

Ermittlung der Einschraub- und Bruchdrehmomente von Schrauben

von

H.J. Blaß und W. Siebert

Versuchsanstalt für Stahl Holz und Steine

Abteilung Ingenieurholzbau

Universität Fridericiana Karlsruhe

Univ.-Professor Dr.-Ing. H.J. Blaß

1999

Die Arbeiten wurden gefördert durch die
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
mit Mitteln des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin

1 Ziel des Forschungsvorhabens

Bei der Verwendung zunehmend längerer Schrauben, die im Gegensatz zur Verarbeitung von Holzschrauben nach DIN 1052 Teil 2 meistens ohne Vorbohren ins Holz eingebracht werden, nimmt der Eindringwiderstand und damit auch die Gefahr einer Schädigung der Schrauben bereits beim Einschrauben zu.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, das Einschraubdrehmoment unterschiedlicher gebräuchlicher Schrauben in Fichtenholz zu ermitteln und dem Bruchdrehmoment der Schrauben gegenüberzustellen, um nachzuweisen, daß eine Überbeanspruchung der Schraube bereits beim Eindrehen mit ausreichender Sicherheit vermieden wird.

Durch das Einschrauben in Buchenholz, die Messung des erforderlichen Einschraubdrehmomentes und den Vergleich mit dem Einschraubdrehmoment in Fichtenholz und dem Bruchdrehmoment sollte ein zweites Verfahren überprüft werden, mit dem eine ausreichende Festigkeit der Schrauben für das Eindrehen in Fichtenholz nachgewiesen werden kann.

2 Versuchsprogramm

Entsprechend dem Versuchsprogramm des Lehrstuhls für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe (TH) vom 28.01.1998 wurden mit fünf unterschiedlichen Schrauben folgende Versuchsreihen durchgeführt:

Reihe 1: Ermittlung des Einschraubdrehmomentes M_T in Nadelholz	je 20 Versuche
Reihe 2: Ermittlung des Einschraubdrehmomentes M_T in Buchenholz	je 20 Versuche
Reihe 3: Ermittlung des Bruchdrehmomentes $M_{T,Bruch}$ der Schrauben	je 20 Versuche

3 Versuchsmaterial

3.1 Schrauben

Für die Versuche wurden die in **Bild 1** gezeigten und in der nachfolgenden **Tabelle 1** zusammengestellten Schrauben verwendet. Der Außendurchmesser d_1 des Gewindebereiches wird auch als Nenndurchmesser bezeichnet.

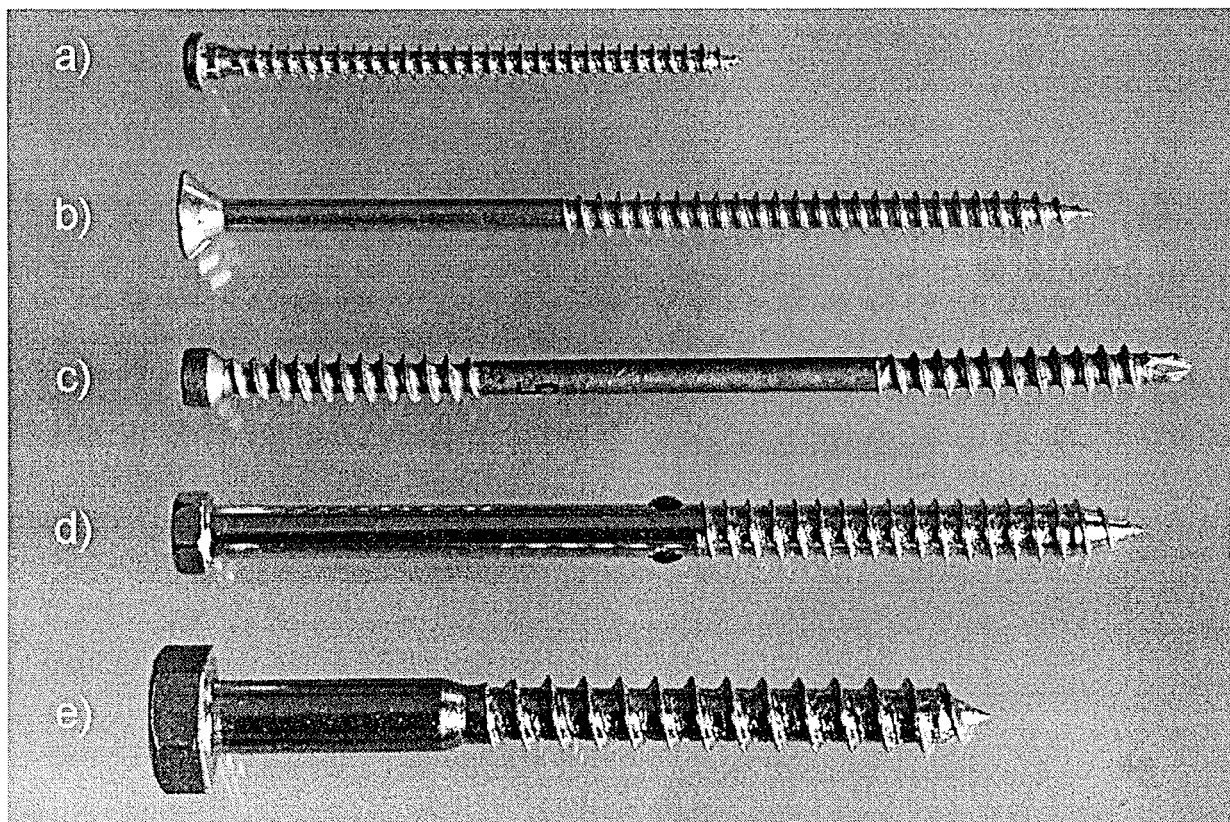


Bild 1: Für die Untersuchungen verwendete Schrauben a) bis e)

Tabelle 1: Schrauben a) bis e)

	Schraube	Nenn-Ø x Länge [mm]	d_1/d_k [mm]
a)	GH-Schraube Z-9.1-375	5 x 70	5/3
b)	Würth-Schraube Z-9.1-175	6 x 120	6/3,7
c)	SFS-Schraube WT-T-6,5 x 130	6,5 x 130	6,5/3,9
d)	HWH-Schraube Z-9.1-386	8 x 120	8/6,6
e)	Holzschraube DIN 571	10 x 100	10/7

Drei Schraubentypen, die GH-, Würth- und HWH-Schrauben, sind allgemein bauaufsichtlich zugelassen, und für die SFS-Schraube wird eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung angestrebt. Die fünfte Schraube war eine Sechskant-Holzschraube nach DIN 571.

Über die Festigkeit der Schrauben können lt. Zulassung oder nach Herstellerangaben folgende Aussagen gemacht werden:

- a) GH-Schraube für Stahlblech-Holz-Verbindungen:
 $400 \text{ N/mm}^2 \leq \text{Zugfestigkeit des Schraubendrahtes} \leq 500 \text{ N/mm}^2$,
 $0,2 \% - \text{Dehngrenze} \geq 330 \text{ N/mm}^2$,
 Bruchdrehmoment der Schrauben $\geq 5,5 \text{ Nm}$.
- b) Würth-Schraube:
 Zugfestigkeit des Schraubendrahtes $\geq 410 \text{ N/mm}^2$,
 Streckgrenze $\geq 330 \text{ N/mm}^2$,
 Vickershärte der Schraube $\geq 340 \text{ HV}$.
- c) SFS-Schraube mit Bohrspitze:
 Die Schraube besteht aus Kohlenstoffstahl, Festigkeitsklasse 8.8.
- d) HWH-Schraube:
 Zugfestigkeit des Schraubendrahtes $\geq 500 \text{ N/mm}^2$,
 $0,2 \% - \text{Dehngrenze} \geq 350 \text{ N/mm}^2$,
 Bruchdrehmoment der Schrauben $\geq 22 \text{ Nm}$.
- e) Holzschraube:
 DIN 571 enthält keine Angaben zur Materialfestigkeit.

Die geprüften Abmessungen von je fünf Schrauben sind den **Tabellen 2 bis 6 (Anlagen 1 bis 5)** zu entnehmen.

3.2 Holz

3.2.1 Fichtenholz

Für die Einschraubversuche Reihe 1 wurden fünf Fichten-Kanthölzer nach **Tabelle 7** aus den Beständen der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Karlsruhe (TH) verwendet.

Tabelle 7: Fichtenholzprüfkörper

Holz Nr.	Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte [kg/m ³]	Feuchte [%]
1	1100	127,7	148,8	393	10
2	1089	127,3	149,1	401	11
3	1200	127,1	148,4	472	10
4	1200	126,5	148,0	451	12
5	1200	127,0	148,8	461	11

3.2.2 Buchenholz

Das Buchenholz für die Einschraubversuche Reihe 2 wurde von der FMPA Baden-Württemberg - Otto-Graf-Institut - zur Verfügung gestellt. Da die einzelnen Hölzer nur etwa 40 mm dick waren, wurden die Prüfkörper aus je drei Hölzern zusammengeleimt. Nachfolgende **Tabelle 8** gibt die Rohdichte von Proben aus den einzelnen Lamellen sowie die Abmessungen und die mittlere Rohdichte der ganzen Prüfkörper an.

