

# Studienarbeit

## Deformationsmessungen am Fixateur externe an verschiedenen Holzmodellen

Jens Hettrich

Matr. Nr. 0221466

geboren am 08.06.1982

Fakultät: Verfahrenstechnik

**Zeitraum:**

01.11.2006 - 25.04.2008

**Betreuung:**

Prof. Dr.-Ing. Bernd Schinke

**Vorwort**

Diese Arbeit entstand am Institut für Apparatebau und Anlagensicherheit, in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung der Fakultät Maschinenbau, sowie dem Institut für Biomedizinische Technik der Fakultät Informationstechnik, an der Hochschule Mannheim. Die Arbeit liefert einen wissenschaftlichen Beitrag zum derzeitigen Forschungsprojekt „Fixateur externe“.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Jens Peter vom Institut für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung für die freundliche Unterstützung und seine konstruktiven Anregungen.

Auch möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Marcel Bürger und Herrn Dipl.-Ing. Robert Weber für die Lösung sämtlicher Softwareprobleme bedanken.

Mein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Schinke für die freundliche Übernahme der Betreuung der Studienarbeit und für die Möglichkeit, diese am Institut für Apparatebau und Anlagensicherheit anfertigen zu können.

Auch danke ich Herrn Siegfried Mötschl aus der Werkstatt für die hervorragende Anfertigung der benötigten Knochenmodelle aus Holz für die Versuchsdurchführungen.

**Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit „Deformationsmessungen am Fixateur externe an verschiedenen Holzmodellen“ selbstständig, unter Zuhilfenahme der angegebenen Hilfsmittel, verfasst habe. Das bearbeitete Thema wurde von mir nicht schon früher im Rahmen einer anderen Arbeit behandelt oder an anderer Stelle als Prüfungsarbeit abgegeben.

Mannheim, den 25.04.2008

Jens Hettrich

## Abkürzungen und Formelzeichen

### Abkürzungen

BMT	Institut für Biomedizinische Technik
DMS	Dehnungsmessstreifen
MS	Microsoft
PC	Personal Computer
WSP	Institut für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung

### Formelzeichen

Symbol	Einheit	Bedeutung
$A_S$	$\text{mm}^2$	Spannungsquerschnitt
$d$	mm	Außen- und Nenndurchmesser
$d_2$	mm	Flankendurchmesser
$d_3$	mm	Kerndurchmesser
$d_E$	m	Durchmesser des bleibenden Eindruckes im Werkstück
$d_K$	m	Kugeldurchmesser
$d_S$	mm	Spannungsdurchmesser
$D_I$	mm	Lochdurchmesser
$D_K$	mm	Auflagedurchmesser der Mutter
$F_M$	N	Montagevorspannkraft
$F_{\max}$	N	maximale Kraft
$F_P$	N	Prüfkraft
$h_E$	mm	Eindringtiefe
$l$	mm	Holzlänge
$M_A$	Nm	Schraubenanziehmoment
$M_{A \text{ zul}}$	Nm	zulässiges Schraubenanziehmoment
$m_g$	kg	Körpergewicht
$n$	-	Stichprobenumfang
$P$	mm	Steigung
$R_m$	N/m	Zugfestigkeit
$R_{P 0,2}$	$\text{N}/\text{mm}^2$	Dehngrenze
$r_m$	mm	mittlerer Auflageradius
$t$	s	Zeit
$t_0$	s	Startzeit der DMS-Aufzeichnung

---

$t_1$	s	Startzeit der Universalprüfmaschine
$t_2$	s	Stoppzeit der DMS-Aufzeichnung
$\Delta t$	s	Prüfzeit der Universalprüfmaschine
$x$	mm	Abstand Fixateurstange zum Holz
$x_i$	-	Wert an der Stelle i
$\bar{x}$	-	empirischer Mittelwert
$\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$	°	Schnittwinkel vom Holz
$\beta$	°	halber Flankenwinkel
$\delta$	mm	DMS-Dicke
$\varepsilon-F_{\max}$	mm	Stauchung bei maximaler Kraft
$\varepsilon_{\max}$	mm	maximale Stauchung
$\mu_G$	-	Reibzahl im Gewinde
$\mu_K$	-	Reibzahl an der Mutterauflagefläche
$\sigma_{M \text{ zul}}$	N/mm <sup>2</sup>	zulässige Montagespannung
$\sigma_V$	N/mm <sup>2</sup>	Vergleichsspannung

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
2.1	Zielsetzung	2
2.2	Gliederung der Arbeit	3
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>4</b>
3.1	Physiologische und medizinische Grundlagen	4
3.1.1	Knochenaufbau	4
3.1.2	Knochenbruch	4
3.1.3	Fixateur externe	5
3.2	Physikalische und technische Grundlagen	6
3.2.1	Dehnungsmessstreifen	6
3.2.2	Härteprüfung	6
3.2.3	Funkenemissionsspektrometer	8
<b>4</b>	<b>Beschreibung des Versuchsstandes</b>	<b>9</b>
4.1	Fixateur externe	9
4.2	Holz	11
4.3	Universalprüfmaschine	14
<b>5</b>	<b>Durchführung der Versuche</b>	<b>16</b>
5.1	Reproduzierbarkeitsversuche	16
5.2	Charakterisierung der DMS	22
5.3	Druckversuche mit Hölzern an einem Stück	24
5.4	Druckversuche mit geteilten Hölzern	29
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>30</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>31</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>32</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>33</b>
	<b>Anhangsverzeichnis</b>	<b>34</b>

## 1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Deformationsmessungen an einem Fixateur externe. Hierbei wird der Fixateur externe an Hölzer mit unterschiedlichen Geometrien montiert. Die Hölzer stellen ein Modell im Maßstab von ca. 1:1 für den menschlichen Schienbeinknochen dar. Die Ergebnisse mit den Hölzern lassen Rückschlüsse auf das Verhalten der Knochen zu.

Ausgangspunkt der Arbeit sind vorangegangene Versuche am Projekt „Fixateur externe“. Die Arbeit im Labor beginnt mit Vorversuchen, durch die die benötigten Parameter für die Messung an der Universalprüfmaschine festgelegt werden. Anschließend folgen Versuche zur Reproduktivität bei denen nur die Werte der Universalprüfmaschine ausgewertet werden. Danach folgen die Druckversuche bei denen auch die auf der Fixateurstange aufgeklebten Dehnungsmessstreifen ausgewertet werden.

Das Ergebnis der Arbeit ist, dass die Hölzer, welche aus einem Stück bestehen, mehr dem Verhalten von menschlichen Knochen entsprechen, als die geteilten Hölzer. Mit Hilfe von Hölzern mit einer definierten Aussparung können einzelne Phasen der Knochenheilung gut dargestellt werden.

Jedoch sind die Versuche am Holzmodell unvollkommen, da diese nur ein Modell und nicht den wirklichen Knochen mit umgebendem Fleisch- und Muskelgewebe darstellen. Aussagen über den möglichen Heilungsverlauf können deswegen nicht quantitativ sondern nur qualitativ erfolgen. Qualitative Aussagen können nur mit Hilfe von Messungen direkt am Menschen getroffen werden. Hierzu können dann Röntgenaufnahmen zum Vergleich herangezogen werden.

## 2 Einleitung

Die moderne Medizin ermöglicht es komplizierte Knochenbrüche mit Gestellen zu fixieren, die außerhalb des menschlichen Körpers liegen. Diese Gestelle tragen den Namen Fixateur externe. Unter Belastung nehmen diese Fixateure die Last auf und verformen sich dementsprechend. Mit zunehmender Heilung der Fraktur werden die Fixateure immer weniger belastet und verformt. Eine kleinere Deformation des Fixateur externe unter Belastung ist folglich ein indirekter Hinweis auf die Heilung der Fraktur.

Ziel des Fixateur externe Projekts ist es, den Heilungsverlauf eines Knochenbruchs besser beurteilen zu können. Bisher geschieht die Beurteilung eines Knochenbruchs durch die optische Wahrnehmung des Arztes, mittels Röntgenbild. Wünschenswert wäre es, jedoch mit Hilfe von Messdaten Rückschlüsse auf die Heilung zu treffen und gewährleisten zu können, dass die Heilung eingetreten ist.

Im Zuge des Fixateur externe Projekts gab es schon diverse Studienarbeiten die sich mit dieser Thematik befassen haben. Neu ist die Untersuchung im Labor zu verschiedenen Holzgeometrien, die als Knochenmodell fungieren. Das Holzmodell soll ähnliche Eigenschaften wie die der menschlichen Knochen aufweisen, so dass die Messergebnisse auf die Knochen übertragen werden können.

### 2.1 Zielsetzung

Ziel der Studienarbeit war es, Messungen am Fixateur externe an Patienten in der BG Unfallklinik durchzuführen. Hierzu sollte untersucht werden, ob und wie genau die qualitativen Hinweise auf die Heilung der Fraktur, anhand vorliegender Deformationsmessungen, auch quantitativ auszuwerten sind. Es soll untersucht werden, ob die Steifigkeit der Fraktur absolut oder relativ zum ungeschädigten Knochen aus den Messungen zu berechnen ist. Parallel dazu sollten einfache Simulationsrechnungen mit dem Finite-Elemente-Programm ANSYS zur Verformung des Systems Fixateur-Knochen durchgeführt werden. Der Arbeitstitel zu Beginn der Studienarbeit hatte den Namen "Quantitative Beurteilung der Heilung einer Knochenfraktur durch Deformationsmessungen am Fixateur externe". Aufgrund der Tatsache, dass sich der zuständige Oberarzt der BG Unfallklinik aus dem Projekt zurückgezogen hat und kein anderer Arzt das Projekt weiterführen wollte, wurden die Planungen der Studienarbeit verändert.

Anstatt am Patienten sollten jetzt Deformationsmessungen im Institut für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung der Hochschule Mannheim durchgeführt werden. Hierzu sollten Planungen über verschiedenartige Holzgeometrien angestellt werden und an den anschließend angefertigten Holzmodellen sollten Messungen mit einer Universalprüfmaschine durchgeführt werden. Die Deformationsmessungen an der Universalprüfmaschine sollen die Belastung des Knochens durch das menschliche Körpergewicht darstellen. Anhand der Messungen im Labor sollen die verschiedenen Holzgeometrien hinsichtlich ihres Verhaltens als Knochenmodell charakterisiert werden. Die Studienarbeit erhält außerdem den neuen Titel „Deformationsmessungen am Fixateur externe an verschiedenen Holzmodellen“.

## **2.2 Gliederung der Arbeit**

Zunächst wird ein kurzer Überblick über die medizinischen und physikalischen Grundlagen gegeben. Im konstruktiven Abschnitt dieser Arbeit wird ein geeigneter Versuchsstand aufgebaut, der es ermöglicht, das Verhalten des Fixateur externe unter Belastung zu untersuchen. Die eingesetzten Komponenten, die zur Untersuchung notwendig sind, werden ausführlich beschrieben.

Im Hauptteil der Arbeit wird beschrieben, wie die Deformationsmessungen an den verschiedenartigen Hölzern mit Hilfe der Universalprüfmaschine durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Versuche werden dargestellt und erläutert. Den Abschluss der Arbeit bildet die Diskussion der Versuchsergebnisse.

## 3 Grundlagen

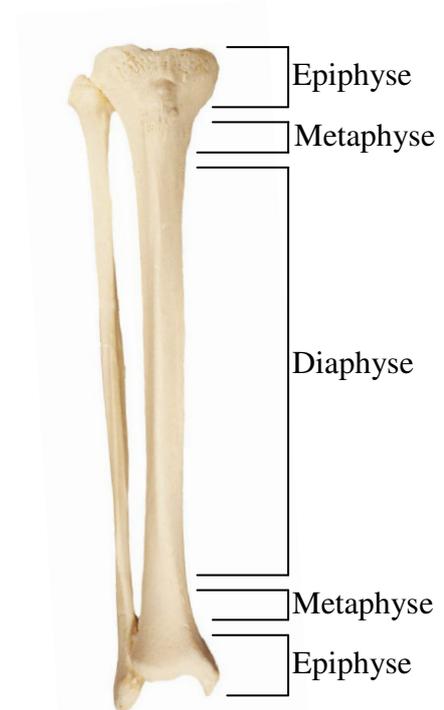
### 3.1 Physiologische und medizinische Grundlagen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit menschlichen Knochen. Es wird der Knochenaufbau erklärt sowie auf Knochenbrüche eingegangen. Der Begriff Fixateur externe wird eingeführt und thematisch behandelt.

#### 3.1.1 Knochenaufbau

Mit Knochen wird das besonders harte, skelettbildende Stützgewebe von Wirbeltieren bezeichnet. Das menschliche Skelett besteht aus etwa 206 einzelnen Knochen. Die Anzahl variiert, da unterschiedlich viele Kleinknochen in Fuß und Wirbelsäule vorhanden sein können.

Knochen bestehen aus Osteozyten (Knochenzellen) und Interzellulärsubstanzen. Kollagenfasern, spezielle Proteine sowie Kristalle wie das Hydroxylapatit ( $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6[\text{OH}]_2$ ) vernetzen die Kollagenfasern zu einem Kristallfilz [Sch05]. In der Mitte des Knochens befindet sich das Knochenmark, indem Blutzellen gebildet werden. Außen liegt die Knochenhaut. Die Knochenenden werden Epiphyse genannt. Diese gehen in die Metaphyse über bis hin zum Knochenschaft (Diaphyse). Das Knochenwachstum findet in der Metaphyse statt.



**Abb. 3.1** rechtes Schien- und Wadenbein des Menschen [Til05]

#### 3.1.2 Knochenbruch

Bei einem Knochenbruch, auch Fraktur genannt, kommt es zu einer Unterbrechung der Kontinuität des Knochens. Ursachen sind mechanische Krafteinwirkungen von außen oder die Folge bestimmter Krankheitsbilder wie z.B. Osteoporose oder Knochentumoren. Die Einteilung der Frakturen erfolgt nach der Lokalisation, nach offen und geschlossen sowie der Anzahl der Fragmente. Der Schienbeinknochen ist der Knochen beim Erwachsenen, der am häufigsten bricht. Schienbeinschaftfrakturen machen 15-20 % aller Knochenbrüche beim Erwachsenen aus [Til05].

Die Behandlung einer Fraktur beginnt mit der Reposition, bei der der Knochen in eine möglichst exakt anatomiegerechte Stellung gebracht wird. Oftmals geschieht dies durch einen einfachen Zug in Richtung der Längsachse am betroffenen Körperteil, kann jedoch aber bis hin zu operativen Maßnahmen führen. Nach erfolgreicher Durchführung der Reposition erfolgt die Retention, die Ruhigstellung, damit der Knochen nachträglich nicht aus der gewünschten anatomiegerechten Stellung abweicht. Dies geschieht mit Hilfe eines Gipsverbandes oder wiederum mit operativen Maßnahmen wie Schrauben und Platten direkt am Knochen oder außerhalb der betroffenen Körperstelle. Wird der Knochen mit Schrauben und einer Stange außerhalb des Körpers fixiert, so wird von einem Fixateur externe gesprochen.

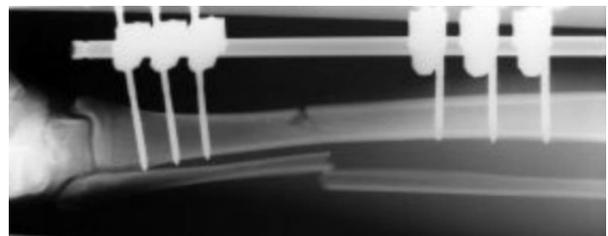
### 3.1.3 Fixateur externe

Der Fixateur externe dient, wie oben beschrieben, hauptsächlich dazu, die zu behandelnde Fraktur in der gewünschten Position zu fixieren. Zusätzlich führt der Fixateur externe eine weitere Funktion aus, nämlich die Entlastung des betroffenen Knochens. Die anliegenden Kräfte am Knochen werden teilweise auf den Fixateur externe übertragen. Bei einer Schienbeinfraktur mit Fixateur externe z. B., wird die Gewichtskraft des Körpers auf den Knochen und den Fixateur externe verteilt und der Schienbeinknochen muss nicht das gesamte Körpergewicht alleine tragen.

Ein Fixateur externe besteht normalerweise aus Schanz-Schrauben, die in den Knochen gebohrt werden. An diesen Schrauben wird mit Hilfe von Klemmböcken mit jeweils zwei Muttern, eine Stange befestigt.



**Abb. 3.2** Fixateur externe an einem Kunststoffmodell



**Abb. 3.3** Fixateur externe auf einem Röntgenbild mit Schienbein- und Wadenbeinfraktur [Bür08]

## 3.2 Physikalische und technische Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden die physikalischen und technischen Grundlagen dargelegt, die für die spätere Durchführung der Versuche relevant sind.

### 3.2.1 Dehnungsmessstreifen

Dehnungsmessstreifen (DMS) sind Dehnungssensoren, die bei der geringsten Verformung ihren elektrischen Widerstand verändern. Sie werden auf Bauteile geklebt, bei denen die Verformung angegeben werden soll. Verformt sich das Bauteil so verändert sich der elektrische Widerstand der DMS und mittels einer geeigneten Software bekommt der Benutzer die Widerstandsänderung angezeigt, so dass auf die Verformung geschlossen werden kann.

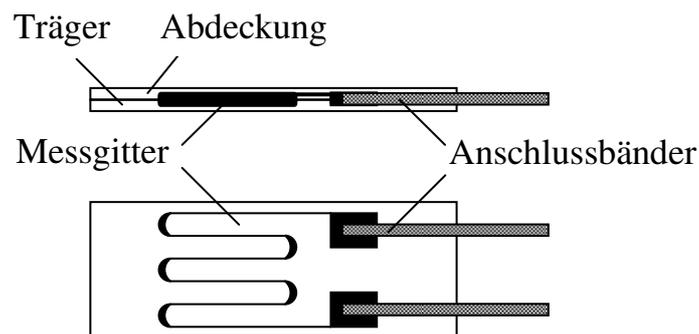


Abb. 3.4 DMS mit Komponenten

### 3.2.2 Härteprüfung

Die Härte eines Körpers lässt Rückschlüsse auf vielerlei Eigenschaften zu. Die wohl wichtigste Eigenschaft ist das Verschleißverhalten eines in der Industrie eingesetzten Materials. Prüfverfahren zur Härtemessung beruhen auf der Eindringtiefe verschiedener Prüfkörper in den zu untersuchenden Werkstoff. Die am häufigsten durchgeführten Härteprüfungen sind die nach Brinell und nach Rockwell. Bei der Härteprüfung nach Brinell, wird eine Kugel aus Sinterhartmetall mit einer festgelegten Prüfkraft  $F_P$  in die Oberfläche des zu prüfenden Werkstückes gedrückt. Nach einer Belastungszeit von 10 bis 15 Sekunden wird der Durchmesser des bleibenden Eindruckes im Werkstück gemessen. Mit Gleichung 3.1 wird die Brinellhärte ermittelt. Mit Hilfe einer Tabelle kann dieser Wert in die Zugfestigkeit  $R_m$  umgerechnet werden.

$$\text{Brinellh\u00e4rte} = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F_P}{\pi \cdot d_K \cdot \left( d_K - \sqrt{d_K^2 - d_E^2} \right)} \quad (3.1)$$

$F_P$  =Pr\u00fcfkraft

$d_K$ =Kugeldurchmesser

$d_E$ =Durchmesser des bleibenden Eindruckes im Werkst\u00fcck

Die H\u00e4rtepr\u00fcfung nach Rockwell beruht auf der Eindringtiefe eines kegelf\u00f6rmigen Pr\u00fcfk\u00f6rpers aus Diamant mit einem spitzen Winkel von  $120^\circ$  in das Werkst\u00fcck. Die Pr\u00fcfkraft sowie die Pr\u00fcfdauer sind in einer Norm festgelegt. Die Rockwellh\u00e4rte ergibt sich aus Gleichung 3.2. Auch hier l\u00e4sst sich mit Hilfe einer Tabelle die Rockwellh\u00e4rte in die Zugfestigkeit  $R_m$  umrechnen.

$$\text{Rockwellh\u00e4rte} = 130 - \frac{h_E}{0,002\text{mm}} \quad (3.2)$$

$h_E$ =Eindringtiefe

Die Abbildungen 3.5 und 3.6 zeigen die H\u00e4rtepr\u00fcfger\u00e4te im Institut f\u00fcr Werkstoffkunde und Werkstoffpr\u00fcfung (WSP) der Hochschule Mannheim.



**Abb. 3.5** H\u00e4rtepr\u00fcfger\u00e4t HT 2005  
der Firma Wolpert im WSP



**Abb. 3.6** H\u00e4rtepr\u00fcfger\u00e4t M4C 075  
G3M der Firma EmcoTest im WSP

### 3.2.3 Funkenemissionsspektrometer

Mit einem Funkenemissionsspektrometer kann die Zusammensetzung von metallischen Legierungen hochgenau bestimmt werden. Dies geschieht durch die optische Auswertung eines Lichtbogens der auf der Oberfläche des zu analysierenden Metalls gezündet wird. Die daraus resultierenden Spektrallinien und deren Intensität lassen Rückschlüsse auf die vorhandenen Elemente und deren Menge zu.



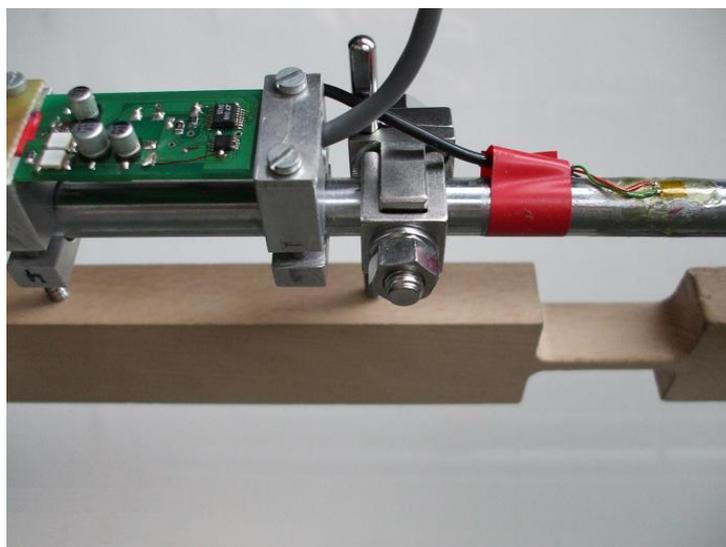
**Abb. 3.7** Funkenemissionsspektrometer  
MaxX der Firma Spectro im WSP

## 4 Beschreibung des Versuchsstandes

In diesem Kapitel wird der Aufbau des Versuchstandes beschrieben. Zu Anfang wird auf den Aufbau des Fixateur externe eingegangen. Danach werden die Hölzer beschrieben, die bei den Messungen zum Einsatz kommen. Abschließend wird der komplette Versuchsstand an der Universalprüfmaschine erläutert.

### 4.1 Fixateur externe

An dem Fixateur externe sind parallel zum Holzstück zwei DMS mit der Dicke  $\delta=0,038$  mm angebracht. Es handelt sich hierbei um Folien-DMS der Serie FAE der Firma VISHAY BLH. Die DMS besitzen eine Konstantan Gitterlegierung und der Trägerwerkstoff ist Polyimid, ein Hochleistungskunststoff. Die beiden DMS werden mit einer Halb-Messbrücke betrieben. Die Brückenspannung wird direkt mit dem 24-Bit Delta-Sigma Digital-Analog-Wandler LTC2415 von LINEAR TECHNOLOGY digitalisiert und an den Mikrocontroller weitergegeben. Weiterhin gibt es noch den Beschleunigungssensor ADXL210 von der Firma ANALOG DEVICES, der ebenfalls an dem Fixateur externe befestigt ist. Dieser kann die Beschleunigung in 2 Achsen (x-Komponente und y-Komponente) messen [Bür08]. Jedoch werden die Messwerte des Beschleunigungssensors bei den Versuchen nicht mit einbezogen, da bei der Durchführung der Messungen der Fixateur externe keinen Beschleunigungen ausgesetzt ist. Es werden nur die Messwerte der DMS berücksichtigt.



**Abb. 4.1** Fixateur externe an einem Holzmodell mit aufgeklebten DMS (der Beschleunigungssensor befindet sich unter der Platine)

Das Institut für Biomedizinische Technik (BMT) der Fakultät Informationstechnik hat eigens für das Fixateur externe Projekt ein Programm geschrieben, welches in einer MS Excel-Datei eingebettet ist. Mit dieser Datei kann die Auswertung der DMS und des Beschleunigungssensors durchgeführt werden. Die MS Excel-Datei heißt „Fixateur\_Interface-(VID)\_Diagramm\_Timer\_Modul\_Instanzen-v1.2\_Jens“ und besitzt ein spezielles Makro welches aufgerufen werden muss, damit sich rechts oben auf dem Bildschirm ein Panel öffnet. Mit diesem Panel kann die Datenübertragung gestartet und gestoppt werden. Abbildung 4.2 zeigt die Bildschirmansicht des MS Excel-Programms mit der Steuereinheit oben rechts in der Ecke.

