

Hintergrund

- Durch die biomedizinische Charakterisierung von Weichgewebe können auftretende Bauchraumtraumata, wie z. B. eine Perforation im gastrointestinalen Trakt [1] oder Belastungen in den Gefäßwänden, z. B. beim Implantieren von Stents [2], besser verstanden werden.
- Für die Analyse der Interaktionen zwischen dem biomedizinischem Gerät und dem Gewebe sind Informationen über das biomechanische Verhalten von gesundem und pathologischem Gewebe notwendig. Die Ergebnisse liefern daher Anhaltspunkte für die Entwicklung und das Design von biomedizinischen Geräten. Zudem kann die Zuverlässigkeit von chirurgischen Geräten und Endoskopen durch die Kenntnis des biomechanischen Verhaltens verbessert werden.
- Beispiele sind die Entwicklung von vivo-Mikroroboter [3] oder der Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES) [4]

Ziele

- Biomedizinische Charakterisierung porziner Weichgewebe anhand des Dickdarms und herznahen Gefäßen (Aorta und Lungenarterie)
- Entwicklung eines Studiendesign und Durchführung von zwei Prüfmethode, dem uniaxialen Zugversuch und dem Berstversuch
- Untersuchung der Einflüsse der Faserorientierung im Colon, Gefäßart und der Lagerungsdauer, im frischen Zustand und nach 24 h
- Analyse der mechanischen Eigenschaften durch die Berechnung der Zugfestigkeit, der Dehnung bei maximaler Spannung, dem Elastizitätsmodul

Ergebnisse

- Zugversuch Colon:** in Längsrichtung ist das Gewebe stärker und weniger nachgiebiger, als in Umfangsrichtung. Signifikante Unterschiede der Zugfestigkeiten und E-Module sind beobachtbar. Die Dehnungen sind in Umfangsrichtung größer.
- Zugversuch Lungenarterie und Aorta:** Keine signifikanten Unterschiede bei σ_{max} zwischen Aorta und Lungenarterie. Die Dehnung und der E-Modul liefern signifikante Werte.
- Lagerungsdauer:** von > 24 h: geht mit einem Verlust von ca. 50 % der Festigkeitswerte beim Colon und in den Gefäßen mit einem Verlust von 13 % (A) und 41 % (LA), beim E-Modul 25 % (A) und 44 % (LA) einher. Die Dehnung erhöht sich nach > 24 h beim Colon zwischen 14 - 25 %. Bei den Gefäßen ist dies nur bei Aorta zu beobachten.
- Berstversuch:** Die bestimmten Zugfestigkeiten und E-Module aus dem Berstversuch sind nicht vergleichbar. Beim Colon sind die Zugfestigkeiten und der E-Modul geringer. Bei den Gefäßen sind die Zugfestigkeiten geringer und die E-Module größer.

Ergebnisse der Zugversuche

Tabelle 1: Festigkeitskennwerte aus dem Zugversuch beim Colon mit N = 143 Proben

Colon	Lagerungsdauer	Längsrichtung	Umfangsrichtung
Zugfestigkeit	5 - 7 h	0,600 ± 0,249 MPa	0,2997 ± 0,122 MPa
	25 - 31 h	0,335 ± 0,113 MPa	0,185 ± 0,072 MPa
Dehnung	5 - 7 h	75,778 ± 44,770 %	91,513 ± 37,417 %
	25 - 31 h	87,466 ± 24,971 %	0114,019 ± 62,716 %
E-Modul	5 - 7 h	1,266 ± 0,712 MPa	0,581 ± 0,330 MPa
	25 - 31 h	0,581 ± 0,280 MPa	0,358 ± 0,290 MPa

Tabelle 2: Festigkeitskennwerte aus dem Zugversuch der Gefäße mit N = 163 Proben

Blutgefäße	Lagerungsdauer	Aorta	Lungenarterie
Zugfestigkeit	5 - 7 h	0,5081 ± 0,1410 MPa	0,6209 ± 0,4575 MPa
	25 - 31 h	0,4335 ± 0,2203 MPa	0,3694 ± 0,1869 MPa
Dehnung	5 - 7 h	100,4573 ± 34,360 %	212,079 ± 34,3305 %
	25 - 31 h	135,956 ± 36,992 %	192,706 ± 38,740 %
E-Modul	5 - 7 h	0,7582 ± 0,6057 MPa	0,6294 ± 0,6232 MPa
	25 - 31 h	0,4923 ± 0,4980 MPa	0,3502 ± 0,1931 MPa