Tabelle 8: Buchenholzprüfkörper

Holz Nr.	Einzelholz Rohdichte [kg/m ³]	ganzer Prüfkörper			Rohdichte [kg/m ³]
		Länge [mm]	Breite [mm]	Höhe [mm]	
I li	667				
I mi	648	1288	123,9	146,9	661
I re	651				
II li	657				
II mi	674	1261	124,6	147,3	695
II re	715				
III li	645				
III mi	763	1246	124,6	146,7	711
III re	710				
IV li	771				
IV mi	759	1096	145,6	124,3	765
IV re	737				
V li	713				
V mi	729	1174	146,3	124,6	698
V re	635				

Die Feuchte der Hölzer lag zwischen 9,2 und 10,6 %, der Mittelwert betrug 10,2 %.

4 Versuchsvorrichtung

Für die Einschraub- und Bruchdrehmoment-Versuche wurde eine Vorrichtung konstruiert, bei der auf einer Grundplatte der Prüfkörper eingespannt wird. An einem an vier Säulen geführten Querhaupt ist eine Drehmoment-/Schraubmeßwelle Typ T 4A der Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH befestigt, in die auf der Unterseite ein passender Schraub-Bit bzw. eine passende Nuß zum Drehen der Schrauben eingesetzt werden kann. Der Antrieb kann von oben mit einer Schraub- oder Bohrmaschine oder mit einem Schraubschlüssel von Hand erfolgen.

Über einen Induktiven Wegaufnehmer wird die Bewegung des Querhauptes gemessen. Über die Drehmoment-/Schraubmeßwelle wird das auf die Schraube aufgebrachte Drehmoment gemessen, und mittels X - Y - Schreiber können Einschraubdrehmomente z. B. über der Einschraubtiefe aufgezeichnet werden.

Bild 2 zeigt diese Drehmoment-Meßvorrichtung, **Bild 3** den Versuchsaufbau mit einem eingespannten Prüfkörper.

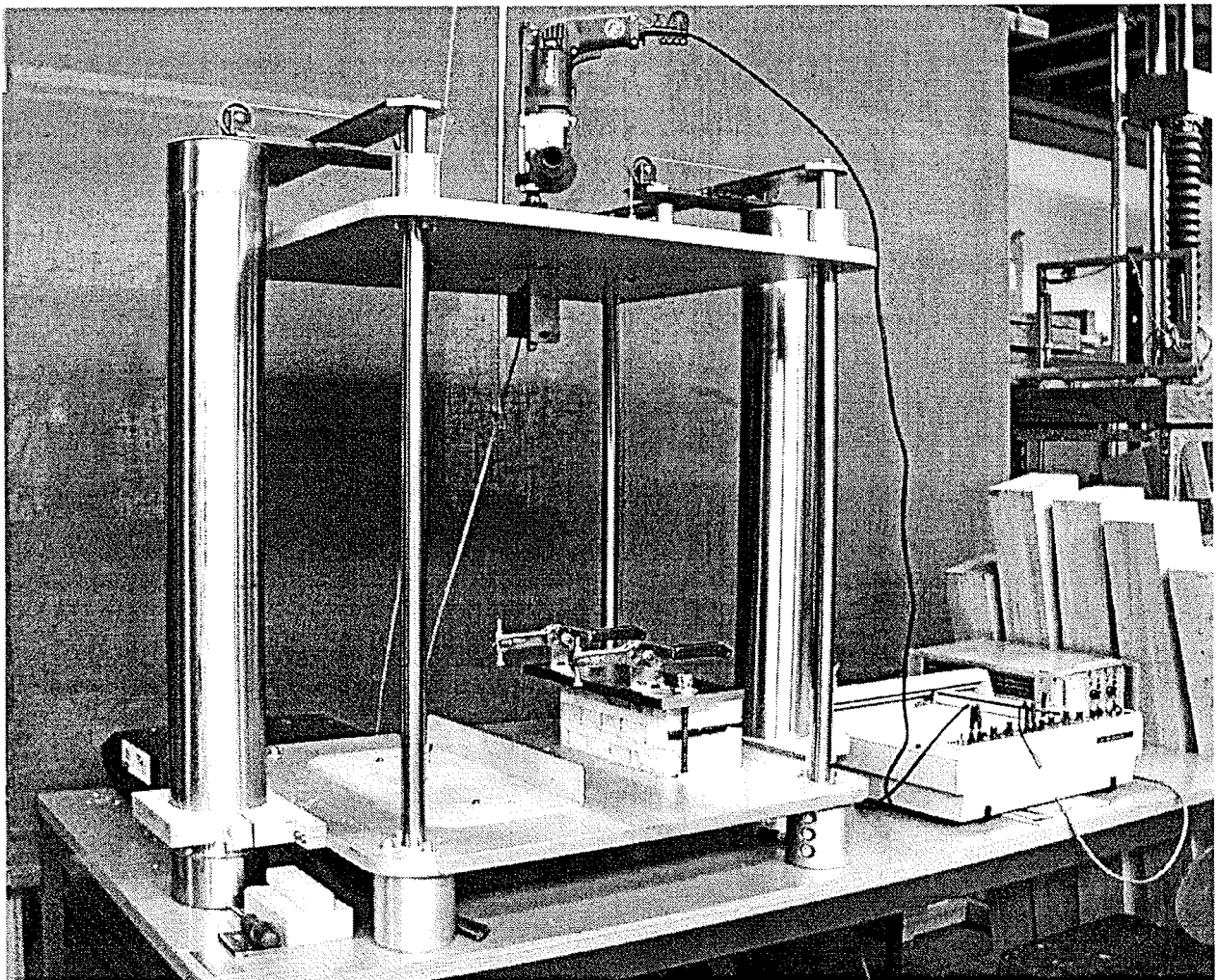


Bild 2: Drehmoment-Meßvorrichtung

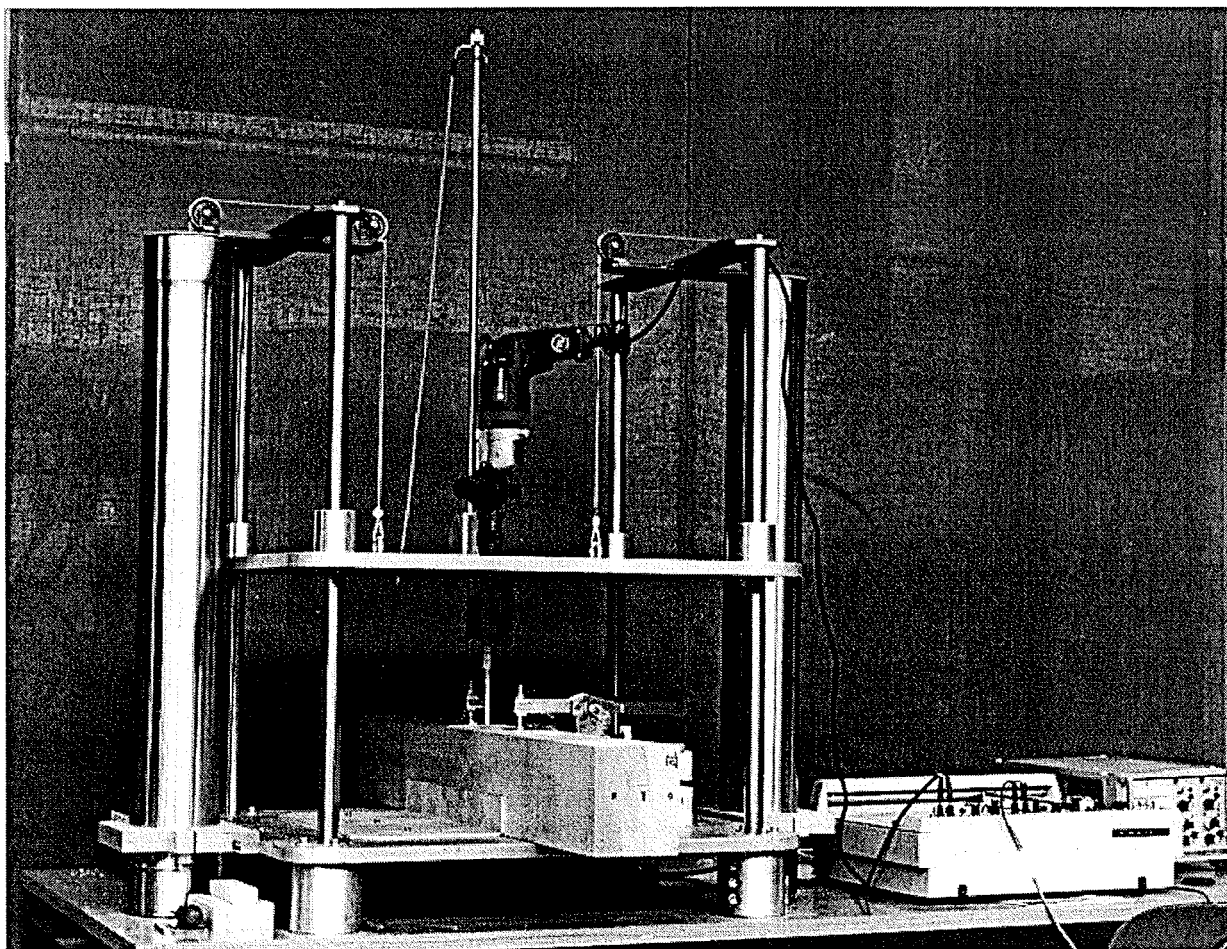


Bild 3: Versuchsvorrichtung mit Prüfkörper

5 Versuchsdurchführung

5.1 Einschraubversuche

Die Hölzer wurden in die Versuchsvorrichtung eingespannt und die Schrauben mit Hilfe des auf dem Querhaupt montierten Handschraubers mit einer Einschraubgeschwindigkeit von 100 U/min eingedreht.

