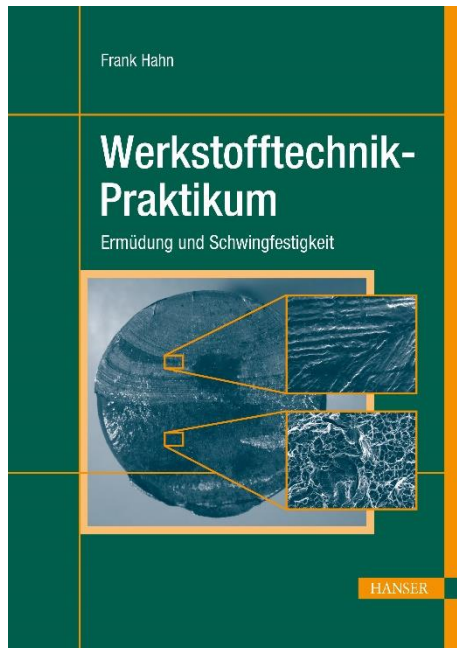


# HANSER



## Leseprobe

zu

## Werkstofftechnik-Praktikum

von Frank Hahn

Print-ISBN: 978-3-446-47208-2

E-Book-ISBN: 978-3-446-47233-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446472082>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Ziel des Praktikums</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Theoretische Voraussetzungen</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>10</b>
	4.1 Ermüdung .....	10
	4.2 Rissbildung und -wachstum unter schwingender Beanspruchung – Merkmale des Dauerbruchs .....	12
	4.3 Mechanische Schwingungen .....	15
	4.4 Einstufige Schwingfestigkeitsuntersuchungen – Wöhlerversuch .....	17
	4.4.1 Ermittlung der Überlebenswahrscheinlichkeit im Bereich der Zeitfestigkeit .....	20
	4.4.2 Bestimmung der Langzeitfestigkeit unter Berücksichtigung des Streubandes im Übergangsbereich .....	25
	4.5 Angabe der Langzeitfestigkeit .....	33
	4.6 Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith .....	34
	4.7 Einflüsse auf die Schwingfestigkeit .....	36
<b>5</b>	<b>Kontrollfragen zur Praktikumsvorbereitung</b> .....	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>Geräte und Hilfsmittel</b> .....	<b>40</b>
<b>7</b>	<b>Versuchsdurchführung</b> .....	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Praktikumsauswertung</b> .....	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>Modelllösungen</b> .....	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>Lösungen der Kontrollfragen zur Praktikumsvorbereitung</b> ...	<b>57</b>
	<b>Index</b> .....	<b>59</b>



# 1

## Einleitung

Die meisten Teile von Maschinen, Geräten, Fahrzeugen (z. B. Zahnräder, Wellen, Achsen, Federn), aber auch Bauwerke (Brücken, Türme von Windkraftanlagen) werden nicht nur rein statisch belastet, sondern unterliegen auch zeitlich veränderlichen Belastungen. Die wirkende Kraft steigt an und fällt wieder ab (schwellende Belastung) oder es kommt zu einer Umkehr der Belastungsrichtung (z. B. sich abwechselnde Zug- und Druckbeanspruchung – wechselnde Belastung). Diese Belastungswechsel werden als mechanische Schwingungen aufgefasst und können sich millionenfach wiederholen.

Bereits im 19. Jahrhundert wurden Unfälle durch Werkstoffversagen an dynamisch belasteten Bauteilen, z. B. Achsbrüche an Eisenbahnen registriert, obwohl diese Bauteile nach statischen Berechnungen ordnungsgemäß ausgelegt waren. Erste systematische Untersuchungen zum Werkstoff- und Bauteilverhalten unter wechselnder Belastung führte der deutsche Ingenieur August Wöhler (1819–1914) durch. Er erkannte den Zusammenhang zwischen der zyklischen Belastung (Spannungsamplitude, Mittelspannung) und der ertragenen Lastspielzahl.

Zyklische Werkstoffuntersuchungen zeigen, dass zeitlich veränderliche Belastungen unterhalb der Zugfestigkeit und der Streckgrenze eines Werkstoffes zum Schwing- bzw. Ermüdungsbruch führen können. Ursache für das Versagen bei metallischen Werkstoffen ist eine von der zyklischen Belastung hervorgerufene mikroplastische Verformung, die die mechanischen Eigenschaften (zyklische Ver- oder Entfestigung) beeinflusst. Diese Werkstoffveränderungen werden unter dem Begriff Ermüdung zusammengefasst.