Literatur

- Bellini, Chiara; Glass, Paul; Sitti, Metin; Di Martino, Elena S. (2011): Biaxial mechanical modeling of the small intestine. In: *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 4 (8), S. 1727–1740.
- Balzani, Daniel; Brinkhues, Sarah; Holzapfel, Gerhard A. (2012): Constitutive framework for the modeling of damage in collagenous soft tissues with application to arterial walls. In: *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 213-216, S. 139–151.
- Terry, Benjamin S.; Lyle, Allison B.; Schoen, Jonathan A.; Rentschler, Mark E. (2011): Preliminary Mechanical Characterization of the Small Bowel for In Vivo Robotic Mobility. In: *J Biomech Eng* 133 (9).
- McGee, Michael F.; Rosen, Michael J.; Marks, Jeffrey; Onders, Raymond P.; Chak, Amitabh; Faulx, Ashley et al. (2006): A Primer on Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery: Building a New Paradigm. In: *Surgical Innovation* 13 (2), S. 86–93.
- Lüllmann-Rauch, Renate; Asan, Esther (2019): Taschenlehrbuch Histologie. 6., Stuttgart: Thieme.
- Nguyễn, N. Huynh; Dương, M. Tuấn; Trần, T. Ngọc; Phạm, P. Tinh; Grottko, O.; Tolba, R.; Staat, M. (2012): Influence of a freeze–thaw cycle on the stress–stretch curves of tissues of porcine abdominal organs. In: *Journal of Biomechanics* 45 (14), S. 2382–2386.

Methoden

- Gewebeprobe:** aus dem Colon transversum, Colon descendens (Unterscheidung in Längs-/Umfangsrichtung) und aus den herznahen Gefäßen (Lungenarterie und Aorta) vom Schwäbisch Hällischen Landschwein (120-150 kg, 6-11 Monate alt). Es wurden Proben aus 36 Schweineherzen und von 5 Schweinen ca. 80 - 100 cm Colon verwendet.
- Lagerung:** in physiologischer Kochsalzlösung bei 4 - 6 °C und einer Lagerungsdauer von 5 - 7 h und 25 - 31 h
- Probengröße:** Zugversuch Colon: 5 cm x 2 cm, Blutgefäße/Berstversuch: 3 cm x 3 cm
- Prüfmethode:** uniaxialer Zugversuch und Berstversuch mit ringförmiger Einspannung und rundem Prüfstempel mit $r = 3,5 \text{ mm}$
- Keine Vorkonditionierung/Traversengeschwindigkeit ($50 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$, $30 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$)
- Versuchstemperatur:** $27,87 \pm 2,57 \text{ °C}$, $42,49 \pm 11,66 \text{ °C}$
- Gewebetemperatur:** $22,96 \pm 3,26 \text{ °C}$, Berstversuch: $24,24 \pm 1,66 \text{ °C}$

