: Durch die Dehnung verfestigen sich die Seile, wodurch die eigentliche Anwendung genauso beeinträchtigt werden kann**