Die Schrauben wurden gleichmäßig auf die fünf Fichten- und fünf Buchenhölzer verteilt: In jedes der Hölzer wurden zwei der Schrauben a) bis e) radial und zwei tangential eingedreht.

Für jeden Versuch wurde ein Einschraubdrehmoment-Einschraubtiefe-Diagramm aufgezeichnet.

Die **Bilder 5 bis 9 (Anlagen 16 bis 18)** zeigen beispielhaft einige dieser Diagramme.

5.2 Bruchdrehmomentversuche

Die Schrauben wurden in einer Klemmvorrichtung fixiert und mit einem Schraubenschlüssel, bei größeren Schrauben mit zusätzlicher Hilfe eines Hebels, von Hand bis zum Bruch tordiert.

Für jeden Versuch wurde ein Diagramm erstellt. Das Drehmoment wurde dabei über einer Zeitachse aufgezeichnet.

Auf **Bild 10 bis 14 (Anlage 19 bis 21)** sind beispielhaft einige Bruchdrehmoment-Zeit-Diagramme wiedergegeben.

6 Versuchsergebnisse

6.1 Einschraubdrehmomente

6.1.1 GH-Schrauben

Auf den Einschraubdiagrammen sind zwei Abschnitte zu erkennen: Die Phase des Schafteindrehens und anschließend ein steiler Anstieg des Drehmomentes beim Anliegen und Eindringen des Schraubenkopfes.

In Fichtenholz waren die Höchstwerte des Einschraubdrehmomentes erreicht, wenn die Köpfe etwa 5 mm versenkt waren. In Buchenholz waren diese Höchstwerte durch Abreißen der Köpfe begrenzt.

Die Einschraubdrehmomente der GH-Schrauben-Schäfte sind in **Tabelle 9 (Anlage 6)** zusammengestellt, die Höchstwerte beim Eindringen der Köpfe in Fichtenholz bzw. beim Abreißen der Köpfe in Buchenholz in **Tabelle 10 (Anlage 7)**.

6.1.2 Würth-Schrauben

Tabelle 11 (Anlage 8) enthalten die Einschraubdrehmomente der Schraubenschäfte, **Tabelle 12 (Anlage 9)** die Höchstwerte beim Versenken der Schraubenköpfe.

Beim Eindrehen in Buchenholz konnte die letzte Schraube, Nr. 10 tangential, nicht mehr bis zum Kopf eingeschraubt werden, da der Kopf deformiert wurde und der Bit abrutschte.

6.1.3 SFS-Schrauben

Aufgrund der Holzabmessungen und der Schraubenlänge konnte nur die Hälfte der SFS-Schrauben bis zum Versenken des Kopfes eingebracht werden.

In **Tabelle 13 (Anlage 10)** sind bei der Zusammenstellung der Einschraubdrehmomente der SFS-Schrauben die Werte der Schrauben, die nur etwa 127 mm in Fichtenholz und 124 mm in Buchenholz geschraubt werden konnten, mit **) gekennzeichnet. Die übrigen Schrauben wurden bis zum Einsenken des Kopfes eingedreht. Bei den mit *) gekennzeichneten Versuchen waren die Köpfe vorzeitig abgerissen.

6.1.4 HWH-Schrauben

Bei den HWH-Schrauben war das größte Einschraubdrehmoment erreicht, wenn die kurz hinter dem Gewindeende angeordneten „Flügel“ (siehe Zeichnung in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z-9.1-386, bzw. Bild 1 auf Seite 2 dieses Berichtes) ins Holz eingedrungen waren.

Tabelle 14 (Anlage 11) enthält diese Werte.

Das Einschrauben in Buchenholz dieser relativ dicken Schrauben bereitete größere Schwierigkeiten. Der Widerstand war so groß, daß die 1000 Watt-Schraubmaschine heiß wurde und die Gefahr der Überlastung bestand.

6.1.5 Holzschrauben DIN 571

Während bei allen bisher beschriebenen Versuchen die Schrauben ohne Vorbohren eingeschraubt wurden, wurden die Hölzer zur Aufnahme der Holzschrauben 10 x 100 auf die Gewindelänge l_g von 100 mm mit einem Durchmesser von 7 mm, entsprechend dem Kerndurchmesser d_K , vorgebohrt.

In Fichtenholz ließen sich die Schrauben bis zum Aufsitzen der Nuß einschrauben, in Buchenholz war nur das Einschrauben des Gewindes möglich. Anschließend setzte das Schraubgerät aus.

Die erreichten Höchstwerte der Einschraubdrehmomente sind **Tabelle 15 (Anlage 12)** zu entnehmen.

Bei zusätzlichen Versuchen wurden drei Holzschrauben mit Hilfe eines Schlag-schraubers **ohne** Vorbohren in Buchenholz eingedreht. Diese Schrauben brachen in der Nähe des Gewindeendes ab, kurz bevor das Gewinde der Schrauben vollständig ins Holz eingedreht war.

6.2 Bruchdrehmomente

Die in den Torsionsversuchen ermittelten Bruchdrehmomente sind für die fünf Schraubentypen in **Tabelle 16 (Anlage13)** zusammengestellt.

6.3 Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse und Bewertung

Tabelle 17 (Anlage 14) enthält eine Zusammenfassung der Mittelwerte der Einschraub- und Bruchdrehmomente der geprüften Schrauben.

Bild 4 (Anlage 15) zeigt einen praktisch linearen Zusammenhang zwischen Einschraubdrehmoment M_T und Schraubennennendurchmesser (= Gewindeaußendurchmesser d_1)

Buchenholz setzt dem Einschrauben einen deutlich größeren Widerstand entgegen als Fichtenholz.

Die Bruchdrehmomente (Versuchsreihe 3) der geprüften Schrauben sowie die Einschraubdrehmomente in Buchenholz (Versuchsreihe 2) weisen einen ausreichenden Sicherheitsabstand gegenüber den Einschraubdrehmomenten in Fichtenholz (Versuchsreihe 1) auf. Eine Schraube, die ohne merkliche Schädigung in Buchenholz eingedreht werden kann, scheint demnach für die Anwendung in Fichtenholz auf jeden Fall geeignet zu sein.

Das Versenken der Schraubenköpfe (nicht bei jeder Kopfform möglich) erfordert höhere Drehmomente. In Buchenholz kann das erforderliche Drehmoment zum Einsenken der Köpfe sogar größer als das Bruchdrehmoment der Schrauben sein, so daß in Buchenholz ein Versenken der Köpfe im allgemeinen nicht erreicht werden kann.

Das Einschrauben in Buchenholz ohne Vorbohren ist nur begrenzt möglich, da bei dickeren Schrauben oft die Leistungsfähigkeit des Schraubers nicht ausreicht oder da je nach Schraubenfestigkeit und Kopfform ein frühzeitiges Versagen der Schrauben erwartet werden muß.

Aus dem Abbrechen der Schrauben beim Eindrehen in Buchenholz kann jedoch nicht auf eine ungenügende Eignung für die Verwendung in Fichtenholz geschlossen werden.

7 Zusammenfassung

Für fünf unterschiedliche Schrauben wurden die Einschraubdrehmomente in Fichten- und Buchenholz sowie die Bruchdrehmomente ermittelt.

Die Einschraubdrehmomente in Buchenholz und die Bruchdrehmomente der Schrauben waren deutlich größer als deren Einschraubdrehmomente in Fichtenholz.

Die Leistungsfähigkeit der Schrauber ist begrenzt, so daß ein vollständiges Einschrauben in hartes Holz oft nicht möglich ist. Zudem kann es bei Verwendung dickerer Schrauben und beim Versenken der Schraubenköpfe zum vorzeitigen Abreißen der Schrauben kommen.

Ist eine Schraube ohne Vorbohren in Buchenholz einschraubbar, so kann dies als Nachweis für eine problemlose Verwendung in Fichtenholz gewertet werden.

Andererseits können Schrauben, die beim Eindrehen in Buchenholz versagen, dennoch für die Verwendung in Nadelholz geeignet sein.