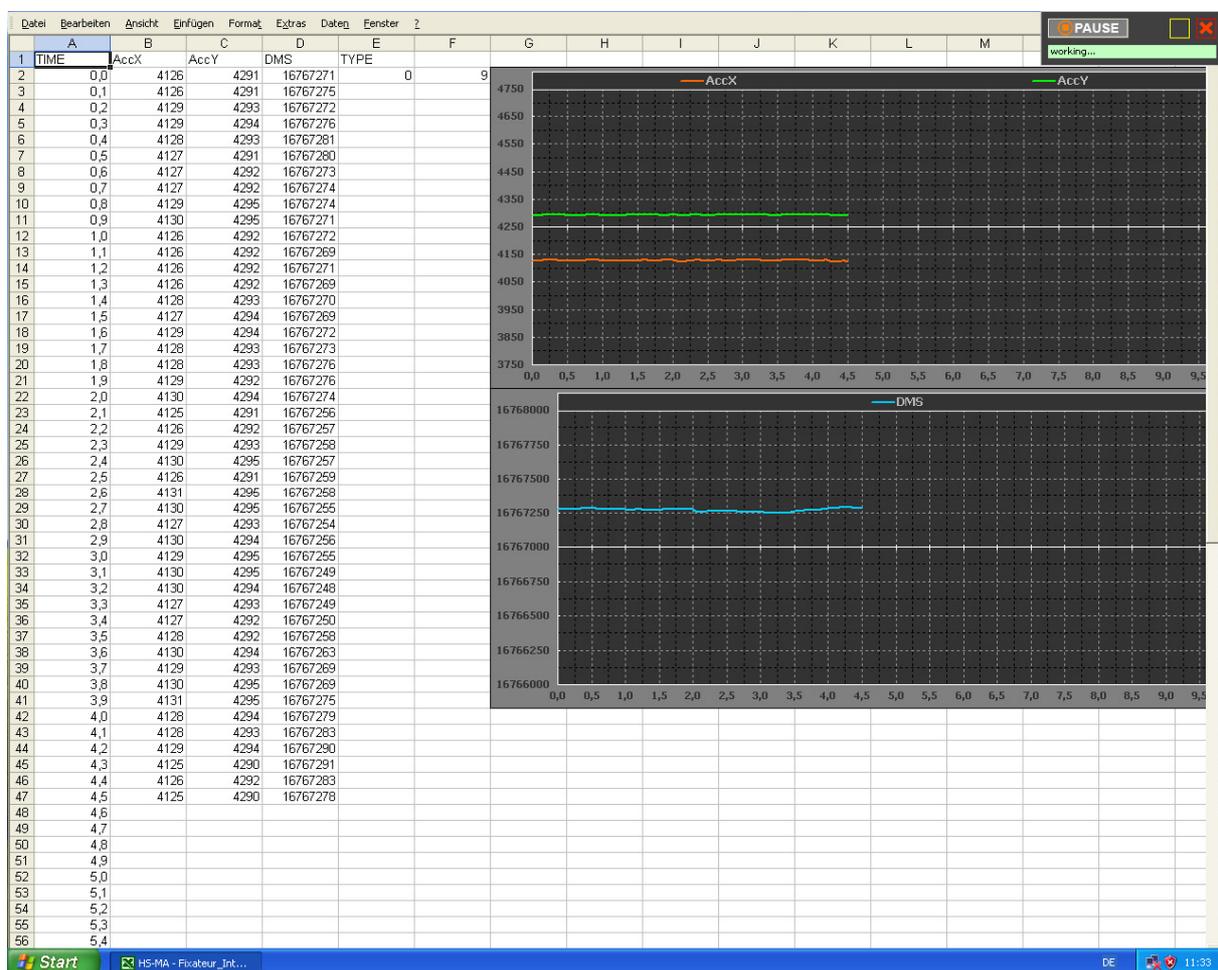


Abb. 4.2 Bildschirmansicht des MS Excel-Programms

Die Werte im Diagramm haben keine physikalische Einheit, sondern sind die digitalisierten Werte von Analog-Digital-Wandler (unteres Diagramm) und Zeiteinheiten der Signale vom Beschleunigungssensor (oberes Diagramm). Sobald die Aufzeichnung gestartet ist, wird direkt ein Textdokument auf der Festplatte C: mit dem Namen FIX angelegt. Diese Datei enthält alle Daten der Sensoren und wird nach Beendigung des Versuchs umbenannt.

## 4.2 Holz

Eine Verwendung von Knochen im Labor ist nicht möglich und somit muss mit einem Ausweichmaterial gearbeitet werden. Vorhergegangene Versuche im Laufe des Fixateur externe Projekts haben gezeigt, dass sich Holz als Knochenmodell hervorragend eignet. Um ähnliche Eigenschaften wie die der menschlichen Knochen zu erhalten, muss das Holz trocken sein. Als Grundform werden Standard Kiefernkanthölzer aus dem Baumarkt mit den Maßen von 20 x 40 mm verwendet. Die Länge der Holzstücke wird der Länge eines Schienbeinknochens beim Erwachsenen, mit  $l=360$  mm, angepasst. Um verschiedenartige Frakturen und unterschiedliche Stadien der Frakturheilung darzustellen, werden verschiedene Holzgeometrien in der Werkstatt der Hochschule Mannheim angefertigt. Die Hölzer werden dann mit einer Ständerbohrmaschine mit Lochtiefen von 30 mm versehen um später die Schanzschrauben zu befestigen. Die Abbildungen 4.3 und 4.4 zeigen schematisch die angefertigten Hölzer mit ihren Abmessungen.

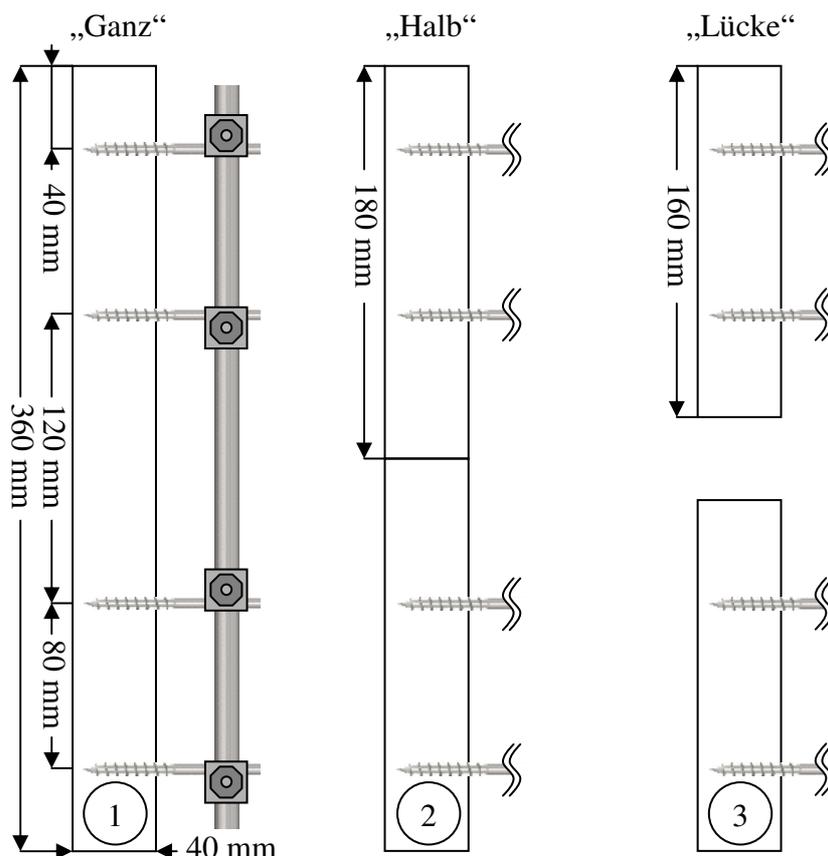


Abb. 4.3 Holzmodelle Teil 1

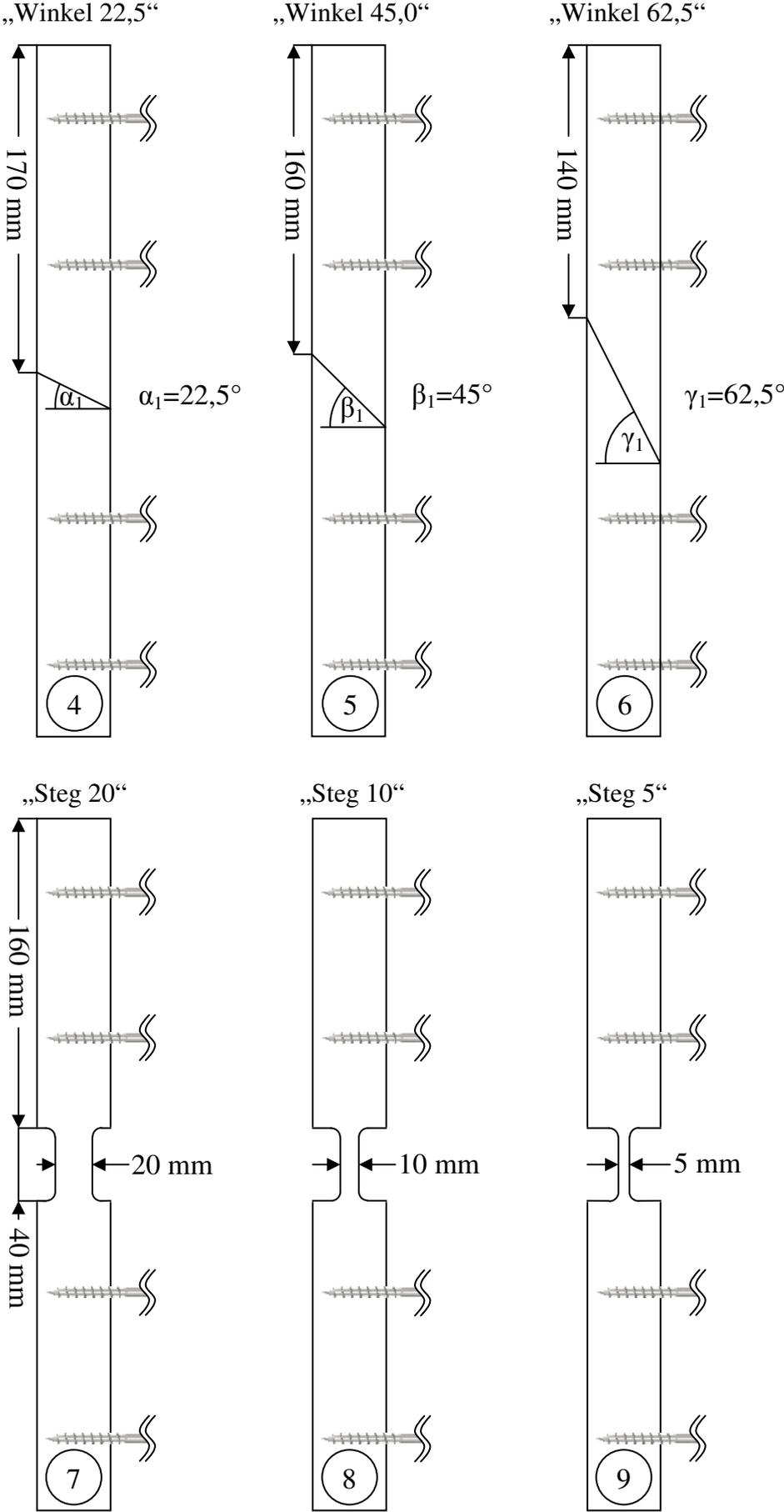
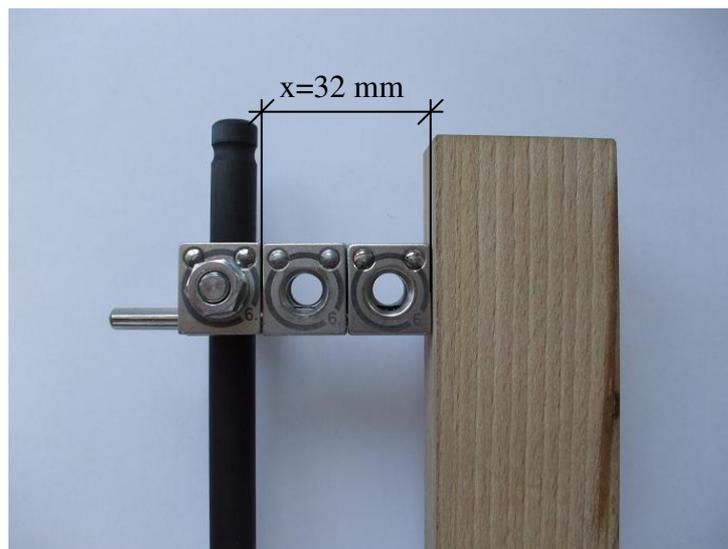


Abb. 4.4 Holzmodelle Teil 2

Da die Fixateurstange mit den aufgeklebten DMS immer an das zu untersuchende Holz angebracht werden muss, wird eine Länge festgelegt, wie weit diese vom Holz entfernt liegt. Hierbei werden bei der Befestigung der Stange je zwei Backenkörperteile an die äußeren beiden Schanzschrauben gesteckt. Nach dem Anziehen der Schraube am richtigen Backenkörper, werden die Abstandshalter einfach weggenommen. Die Länge eines Backenkörperteils beträgt 16 mm, so dass die beiden Backenkörperteile einen Gesamtabstand von  $x=32$  mm ergeben.



**Abb. 4.5** Nahaufnahme Fixateur externe an einem Holzmodell mit Abstandshalter an einer Schanzschraube

Um die Versuche untereinander vergleichen zu können, müssen die Muttern an den Backenkörpern immer gleich angezogen sein. Hierbei kommt ein Drehmomentschlüssel zum Einsatz. Das zulässige Schraubenanziehmoment  $M_{A\text{ zul}}$  richtet sich nach der Zugfestigkeit  $R_m$  des vorhandenen Werkstoffes. Um den Stahl der Backenkörper zu bestimmen, wird eine Funkenemissionsspektroskopie im WSP durchgeführt (Siehe Anhang A) und bei der Herstellerfirma SYNTHES nachgefragt. Die Herstellerfirma gibt als Material einen 1.4301-Stahl mit einer Zugfestigkeit von  $R_m=850-1000$  N/mm<sup>2</sup> an [Car08]. Der 1.4301-Stahl ist ein in der Medizintechnik häufig eingesetzter legierter Edelstahl, der auch unter den Namen V2A bzw. CrNi-Stahl bekannt ist, da die Legierung hauptsächlich aus den Elementen Chrom und Nickel besteht. Die durchgeführten Härtetests im Institut für Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung ergeben bei der Durchführung nach Rockwell den Wert  $R_m=1040$  N/mm<sup>2</sup> und nach Brinell den Wert von  $R_m=1160$  N/mm<sup>2</sup>. Die Tabelle 4.1 zeigt die zulässigen Schraubenanziehmomente in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Zugfestigkeiten.

**Tab. 4.1** Zulässige Schraubenanziehmomente bei unterschiedlichen Zugfestigkeiten

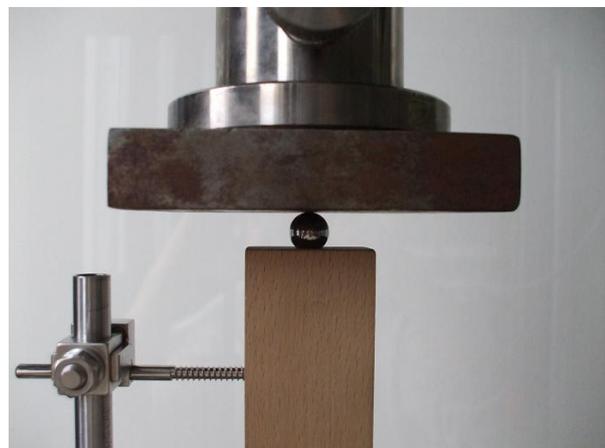
	Angabe der Firma SYNTHES	Angabe der Firma SYNTHES	Härtetest nach Rockwell	Härtetest nach Brinell
$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	850	1000	1040	1160
$M_{A,zul}$ [Nm]	16,105	18,948	19,705	21,979

Eine Beispielrechnung, die zu den zulässigen Schraubenanziehmomenten in Tabelle 4.1 führt, kann dem Anhang B entnommen werden.

Um eine hinreichend große Sicherheit zu erreichen, werden bei der Durchführung der Versuche die Muttern der Backenkörper konstant mit einem Schraubenanziehmoment von  $M_A=10$  Nm angezogen.

### 4.3 Universalprüfmaschine

Nachdem der Fixateur externe an das zu untersuchende Holz angebracht ist, wird dieses in die Universalprüfmaschine eingespannt. Es handelt sich um eine Universalprüfmaschine vom Typ 1456 der Firma ZWICK. Die Krafteinleitung in das Holz geschieht mittels zweier Metallkugeln mit einem Durchmesser von  $d_K=12$  mm. Die untere Metallkugel ist mit einer Schraube fest verschweißt. Die Schraube wird in den Boden der Universalprüfmaschine geschraubt und kann mit Hilfe einer Mutter fixiert werden. Die obere Metallkugel ist lose und wird einfach auf das Holzstück gelegt. Die Abbildungen 4.6 und 4.7 zeigen jeweils die untere und die obere Metallkugel.

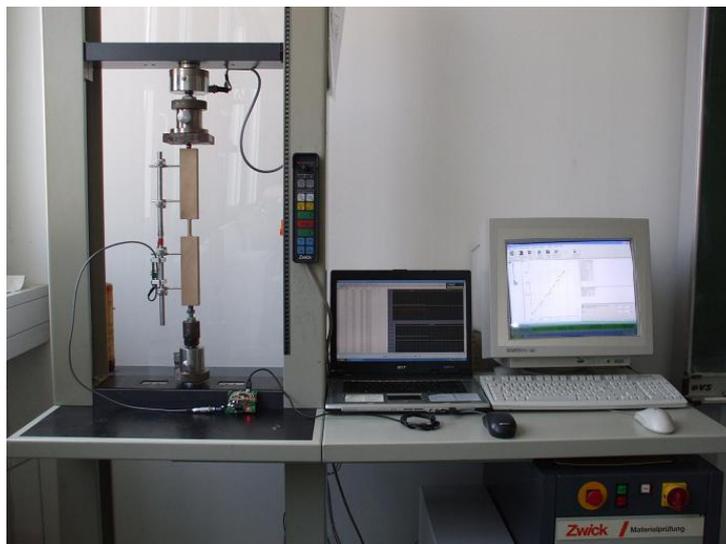
**Abb. 4.6** Untere Metallkugel**Abb. 4.7** Obere Metallkugel

Die Einspannung erfolgt indem die Traverse manuell mit einem Drehknopf nach unten gefahren wird. Wenn sich die Metallplatte und die obere Metallkugel berühren, wird die Traverse gestoppt. Das Holz mit dem Fixateur externe ist jetzt fest eingespannt.

Das zuvor geschriebene Prüfungsprogramm mit dem Namen Druck\_Fixateur.ZPV kann gestartet werden. Es befindet sich auf der Festplatte des PC's, der die Universalprüfmaschine steuert. Das Programm belastet die Holzprobe mit einer konstanten Kraft von  $F_{\max}=800\text{ N}$ , was einem Körpergewicht von  $m_g=80\text{ kg}$  entspricht. Die Messung wird beendet und die Probe entlastet, wenn  $F_{\max}=800\text{ N}$  wirkt oder wenn die eingestellte Maximalstauchung von  $\varepsilon_{\max}=5\text{ mm}$  erreicht ist. Die einzelnen Parameter des Prüfungsprogramms sind im Anhang C genau dargelegt.

Bei der Durchführung der Versuche wird das MS Excel-Programm zur Datenübertragung der DMS-Werte gestartet (entspricht der Zeit  $t=t_0$ ). Die Steuerung erfolgt mit Hilfe eines Laptops, der neben der Universalprüfmaschine aufgebaut wird. Bei einer Zeit von  $t_1=5\text{ s}$  wird die Universalprüfmaschine gestartet. Die Belastung der Probe durch die Universalprüfmaschine dauert  $\Delta t=10\text{ s}$ . Nach Erreichen der Zeit von  $t_2=20\text{ s}$  wird die Aufzeichnung der DMS-Werte gestoppt.

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, wird die vom Programm generierte Textdatei FIX unter einem anderen Namen abgespeichert und die nächste Messung kann stattfinden. Abbildung 4.8 zeigt den kompletten Versuchsaufbau im WSP.



**Abb. 4.8** Fixateur externe an einem eingespannten Holzmodell in der Universalprüfmaschine

## 5 Durchführung der Versuche

### 5.1 Reproduzierbarkeitsversuche

Um zu sehen in wie fern die später durchgeführten Versuche reproduzierbar sind, werden am Anfang pro Holz drei Messreihen durchgeführt ohne die Auswertung der DMS-Werte, d.h. lediglich die Werte der Universalprüfmaschine werden berücksichtigt. Anschließend werden in den meisten Fällen weitere drei Messungen durchgeführt, wobei diesmal die Werte der Universalprüfmaschine und die DMS-Werte beachtet werden. Die Hölzer werden wie in Kapitel 4.3 beschrieben eingespannt und getestet.

Als erstes wird das Holz „Ganz“ untersucht. Es werden jeweils 10 Messungen durchgeführt und danach wird der Fixateur externe vollständig vom Holz abmontiert. Anschließend wird der Fixateur externe wieder an das Holz montiert. Insgesamt wird der Versuch sechs Mal wiederholt. Tabelle 5.1 zeigt die ermittelten Werte.

**Tab. 5.1** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Ganz“

<b>1</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max	<b>2</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max	<b>3</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm	Nr	N	mm	Nr	N	mm
1	808,39	0,15	1	805,39	0,15	1	813,06	0,17
2	804,48	0,12	2	807,87	0,12	2	809,33	0,13
3	810,37	0,12	3	806,79	0,12	3	806,55	0,12
4	808,39	0,12	4	810,84	0,11	4	811,77	0,12
5	809,99	0,12	5	810,24	0,11	5	808,11	0,12
6	812,96	0,12	6	802,95	0,11	6	811,11	0,12
7	810,34	0,12	7	808,95	0,11	7	809,96	0,12
8	806,40	0,12	8	809,16	0,11	8	814,11	0,12
9	811,49	0,12	9	809,65	0,11	9	811,25	0,12
10	810,10	0,12	10	804,87	0,11	10	804,73	0,12

<b>4</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max	<b>5</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max	<b>6</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm	Nr	N	mm	Nr	N	mm
1	804,81	0,12	1	809,40	0,16	1	809,30	0,15
2	836,48	0,11	2	812,16	0,13	2	805,67	0,11
3	800,48	0,10	3	806,20	0,12	3	809,86	0,11
4	802,54	0,10	4	807,45	0,12	4	812,47	0,11
5	803,31	0,10	5	811,04	0,12	5	815,01	0,11
6	804,18	0,10	6	808,39	0,12	6	814,67	0,11
7	804,14	0,10	7	807,84	0,12	7	812,33	0,11
8	804,04	0,10	8	804,11	0,12	8	805,26	0,10
9	802,05	0,10	9	806,41	0,12	9	806,41	0,11
10	802,71	0,10	10	809,89	0,12	10	803,13	0,10

Die Versuche 1 bis 3 sind ohne DMS-Auswertung. Die Versuche 4 bis 6 sind mit DMS-Auswertung. Die DMS-Auswertung wird jedoch erst später in Kapitel 5.3 behandelt. Bei den sechs Versuchen fällt auf, dass die ersten Messungen jeder Messreihe höhere Werte von  $\varepsilon\text{-}F_{\max}$  besitzen, als die restlichen Werte.

Untersuchungen an den Hölzern „Halb“, „Steg 20“, „Steg 10“ und „Steg 05“ nach der gleichen Methode wie bei Holz „Ganz“ erbringen die Werte, wie sie in den Tabellen 5.2 bis 5.5 aufgeführt sind.