Versuchsaufbau: Zugversuch und Berstversuch

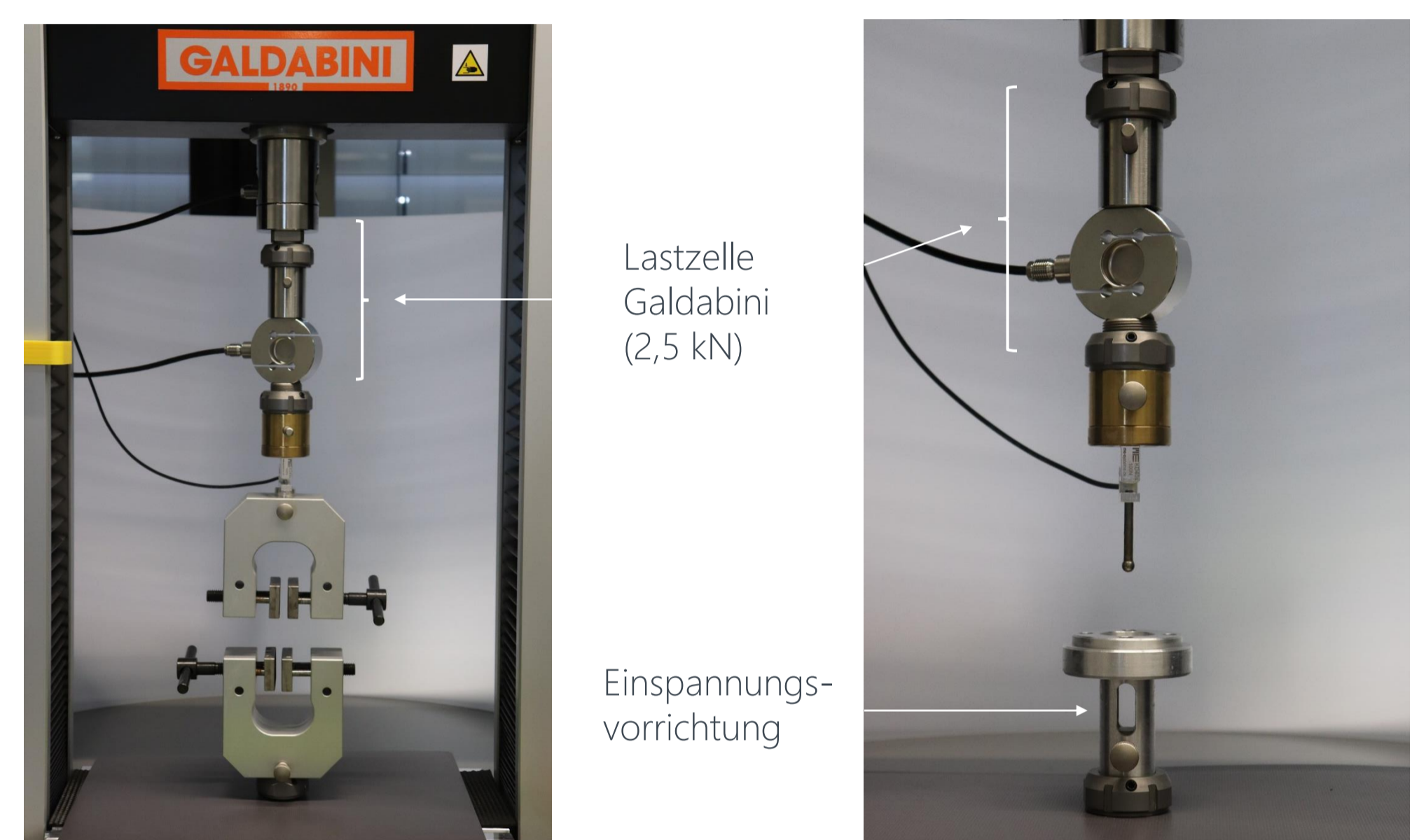


Abbildung 1 und 2: Versuchsaufbau Zugversuch mit zwei Schraubspannköpfen, Universalprüfmaschine QUASAR 25 kN (Cesare Galdabini S.p.A., Comuni di Cardano, IT) mit Lastzelle 2,5 kN (Cesare Galdabini S.p.A., Comuni di Cardano, IT) und Versuchsaufbau Berstversuch mit kugelförmigem Prüfstempel und Einspannungsvorrichtung