Übersicht

Anlagen - Bilder - Tabellen

Anlage	Bild	Tabelle	
-	1	1	Schrauben
1 - 5	-	2 - 6	Abmessungen
-	-	7	Rohdichte Fichtenholz
-	-	8	Rohdichte Buchenholz
-	2, 3	-	Versuchsvorrichtung
6, 7	-	9, 10	Einschraubdrehmomente GH-Schraube
8, 9	-	11, 12	Einschraubdrehmomente Würth-Schraube
10	-	13	Einschraubdrehmomente SFS-Schraube
11	-	14	Einschraubdrehmomente HWH-Schraube
12	-	15	Einschraubdrehmomente DIN-Schraube
13	-	16	Bruchdrehmomente
14	-	17	Zusammenstellung der Ergebnisse
15	4	-	Grafik
16 - 18	5 - 9	-	Diagramme Einschraubdrehmomente
19 - 21	10 - 14	-	Diagramme Bruchdrehmomente

Geprüfte Abmessungen

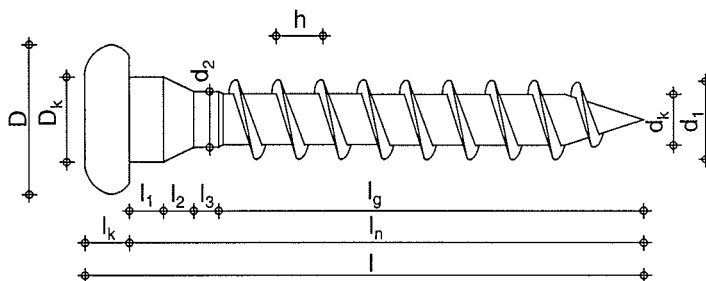


Tabelle 2: GH - Schraube 5 x 70

Schraube Nr.	1	2	3	4	5	Kleinst- wert	Größt- wert	Mittel- wert
D [mm]	7,90	7,92	7,91	7,89	7,92	7,89	7,92	7,91
D _k [mm]	4,90	4,89	4,91	4,91	4,90	4,89	4,91	4,91
d ₁ [mm]	4,94	4,86	4,78	4,75	4,91	4,75	4,94	4,85
d _k [mm]	3,04	3,04	3,06	3,05	3,07	3,04	3,07	3,05
l _g [mm]	65,9	66,2	65,8	65,8	65,7	65,7	66,2	65,9
l _n [mm]	70,9	71,6	71,5	71,8	70,9	70,9	71,8	71,3
l [mm]	73,3	74,0	73,9	74,3	73,4	73,3	74,3	73,8
l _k [mm]	2,40	2,41	2,40	2,49	2,47	2,40	2,49	2,43
l ₁ [mm]	2,14	2,01	2,03	2,03	2,05	2,01	2,14	2,05
l ₂ [mm]	1,72	1,87	1,81	1,83	1,71	1,71	1,87	1,79
h [mm]	2,18	2,26	2,19	2,17	2,23	2,17	2,26	2,21

Geprüfte Abmessungen

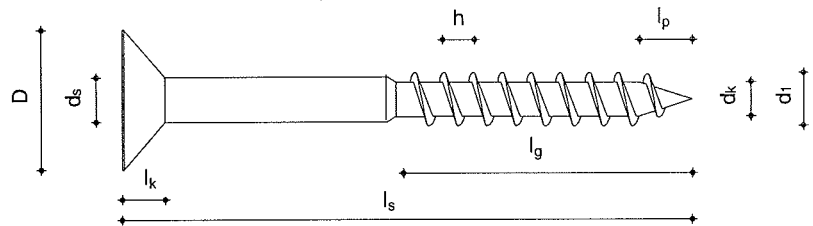
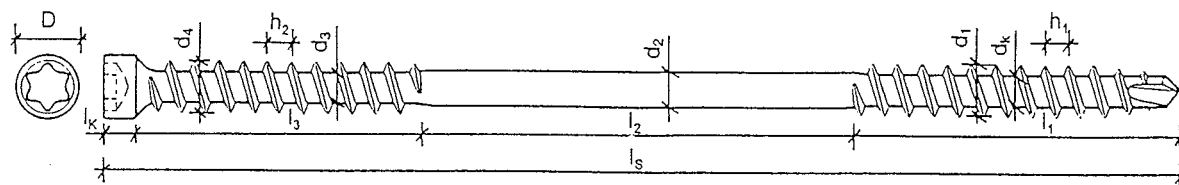


Tabelle 3: Würth - Schraube 6 x 120

Schraube Nr.	1	2	3	4	5	Kleinstwert	Größt-wert	Mittelwert
h [mm]	2,57	2,60	2,60	2,61	2,59	2,57	2,61	2,59
l_g [mm]	69,6	68,9	69,0	68,7	69,4	68,7	69,6	69,1
l_s [mm]	119,1	119,0	118,9	118,8	119,1	118,8	119,1	119,0
l_k [mm]	5,32	5,29	5,29	5,30	5,33	5,29	5,33	5,31
D [mm]	11,93	11,82	11,85	11,79	11,82	11,79	11,93	11,84
d_s [mm]	4,32	4,33	4,32	4,31	4,33	4,31	4,33	4,32
d_1 [mm]	6,06	6,03	5,96	5,94	6,00	5,94	6,06	6,00
d_k [mm]	3,77	3,77	3,73	3,78	3,74	3,73	3,78	3,76

Geprüfte Abmessungen



Gewindelänge $l_g = l_1 + l_3$

Tabelle 4: SFS - Schraube 6,5 x 130

Schraube Nr.	1	2	3	4	5	Kleinstwert	Größt-wert	Mittelwert
l_s [mm]	131,1	130,6	131,1	131,0	130,8	130,6	131,1	130,9
l_k [mm]	3,61	3,57	3,54	3,49	3,52	3,49	3,61	3,54
l_1 [mm]	40,4	40,2	40,3	40,0	40,4	40,0	40,4	40,2
l_2 [mm]	51,9	52,0	52,0	52,4	51,1	51,1	52,4	51,9
l_3 [mm]	35,3	34,9	35,3	35,1	35,7	34,9	35,7	35,2
D [mm]	7,90	7,95	7,91	7,90	7,89	7,89	7,95	7,91
d_k [mm]	3,93	3,82	3,81	3,78	3,86	3,78	3,93	3,84
d_1 [mm]	6,48	6,46	6,46	6,40	6,47	6,40	6,48	6,46
d_2 [mm]	4,59	4,62	4,61	4,61	4,59	4,59	4,62	4,60
d_3 [mm]	3,85	3,83	3,80	3,81	3,87	3,80	3,87	3,83
d_4 [mm]	6,47	6,47	6,47	6,41	6,43	6,41	6,47	6,45
h_1 [mm]	3,00	2,99	2,99	2,97	3,01	2,97	3,01	2,99
h_2 [mm]	2,81	2,80	2,80	2,80	2,81	2,80	2,81	2,80

Geprüfte Abmessungen

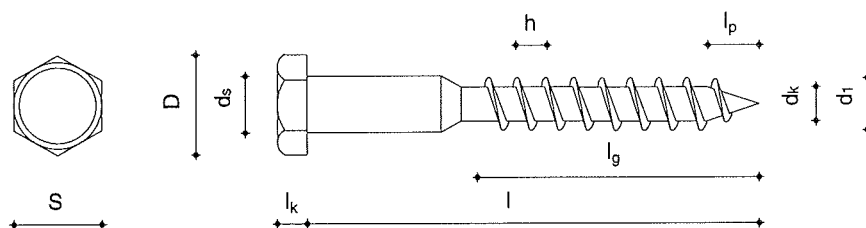


Tabelle 5: HWH - Schraube 8 x 120

Schraube Nr.	1	2	3	4	5	Kleinstwert	Größt-wert	Mittelwert
h [mm]	3,00	2,99	2,99	2,99	3,00	2,99	3,00	2,99
lg [mm]	54,5	57,3	56,0	56,4	56,3	54,5	57,3	56,1
l [mm]	118,1	120,7	120,1	120,1	120,6	118,1	120,7	119,9
lk [mm]	4,24	3,74	4,11	4,04	4,15	3,74	4,24	4,05
D [mm]	10,44	10,92	11,06	10,34	10,73	10,34	11,06	10,70
ds [mm]	6,89	6,82	6,80	6,87	6,78	6,78	6,89	6,83
d1 [mm]	7,89	7,96	7,87	7,98	7,79	7,79	7,98	7,90
dk [mm]	6,47	6,48	6,49	6,46	6,50	6,46	6,50	6,48

Geprüfte Abmessungen

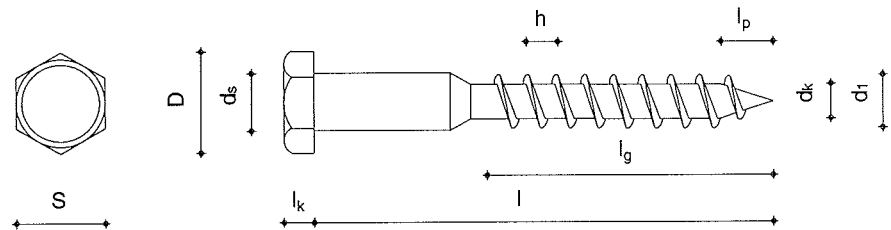


Tabelle 6: Holzschraube DIN 571 - 10 x 100 - St

Schraube Nr.	1	2	3	4	5	Kleinstwert	Größt-wert	Mittelwert
h [mm]	4,56	4,56	4,57	4,55	4,57	4,55	4,57	4,56
l_g [mm]	63,8	63,7	63,5	63,6	64,0	63,5	64,0	63,7
l [mm]	98,5	98,6	98,5	98,7	98,6	98,5	98,7	98,6
l_k [mm]	6,87	6,77	6,80	7,07	7,15	6,77	7,15	6,93
D [mm]	19,27	19,27	19,26	19,27	19,27	19,26	19,27	19,27
d_s [mm]	9,53	9,52	9,45	9,53	9,49	9,45	9,53	9,50
d_1 [mm]	9,80	9,60	9,80	9,70	9,78	9,60	9,80	9,73
d_k [mm]	6,77	6,73	6,66	6,76	6,78	6,66	6,78	6,74

Tabelle 9: Einschraubdrehmomente M_T der GH - Schraube 5 x 70 beim Anliegen des Schraubenkopfes am Holz