**Tab. 5.2** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Halb“

<b>1</b>	Fmax	$\varepsilon\text{-}F$ max	<b>2</b>	Fmax	$\varepsilon\text{-}F$ max	<b>3</b>	Fmax	$\varepsilon\text{-}F$ max
Nr	N	mm	Nr	N	mm	Nr	N	mm
1	803,66	0,15	1	807,74	0,16	1	806,02	0,12
2	805,06	0,12	2	806,38	0,13	2	804,80	0,10
3	803,07	0,12	3	804,32	0,13	3	810,45	0,10
4	808,30	0,12	4	804,39	0,12	4	804,66	0,10
5	805,51	0,12	5	806,17	0,12	5	811,49	0,10
6	807,98	0,12	6	809,73	0,13	6	810,07	0,10
7	809,94	0,12	7	809,48	0,13	7	809,37	0,10
8	811,12	0,12	8	804,11	0,12	8	803,09	0,10
9	807,08	0,12	9	807,15	0,12	9	803,86	0,10
10	807,04	0,12	10	808,19	0,12	10	805,99	0,10

<b>4</b>	Fmax	$\varepsilon\text{-}F$ max	<b>5</b>	Fmax	$\varepsilon\text{-}F$ max	<b>6</b>	Fmax	$\varepsilon\text{-}F$ max
Nr	N	mm	Nr	N	mm	Nr	N	mm
1	807,41	0,14	1	808,14	0,17	1	804,00	0,15
2	815,05	0,11	2	811,11	0,14	2	804,28	0,13
3	809,85	0,11	3	807,06	0,14	3	808,22	0,13
4	816,65	0,11	4	803,19	0,14	4	806,27	0,12
5	816,13	0,11	5	804,31	0,14	5	804,80	0,12
6	810,13	0,11	6	804,52	0,14	6	806,13	0,12
7	818,08	0,11	7	805,32	0,14	7	809,02	0,12
8	811,63	0,11	8	809,12	0,14	8	805,26	0,12
9	820,70	0,11	9	807,41	0,14	9	809,75	0,12
10	808,63	0,11	10	808,42	0,14	10	811,84	0,12

**Tab. 5.3** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Steg 20“

<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm
1	808,51	0,14	1	807,39	0,16	1	805,86	0,17
2	806,52	0,12	2	808,44	0,14	2	803,14	0,14
3	806,42	0,12	3	805,58	0,12	3	811,44	0,14
4	803,17	0,12	4	810,39	0,11	4	805,86	0,14
5	804,67	0,12	5	816,60	0,11	5	803,35	0,14
6	804,71	0,12	6	808,09	0,11	6	809,45	0,14
7	803,80	0,12	7	820,09	0,11	7	811,68	0,14
8	805,02	0,12	8	808,79	0,11	8	815,83	0,14
9	803,66	0,12	9	811,41	0,11	9	811,86	0,14
10	805,27	0,12	10	807,60	0,11	10	807,77	0,14

<b>4</b>			<b>5</b>			<b>6</b>		
Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm
1	805,77	0,18	1	807,88	0,18	1	803,98	0,15
2	811,14	0,14	2	810,56	0,15	2	810,82	0,12
3	805,21	0,14	3	804,46	0,15	3	807,02	0,11
4	804,65	0,14	4	809,03	0,15	4	804,12	0,11
5	809,78	0,14	5	803,56	0,15	5	807,47	0,11
6	810,96	0,14	6	810,56	0,15	6	802,45	0,11
7	812,22	0,14	7	809,48	0,15	7	810,82	0,11
8	805,21	0,14	8	809,62	0,15	8	802,62	0,11
9	811,73	0,14	9	807,98	0,15	9	805,45	0,11
10	808,56	0,14	10	804,18	0,15	10	805,27	0,11

**Tab. 5.4** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Steg 10“

<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm
1	810,81	0,15	1	808,85	0,18	1	812,02	0,17
2	811,82	0,12	2	808,32	0,15	2	812,68	0,14
3	809,00	0,11	3	809,20	0,14	3	811,36	0,14
4	810,25	0,11	4	806,82	0,14	4	807,49	0,14
5	807,92	0,11	5	805,19	0,14	5	809,54	0,14
6	803,80	0,11	6	806,82	0,14	6	806,58	0,14
7	806,52	0,11	7	806,16	0,14	7	805,92	0,14
8	803,31	0,11	8	806,48	0,14	8	809,58	0,14
9	806,84	0,11	9	808,15	0,14	9	808,60	0,14
10	806,70	0,11	10	811,11	0,14	10	813,66	0,14

<b>4</b>			<b>5</b>			<b>6</b>		
Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm
1	808,50	0,14	1	802,19	0,15	1	804,26	0,17
2	807,31	0,12	2	809,79	0,13	2	812,55	0,13
3	803,76	0,12	3	807,73	0,13	3	809,07	0,13
4	805,01	0,12	4	809,30	0,13	4	810,18	0,13
5	808,50	0,12	5	812,02	0,13	5	806,00	0,13
6	807,70	0,12	6	811,64	0,12	6	810,29	0,13
7	812,47	0,12	7	816,38	0,13	7	808,16	0,13
8	809,58	0,12	8	809,09	0,12	8	804,75	0,13
9	813,34	0,12	9	808,99	0,12	9	806,07	0,13
10	816,90	0,12	10	802,92	0,12	10	810,60	0,13

**Tab. 5.5** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Steg 5“

<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm
1	812,45	0,17	1	807,87	0,20	1	803,69	0,20
2	811,62	0,14	2	803,23	0,16	2	809,68	0,16
3	811,79	0,14	3	805,50	0,16	3	808,15	0,16
4	807,23	0,14	4	803,97	0,16	4	807,24	0,16
5	808,38	0,14	5	807,35	0,16	5	807,21	0,16
6	807,85	0,14	6	806,13	0,16	6	806,20	0,16
7	808,03	0,14	7	805,67	0,16	7	807,59	0,16
8	811,13	0,14	8	813,73	0,16	8	805,22	0,16
9	803,88	0,14	9	806,96	0,16	9	806,23	0,15
10	811,51	0,14	10	805,99	0,16	10	808,50	0,15

<b>4</b>			<b>5</b>			<b>6</b>		
Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon$ -F max mm
1	807,10	0,17	1	802,46	0,18	1	808,15	0,17
2	809,13	0,14	2	807,98	0,15	2	807,14	0,14
3	805,01	0,14	3	809,27	0,15	3	807,07	0,14
4	810,66	0,14	4	808,88	0,15	4	809,68	0,14
5	808,85	0,14	5	803,44	0,15	5	805,71	0,14
6	805,53	0,14	6	803,86	0,15	6	803,79	0,14
7	810,38	0,14	7	807,87	0,15	7	808,04	0,14
8	810,90	0,14	8	803,65	0,15	8	805,01	0,14
9	811,22	0,14	9	807,24	0,15	9	804,94	0,14
10	809,16	0,14	10	808,05	0,15	10	808,08	0,14

Aus den Tabellen 5.1 bis 5.5 geht ebenfalls hervor, dass jeweils die ersten Werte von  $\varepsilon$ -F<sub>max</sub> jeder Messreihe höher sind als die restlichen Werte. Da bei den späteren Messungen der Mittelwert über mehrere Messungen gebildet werden muss, wird festgelegt, dass jeweils die ersten drei Messungen jeder Messreihe verworfen werden und nur die anschließenden sieben Messungen in den Mittelwert eingehen. Werden die Messreihen untereinander verglichen, so ist ersichtlich, dass die restlichen sieben Messungen beim Holz „Ganz“ Stauchungswerte von  $\varepsilon$ -F<sub>max</sub>=0,1 mm bis 0,12 mm annehmen. Die Stauchung beim Holz „Halb“ beträgt  $\varepsilon$ -F<sub>max</sub>=0,1 mm bis 0,14 mm. Beim Holz „Steg 5“ ergeben sich  $\varepsilon$ -F<sub>max</sub>=0,14 mm bis 0,16 mm Stauchung. „Steg 10“ ergibt  $\varepsilon$ -F<sub>max</sub>=0,11 mm bis 0,14 mm Stauchung und „Steg 20“ ergibt Stauchungswerte von  $\varepsilon$ -F<sub>max</sub>=0,11 mm bis 0,15 mm.

Die Tabellen 5.6 bis 5.9 zeigen die Messergebnisse der Hölzer „Winkel 22,5“, „Winkel 45“, „Winkel 62,5“ und „Lücke“. Diese Messungen ergeben erheblich größere Stauchungswerte als bei den zuvor durchgeführten Versuchen. Die Versuche werden teilweise nur noch drei Mal durchgeführt, da sich durch die großen Stauchungen die Fixateurstange zu sehr biegt und die Gefahr besteht, dass die DMS-Klebung beschädigt wird. Dementsprechend wird bei

diesen Versuchen auf die DMS-Auswertung verzichtet und eine Fixateurstange ohne aufgeklebte DMS benutzt.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Stauchungswerte nicht nur größer sind, sondern auch bei den einzelnen Messreihen der Hölzer „Winkel 22,5“ und „Winkel 45“ stärker voneinander abweichen. Die Stauchungen bei Holz „Winkel 22,5“ betragen  $\varepsilon\text{-}F_{\max}=16$  mm bis 60 mm und die Stauchungen bei Holz „Winkel 45“ betragen  $\varepsilon\text{-}F_{\max}=1,50$  mm bis 1,81 mm.

Es zeigt sich, dass bei den Hölzern „Winkel 62,5“ und „Lücke“ die Maximalstauchung von  $\varepsilon_{\max}=5$  mm erreicht wird. Bei Erreichen dieses Wertes wird die Messung durch die Universalprüfmaschine automatisch gestoppt.

**Tab. 5.6** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Winkel 22,5“

<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
Nr	Fmax N	$\varepsilon\text{-}F$ max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon\text{-}F$ max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon\text{-}F$ max mm
1	804,55	0,39	1	805,60	0,28	1	815,27	0,31
2	805,39	0,22	2	804,49	0,17	2	805,88	0,21
3	801,80	0,21	3	802,57	0,17	3	805,78	0,21
4	803,75	0,21	4	804,94	0,16	4	810,94	0,21
5	801,83	0,21	5	805,78	0,16	5	807,94	0,21
6	802,39	0,21	6	806,34	0,16	6	804,17	0,21
7	803,89	0,21	7	805,26	0,16	7	804,00	0,21
8	804,94	0,21	8	807,87	0,16	8	803,58	0,21
9	804,73	0,21	9	805,67	0,16	9	808,43	0,21
10	806,40	0,21	10	805,64	0,16	10	811,11	0,21

<b>4</b>			<b>5</b>			<b>6</b>		
Nr	Fmax N	$\varepsilon\text{-}F$ max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon\text{-}F$ max mm	Nr	Fmax N	$\varepsilon\text{-}F$ max mm
1	805,83	0,64	1	814,41	0,48	1	808,76	0,65
2	810,78	0,62	2	808,80	0,40	2	805,69	0,64
3	809,63	0,61	3	806,25	0,39	3	810,09	0,64
4	803,39	0,60	4	804,40	0,39	4	809,56	0,64
5	806,39	0,59	5	805,20	0,38	5	803,63	0,64
6	810,40	0,58	6	804,12	0,38	6	811,41	0,64
7	808,76	0,57	7	805,69	0,37	7	808,79	0,64
8	810,12	0,57	8	807,68	0,37	8	806,04	0,63
9	804,61	0,56	9	806,74	0,37	9	808,06	0,63
10	807,09	0,55	10	806,11	0,37	10	808,38	0,63

**Tab. 5.7** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Winkel 45“

<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
Nr	Fmax N	ε-F max mm	Nr	Fmax N	ε-F max mm	Nr	Fmax N	ε-F max mm
1	805,02	1,80	1	809,48	2,21	1	808,08	1,61
2	805,54	1,64	2	803,69	1,90	2	810,28	1,54
3	806,52	1,63	3	808,51	1,85	3	804,70	1,52
4	810,74	1,63	4	807,35	1,81	4	806,16	1,51
5	810,53	1,62	5	803,66	1,75	5	806,48	1,50
6	808,82	1,61	6	808,96	1,72	6	806,23	1,49
7	806,66	1,60	7	805,78	1,69	7	810,28	1,50
8	811,99	1,61	8	805,23	1,67	8	809,44	1,50
9	804,91	1,59	9	805,96	1,65	9	808,81	1,50
10	806,83	1,59	10	806,34	1,63	10	807,52	1,50

**Tab. 5.8** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Winkel 62,5“

<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
Nr	Fmax N	ε-F max mm	Nr	Fmax N	ε-F max mm	Nr	Fmax N	ε-F max mm
1	548,12	5,00	1	550,39	5,00	1	589,76	5,00
2	615,47	5,00	2	644,77	5,00	2	632,87	5,00
3	596,60	5,00	3	630,40	5,00	3	618,43	5,00
4	587,18	5,00	4	620,91	5,00	4	612,57	5,00
5	583,17	5,00	5	615,71	5,00	5	605,67	5,00
6	577,80	5,00	6	612,92	5,00	6	601,20	5,00
7	577,49	5,00	7	611,39	5,00	7	599,15	5,00
8	576,34	5,00	8	609,16	5,00	8	595,34	5,00
9	573,72	5,00	9	607,45	5,00	9	594,79	5,00
10	572,85	5,00	10	606,02	5,00	10	593,01	5,00

**Tab. 5.9** Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Lücke“

<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
Nr	Fmax N	ε-F max mm	Nr	Fmax N	ε-F max mm	Nr	Fmax N	ε-F max mm
1	347,29	5,00	1	348,44	5,00	1	344,64	5,00
2	388,79	5,00	2	381,40	5,00	2	368,56	5,00
3	389,28	5,00	3	381,71	5,00	3	370,10	5,00
4	390,22	5,00	4	382,24	5,00	4	369,43	5,00
5	390,57	5,00	5	382,37	5,00	5	369,75	5,00
6	390,57	5,00	6	382,62	5,00	6	369,75	5,00
7	390,78	5,00	7	383,11	5,00	7	371,07	5,00
8	391,62	5,00	8	383,21	5,00	8	369,92	5,00
9	391,30	5,00	9	383,18	5,00	9	370,13	5,00
10	390,50	5,00	10	383,28	5,00	10	371,11	5,00

Die Versuche zur Reproduktivität haben gezeigt, dass die Hölzer an einem Stück („Ganz“, „Steg 20“, „Steg 10“ und „Steg 05“) sowie das Holz „Halb“ gut reproduzierbar sind, da die Messergebnisse kleine Abweichungen zueinander aufzeigen. Die Hölzer mit dem schrägen Frakturspalt („Winkel 22,5“, „Winkel 45“ und „Winkel 62,5“) sowie dem Holz „Lücke“ hingegen, ergeben große Abweichungen zueinander und sind deshalb schlechter reproduzierbar.

## 5.2 Charakterisierung der DMS

Um die DMS an der Fixateurstange zu charakterisieren, wird der Ruhezustand ohne jegliche Druckeinflüsse untersucht. Der Fixateur externe wird dazu ohne Holzstück auf einen Tisch gelegt und die Messung gestartet. Anschließend wird die Standardabweichung nach Gleichung 5.1 bestimmt.

$$\text{Standardabweichung: } s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.1)$$

$$\text{mit } \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.2)$$

$n$  = Stichprobenumfang

$x_i$  = Wert an der Stelle  $i$

$\bar{x}$  = empirischer Mittelwert

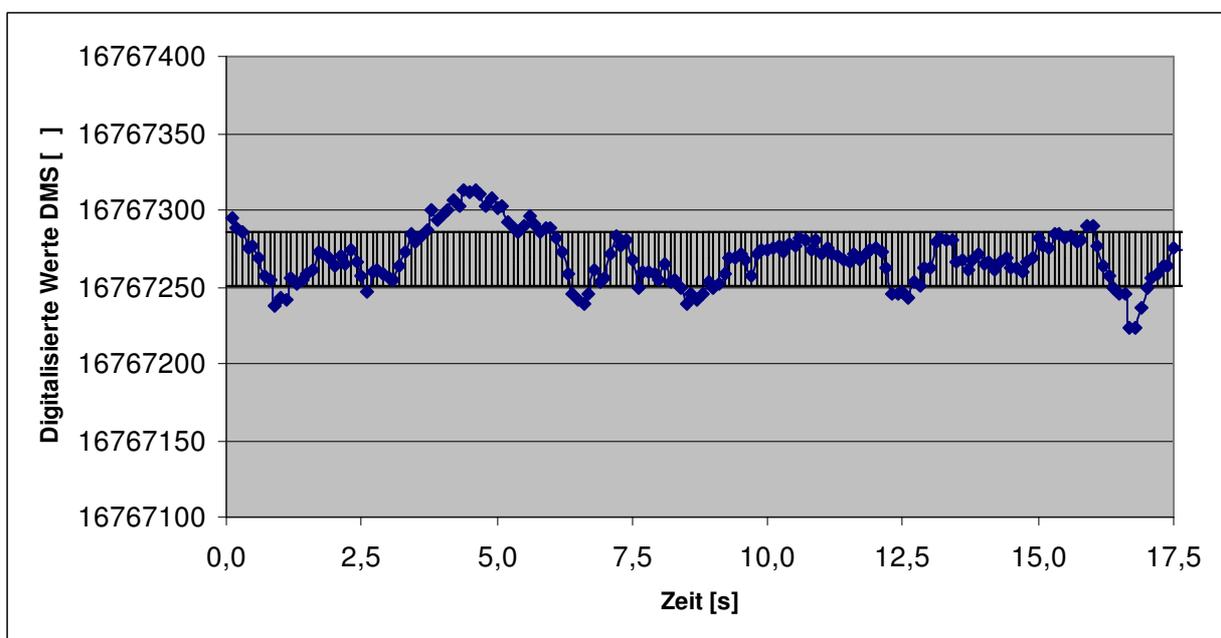
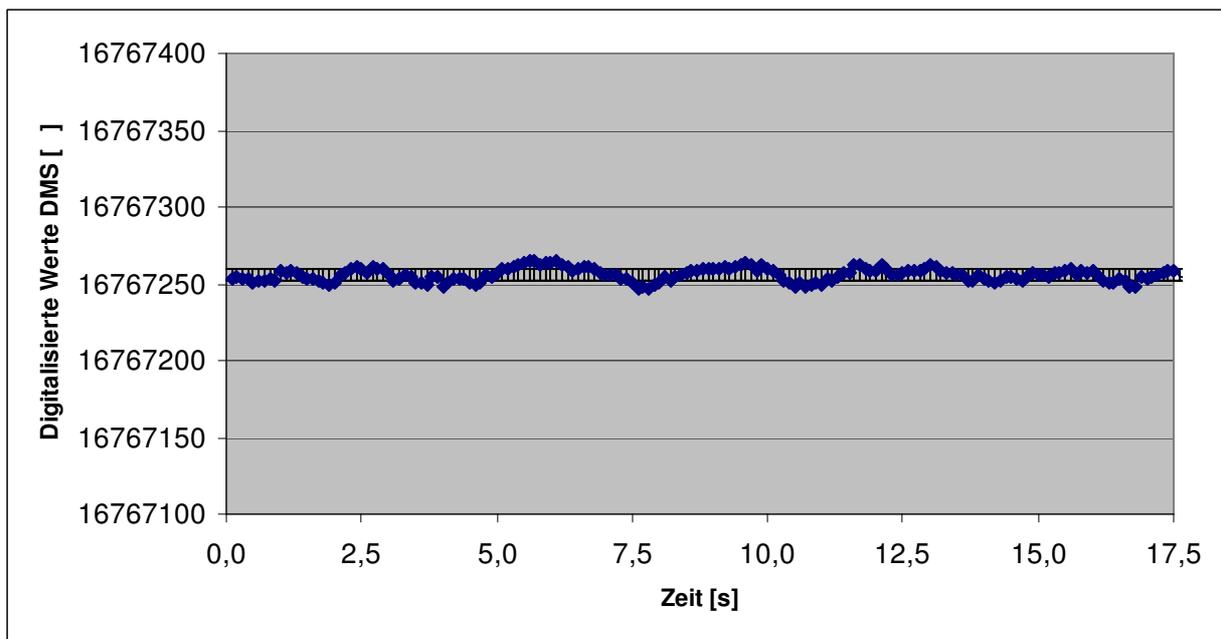


Abb. 5.1 DMS-Werte bei einer Messung ohne Holz mit Standardabweichung

Die Abbildung 5.1 zeigt eine Messung des Fixateur externe im Ruhezustand. Eine Messung über 17,5 s ergibt eine Standardabweichung von 17,495. Um eine geringere Standardabweichung zu erhalten, werden 10 Messungen durchgeführt und deren Mittelwert gebildet. Hierbei ergibt sich eine Standardabweichung von 4,24. Abbildung 5.2 zeigt den Mittelwert über 10 Messungen und die dazugehörige Standardabweichung.



**Abb. 5.2** Mittelwert der DMS-Werte über zehn Messungen ohne Holz mit Standardabweichung

### 5.3 Druckversuche mit Hölzern an einem Stück

Als einfachsten Versuch wird das Holz „Ganz“ verwendet, welches den heilen Knochen darstellt. Hierbei wird das Holz mit dem Fixateur externe in die Universalprüfmaschine eingespannt und wie in Kapitel 4.3 untersucht. Abbildung 5.3 zeigt die DMS-Werte einer Messung mit dem Holz „Ganz“.

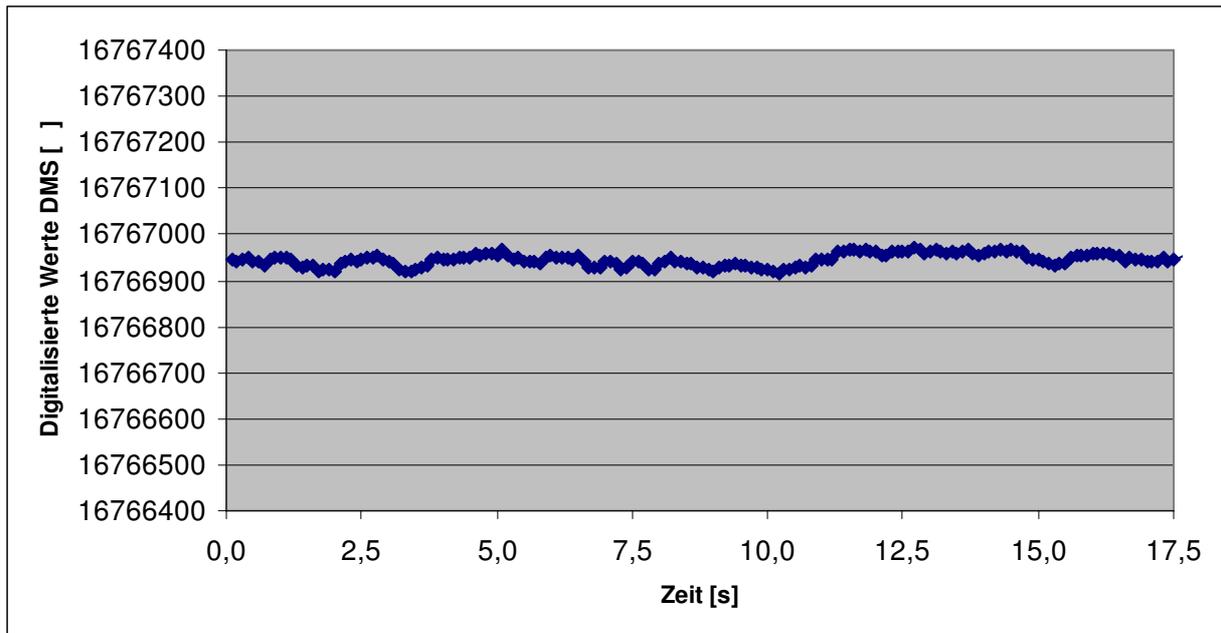
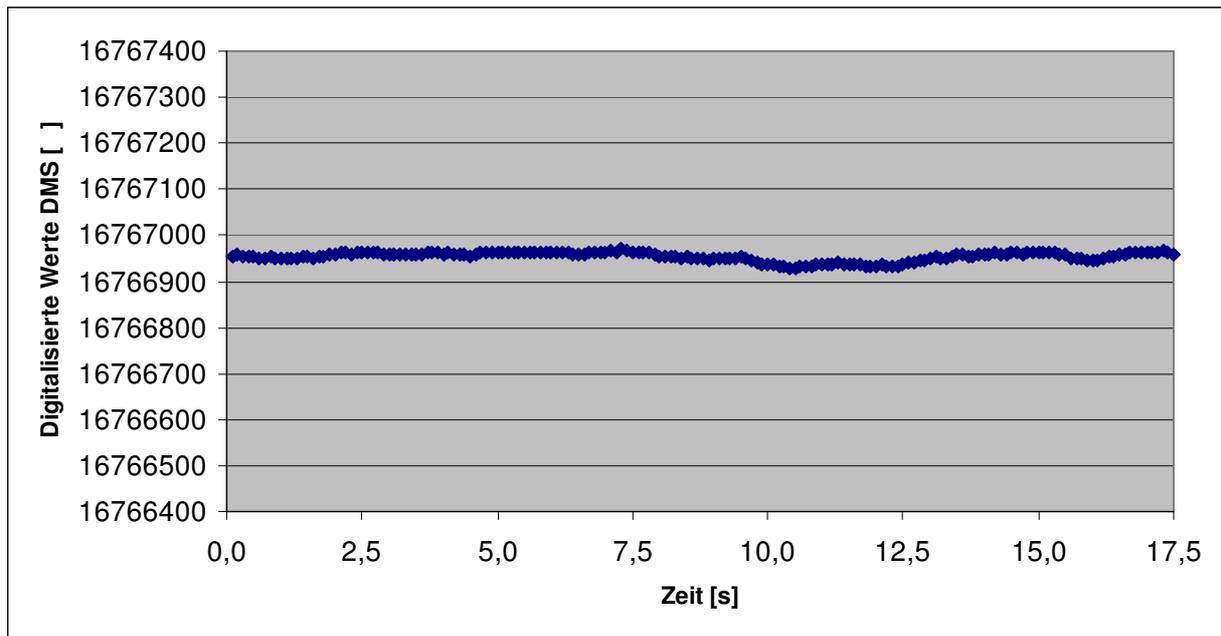


Abb. 5.3 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Ganz“

Auch hier wird wieder eine Mittelwertbetrachtung vorgenommen, um die Standardabweichungen niedrig zu halten. Jedoch kommt es aufgrund der in Kapitel 5.1 gewonnenen Tatsache, dass die ersten drei Messungen immer höhere Stauchungswerte und damit erhöhte DMS-Werte liefern, nicht über eine Mittelwertbetrachtung über zehn Messungen, sondern über eine Mittelwertbetrachtung über sieben Messungen. Die Abbildung 5.4 zeigt die Mittelwertbetrachtung der DMS-Werte über sieben Messungen.



**Abb. 5.4** Mittelwert über sieben Messungen der DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Ganz“

Die Versuche mit der DMS-Auswertung werden jeweils drei Mal durchgeführt. Für die Übersichtlichkeit des Kapitels, ist jedoch immer nur repräsentativ eine Messung graphisch dargestellt. Die anderen beiden Graphiken können dem Anhang E entnommen werden.