Vergleich der E-Module aus Zugversuch und Berstversuch

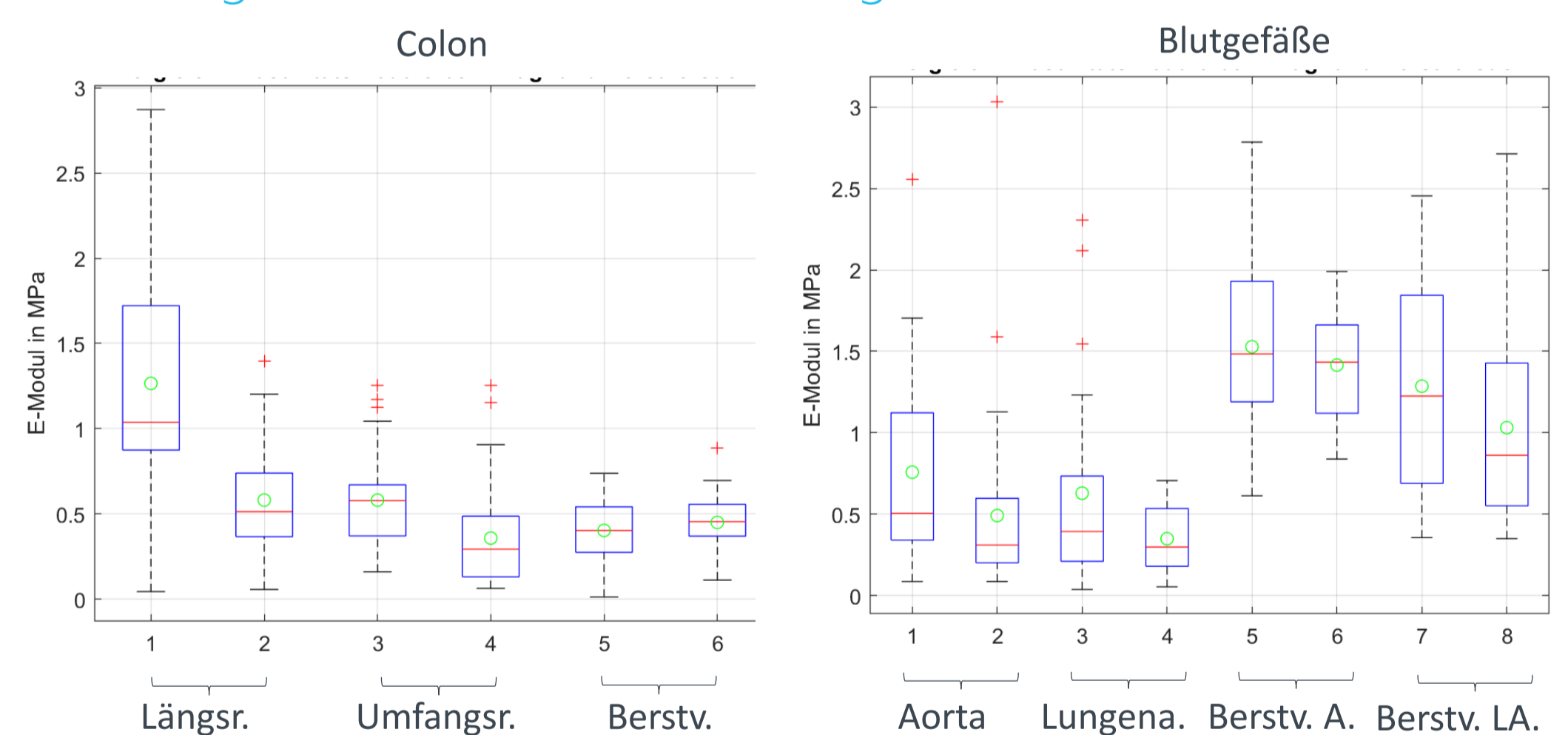


Abbildung 3 und 4: Vergleich der E-Module aus dem Zugversuch und Berstversuch

Fazit

- Die Faserrichtung der Längs- und Umfangsrichtung zeigte signifikante Unterschiede, die zum anatomischen Aufbau des Colongewebes passen. In Umfangsrichtung ist die Dehnung in den zirkulären Muskelfasern größer, da diese durch die Segmentierung zu einer Verlangsamung des intraluminalen Inhaltes führen. In Längsrichtung sind die Proben stärker und weniger nachgiebig. Die longitudinale Muskulatur sorgt für den Weitertransport des intraluminalen Inhaltes [3].
- Die Unterschiede der Aorta und Lungenarterie sind gering. Nur die E-Module und Dehnungen sind signifikant unterschiedlich. Beide Gefäße gehören aufgrund der herznahen Lage zu den elastischen Blutgefäßen. Eine erhöhte Dehnungsfähigkeit ist für die Windkesselfunktion notwendig [5].
- Der Einfluss der Lagerungsdauer nach 24 h zeigte sich sowohl bei den Gefäßen als auch beim Colon. Die verringerten mechanischen Eigenschaften entstehen durch eine Verlagerung von Wasser, Fasern, sowie einem Verlust von Extrazellulärmatrix oder der Beschädigung von glatten Muskelzellen [6]. Für die Charakterisierung von Weichgewebe sollten die Versuche möglichst zeitnah durchgeführt werden.
- Der Vergleich des Berstversuches mit den Ergebnissen des Zugversuches zeigte, dass von einer anwenderspezifischen Prüfmethode für die Charakterisierung der biomechanischen Eigenschaften abzusehen ist.