	Fichte		Buche	
	radial	tangential	radial	tangential
Einzelwerte [Nm]	1,8	2,8	5,2	4,7
	3,8	5,0	5,3	4,3
	2,6	2,8	5,7	4,5
	3,0	3,1	5,2	6,7
	3,1	2,4	4,7	6,1
	2,1	2,0	5,4	4,2
	2,1	2,5	5,2	5,3
	2,5	2,7	6,8	4,2
	2,7	1,8	6,0	6,7
	2,7	2,7	5,1	7,7
Mittelwert	2,6	2,7	5,5	5,4
Standardabw.	0,58	0,87	0,59	1,27
Variationskoef. [%]	22,0	31,7	10,7	23,4

Tabelle 10: Einschraubdrehmomente max M_T der GH - Schraube 5 x 70 beim Versenken bzw. Abreißen des Schraubenkopfes

	Fichte		Buche	
	radial	tangential	radial	tangential
Einzelwerte [Nm]	4,60	4,90	8,60	8,80
	6,05	6,63	8,50	8,15
	5,05	5,60	8,70	8,70
	5,30	4,60	9,10	7,70
	5,40	4,43	9,90	8,50
	3,75	4,45	8,70	7,60
	4,38	4,45	8,30	9,80
	4,95	5,45	8,40	8,20
	4,90	4,20	8,40	6,70
	5,75	4,55	8,80	7,70
Mittelwert	5,01	4,93	8,74	8,19
Standardabw.	0,67	0,75	0,47	0,84
Variationskoef. [%]	13,4	15,3	5,4	10,3

Tabelle 11: Einschraubdrehmomente M_T der Würth - Schraube 6 x 120 beim Anliegen des Schraubenkopfes am Holz

	Fichte		Buche	
	radial	tangential	radial	tangential
Einzelwerte [Nm]	4,2	4,9	7,0	7,3
	4,7	4,0	7,9	8,3
	5,2	5,5	8,6	7,6
	5,0	4,7	7,8	9,9
	5,3	5,1	8,2	8,2
	5,2	4,1	7,8	10,1
	4,2	3,8	8,0	7,2
	4,2	4,8	8,6	7,3
	4,4	4,7	7,4	10,5
	4,5	5,9	7,2	10,5
Mittelwert	4,7	4,8	7,9	8,7
Standardabw.	0,45	0,66	0,54	1,40
Variationskoef. [%]	9,6	13,9	6,9	16,1

Tabelle 12: Einschraubdrehmomente max M_T der Würth - Schraube 6 x 120 beim Versenken des Schraubenkopfes

	Fichte		Buche	
	radial	tangential	radial	tangential
Einzelwerte [Nm]	7,70	8,90	16,7	13,4
	8,00	7,85	17,4	13,5
	9,45	10,00	17,7	13,6
	9,05	9,10	17,3	13,6
	9,55	9,25	17,7	19,1
	8,15	7,40	15,1	13,1
	7,00	7,50	16,9	13,5
	8,50	9,00	15,5	13,2
	8,25	8,90	16,4	19,9
	8,45	9,85	15,8	15,9
Mittelwert	8,41	8,78	16,7	14,9
Standardabw.	0,79	0,91	0,93	2,57
Variationskoef. [%]	9,3	10,4	5,6	17,3

Tabelle 13: Einschraubdrehmomente M_T der SFS - Schraube 6,5 x 130

	Fichte		Buche	
	radial	tangential	radial	tangential
Einzelwerte [Nm]	5,3 **)	6,0	14,4	10,4 **)
	6,0 **)	6,7	14,2	10,0 **)
	7,9	7,7 **)	13,2 *)	11,6 **)
	7,2	7,3 **)	12,1 **)	13,7 *)
	7,9	6,2 **)	11,4 **)	13,8 *)
	5,2 **)	6,3	13,9	10,2 **)
	5,7 **)	8,2	13,9	11,3 **)
	7,1	7,3 **)	13,3 *)	11,6 **)
	7,2	6,9 **)	11,7 **)	13,5 *)
	7,7	6,7 **)	11,7 **)	13,4 *)
Mittelwert	6,7	6,9	13,0	12,0
Standardabw.	1,07	0,70	1,15	1,52
Variationskoef. [%]	15,9	10,1	8,9	12,8

*) Kopf abgerissen

**) nicht ganz eingeschraubt

Tabelle 14: Einschraubdrehmomente M_T der HWH - Schraube 8 x 120

	Fichte		Buche	
	radial	tangential	radial	tangential
Einzelwerte [Nm]	9,5	9,0	23,4	20,8
	12,4	12,2	25,6	24,2
	13,4	11,2	26,0	22,6
	11,9	9,8	23,4	27,8
	12,6	11,0	25,0	27,2
	10,5	9,0	24,5	22,6
	10,5	11,2	23,7	23,8
	14,2	11,2	25,7	23,0
	12,0	11,0	24,6	27,8
	14,3	11,9	24,4	26,8
Mittelwert	12,1	10,8	24,6	24,7
Standardabw.	1,61	1,11	0,95	2,54
Variationskoef. [%]	13,2	10,4	3,8	10,3

Tabelle 15: Einschraubdrehmomente M_T
der Holzschraube DIN 571 - 10 x 100 - St

	Fichte		Buche	
	radial	tangential	radial	tangential
Einzelwerte [Nm]	15,8	15,4	30,2	30,5
	17,0	17,6	31,4	30,3
	22,6	17,0	27,8	30,0
	18,0	18,0	30,2	28,9
	20,6	21,0	30,6	28,2
	14,0	14,4	30,0	30,1
	16,0	16,0	30,7	29,5
	20,4	23,8	30,0	29,4
	21,6	20,2	29,9	29,4
	20,0	18,2	29,6	29,1
Mittelwert	18,6	18,2	30,0	29,5
Standardabw.	2,85	2,83	0,94	0,70
Variationskoef. [%]	15,3	15,6	3,1	2,4

Tabelle 16: Bruchdrehmomente $M_{T, \text{Bruch}}$

Schraube		GH	Würth	SFS	HWH	Holzschr.
		5 x 70	6 x 120	7 x 200	8 x 120	10 x 100
	1	6,30	14,3	13,2	28,8	27,8
	2	6,40	14,2	13,4	29,0	29,0
	3	6,15	14,2	12,6	29,3	28,3
	4	6,60	14,8	12,8	28,5	29,3
	5	6,45	14,3	12,9	28,2	28,7
	6	6,50	14,3	13,1	28,2	29,2
	7	6,70	14,4	13,2	28,2	28,3
	8	6,10	14,3	12,8	28,7	28,7
	9	6,65	14,4	12,9	29,2	29,2
Einzelwerte	10	6,70	14,6	12,8	28,5	40,3
[Nm]	11	6,60	14,4	13,0	28,5	30,3
	12	6,20	14,2	13,0	28,3	27,2
	13	6,20	14,6	12,9	29,2	28,5
	14	6,65	14,2	12,9	29,7	26,7
	15	6,55	14,7	12,6	28,3	27,8
	16	6,60	14,3	12,5	28,0	40,3
	17	6,20	14,4	12,9	28,3	28,7
	18	6,65	14,6	12,8	29,5	27,5
	19	6,60	14,3	13,1	28,7	27,8
	20	6,55	14,4	12,9	28,3	27,7
Mittelwert	[Nm]	6,47	14,4	12,9	28,7	29,6
Standardabw.	[Nm]	0,202	0,176	0,198	0,497	3,775
Variationskoef.	[%]	3,1	1,2	1,5	1,7	12,8

Tabelle 17: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse (Mittelwerte)

Schraubentyp		GH	Würth	SFS	HWH	DIN 571
Kerndurchmesser d_k	[mm]	3,05	3,76	3,84	6,48	6,74
Außendurchmesser d_1	[mm]	4,85	6,00	6,46	7,90	9,73
Gewindelänge l_g	[mm]	66	69	75	56	64
M_T Schaft Fichte	[Nm]	2,7	4,8	6,8	11,5	18,4
M_T Schaft Buche	[Nm]	5,5	8,3	12,5	24,7	29,8
max M_T Fichte	[Nm]	4,97	8,59	-	-	-
max M_T Buche	[Nm]	8,45	15,8	-	-	-
$M_{T,Bruch}$	[Nm]	6,47	14,4	12,9	28,7	29,6