Um die Graphik quantitativ auszuwerten, wird in den ersten 5 Sekunden der Mittelwert bestimmt, da sich in dieser Zeit die Fixateurstange in einem Ruhezustand befindet, da die Universalprüfmaschine erst ab der Zeit  $t_1=5$  s gestartet wird. Erst ab diesem Zeitpunkt fängt die Fixateurstange an sich zu verbiegen. Des Weiteren wird das Minimum bestimmt, auf welches die DMS-Werte durch die Stauchung abfallen. Mit Hilfe der Differenz der beiden Zahlenwerte, kann die Verbiegung der Fixateurstange qualitativ angegeben werden. Je höher die Zahl, desto höher ist die Verbiegung. Tabelle 5.10 zeigt die Werte für die drei Messreihen am Holz „Ganz“. Die Messreihe 4 der Tabelle 5.10 entspricht der Messung aus Abbildung 5.4.

**Tab. 5.10** DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Ganz“

4		5		6	
Mittelwert	16766958	Mittelwert	16766338	Mittelwert	16766929
Minimum	16766929	Minimum	16766311	Minimum	16766897
Differenz	28	Differenz	28	Differenz	32

Die weiteren Versuche werden mit den Hölzern „Steg 20“, „Steg 10“ und „Steg 5“ durchgeführt. Diese Hölzer stellen die unterschiedlichen Heilungsphasen einer Knochenfraktur dar. Die nachfolgenden Abbildungen 5.5 bis 5.7, zeigen die DMS-Auswertung der Hölzer „Steg 20“, „Steg 10“ und „Steg 5“. Anschließend folgen die Tabellen 5.11 bis 5.13 mit den dazugehörigen DMS-Werte der Fixateurstange.

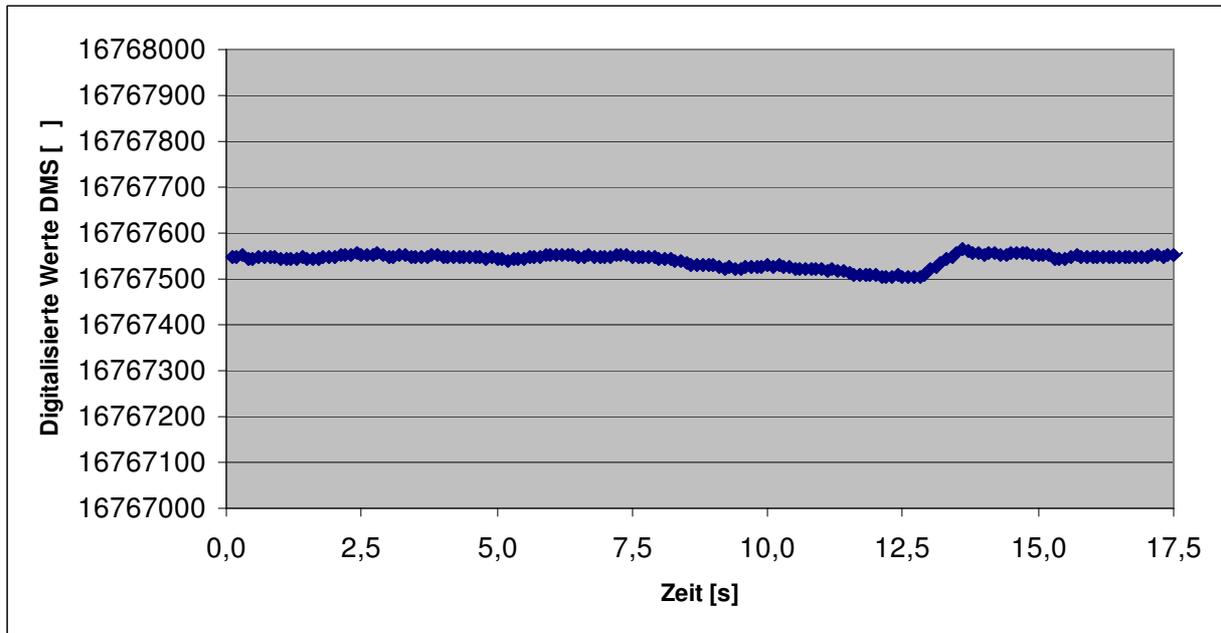


Abb. 5.5 Mittelwert der DMS-Werte über sieben Messungen mit Holz „Steg 20“

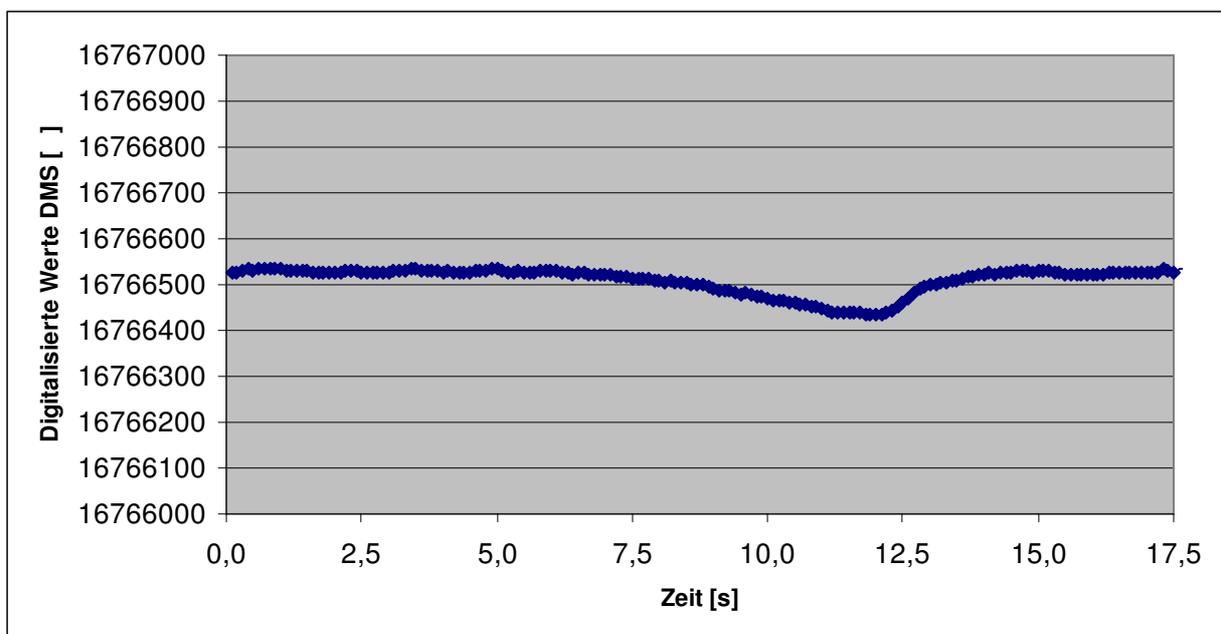


Abb. 5.6 Mittelwert der DMS-Werte über sieben Messungen mit Holz „Steg 10“

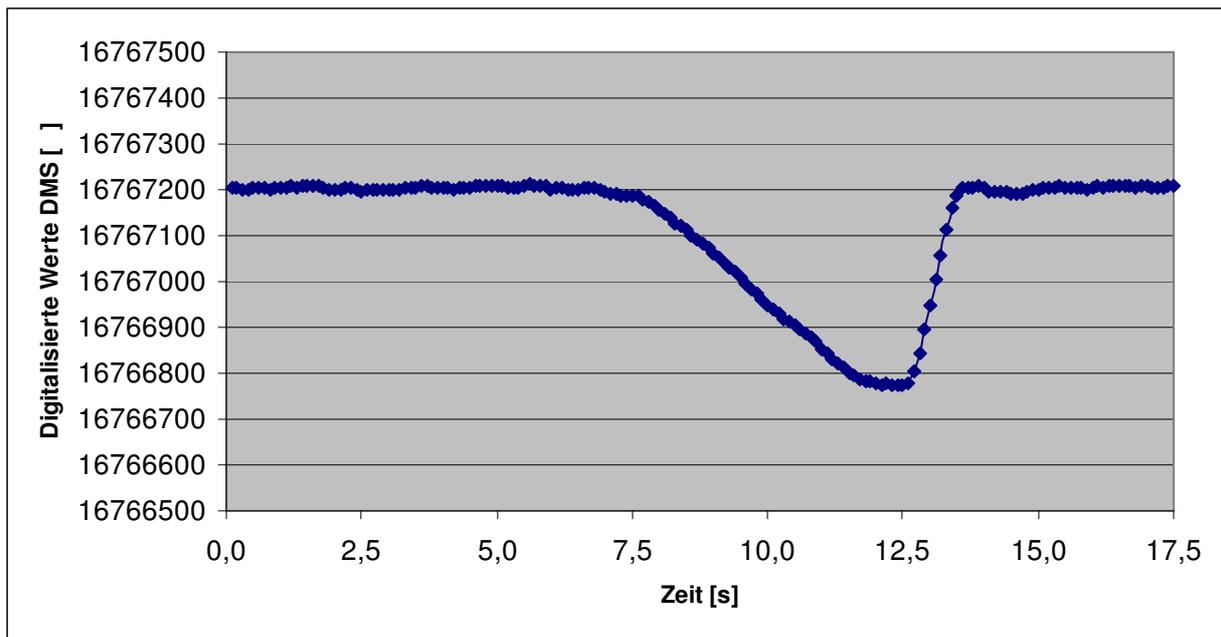


Abb. 5.7 Mittelwert der DMS-Werte über sieben Messungen mit Holz „Steg 5“

Tab. 5.11 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Steg 20“

4		5		6	
Mittelwert	16767548	Mittelwert	16767194	Mittelwert	16767184
Minimum	16767503	Minimum	16767139	Minimum	16767138
Differenz	45	Differenz	55	Differenz	46

Tab. 5.12 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Steg 10“

4		5		6	
Mittelwert	16766530	Mittelwert	16767077	Mittelwert	16766820
Minimum	16766433	Minimum	16766981	Minimum	16766619
Differenz	96	Differenz	96	Differenz	201

Tab. 5.13 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Steg 5“

4		5		6	
Mittelwert	16767204	Mittelwert	16766849	Mittelwert	16766935
Minimum	16766773	Minimum	16766405	Minimum	16766500
Differenz	431	Differenz	444	Differenz	435

Die DMS-Auswertung der Hölzer „Steg 20“, „Steg 10“ und „Steg 5“ zeigt deutlich, dass die Verbiegung der Fixateurstange mit zunehmend kleinerem Querschnitt in der Mitte des Holzes zunimmt. Für die Knochenheilung bedeutet dies, dass wenn die Heilung weit fortgeschritten ist, kleine Verbiegungen der Fixateurstange gemessen werden.

Die Tabellen 5.11 bis 5.13 zeigen, dass die Differenzen der drei Messreihen eng beieinander liegen. Die einzige Ausnahme ist der zu große Wert bei der Messreihe 6 beim Holz „Steg 10“, was wohl auf einen Messfehler zurückzuführen ist.

## 5.4 Druckversuche mit geteilten Hölzern

Die geteilten Hölzer stellen Knochen dar, die einen Frakturspalt besitzen. Die DMS-Auswertung beim Holz „Halb“ ergibt drei unterschiedliche Werte für die Differenz. Tabelle 5.14 zeigt die Werte für die drei Messungen am Holz „Halb“.

**Tab. 5.14** DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Halb“

4		5		6	
Mittelwert	16766779	Mittelwert	16767957	Mittelwert	16767538
Minimum	16766737	Minimum	16767954	Minimum	16767441
Differenz	42	Differenz	3	Differenz	96

Ebenfalls unterschiedliche Werte für die Differenz ergibt die DMS-Auswertung vom Holz „Winkel 22,5“. Tabelle 5.15 zeigt die Werte für die drei Messungen am Holz „Winkel 22,5“.

**Tab. 5.15** DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Winkel 22,5“

4		5		6	
Mittelwert	16767531	Mittelwert	16768113	Mittelwert	16766147
Minimum	16765570	Minimum	16767321	Minimum	16761420
Differenz	1962	Differenz	792	Differenz	4727

Die graphischen Darstellungen für die Hölzer „Halb“ und „Winkel 22,5“ sind wegen den unterschiedlichen Verlaufsformen nicht dargestellt, sondern sind nur im Anhang E zu finden. Die Tabellen 5.14 und 5.15 zeigen, dass die Messungen an den geteilten Hölzern nicht reproduzierbar sind. Aufgrund dieser Tatsache, kann davon ausgegangen werden, dass die Abweichungen der Messungen mit den Hölzern „Winkel 45“, „Winkel 62,5“ sowie „Lücke“ ähnlich groß ausfallen würden. Wie oben beschrieben wird bei diesen Hölzern auf die DMS-Auswertung verzichtet, um die DMS-Klebung nicht zu zerstören.

## 6 Diskussion

Die Versuche zur Reproduzierbarkeit haben gezeigt, dass verschieden große Stauchungen  $\varepsilon\text{-}F_{\max}$  je nach Holzgeometrie auftreten. Die Messreihen mit den ganzen Hölzern haben untereinander geringere Abweichungen zueinander als die der geteilten Hölzer. Die Abweichungen kommen dadurch zustande, dass die Traverse der Universalprüfmaschine manuell betätigt wird. Dadurch kommt es bei den Versuchen zu unterschiedlichen Anfangsbelastungen. Bei der Fortsetzung der Messreihe sollte deshalb unbedingt darauf geachtet werden, dass die Hölzer am Anfang mit der gleichen Kraft belastet werden.

Die DMS-Auswertung der Fixateurstange unter Belastung ergibt, dass ebenfalls die Hölzer an einem Stück besser abschneiden als die geteilten Hölzer. Dies ist allein beim Einspannen des Holzes in die Universalprüfmaschine schon bemerkbar, das es zu einer Instabilität des Systems Fixateur-Holz, im Vergleich zu den durchgehenden Hölzern, kommt.

Mit dem Fixateur externe an den Hölzern „Ganz“, „Steg 20“, „Steg 10“ und „Steg 5“ konnten die verschiedenen Heilungsphasen eines Knochenbruchs gut dargestellt werden. Die Hölzer „Halb“ und „Winkel 22,5“ ergeben bei den verschiedenen Messreihen zu sehr abweichende Ergebnisse. Die Hölzer „Winkel 45“, „Winkel 62,5“ und „Lücke“ ergeben die maximale Stauchung von  $\varepsilon_{\max}=5$  mm, was auf den Knochen übertragen nicht möglich ist. Somit wird bei diesen Hölzern keine DMS-Auswertung durchgeführt.

## Literaturverzeichnis

- [Bür08] Bürger, M.: persönliche Korrespondenz, Institut für Biomedizinische Technik der Fakultät Informationstechnik der Hochschule Mannheim, Mannheim, 2008
- [Car08] Cartus, T.: persönliche Korrespondenz; Firma Synthes, Freiburg, 2008
- [Dec95] Decker, K.: *Maschinenelemente*, Hanser Verlag, München Wien, 1995
- [RM94] Roloff, H., Matek, W.: *Maschinenelemente*, Vieweg Verlag, Braunschweig Wiesbaden, 1994
- [Sch05] Schiebler, T.: *Anatomie*; Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2005
- [Til05] Tillmann, B.: *Atlas der Anatomie des Menschen*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 2005

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1 rechtes Schien- und Wadenbein des Menschen [Til05] .....	4
Abb. 3.2 Fixateur externe an einem Kunststoffmodell .....	5
Abb. 3.3 Fixateur externe auf einem Röntgenbild mit Schienbein- und Wadenbeinfraktur [Bür08] .....	5
Abb. 3.4 DMS mit Komponenten .....	6
Abb. 3.5 Härteprüfgerät HT 2005 der Firma Wolpert im WSP .....	7
Abb. 3.6 Härteprüfgerät M4C 075 G3M der Firma EmcoTest im WSP .....	7
Abb. 3.7 Funkenemissionsspektrometer MaxX der Firma Spectro im WSP .....	8
Abb. 4.1 Fixateur externe an einem Holzmodell mit aufgeklebten DMS (der Beschleunigungssensor befindet sich unter der Platine) .....	9
Abb. 4.2 Bildschirmansicht des MS Excel-Programms .....	10
Abb. 4.3 Holzmodelle Teil 1 .....	11
Abb. 4.4 Holzmodelle Teil 2 .....	12
Abb. 4.5 Nahaufnahme Fixateur externe an einem Holzmodell mit Abstandshalter an einer Schanzschraube .....	13
Abb. 4.6 Untere Metallkugel .....	14
Abb. 4.7 Obere Metallkugel .....	14
Abb. 4.8 Fixateur externe an einem eingespannten Holzmodell in der Universalprüfmaschine .....	15
Abb. 5.1 DMS-Werte bei einer Messung ohne Holz mit Standardabweichung .....	22
Abb. 5.2 Mittelwert der DMS-Werte über zehn Messungen ohne Holz mit Standardabweichung .....	23
Abb. 5.3 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Ganz“ .....	24
Abb. 5.4 Mittelwert über sieben Messungen der DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Ganz“ .....	25
Abb. 5.5 Mittelwert der DMS-Werte über sieben Messungen mit Holz „Steg 20“ .....	26
Abb. 5.6 Mittelwert der DMS-Werte über sieben Messungen mit Holz „Steg 10“ .....	26
Abb. 5.7 Mittelwert der DMS-Werte über sieben Messungen mit Holz „Steg 5“ .....	27

## Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1 Zulässige Schraubenanziehmomente bei unterschiedlichen Zugfestigkeiten .....	14
Tab. 5.1 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Ganz“ .....	16
Tab. 5.2 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Halb“ .....	17
Tab. 5.3 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Steg 20“ .....	18
Tab. 5.4 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Steg 10“ .....	18
Tab. 5.5 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Steg 5“ .....	19
Tab. 5.6 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Winkel 22,5“ .....	20
Tab. 5.7 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Winkel 45“ .....	21
Tab. 5.8 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Winkel 62,5“ .....	21
Tab. 5.9 Stauchung in Abhängigkeit von der Kraft für das Holz „Lücke“ .....	21
Tab. 5.10 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Ganz“ .....	25
Tab. 5.11 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Steg 20“ .....	27
Tab. 5.12 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Steg 10“ .....	27
Tab. 5.13 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Steg 5“ .....	27
Tab. 5.14 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Halb“ .....	29
Tab. 5.15 DMS-Werte der Fixateurstange am Holz „Winkel 22,5“ .....	29

## Anhangsverzeichnis

Anhang A	Funkenemissionsspektroskopie der Metalllegierung der Klemmbacke.....	1
Anhang B	Bestimmung des Schraubenanziehmomentes.....	3
Anhang C	Parameter des Prüfungsprogramms Druck_Fixateur.ZPV.....	4
Anhang D	Messwerte der Universalprüfmaschine.....	11
Anhang E	DMS-Messwerte des Fixateur externe.....	26

## Anhang A    Funkenemissionsspektroskopie der Metalllegierung der Klemmbacke

Methode: Fe-31-M

Kommentar: Cr-Cr/Ni-Stahl Kleinteile

Mittelwert (n=2)

124264/07

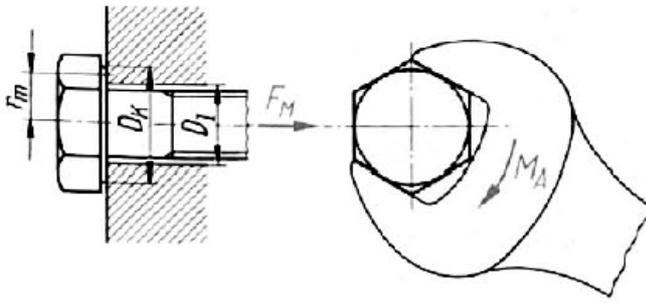
14.04.2008 16:10:49

Elemente: Konzentrationen

Proben Nr.: 1-Klemmbacke Fixateur  
Auftraggeber: Schinke FixateurprobeQualität:  
Prüfer: Peter

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %
≡ x ≡	0.053	0.241	1.65	0.026	0.028	18.78	8.46	0.309
	Al %	Cu %	Co %	Ti %	Nb %	V %	W %	Pb %
≡ x ≡	0.0059	0.265	0.073	0.0073	0.037	0.073	0.035	0.0042
	B %	Sb %	Sn %	As %	Bi %	Ta %	Ca %	N %
≡ x ≡	0.0020	<0.0020	0.0064	0.014	<0.0010	<0.010	0.0006	>0.492
	Fe %							
≡ x ≡	69.3							

## Anhang B Bestimmung des Schraubenanziehmomentes



Bestimmung des Schraubenanziehmomentes  $M_{A\text{ zul}}$  [Dec95]:

Maße:

$$D_K = 12,5 \text{ mm}$$

$$d = 6,8 \text{ mm}$$

$$D_I = 9,5 \text{ mm}$$

$$\text{Gangzahl} = 25$$

$$\begin{aligned} r_m &= 0,25 \cdot (D_K + D_I) \\ &= 0,25 \cdot (12,5 \text{ mm} + 9,5 \text{ mm}) \\ &= 5,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_s &= 0,5 \cdot (d_2 + d_3) \\ &= 0,5 \cdot (6,140 \text{ mm} + 5,554 \text{ mm}) \\ &= 5,847 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta = 30^\circ$$

Gangzahl umrechnen in die Steigung P:

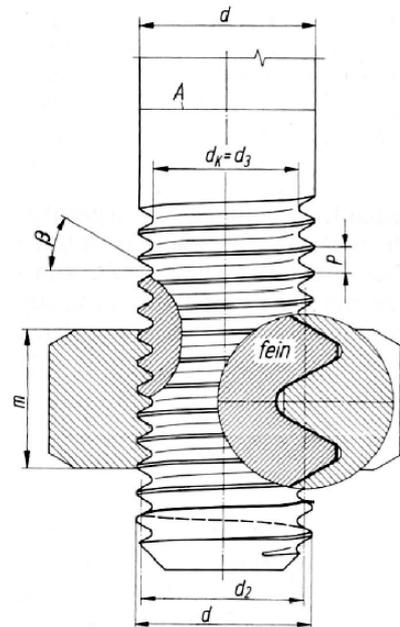
$$25 \text{ Gang} = 1 \text{ Zoll}$$

$$25 \text{ Gang} = 2,54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ Gang} = 0,1016 \text{ cm}$$

$$1 \text{ Gang} = 1,016 \text{ mm}$$

$$P = 1,016 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned} d_2 &= d - 0,64952 \cdot P \\ &= 6,8 \text{ mm} - 0,64952 \cdot 1,016 \text{ mm} \\ &= 6,14 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3 &= d - 1,22687 \cdot P \\ &= 6,8 \text{ mm} - 1,22687 \cdot 1,016 \text{ mm} \\ &= 5,554 \text{ mm} \end{aligned}$$

Zulässige Montagespannung  $\sigma_{M\text{zul}}$  :

$$\begin{aligned}\sigma_v &= 0,9 \cdot R_{p0,2} \\ &= 0,9 \cdot 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ &= 765 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\end{aligned}$$

$$\mu_G = 0,08$$

$$\begin{aligned}\sigma_{M\text{zul}} &= \frac{\sigma_v}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[ \frac{2 \cdot d_2}{d_s} \left( \frac{0,32 \cdot P}{d_2} + 1,16 \cdot \mu_G \right) \right]^2}} \\ &= \frac{765 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[ \frac{2 \cdot 6,14\text{mm}}{5,847\text{mm}} \left( \frac{0,32 \cdot 1,016\text{mm}}{6,14\text{mm}} + 1,16 \cdot 0,08 \right) \right]^2}} \\ &= 675,878 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\end{aligned}$$

Zulässige Montagevorspannkraft  $F_{M\text{zul}}$ :

$$\begin{aligned}F_{M\text{zul}} &= \sigma_{M\text{zul}} \cdot A_s \\ &= \sigma_{M\text{zul}} \cdot \left( \frac{d_s}{2} \right)^2 \cdot \pi \\ &= 675,878 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot \left( \frac{5,847\text{mm}}{2} \right)^2 \cdot \pi \\ &= 18147,816\text{N}\end{aligned}$$

Zulässiges Schraubenanziehmoment  $M_{A\text{zul}}$ :

$$\mu_K = 0,08$$

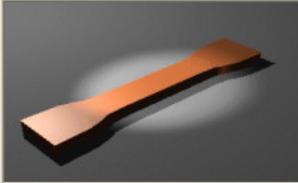
$$\begin{aligned}M_{A\text{zul}} &= F_{M\text{zul}} \cdot (0,16 \cdot P + 0,58 \cdot \mu_G \cdot d_2 + \mu_K \cdot r_m) \\ &= 18147,816\text{N} \cdot (0,16 \cdot 1,016\text{mm} + 0,58 \cdot 0,08 \cdot 6,14 + 0,08 \cdot 5,5\text{mm}) \\ &= 16,105\text{Nm}\end{aligned}$$

## Anhang C Parameter des Prüfungsprogramms Druck\_Fixateur.ZPV

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition
- Ergebnisauswahl
- Toleranzen
- Probandaten
- Vorkraft
- Prüfung / Prüfungsende
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Eingabe der Einrichtparameter



Prüfplatzname: Fixateur Versuche

Prüfraum: Unten

Oberer Softendschalter: A 750,000 mm

Unterer Softendschalter: A 550,000 mm

Aktuelle LE: 673,071 mm

Obere Kraftgrenze: 3000,00 N

Untere Kraftgrenze: -500,00 N

Auswahl des Standard-Wegaufnehmers: Traversenwegaufnehmer

Traversenposition: 672,862

Handsteuerung...

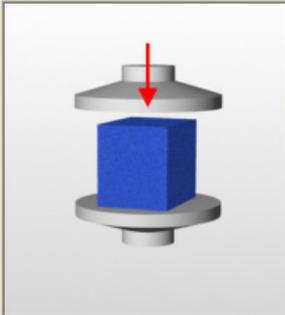
Eingabe bzw. Auswahl des Prüfplatzes

< Zurück Weiter > Beenden Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- Ergebnisauswahl
- Toleranzen
- Probandaten
- Vorkraft
- Prüfung / Prüfungsende
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Hier parametrisieren Sie das Prüfverfahren.