Für die Untersuchung des zyklischen Werkstoff- und Bauteilverhaltens stehen eine Reihe von experimentellen Techniken zur Verfügung (Einstufenversuche, Mehrstufenversuche, Betriebsfestigkeitsversuche). Für das prinzipielle Verständnis des Werkstoffverhaltens unter schwingender Belastung wird sich im Praktikum auf den Einstufenversuch (Wöhlerversuch) konzentriert, bei dem die Mittelspannung  $\sigma_m$  und die Spannungsamplitude  $\sigma_a$  während des Versuchs konstant bleiben. Mit dem Einstufenversuch wird gezeigt, wie sich die ertragene Lastspielzahl  $N$  mit der Spannungsamplitude  $\sigma_a$  verändert. Zumindest bei krz-Stählen gibt es eine Spannungsamplitude  $\sigma_a$ , bei der der Werkstoff eine extrem große Anzahl ( $N > 5 \cdot 10^6$ ) von Lastwechseln erträgt. Sie entspricht der Langzeitfestigkeit  $\sigma_{aL}$  (alt: Dauerfestigkeit<sup>1)</sup>  $\sigma_D$ ) des Werkstoffs.

<sup>1)</sup> *Hinweis:* Bei der Neufassung der DIN 50 100: 2016 wurde der Begriff Dauerfestigkeit durch den Begriff Langzeitfestigkeit ersetzt, da auch bei krz-Metallen bei extrem großen Schwingspielzahlen von  $N > 10^8$  noch Schädigung/Versagen auftreten kann. Trotzdem wird der Begriff der Dauerfestigkeit noch sehr häufig genutzt und ist in der Fachliteratur eingeführt.

# 2

## Ziel des Praktikums

Ziel des Praktikums ist es, die Kenntnisse über das Ermüdungsverhalten von metallischen Werkstoffen zu festigen. Das Praktikum soll einen Einblick in die Ermittlung von Werkstoffkennwerten bei zeitlich wechselnder Belastung geben. Anhand von Zug-Druck-Wechselbelastungen für den Vergütungsstahl 42CrMo4+QT werden für zwei Proben die Anzahl der Lastwechsel ermittelt, die zum Bruch führt. Mit weiteren vom Praktikumsleiter vorgegebenen Versuchsergebnissen wird das Wöhlerdiagramm aufgestellt. Da die ertragenen Lastwechsel erheblichen Streuungen unterliegen, werden Ihnen Verfahren zur statistischen Auswertung und Methoden, die den experimentellen Aufwand begrenzen sollen, vorgestellt.

Die Bauteilform, insbesondere scharfe Querschnittsübergänge, Kerben, Korrosionsmulden oder -risse und eine hohe Oberflächenrauheit beeinflussen die Schwingfestigkeit im Allgemeinen und die Langzeitfestigkeit im Besonderen negativ. Anhand einer gekerbten Probe wird Ihnen der Einfluss der Probengeometrie/-form auf das Ermüdungsverhalten demonstriert werden.

Am Ende des Praktikums werden Ihnen geprüfte Zug- und Schwingfestigkeitsproben, aber auch gebrochene Bauteile vorgelegt. An den Bruchflächen sollen eindeutige Merkmale für den Dauer- und Gewaltbruch herausgearbeitet werden.

# 3

## Theoretische Voraussetzungen

Für das Praktikum sind Vorkenntnisse erforderlich, die mithilfe von Lehrunterlagen oder von Fachliteratur überprüft werden können. Um Ihnen die Vorbereitung zu erleichtern, wird in Klammern das betreffende Kapitel aus

Seidel, W. W.; Hahn, E: Werkstofftechnik. – 11. Auflage (2018) – Carl Hanser Verlag München angegeben. Überprüfen Sie Ihr Wissen zu folgenden Punkten:

- elastische und plastische Verformung von Metallen (1.3)
- Versetzungsbewegung, Gleitebenen (1.1.2.4, 1.3.3)
- Festigkeit, Zähigkeit (12.1.1, 12.2.3)
- Spannung und Dehnung (1.3.1, 12.2.1)
- Rissentstehung und -fortschritt beim Gewaltbruch (1.3.3)

# Index

## A

$\arcsin \sqrt{P_A}$ -Transformation 24  
 $\arcsin \sqrt{P}$ -Transformation 29

## B

Bruchlastspielzahl 18

## D

Dauerbruch 12  
Dauerfestigkeit 17, 19, 33  
Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith 34  
Druckschwellbereich 17

## E

einstufiger Schwingversuch 17  
Ermüdung 7, 10  
Ermüdungsbruch 14  
Extrusion 13

## G

Gewaltbruch 14  
Grenzwahrscheinlichkeit 20

## I

instationäre Schwingung 15  
Intrusion 13

## K

Kurzzeitfestigkeit 19

## L

Langzeitfestigkeit 17, 33

## M

Maximalspannung 16  
Minimalspannung 16  
Mittelspannung 16

## R

Rastlinie 14  
Restbruch 14  
Rissbildung 12  
Risswachstum 12

## S

Schwingfestigkeit 7  
Schwingung, instationäre 15  
–, stationäre 15  
Schwingungen 15  
Schwingungsstreifen 14  
Schwingversuch, einstufiger 17  
Smith-Diagramm 35  
Spannungsamplitude 16  
Spannungsverhältnis 16  
stationäre Schwingung 15

## U

Überlebenswahrscheinlichkeit 20

## W

Wechselbereich 17  
Wöhlerkurve 19  
Wöhlerversuch 17

## Z

Zeitfestigkeit 17, 19, 21  
Zugschwellbereich 17