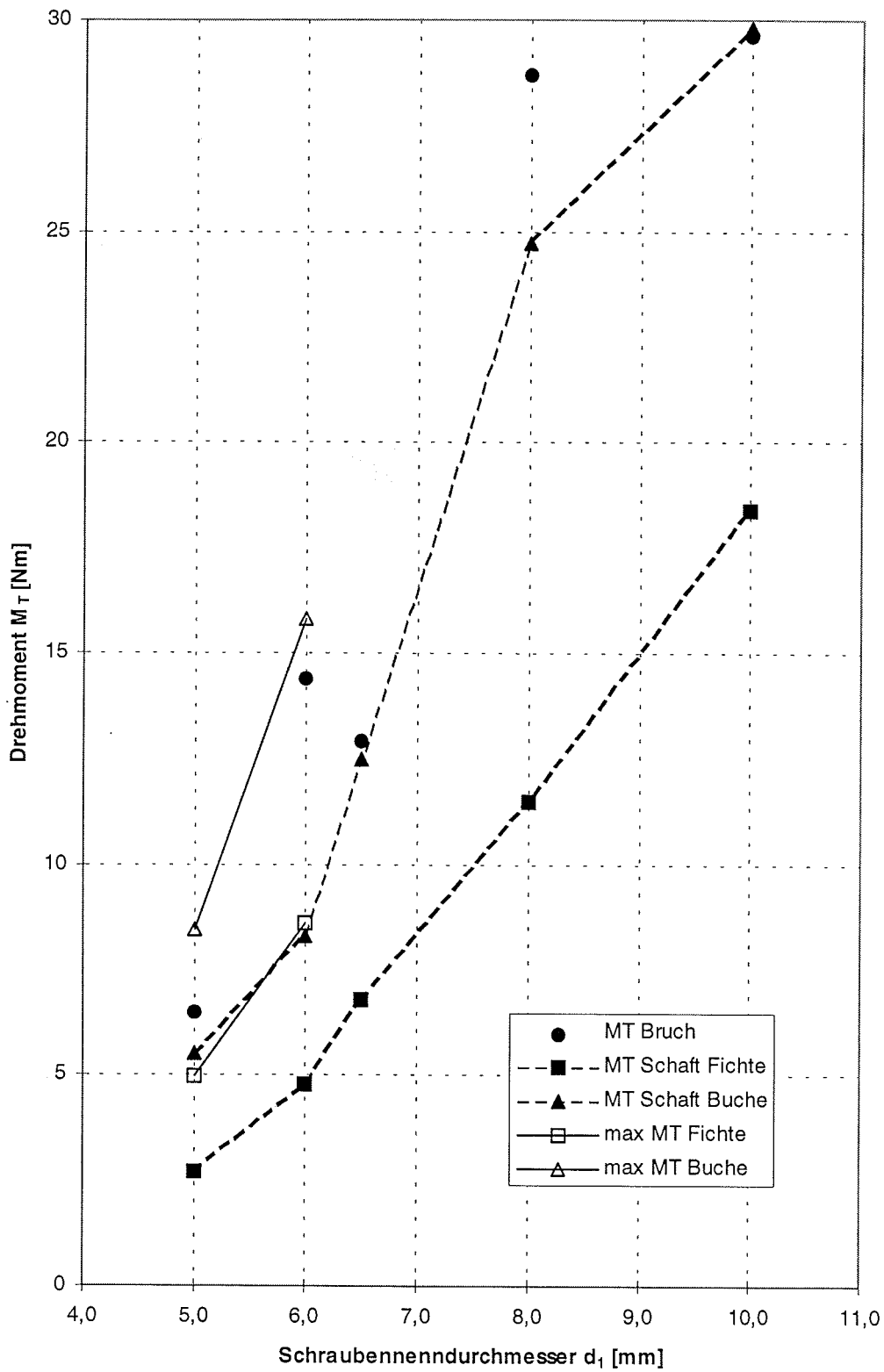


Bild 4: Einschraub- und Bruchdrehmomente

Einschraubdrehmomente

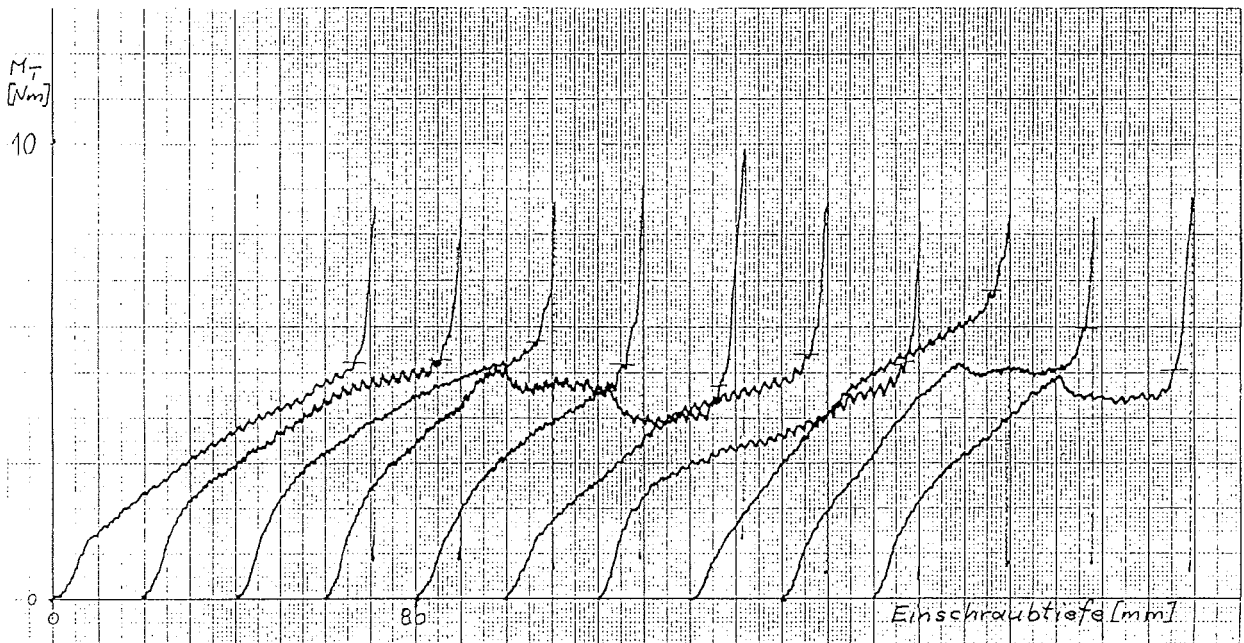


Bild 5: GH - Schraube 5 x 70 in Buche, radial

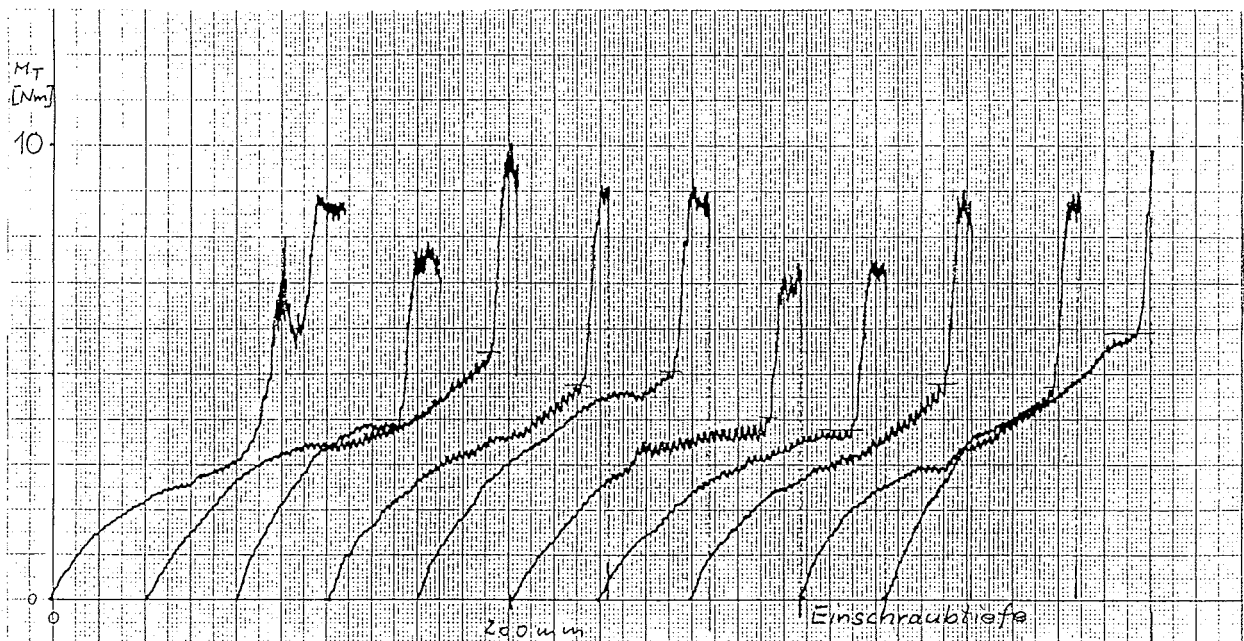


Bild 6: Würth - Schraube 6 x 120 in Fichte, tangential

Einschraubdrehmomente

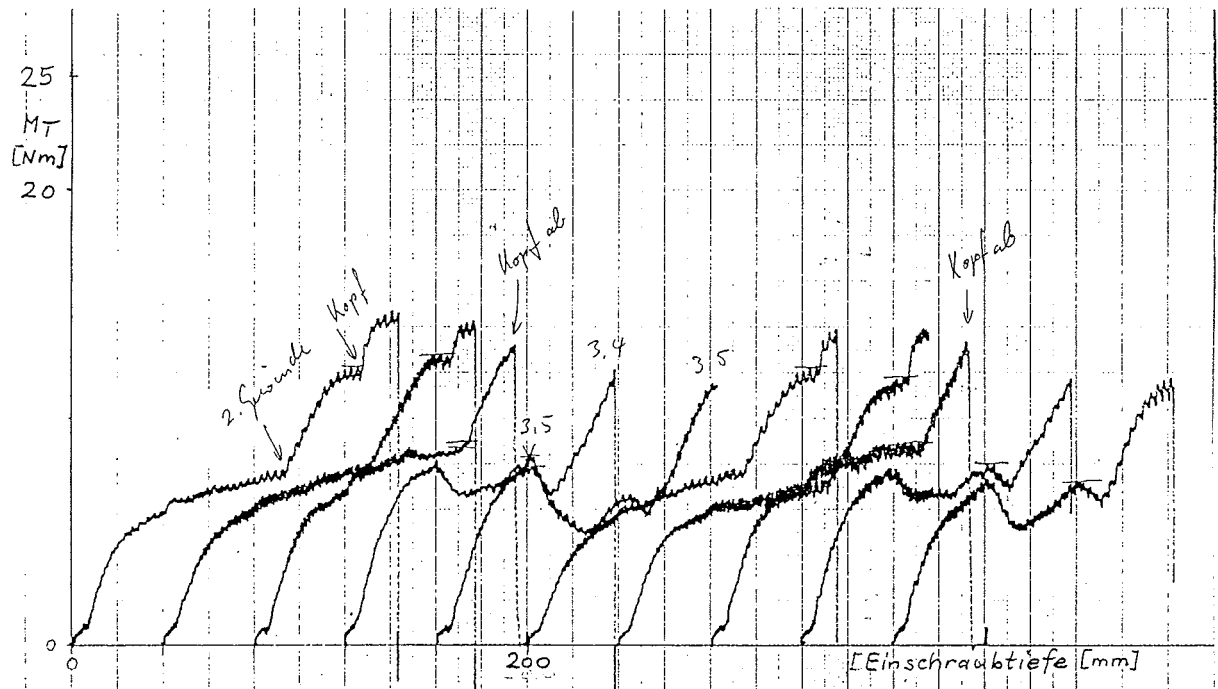