Versuchsart: Druckversuch

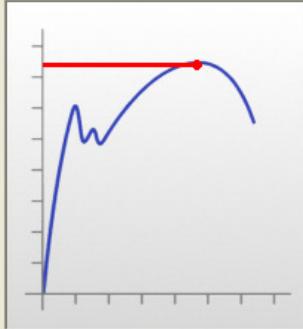
Auswahl der Versuchsart

< Zurück Weiter > Beenden Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- Ergebnisauswahl ✓
- Toleranzen
- Probendaten
- Vorkraft
- Prüfung / Prüfungsende
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Wählen Sie die gewünschten Ergebnisse!



Gewählte Ergebnisse:

<input checked="" type="checkbox"/>	Fmax	N
<input type="checkbox"/>	FBruch	N/mm <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/>	ε-F max	mm
<input type="checkbox"/>	ε-Bruch	%
<input type="checkbox"/>	Probe in Unterserie	
<input type="checkbox"/>	Unterserie	
<input type="checkbox"/>	L0	mm
<input type="checkbox"/>	WBruch	Nmm
<input type="checkbox"/>	WRm	Nmm
<input type="checkbox"/>	Datum	
<input type="checkbox"/>	Uhrzeit	
<input type="checkbox"/>	At	%
<input type="checkbox"/>	Agt	%
<input type="checkbox"/>	Bezeichnung der Unterserie	
<input type="checkbox"/>	lv1	mm

Auch Parameter anzeigen  
 Nur Ausgewählte anzeigen

Kraftmaximum:    
 Nachkommastellen:

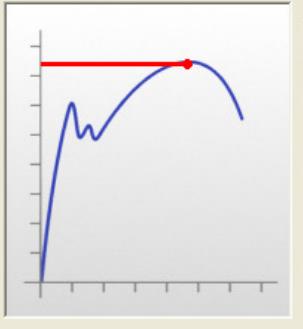
Welche Ergebnisse sollen von testXpert ermittelt werden?

< Zurück Weiter > Beenden Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- Ergebnisauswahl ✓
- Toleranzen ✓
- Probendaten
- Vorkraft
- Prüfung / Prüfungsende
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Geben Sie die Toleranzen für die Ergebnisse vor.



Fmax (Kraftmaximum)

ε-F max (Dehnung bei Fmax)

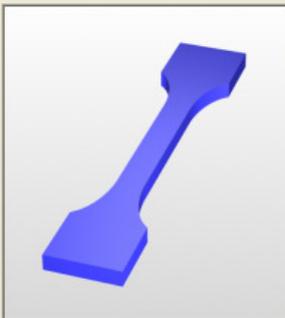
Wählen Sie die Art der Toleranzvorgabe für das Ergebnis "Fmax" aus.

< Zurück Weiter > Beenden Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- ErgebnisAuswahl ✓
- Toleranzen ✓
- Probendaten ✓
- Vorkraft ✓
- Prüfung / Prüfungsende
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Hier parametrisieren Sie die Probe.



Probenform für Querschnittsberechnung Flachprobe ▾

Probendicke a0 20 mm ▾

Probenbreite b0 40 mm ▾

negativer Querschnittskorrekturwert 0,000 mm<sup>2</sup> ▾

Querschnittskorrekturfaktor 1

Eingabeaufforderung vor Prüfung Keine ▾

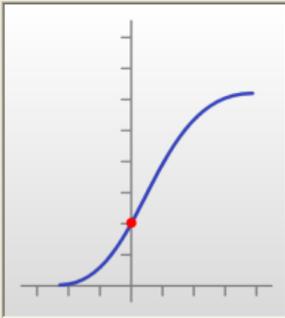
Auswahlmöglichkeit der Probenform.

< Zurück
Weiter >
Beenden
Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- ErgebnisAuswahl ✓
- Toleranzen ✓
- Probendaten ✓
- Vorkraft ✓
- Prüfung / Prüfungsende
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Hier parametrisieren Sie die Prüfungsphase bis zur Vorkraft.



Vorkraft 5 N ▾

Vorkraft-Geschwindigkeit 10 mm/min ▾

Vorkraft Haltezeitmodus keine Haltezeit ▾

Zeit bis Vorkraft 60 s ▾

Kraft nullen nach Vorkraft

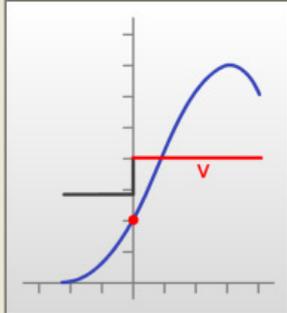
Nach Erreichen der Vorkraft wird die eigentliche Prüfung begonnen.

< Zurück
Weiter >
Beenden
Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- ErgebnisAuswahl ✓
- Toleranzen ✓
- Probendaten ✓
- Vorkraft ✓
- Prüfung / Prüfungsende** ✓
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Hier parametrisieren Sie die Prüfgeschwindigkeit und Prüfungsendekriterien.



Prüfgeschwindigkeit kraftgeregelt 200 N/s

Verzögerung bei Geschwindigkeitsumschaltung 1

Kraftabschaltswelle 50 %Fmax

max. zeitlicher Kraftabfall 1 N

max. Längenänderung Dehnung 5 mm

obere Kraftgrenze 800 N

maximale Versuchsdauer 1 min

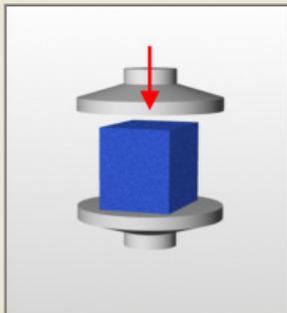
Geschwindigkeit der Fahrtraverse bis zum Ende der Prüfung.

< Zurück
Weiter >
Beenden
Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- ErgebnisAuswahl ✓
- Toleranzen ✓
- Probendaten ✓
- Vorkraft ✓
- Prüfung / Prüfungsende ✓
- LE-Positionen** ✓
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Hier parametrisieren Sie LE-Position und Vorlaufweg.



Einspannlänge A 673,1 mm

LE übernehmen

LE-Geschwindigkeit 500 mm/min

Einspannlänge nach Vorlaufweg A 100 mm

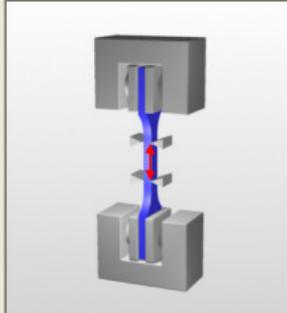
Durch Betätigen des Aktionsbuttons wird der aktuelle Wert der Maschine übernommen.

< Zurück
Weiter >
Beenden
Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- Ergebnisauswahl ✓
- Toleranzen ✓
- Probandaten ✓
- Vorkraft ✓
- Prüfung / Prüfungsende ✓
- LE-Positionen ✓
- Dehnungsaufnehmer** ✓
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Hier parametrisieren Sie die Messlänge.



Messlänge korrigieren

Messlänge Traversenweg

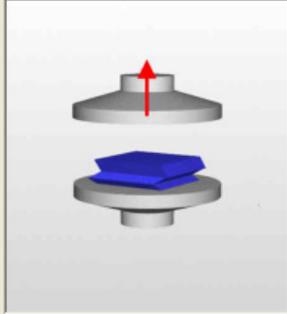
Die Messlänge wird nach der Vorkraft neu ermittelt und korrigiert.

< Zurück Weiter > Beenden Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- Ergebnisauswahl ✓
- Toleranzen ✓
- Probandaten ✓
- Vorkraft ✓
- Prüfung / Prüfungsende ✓
- LE-Positionen ✓
- Dehnungsaufnehmer ✓
- Aktionen nach Prüfung** ✓
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Hier parametrisieren Sie alle Aktionen, die nach der Prüfung ausgeführt werden.



LE einstellen nach Prüfung

Probe entlasten

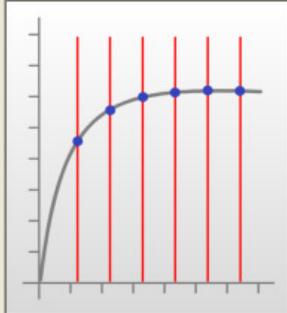
LE einstellen nach der Prüfung. Vorsicht bei steifen Proben besteht Zerstörungsgefahr.

< Zurück Weiter > Beenden Hilfe

Übersicht:

- Einrichten
- Versuchsdefinition
- Ergebniswahl
- Toleranzen
- Probandaten
- Vorkraft
- Prüfung / Prüfungsende
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Hier parametrisieren Sie das Messwertspeicherraster.



- TRS - Wegintervall bis Bruch
- TRS - Zeitintervall
- TRS - Kraftintervall

TRS - Wegspeicherraster von Ende Streckgrenzenermittlung bis Bruch

< Zurück
Weiter >
Beenden
Hilfe

Übersicht:

- Einrichten
- Versuchsdefinition
- Ergebniswahl
- Toleranzen
- Probandaten
- Vorkraft
- Prüfung / Prüfungsende
- LE-Positionen
- Dehnungsaufnehmer
- Aktionen nach Prüfung
- Messwertspeicher
- Parameter fürs Protokoll
- Regelparameter

Diese Parameter erscheinen im Standardprotokoll



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 145660 WN:124473  
 Traversenwegaufnehmer WN:124473  
 Kraftsensor ID:0 WN:124474 20 kN

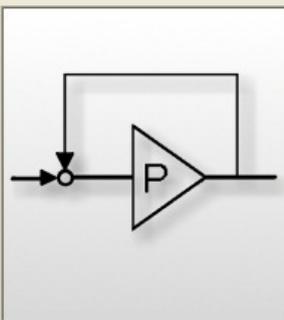
Name des Kunden

< Zurück
Weiter >
Beenden
Hilfe

Übersicht:

- Einrichten ✓
- Versuchsdefinition ✓
- Ergebnisauswahl ✓
- Toleranzen ✓
- Probanddaten ✓
- Vorkraft ✓
- Prüfung / Prüfungsende ✓
- LE-Positionen ✓
- Dehnungsaufnehmer ✓
- Aktionen nach Prüfung ✓
- Messwertspeicher ✓
- Parameter fürs Protokoll ✓
- Regelparameter ✓

Hier parametrisieren Sie die Regelfaktoren der Maschine.

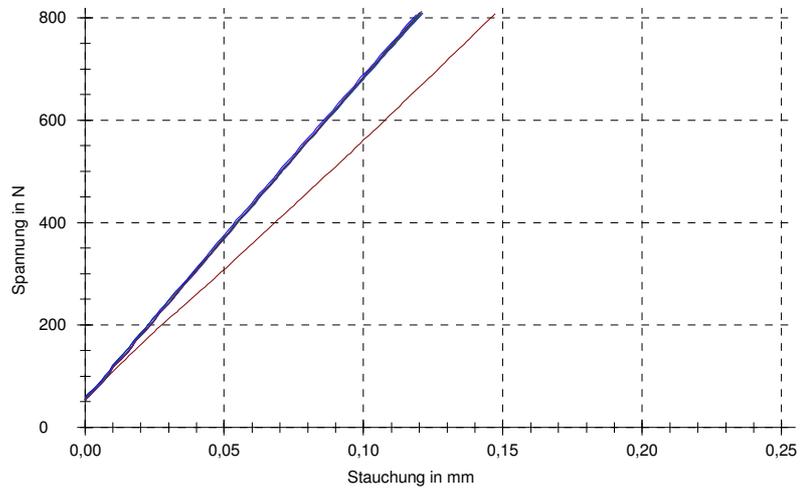
 **Kreisverstärkung Kraftregelung**

P-Anteil der Kraftregelung.

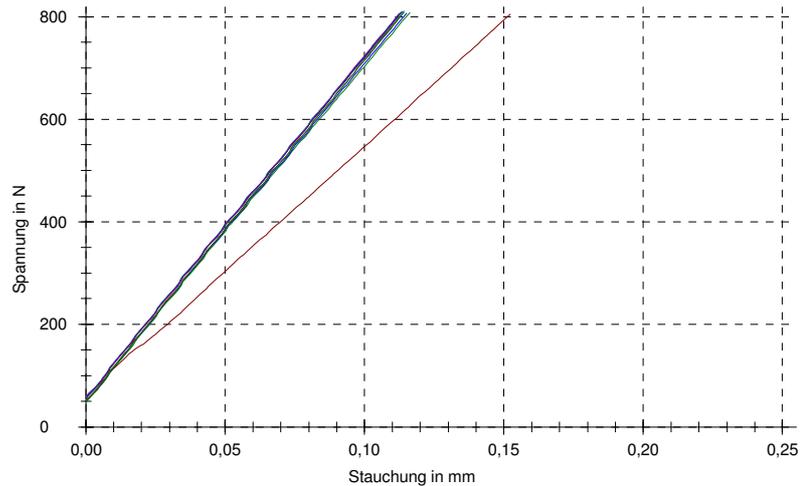
## Anhang D Messwerte der Universalprüfmaschine

## Messwerte vom Holz „Ganz“

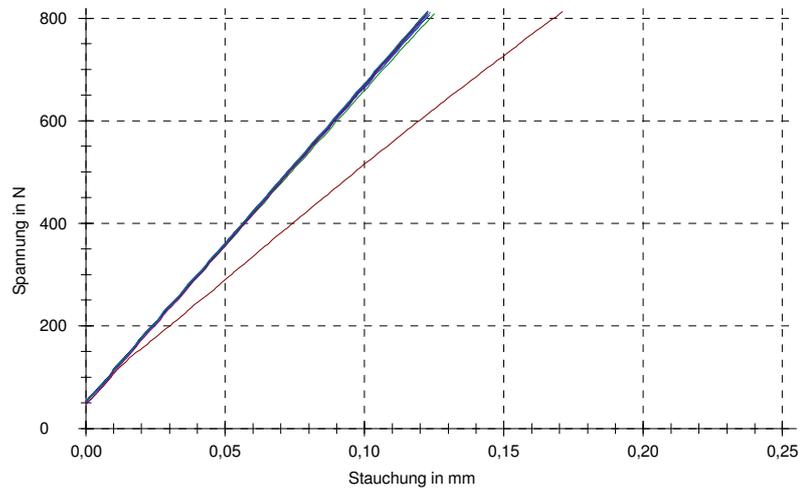
	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	808,39	0,15
2	804,48	0,12
3	810,37	0,12
4	808,39	0,12
5	809,99	0,12
6	812,96	0,12
7	810,34	0,12
8	806,40	0,12
9	811,49	0,12
10	810,10	0,12



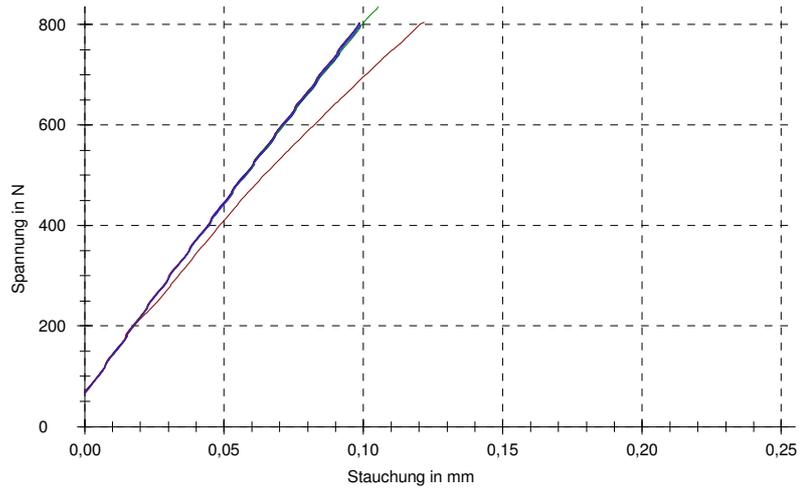
	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	805,39	0,15
2	807,87	0,12
3	806,79	0,12
4	810,84	0,11
5	810,24	0,11
6	802,95	0,11
7	808,95	0,11
8	809,16	0,11
9	809,65	0,11
10	804,87	0,11



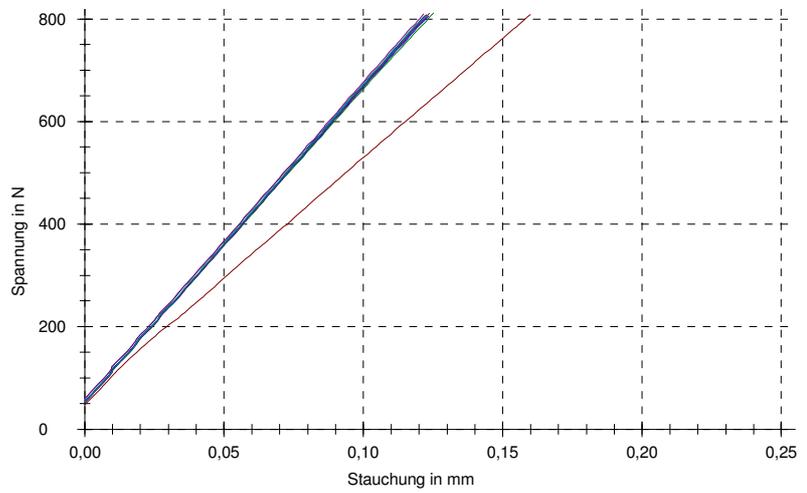
	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	813,06	0,17
2	809,33	0,13
3	806,55	0,12
4	811,77	0,12
5	808,11	0,12
6	811,11	0,12
7	809,96	0,12
8	814,11	0,12
9	811,25	0,12
10	804,73	0,12



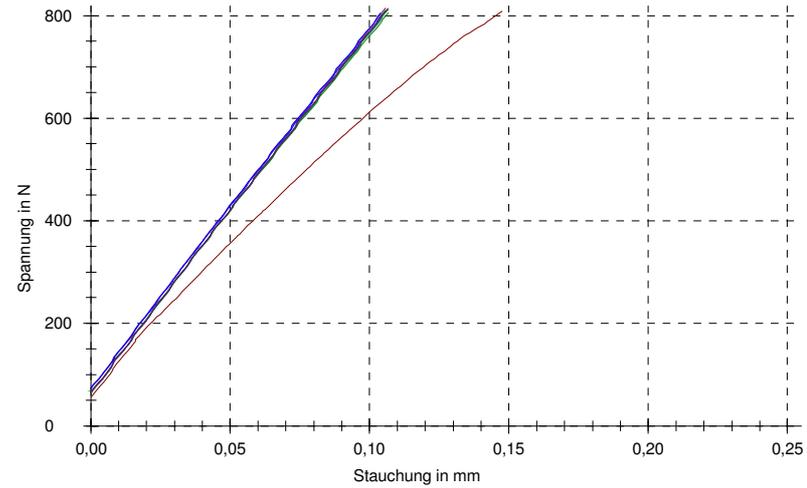
4	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	804,81	0,12
2	836,48	0,11
3	800,48	0,10
4	802,54	0,10
5	803,31	0,10
6	804,18	0,10
7	804,14	0,10
8	804,04	0,10
9	802,05	0,10
10	802,71	0,10



5	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	809,40	0,16
2	812,16	0,13
3	806,20	0,12
4	807,45	0,12
5	811,04	0,12
6	808,39	0,12
7	807,84	0,12
8	804,11	0,12
9	806,41	0,12
10	809,89	0,12

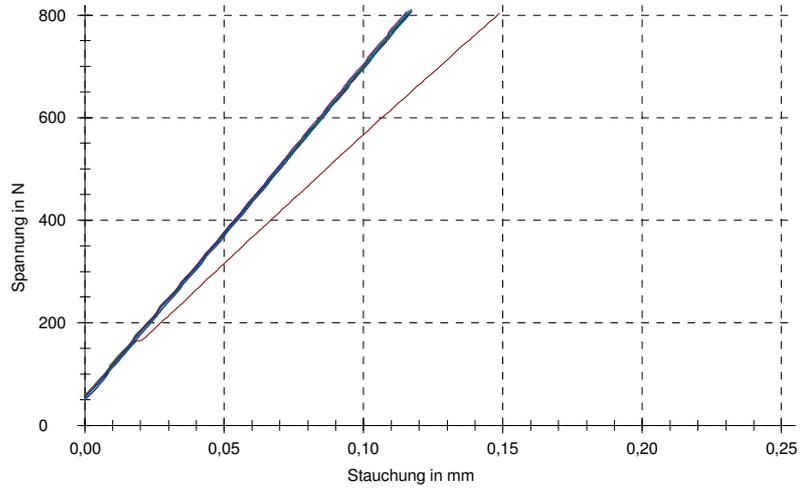


6	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	809,30	0,15
2	805,67	0,11
3	809,86	0,11
4	812,47	0,11
5	815,01	0,11
6	814,67	0,11
7	812,33	0,11
8	805,26	0,10
9	806,41	0,11
10	803,13	0,10

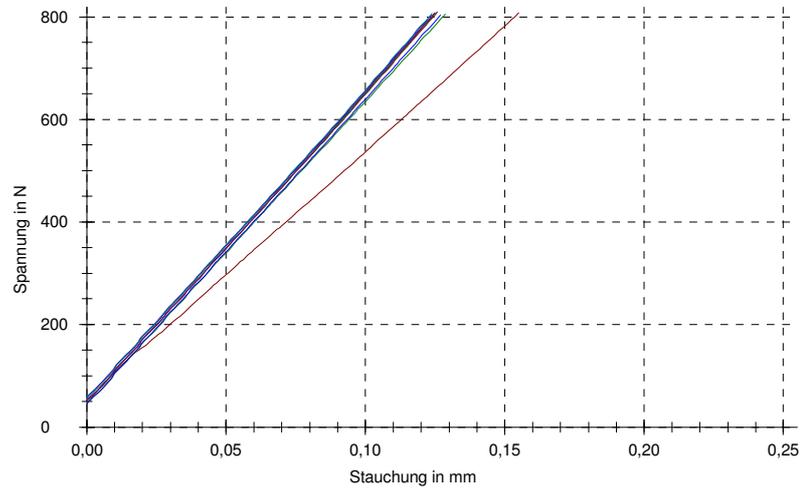


Messwerte vom Holz „Halb“

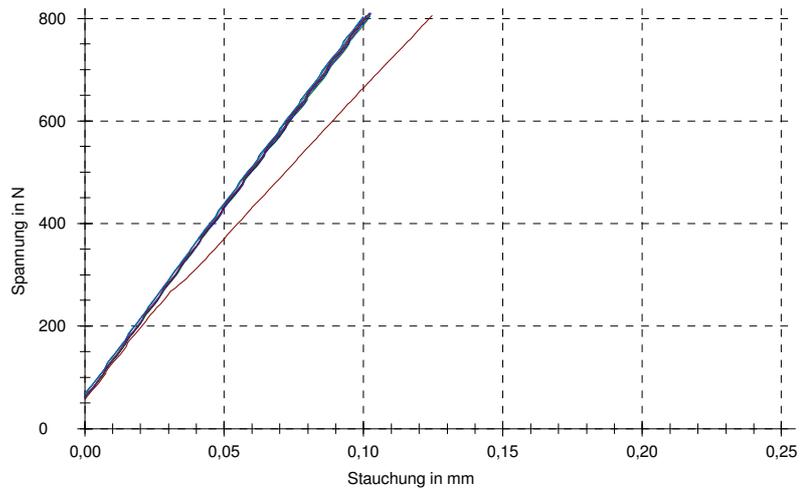
<b>1</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	803,66	0,15
2	805,06	0,12
3	803,07	0,12
4	808,30	0,12
5	805,51	0,12
6	807,98	0,12
7	809,94	0,12
8	811,12	0,12
9	807,08	0,12
10	807,04	0,12



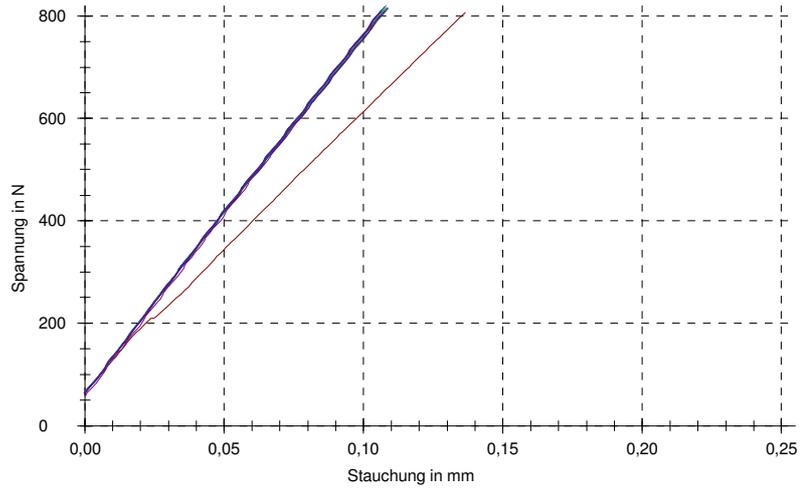
<b>2</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	807,74	0,16
2	806,38	0,13
3	804,32	0,13
4	804,39	0,12
5	806,17	0,12
6	809,73	0,13
7	809,48	0,13
8	804,11	0,12
9	807,15	0,12
10	808,19	0,12