Bild 7: SFS - Schraube 6,5 x 130 in Buche, radial

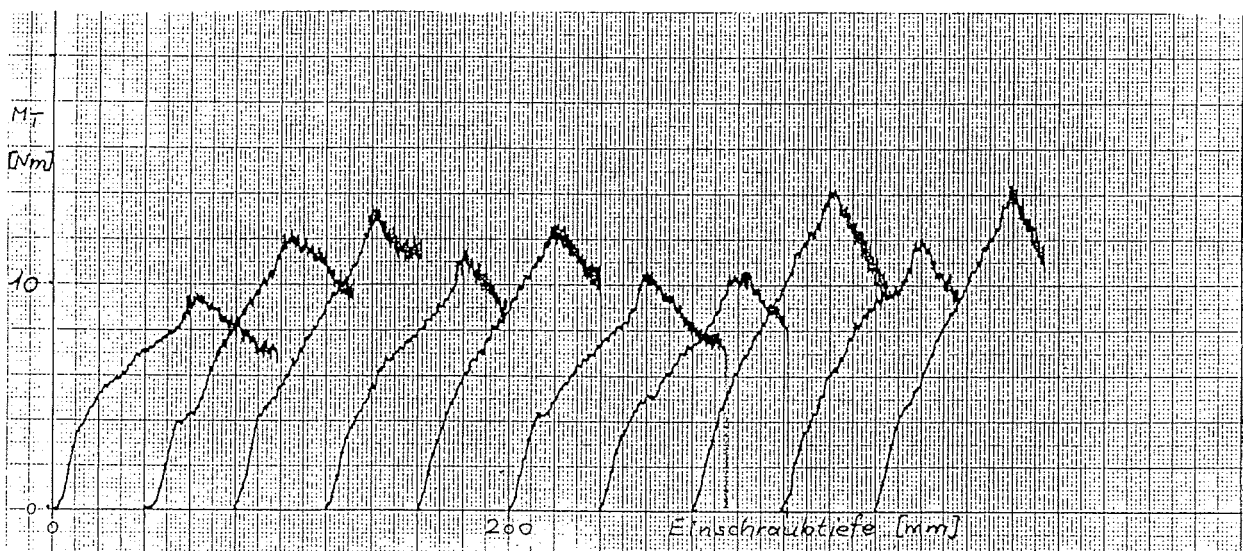


Bild 8: HWH - Schraube 8 x 120 in Fichte, radial

Einschraubdrehmomente

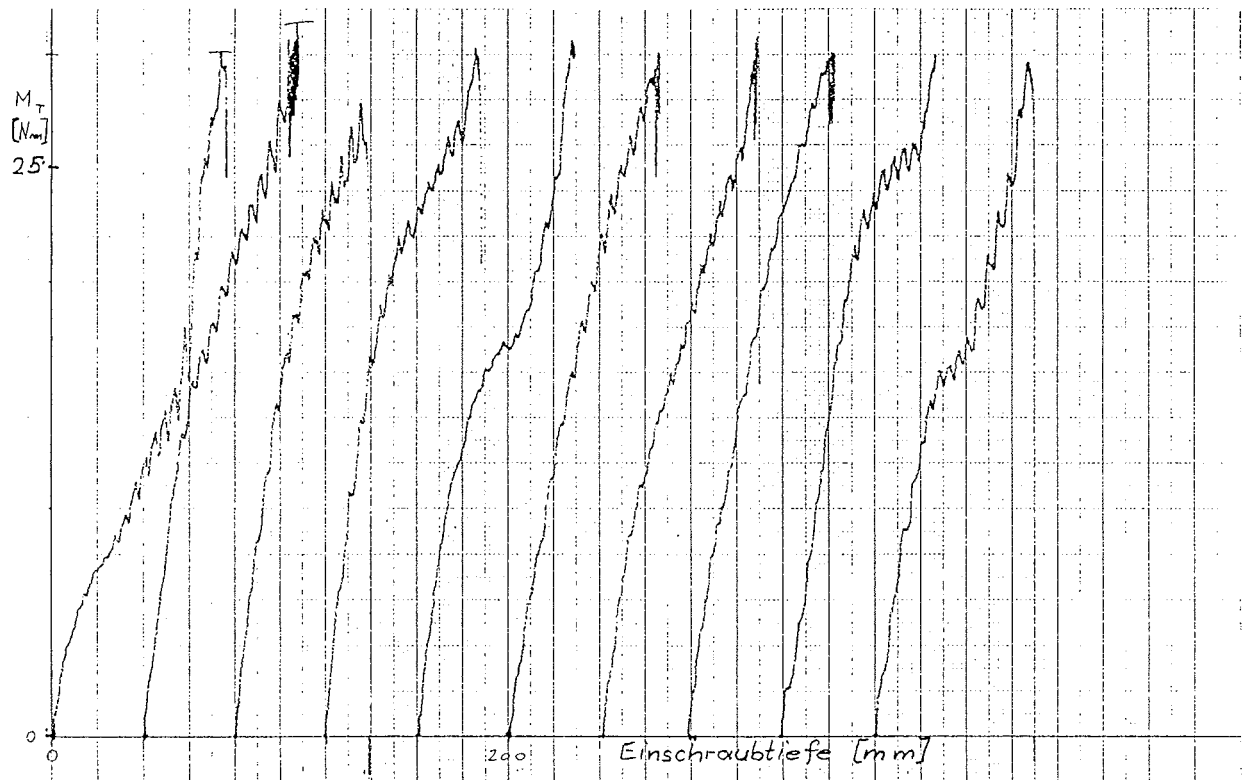


Bild 9: Holzschraube 10 x 100 in Buche, radial

Bruchdrehmomente

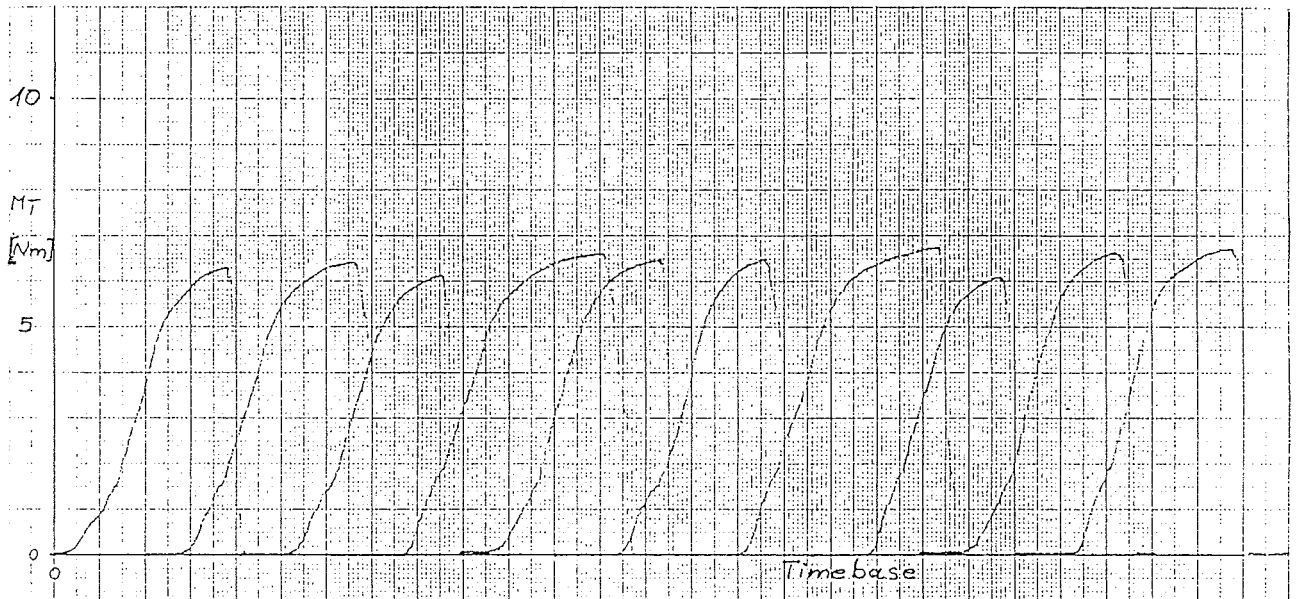


Bild 10: GH - Schraube 5 x 70