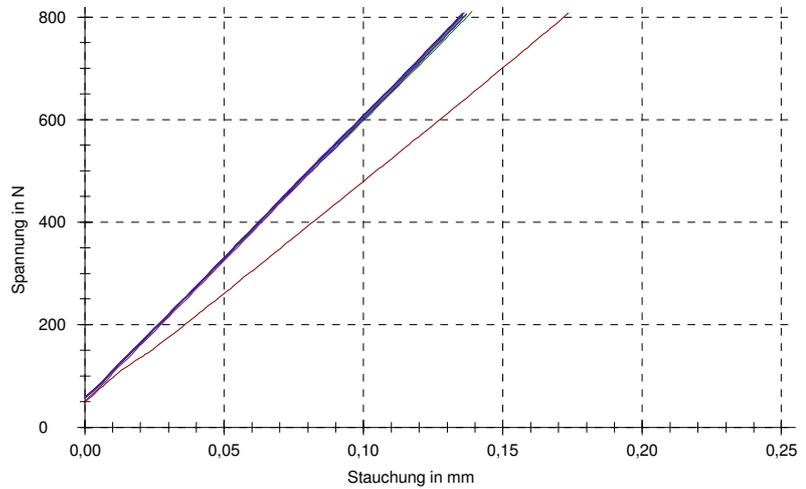
<b>3</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	806,02	0,12
2	804,80	0,10
3	810,45	0,10
4	804,66	0,10
5	811,49	0,10
6	810,07	0,10
7	809,37	0,10
8	803,09	0,10
9	803,86	0,10
10	805,99	0,10



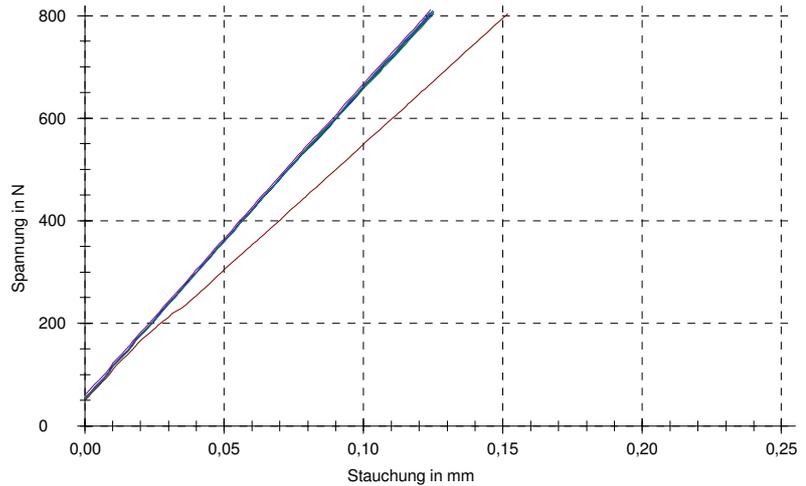
4	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	807,41	0,14
2	815,05	0,11
3	809,85	0,11
4	816,65	0,11
5	816,13	0,11
6	810,13	0,11
7	818,08	0,11
8	811,63	0,11
9	820,70	0,11
10	808,63	0,11



5	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	808,14	0,17
2	811,11	0,14
3	807,06	0,14
4	803,19	0,14
5	804,31	0,14
6	804,52	0,14
7	805,32	0,14
8	809,12	0,14
9	807,41	0,14
10	808,42	0,14

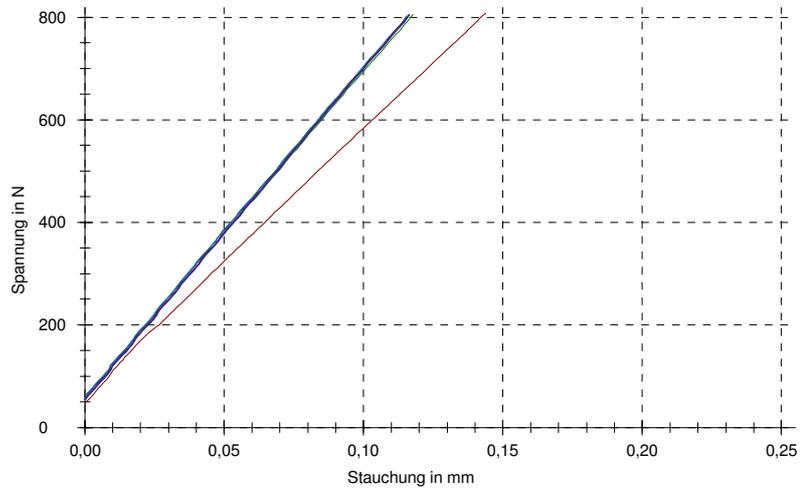


6	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	804,00	0,15
2	804,28	0,13
3	808,22	0,13
4	806,27	0,12
5	804,80	0,12
6	806,13	0,12
7	809,02	0,12
8	805,26	0,12
9	809,75	0,12
10	811,84	0,12

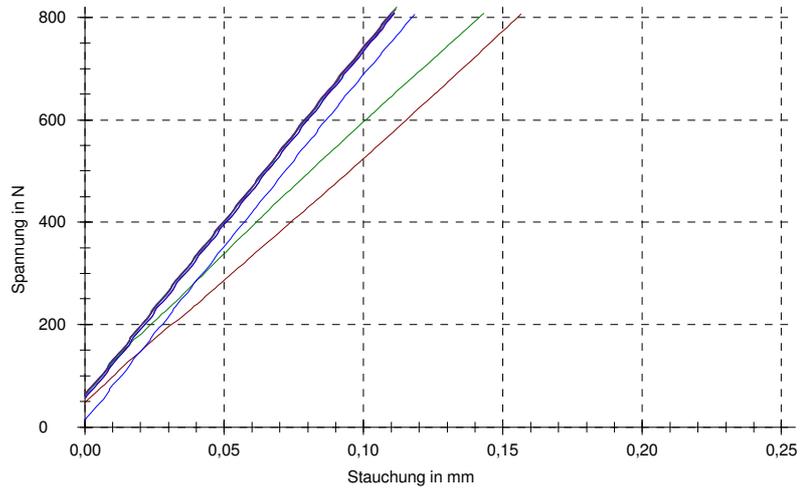


Messwerte vom Holz „Steg 20“

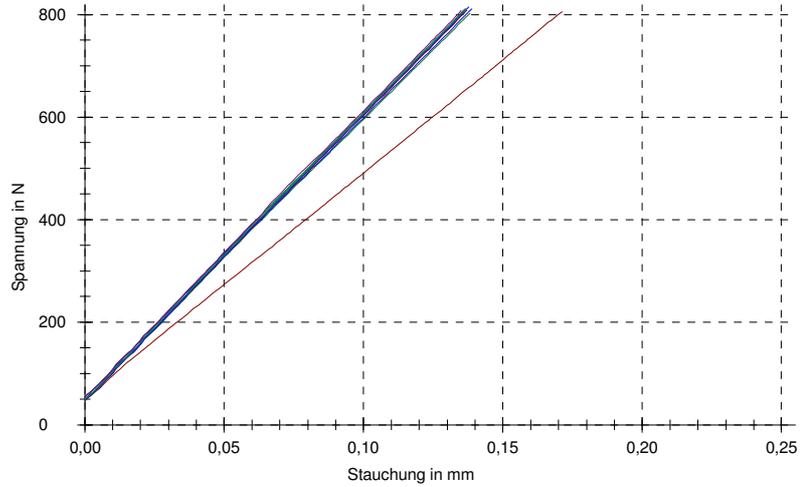
<b>1</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	808,51	0,14
2	806,52	0,12
3	806,42	0,12
4	803,17	0,12
5	804,67	0,12
6	804,71	0,12
7	803,80	0,12
8	805,02	0,12
9	803,66	0,12
10	805,27	0,12



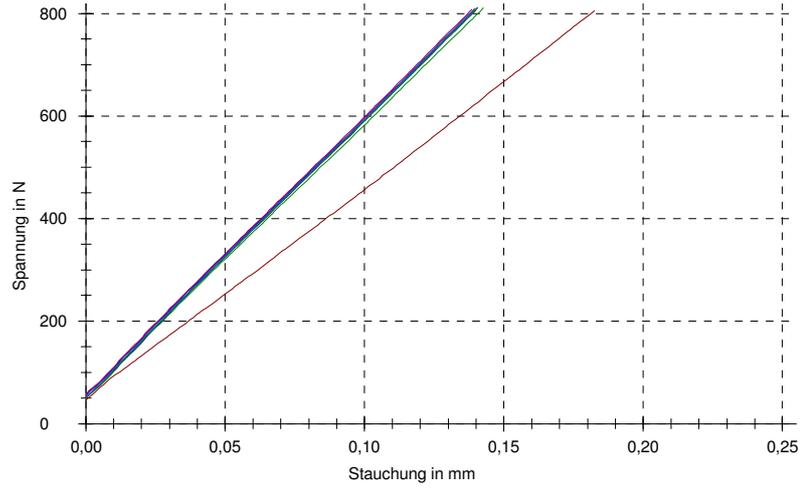
<b>2</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	807,39	0,16
2	808,44	0,14
3	805,58	0,12
4	810,39	0,11
5	816,60	0,11
6	808,09	0,11
7	820,09	0,11
8	808,79	0,11
9	811,41	0,11
10	807,60	0,11



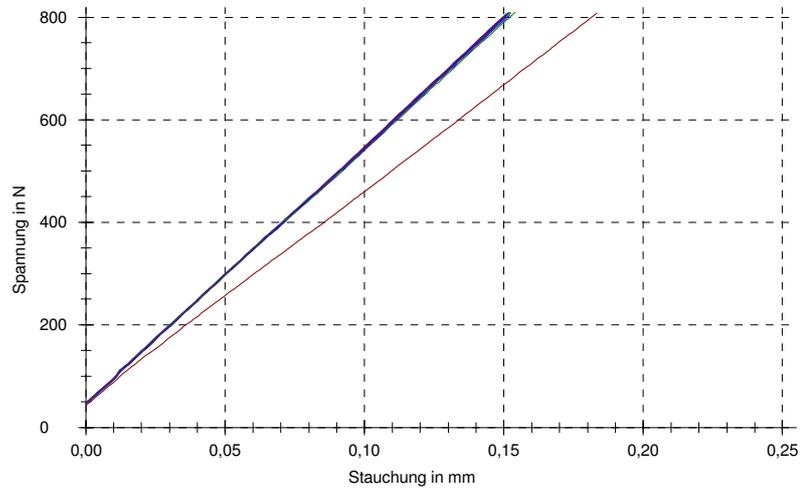
<b>3</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	805,86	0,17
2	803,14	0,14
3	811,44	0,14
4	805,86	0,14
5	803,35	0,14
6	809,45	0,14
7	811,68	0,14
8	815,83	0,14
9	811,86	0,14
10	807,77	0,14



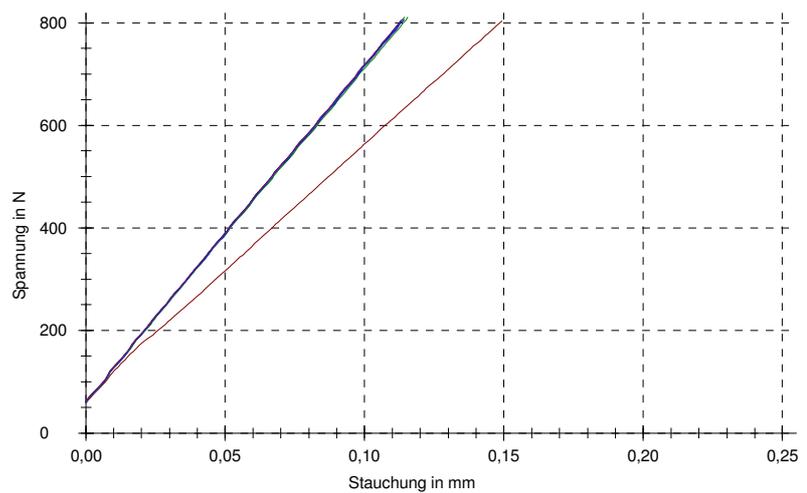
4	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	805,77	0,18
2	811,14	0,14
3	805,21	0,14
4	804,65	0,14
5	809,78	0,14
6	810,96	0,14
7	812,22	0,14
8	805,21	0,14
9	811,73	0,14
10	808,56	0,14



5	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	807,88	0,18
2	810,56	0,15
3	804,46	0,15
4	809,03	0,15
5	803,56	0,15
6	810,56	0,15
7	809,48	0,15
8	809,62	0,15
9	807,98	0,15
10	804,18	0,15

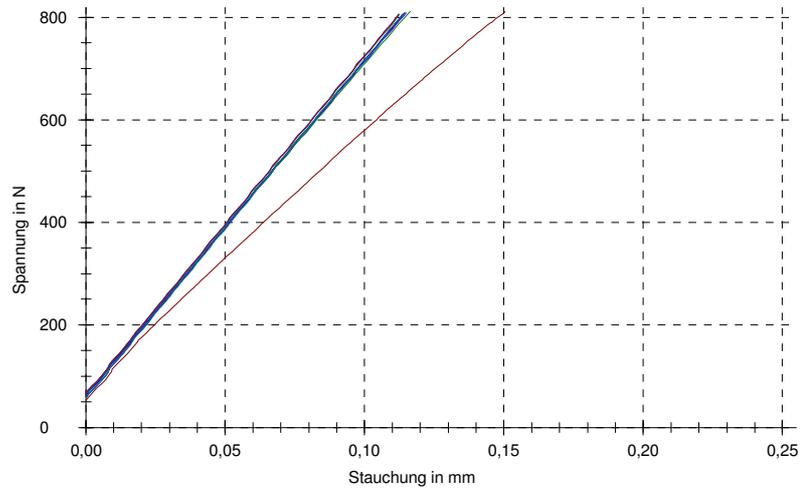


6	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	803,98	0,15
2	810,82	0,12
3	807,02	0,11
4	804,12	0,11
5	807,47	0,11
6	802,45	0,11
7	810,82	0,11
8	802,62	0,11
9	805,45	0,11
10	805,27	0,11

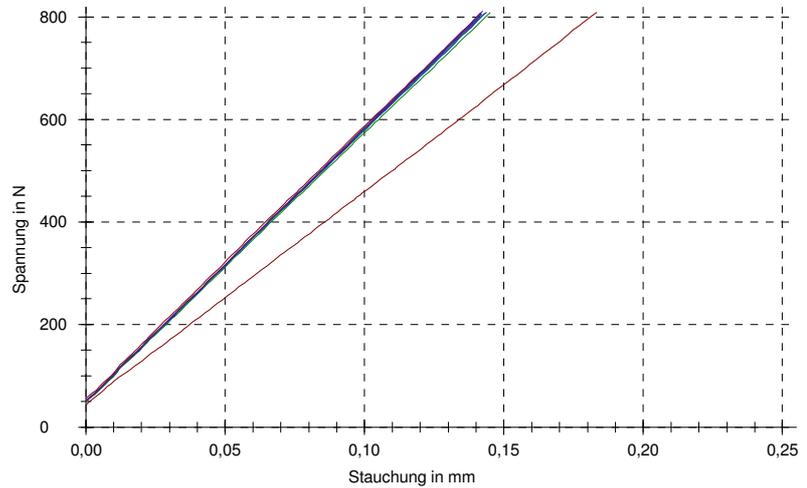


Messwerte vom Holz „Steg 10“

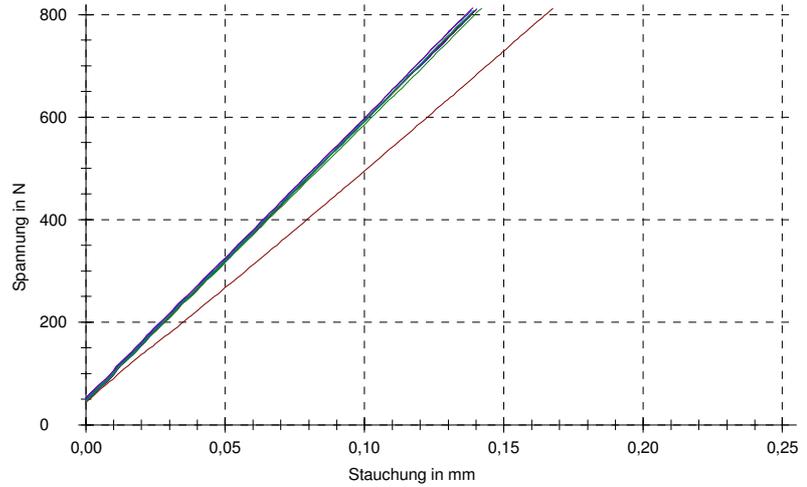
<b>1</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	810,81	0,15
2	811,82	0,12
3	809,00	0,11
4	810,25	0,11
5	807,92	0,11
6	803,80	0,11
7	806,52	0,11
8	803,31	0,11
9	806,84	0,11
10	806,70	0,11



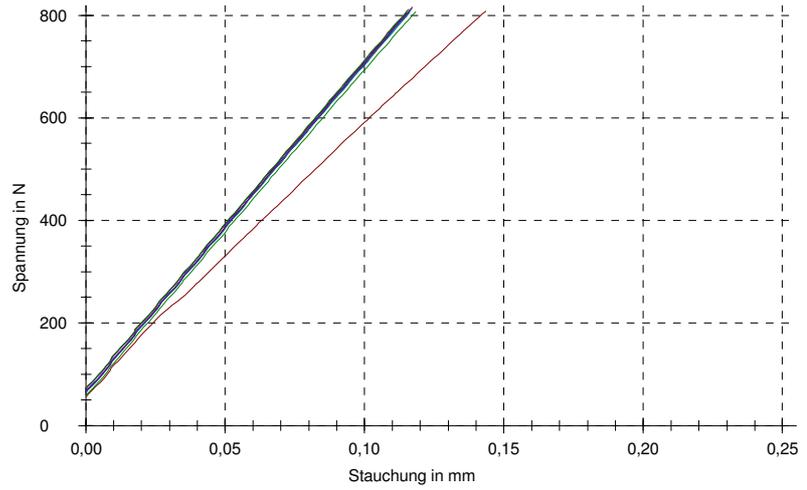
<b>2</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	808,85	0,18
2	808,32	0,15
3	809,20	0,14
4	806,82	0,14
5	805,19	0,14
6	806,82	0,14
7	806,16	0,14
8	806,48	0,14
9	808,15	0,14
10	811,11	0,14



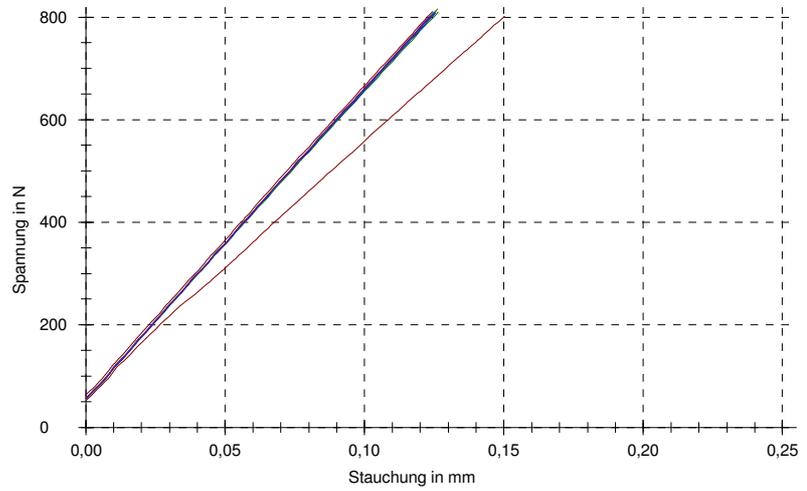
<b>3</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	812,02	0,17
2	812,68	0,14
3	811,36	0,14
4	807,49	0,14
5	809,54	0,14
6	806,58	0,14
7	805,92	0,14
8	809,58	0,14
9	808,60	0,14
10	813,66	0,14



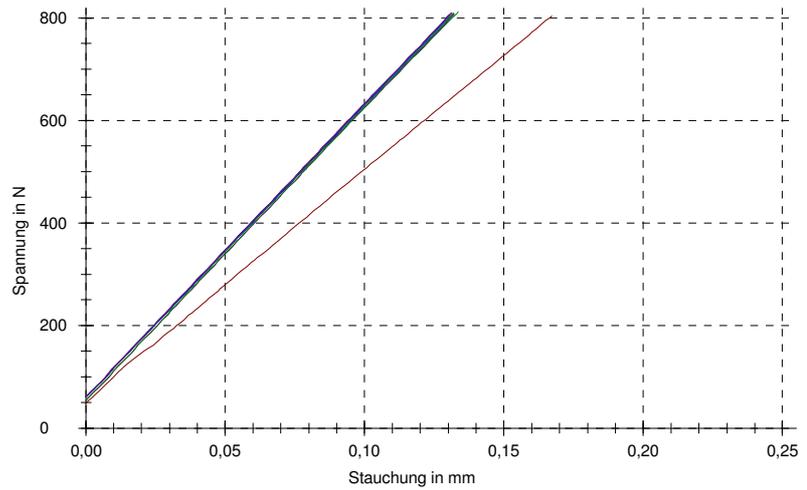
4	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	808,50	0,14
2	807,31	0,12
3	803,76	0,12
4	805,01	0,12
5	808,50	0,12
6	807,70	0,12
7	812,47	0,12
8	809,58	0,12
9	813,34	0,12
10	816,90	0,12



5	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	802,19	0,15
2	809,79	0,13
3	807,73	0,13
4	809,30	0,13
5	812,02	0,13
6	811,64	0,12
7	816,38	0,13
8	809,09	0,12
9	808,99	0,12
10	802,92	0,12

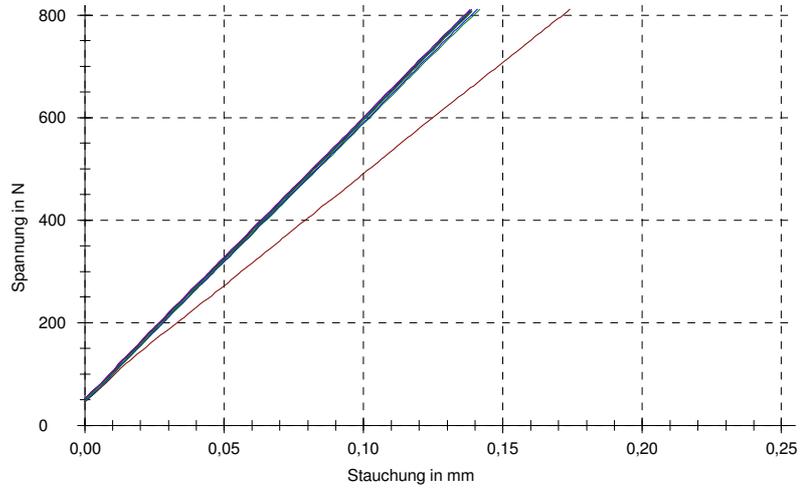


6	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	804,26	0,17
2	812,55	0,13
3	809,07	0,13
4	810,18	0,13
5	806,00	0,13
6	810,29	0,13
7	808,16	0,13
8	804,75	0,13
9	806,07	0,13
10	810,60	0,13

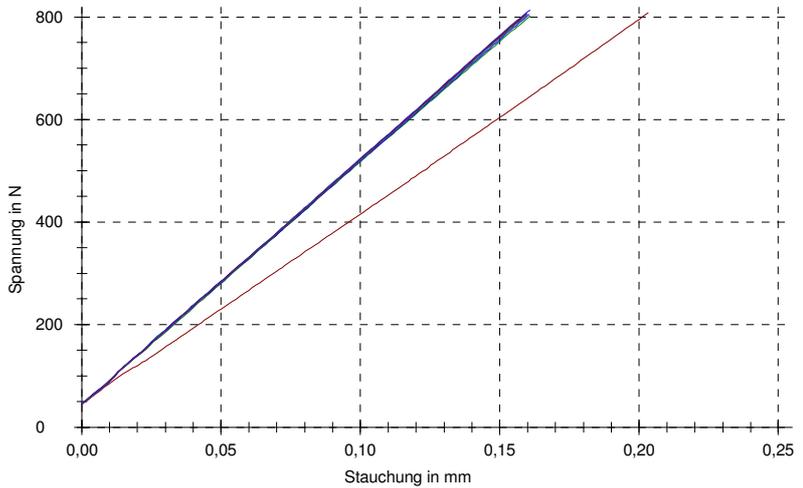


Messwerte vom Holz „Steg 5“

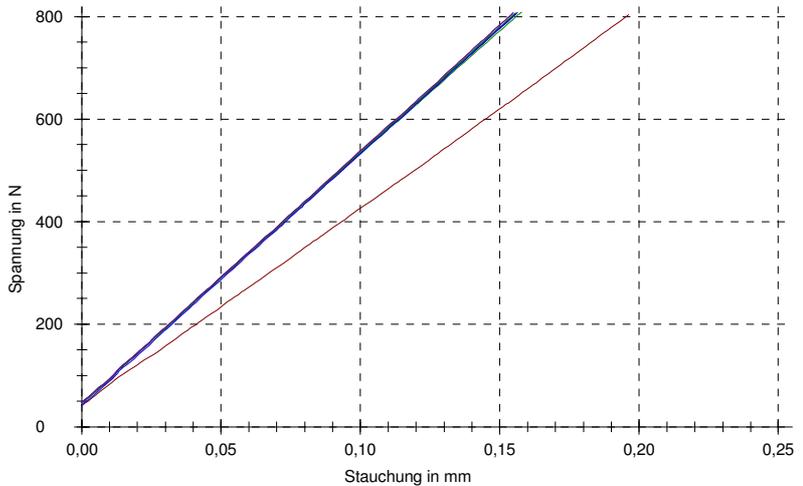
<b>1</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	812,45	0,17
2	811,62	0,14
3	811,79	0,14
4	807,23	0,14
5	808,38	0,14
6	807,85	0,14
7	808,03	0,14
8	811,13	0,14
9	803,88	0,14
10	811,51	0,14