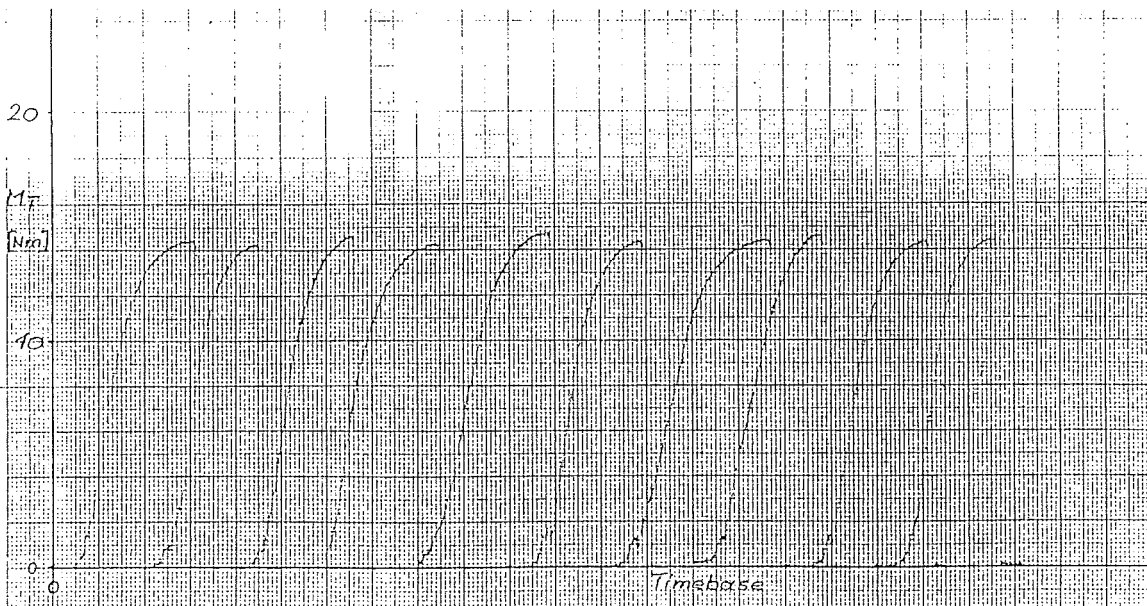


Bild 11: Würth - Schraube 6 x 120

Bruchdrehmomente

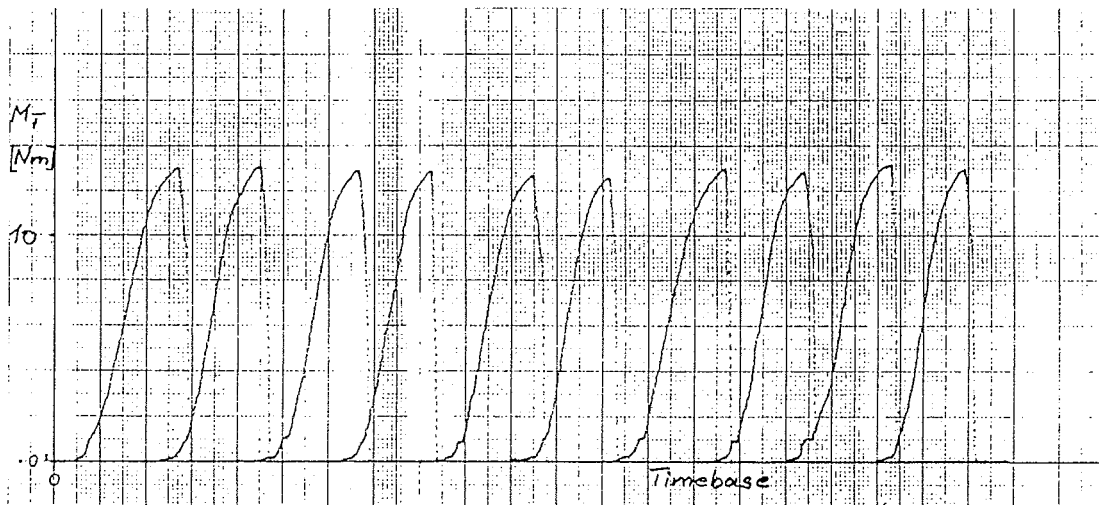


Bild 12: SFS - Schraube 6,5 x 130

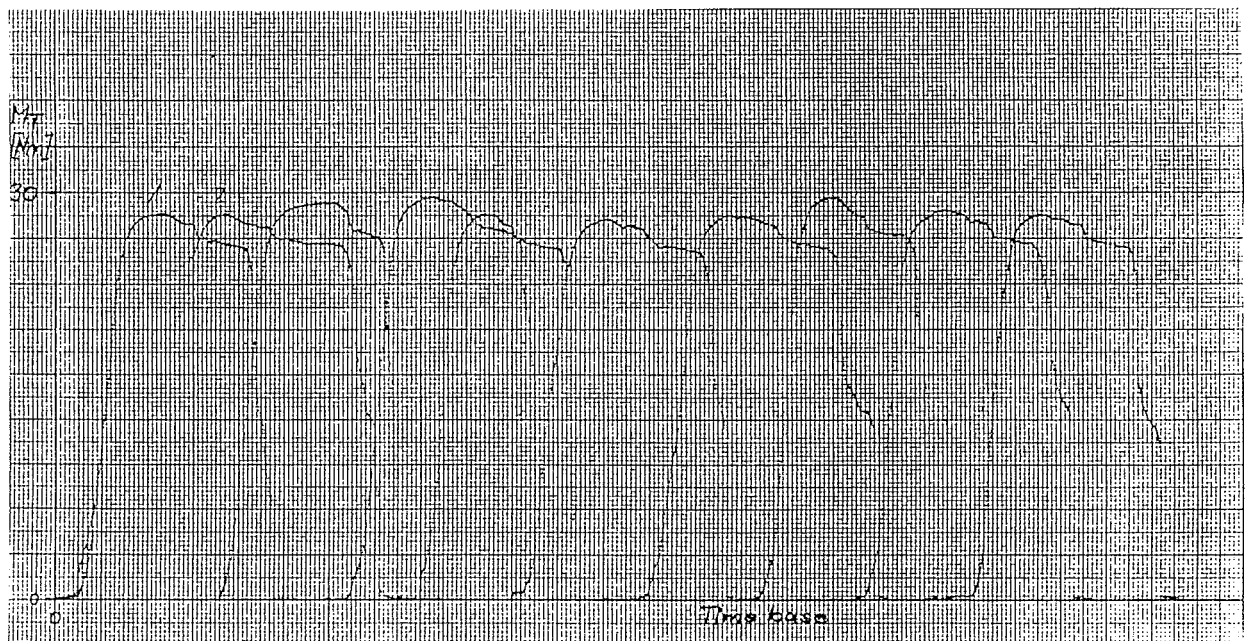


Bild 13: HWH - Schraube 8 x 120

Bruchdrehmomente

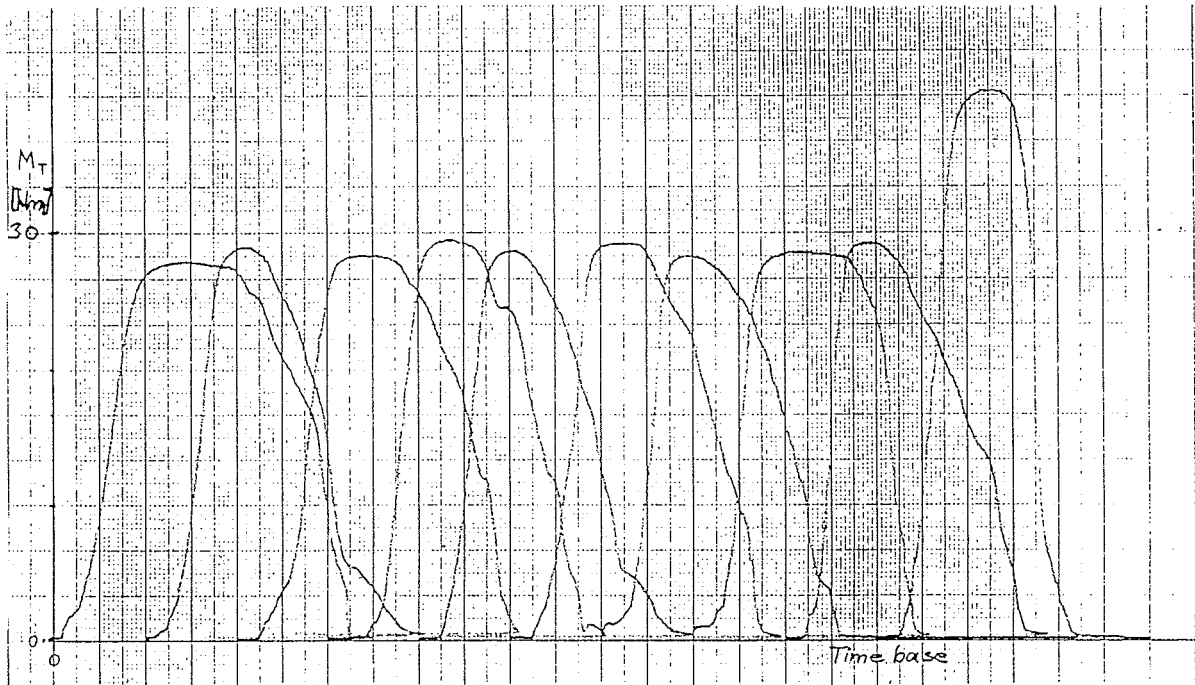


Bild 14: Holzschraube 10 x 100