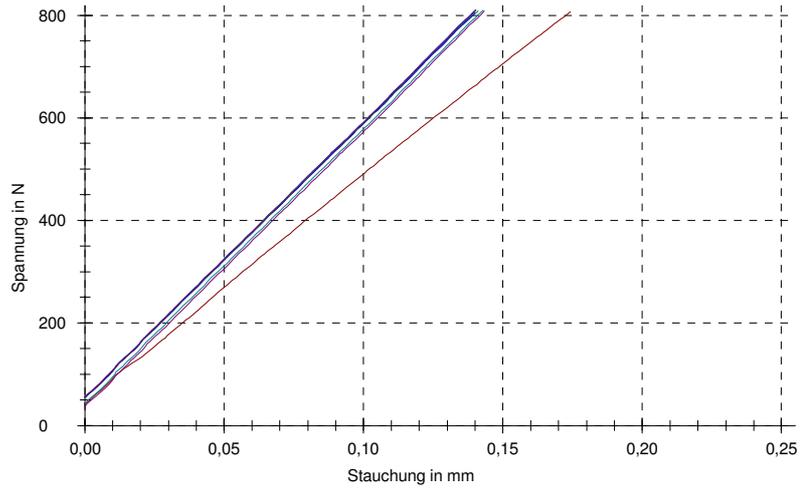
<b>2</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	807,87	0,20
2	803,23	0,16
3	805,50	0,16
4	803,97	0,16
5	807,35	0,16
6	806,13	0,16
7	805,67	0,16
8	813,73	0,16
9	806,96	0,16
10	805,99	0,16



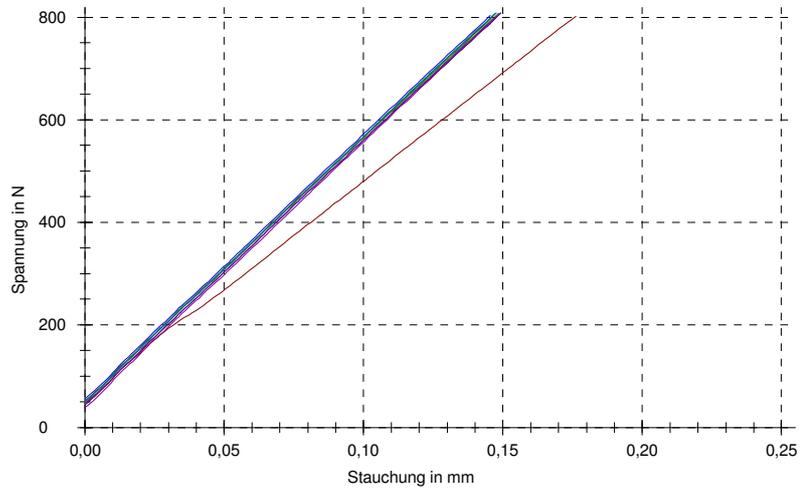
<b>3</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	803,69	0,20
2	809,68	0,16
3	808,15	0,16
4	807,24	0,16
5	807,21	0,16
6	806,20	0,16
7	807,59	0,16
8	805,22	0,16
9	806,23	0,15
10	808,50	0,15



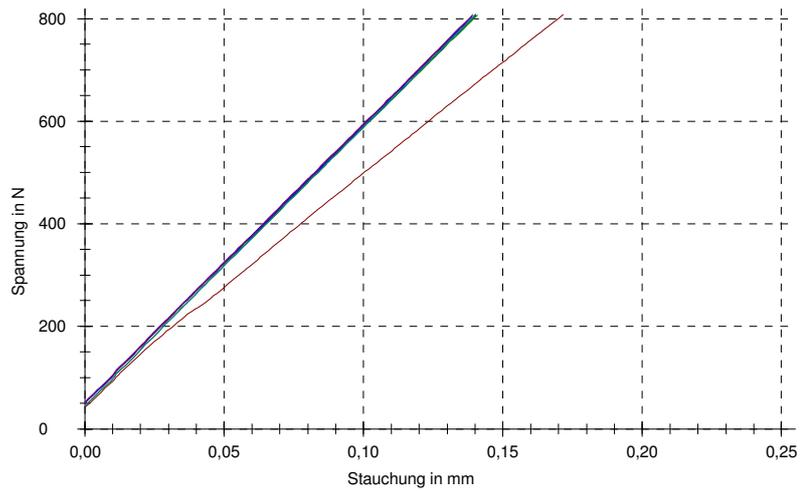
4	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	807,10	0,17
2	809,13	0,14
3	805,01	0,14
4	810,66	0,14
5	808,85	0,14
6	805,53	0,14
7	810,38	0,14
8	810,90	0,14
9	811,22	0,14
10	809,16	0,14



5	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	802,46	0,18
2	807,98	0,15
3	809,27	0,15
4	808,88	0,15
5	803,44	0,15
6	803,86	0,15
7	807,87	0,15
8	803,65	0,15
9	807,24	0,15
10	808,05	0,15

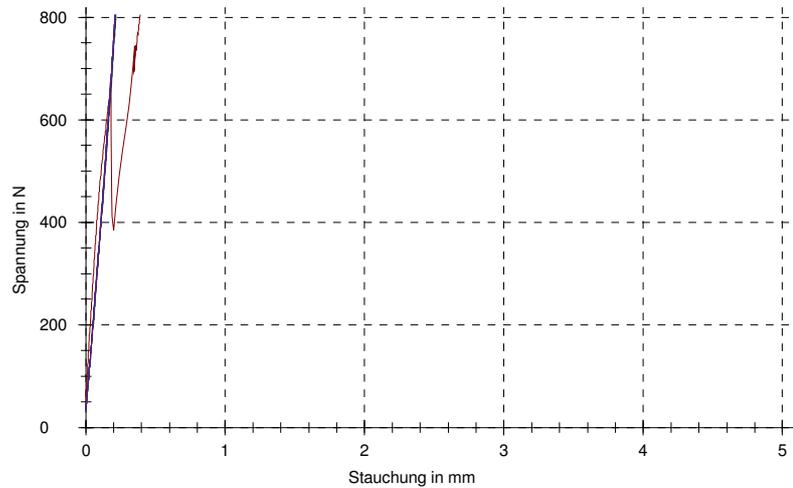


6	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	808,15	0,17
2	807,14	0,14
3	807,07	0,14
4	809,68	0,14
5	805,71	0,14
6	803,79	0,14
7	808,04	0,14
8	805,01	0,14
9	804,94	0,14
10	808,08	0,14

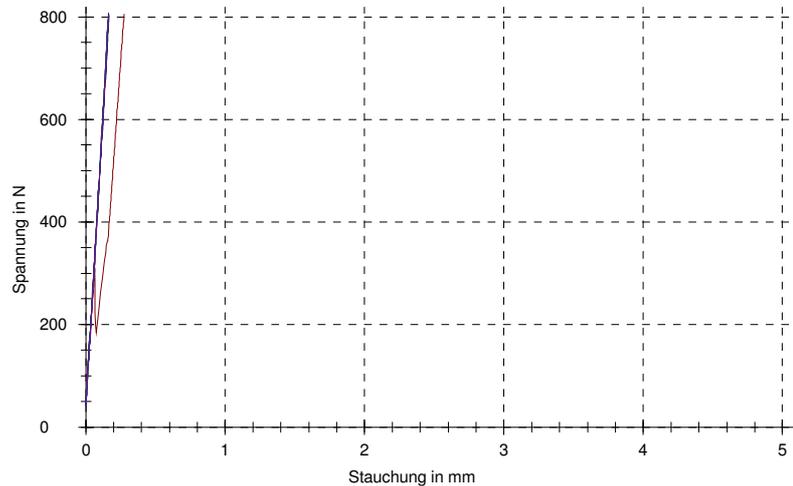


## Messwerte vom Holz „Winkel 22,5“

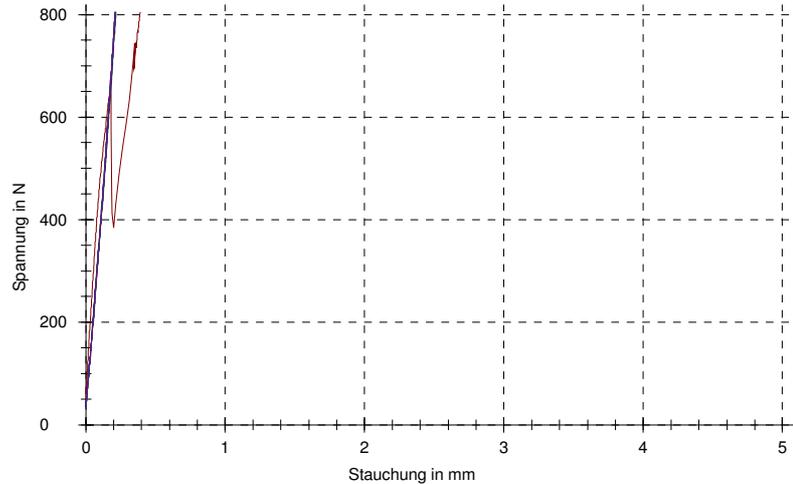
<b>1</b>	Fmax	$\varepsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	804,55	0,39
2	805,39	0,22
3	801,80	0,21
4	803,75	0,21
5	801,83	0,21
6	802,39	0,21
7	803,89	0,21
8	804,94	0,21
9	804,73	0,21
10	806,40	0,21



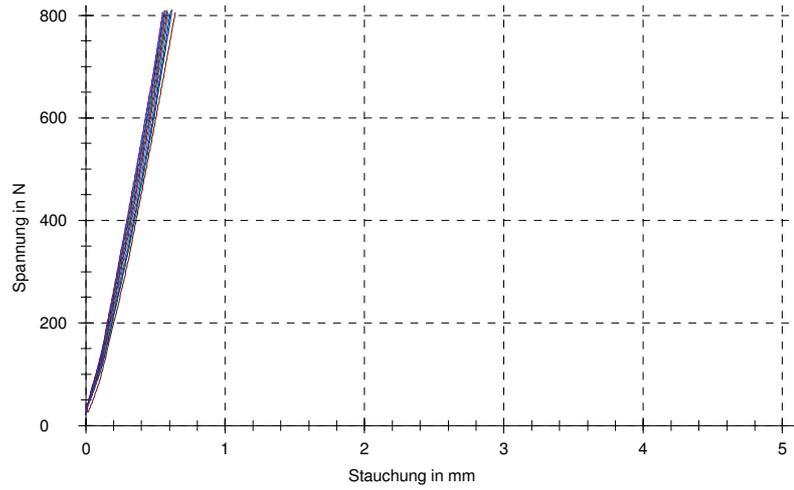
<b>2</b>	Fmax	$\varepsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	805,60	0,28
2	804,49	0,17
3	802,57	0,17
4	804,94	0,16
5	805,78	0,16
6	806,34	0,16
7	805,26	0,16
8	807,87	0,16
9	805,67	0,16
10	805,64	0,16



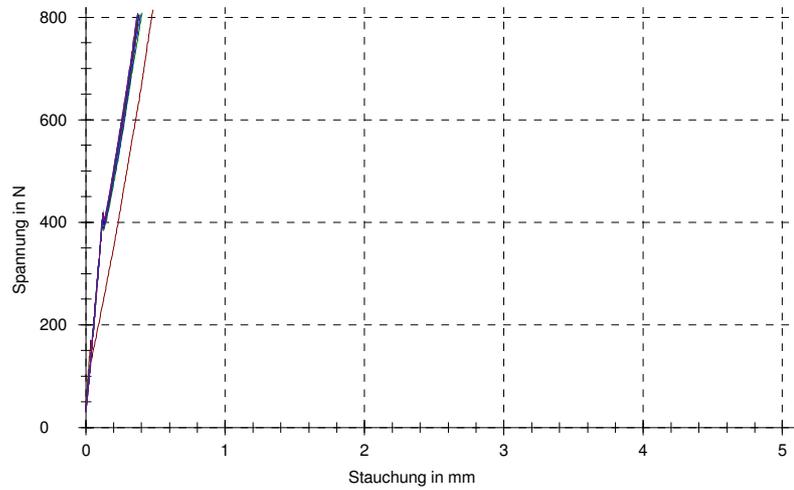
<b>3</b>	Fmax	$\varepsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	815,27	0,31
2	805,88	0,21
3	805,78	0,21
4	810,94	0,21
5	807,94	0,21
6	804,17	0,21
7	804,00	0,21
8	803,58	0,21
9	808,43	0,21
10	811,11	0,21



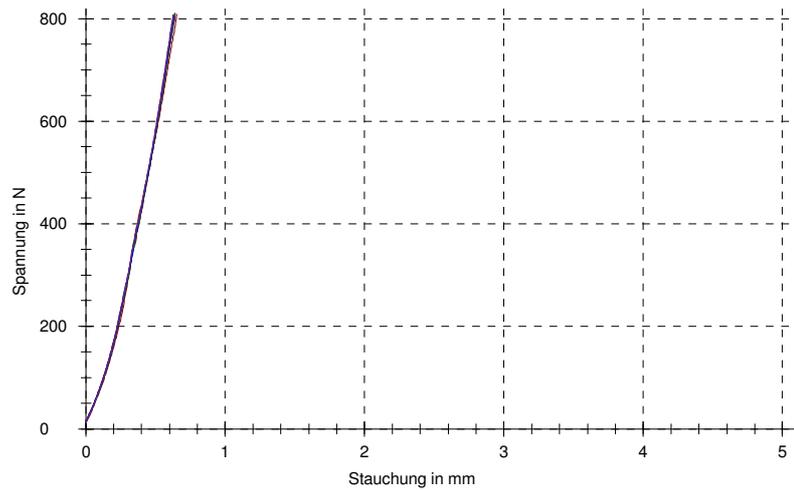
4	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	805,83	0,64
2	810,78	0,62
3	809,63	0,61
4	803,39	0,60
5	806,39	0,59
6	810,40	0,58
7	808,76	0,57
8	810,12	0,57
9	804,61	0,56
10	807,09	0,55



5	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	814,41	0,48
2	808,80	0,40
3	806,25	0,39
4	804,40	0,39
5	805,20	0,38
6	804,12	0,38
7	805,69	0,37
8	807,68	0,37
9	806,74	0,37
10	806,11	0,37

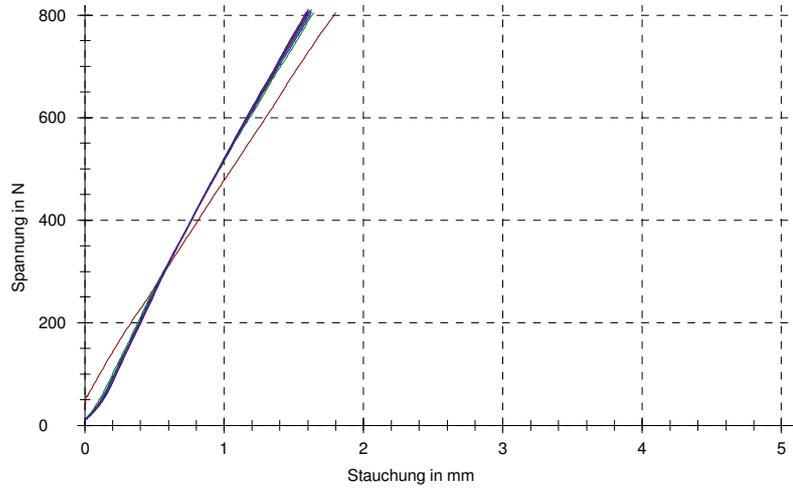


6	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	808,76	0,65
2	805,69	0,64
3	810,09	0,64
4	809,56	0,64
5	803,63	0,64
6	811,41	0,64
7	808,79	0,64
8	806,04	0,63
9	808,06	0,63
10	808,38	0,63

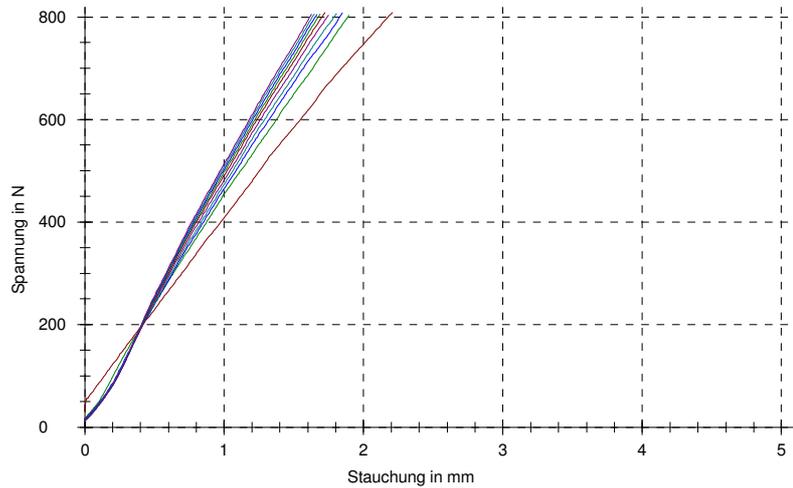


Messwerte vom Holz „Winkel 45“

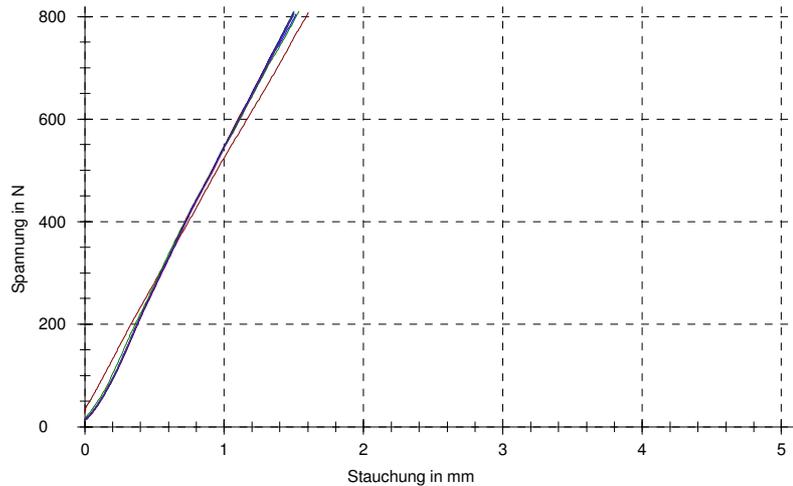
<b>1</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	805,02	1,80
2	805,54	1,64
3	806,52	1,63
4	810,74	1,63
5	810,53	1,62
6	808,82	1,61
7	806,66	1,60
8	811,99	1,61
9	804,91	1,59
10	806,83	1,59



<b>2</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	809,48	2,21
2	803,69	1,90
3	808,51	1,85
4	807,35	1,81
5	803,66	1,75
6	808,96	1,72
7	805,78	1,69
8	805,23	1,67
9	805,96	1,65
10	806,34	1,63

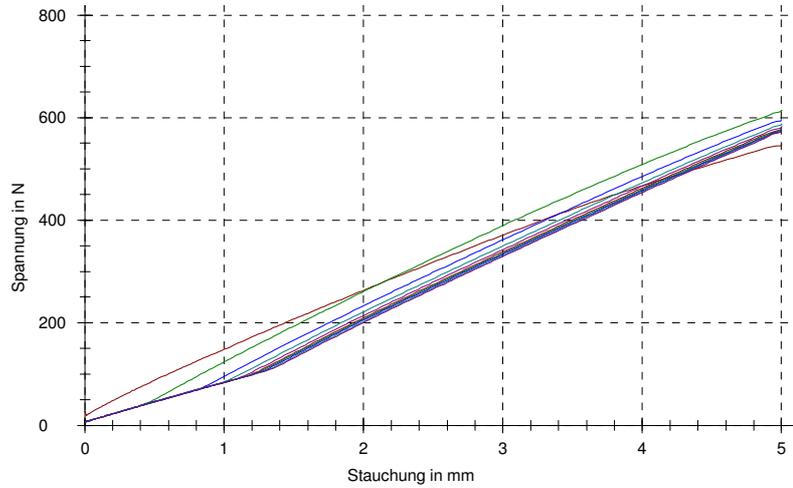


<b>3</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	808,08	1,61
2	810,28	1,54
3	804,70	1,52
4	806,16	1,51
5	806,48	1,50
6	806,23	1,49
7	810,28	1,50
8	809,44	1,50
9	808,81	1,50
10	807,52	1,50

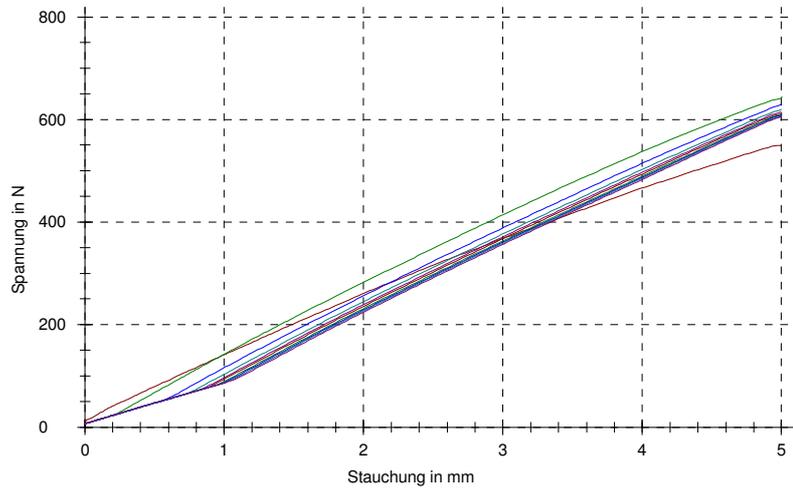


Messwerte vom Holz „Winkel 62,5“

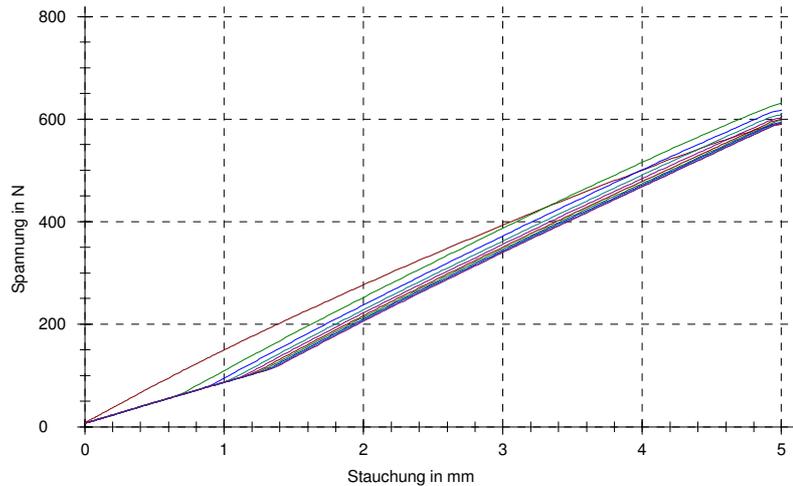
<b>1</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	548,12	5,00
2	615,47	5,00
3	596,60	5,00
4	587,18	5,00
5	583,17	5,00
6	577,80	5,00
7	577,49	5,00
8	576,34	5,00
9	573,72	5,00
10	572,85	5,00



<b>2</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	550,39	5,00
2	644,77	5,00
3	630,40	5,00
4	620,91	5,00
5	615,71	5,00
6	612,92	5,00
7	611,39	5,00
8	609,16	5,00
9	607,45	5,00
10	606,02	5,00

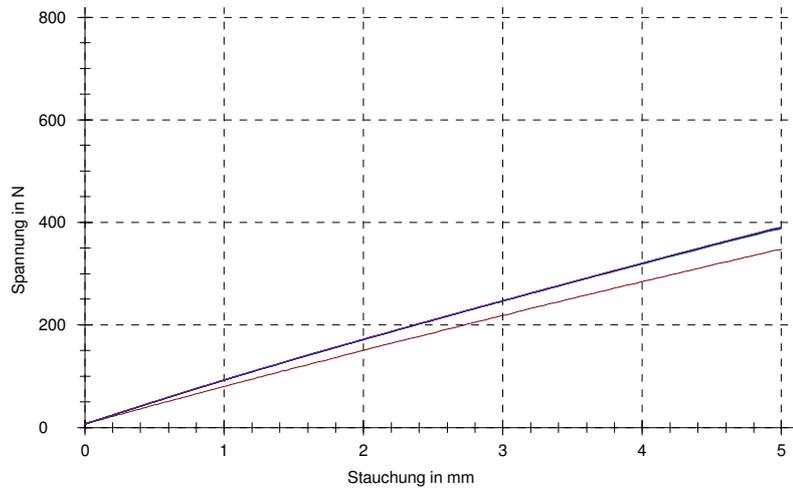


<b>3</b>	Fmax	ε-F max
Nr	N	mm
1	589,76	5,00
2	632,87	5,00
3	618,43	5,00
4	612,57	5,00
5	605,67	5,00
6	601,20	5,00
7	599,15	5,00
8	595,34	5,00
9	594,79	5,00
10	593,01	5,00

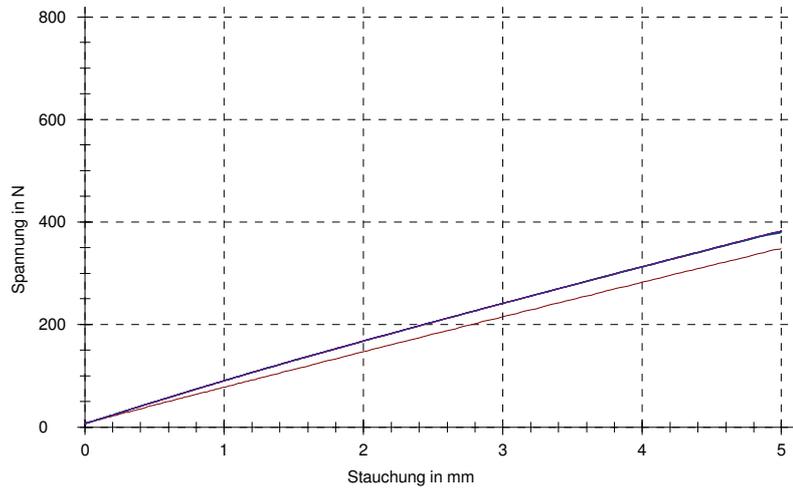


Messwerte vom Holz „Lücke“

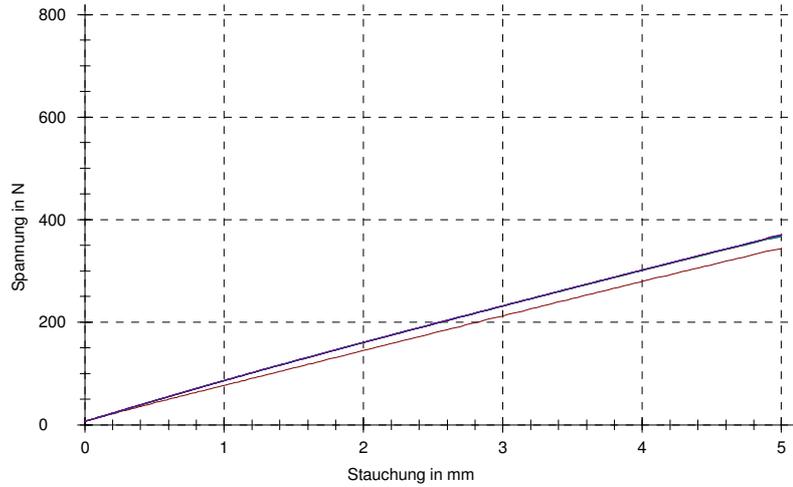
<b>1</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	347,29	5,00
2	388,79	5,00
3	389,28	5,00
4	390,22	5,00
5	390,57	5,00
6	390,57	5,00
7	390,78	5,00
8	391,62	5,00
9	391,30	5,00
10	390,50	5,00



<b>2</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	348,44	5,00
2	381,40	5,00
3	381,71	5,00
4	382,24	5,00
5	382,37	5,00
6	382,62	5,00
7	383,11	5,00
8	383,21	5,00
9	383,18	5,00
10	383,28	5,00



<b>3</b>	Fmax	$\epsilon$ -F max
Nr	N	mm
1	344,64	5,00
2	368,56	5,00
3	370,10	5,00
4	369,43	5,00
5	369,75	5,00
6	369,75	5,00
7	371,07	5,00
8	369,92	5,00
9	370,13	5,00
10	371,11	5,00

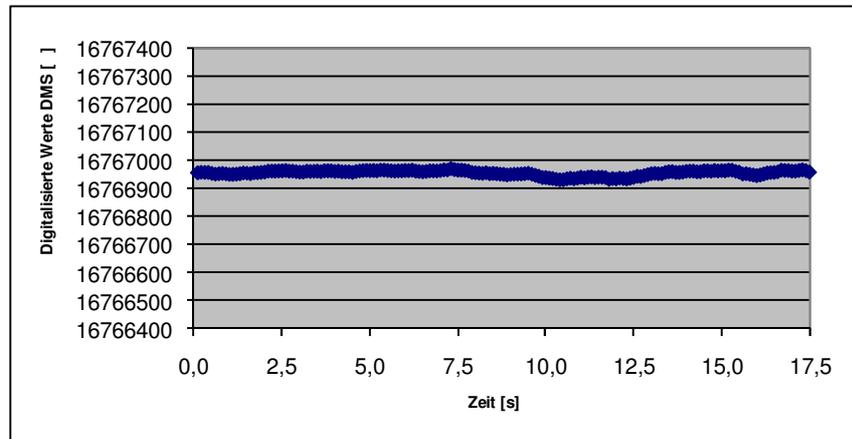


## Anhang E DMS-Messwerte des Fixateur externe

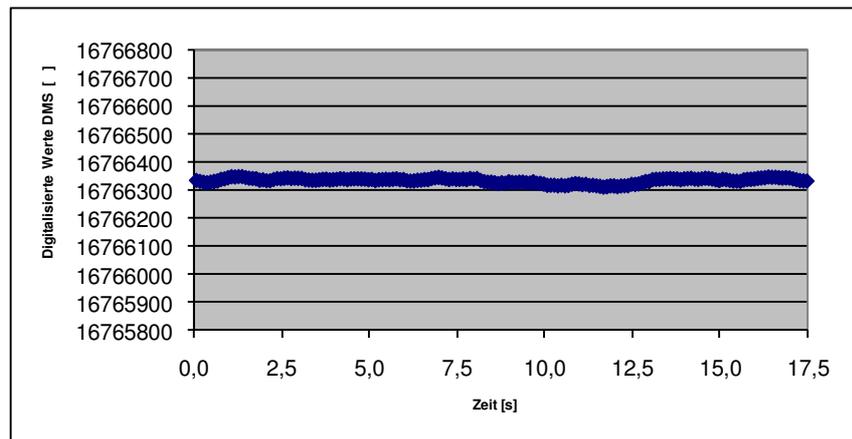
Messwerte mit Holz „Ganz“

**4**

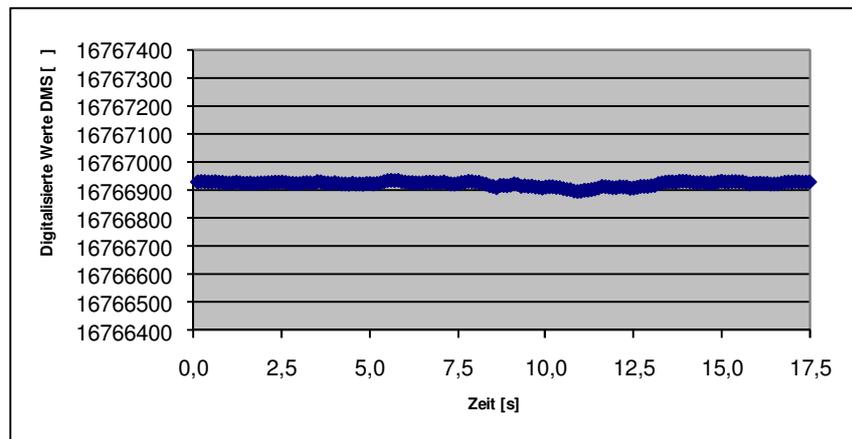
Mittelwert 16766958  
Minimum 16766929  
Differenz 28

**5**

Mittelwert 16766338  
Minimum 16766311  
Differenz 28

**6**

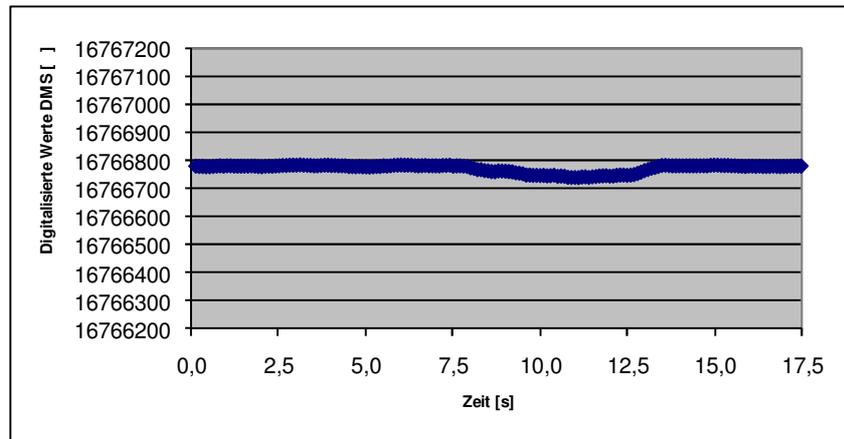
Mittelwert 16766929  
Minimum 16766897  
Differenz 32



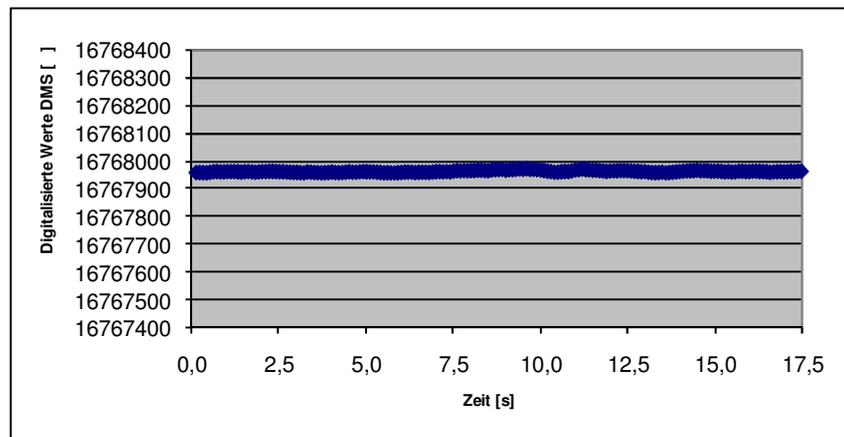
## Messwerte mit Holz „Halb“

**4**

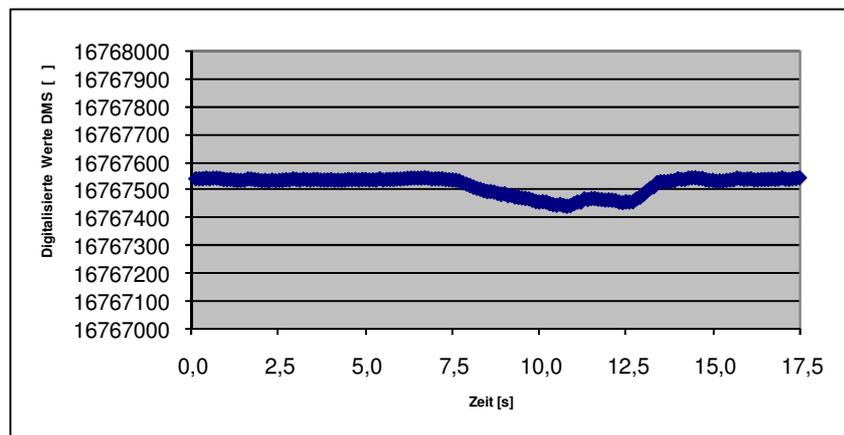
Mittelwert 16766779  
Minimum 16766737  
Differenz 42

**5**

Mittelwert 16767957  
Minimum 16767954  
Differenz 3

**6**

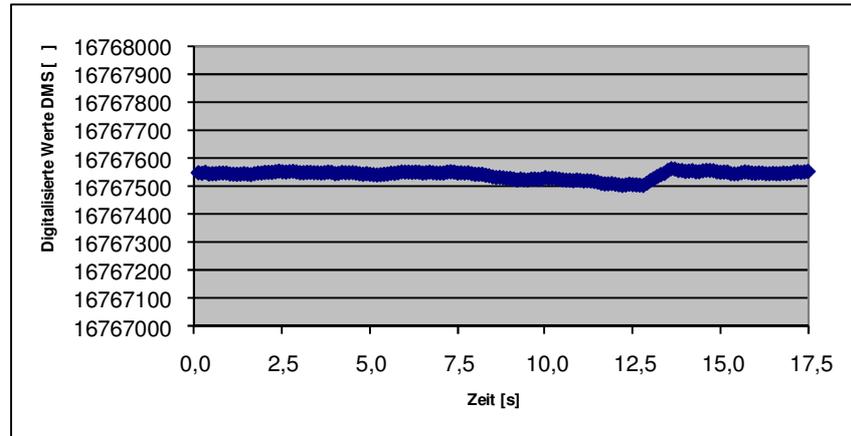
Mittelwert 16767538  
Minimum 16767441  
Differenz 96



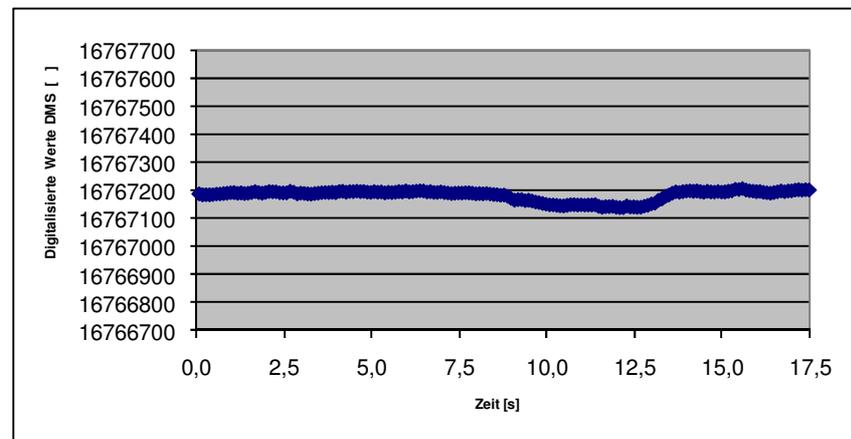
## Messwerte mit Holz „Steg 20“

**4**

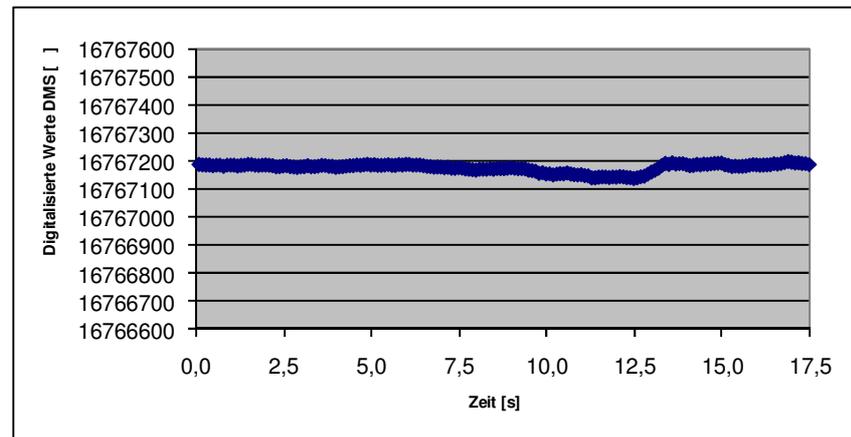
Mittelwert 16767548  
Minimum 16767503  
Differenz 45

**5**

Mittelwert 16767194  
Minimum 16767139  
Differenz 55

**6**

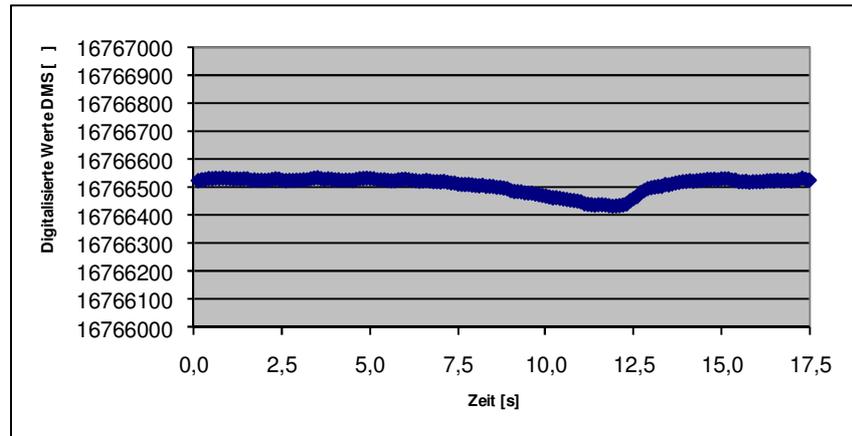
Mittelwert 16767184  
Minimum 16767138  
Differenz 46



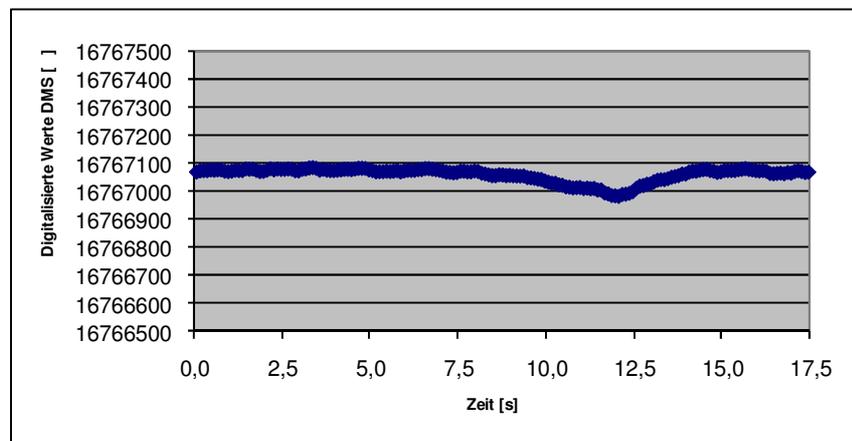
## Messwerte mit Holz „Steg 10“

**4**

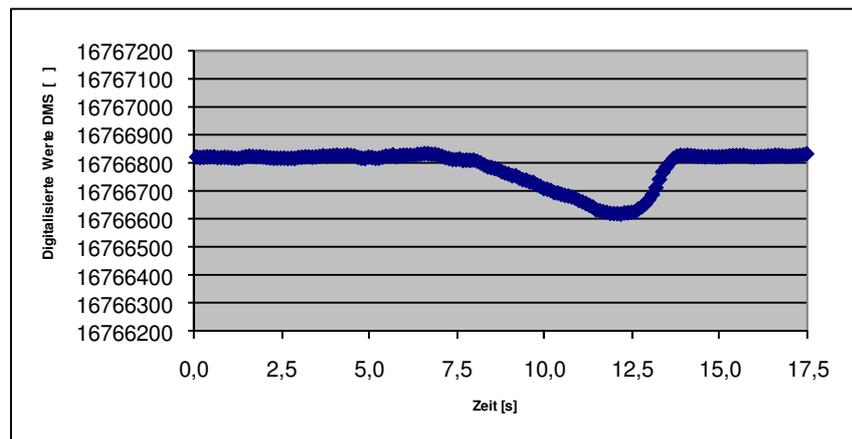
Mittelwert 16766530  
Minimum 16766433  
Differenz 96

**5**

Mittelwert 16767077  
Minimum 16766981  
Differenz 96

**6**

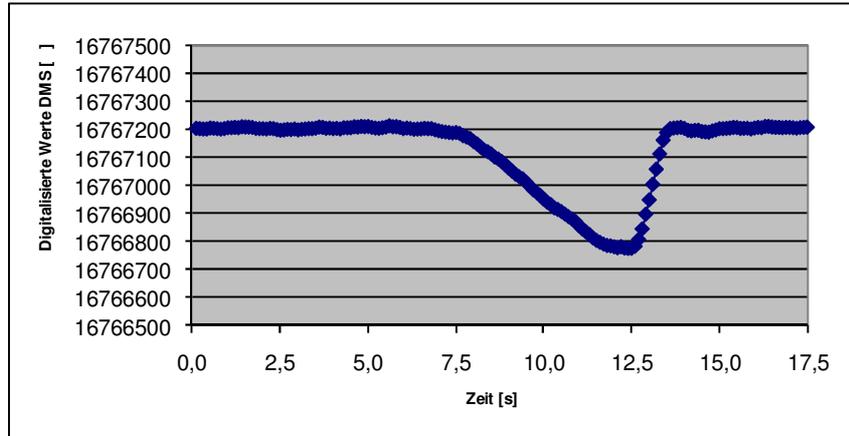
Mittelwert 16766820  
Minimum 16766619  
Differenz 201



Messwerte mit Holz „Steg 5“

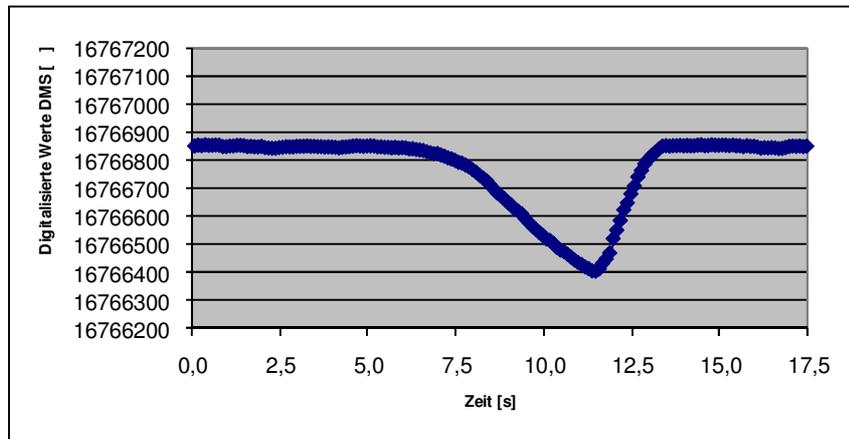
**4**

Mittelwert 16767204  
 Minimum 16766773  
 Differenz 431



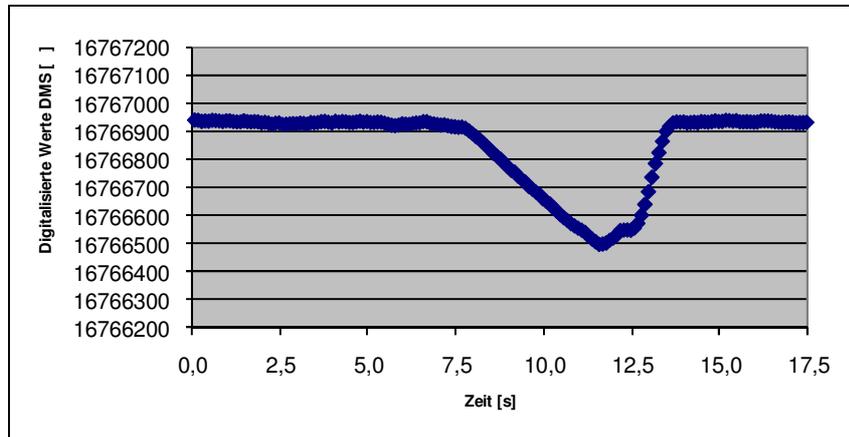
**5**

Mittelwert 16766849  
 Minimum 16766405  
 Differenz 444



**6**

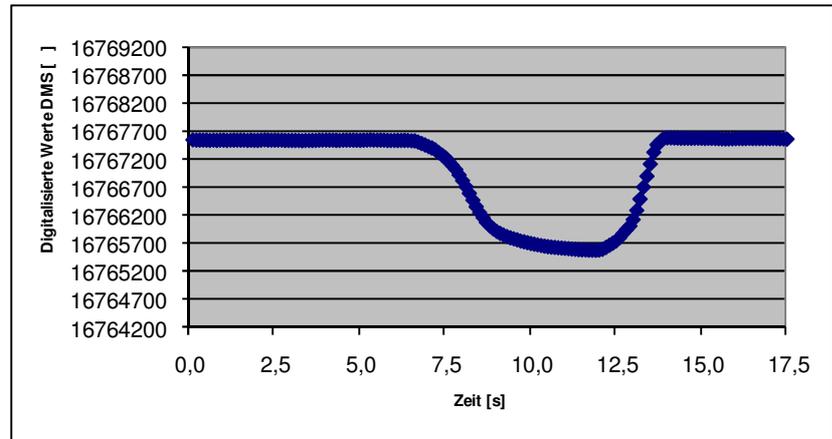
Mittelwert 16766935  
 Minimum 16766500  
 Differenz 435



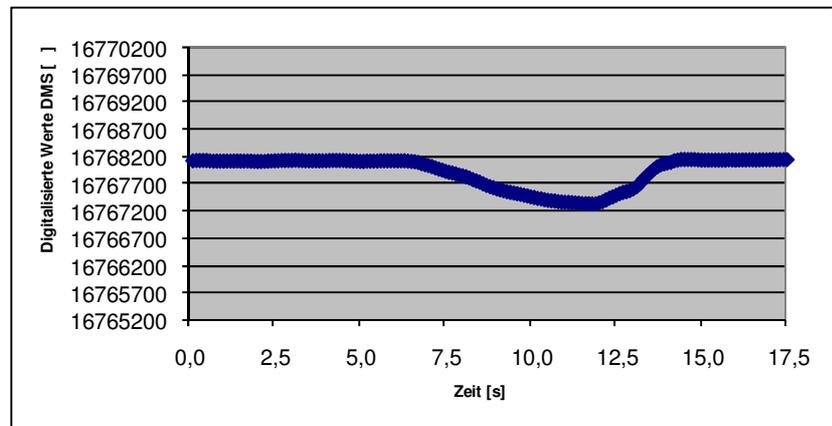
## Messwerte mit Holz „Winkel 22,5“

**4**

Mittelwert 16767531  
 Minimum 16765570  
 Differenz 1962

**5**

Mittelwert 16768113  
 Minimum 16767321  
 Differenz 792

**6**

Mittelwert 16766147  
 Minimum 16761420  
 Differenz 4727

