

## Edelstahl: Werkstoffe, Eigenschaften, Festigkeitsklassen

Verbindungselemente aus Edelstahl finden Sie im Reyher Katalog – in großer Auswahl. In dieser Ausgabe der aktuell beleuchten wir Hintergründe, Möglichkeiten und Beschränkungen dieses „edlen“ Materials und informieren über die Bedingungen für seinen Einsatz als Verbindungselement. →



→ Edelstahl (nach DIN EN 10020) ist eine Bezeichnung für legierte oder unlegierte Stähle, deren Schwefel- und Phosphorgehalt 0,025% nicht übersteigt.

### Edelstahl: darf auch mal rosten!

Dass ein Edelstahl „chemisch besonders rein“ oder „nichtrostend“ sein muss, ist nicht zutreffend: nicht zwangsläufig muss er den Anforderungen eines nichtrostenden Stahls entsprechen. Trotzdem werden im Alltag häufig nur rostfreie Stähle als Edelstähle bezeichnet. Ebenso muss ein rostfreier Stahl nicht unbedingt auch ein Edelstahl sein. Zu den Edelstählen zählen z.B. Stähle, bei denen durch einen besonderen Herstellungsprozess Bestandteile wie Aluminium und Silizium aus der Schmelze ausgeschieden werden oder zum Beispiel auch hochlegierte Werkzeugstähle, die für eine spätere Wärmebehandlung vorgesehen sind. Marktüblich versteht man unter Edelstahl üblicherweise die Gruppe der nichtrostenden Edelstähle, auch bezeichnet als „Edelstahl Rostfrei“ oder nur „Rostfrei“. Ebenso sind Bezeichnungen wie Nirosta, Remanit, Chromorgan oder V2A/V4A anzutreffen.

### Relevant für die Verbindungselemente

Für den Bereich der Verbindungselemente werden die Eigenschaften der nichtrostenden Stahlsorten in der Normenreihe ISO 3506-1-3 beschrieben und in drei wesentliche Stahlgruppen unterteilt. Jeder Stahlgruppe werden die Stahlsorten, zahlreiche Werkstoffe und Festigkeitsklassen zugeordnet. Nachstehend finden Sie die Übersicht über das Bezeichnungssystem.

## Eine variantenreiche Familie

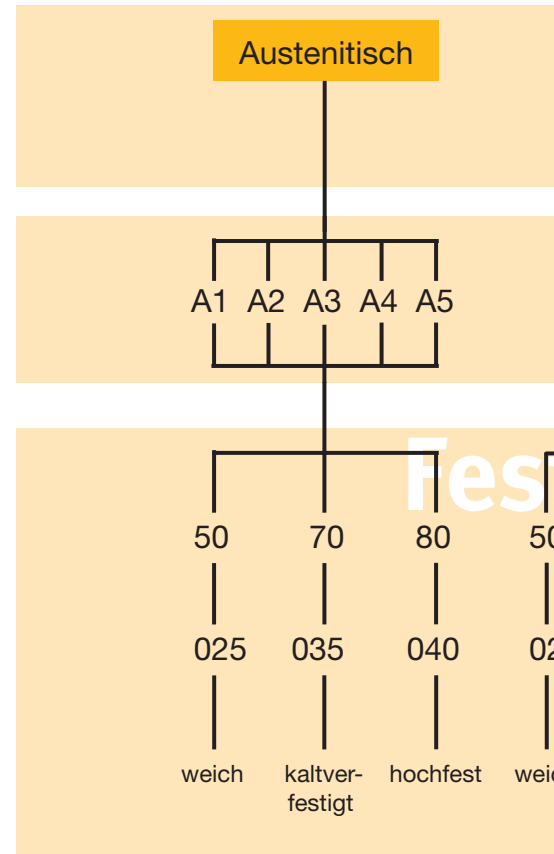
### Austenitische Stähle

Als Austenit, benannt nach Sir William Chandler Roberts-Austen, werden  $\gamma$ -Mischkristalle des Eisens bezeichnet. Die austenitischen Stähle (A 1 bis A 5) sind – abhängig von den Umgebungsbedingungen – sehr korrosionsbeständig. Um die Neigung zur Kaltverfestigung zu verringern und eine bessere Umformbarkeit zu erzielen, kann diesen Werkstoffen Kupfer beigefügt werden.

Diese Werkstoffe können nicht gehärtet werden und sind in der Regel nicht magnetisierbar (=> Permeabilität). Den Stahlsorten A 3 und A 5 werden die Elemente Titan, Niob oder Tantal zugefügt, um bei hohen Temperaturen oder zum Beispiel nach dem Schweißen eine höhere Stabilität gegen interkristalline Korrosion zu erreichen.

### Martensitische Stähle

Als Martensit oder martensitisch (benannt nach dem deutschen Werkstoffkundler A. v. Martens, 1850 – 1914) bezeichnet man eine kristalline Struktur

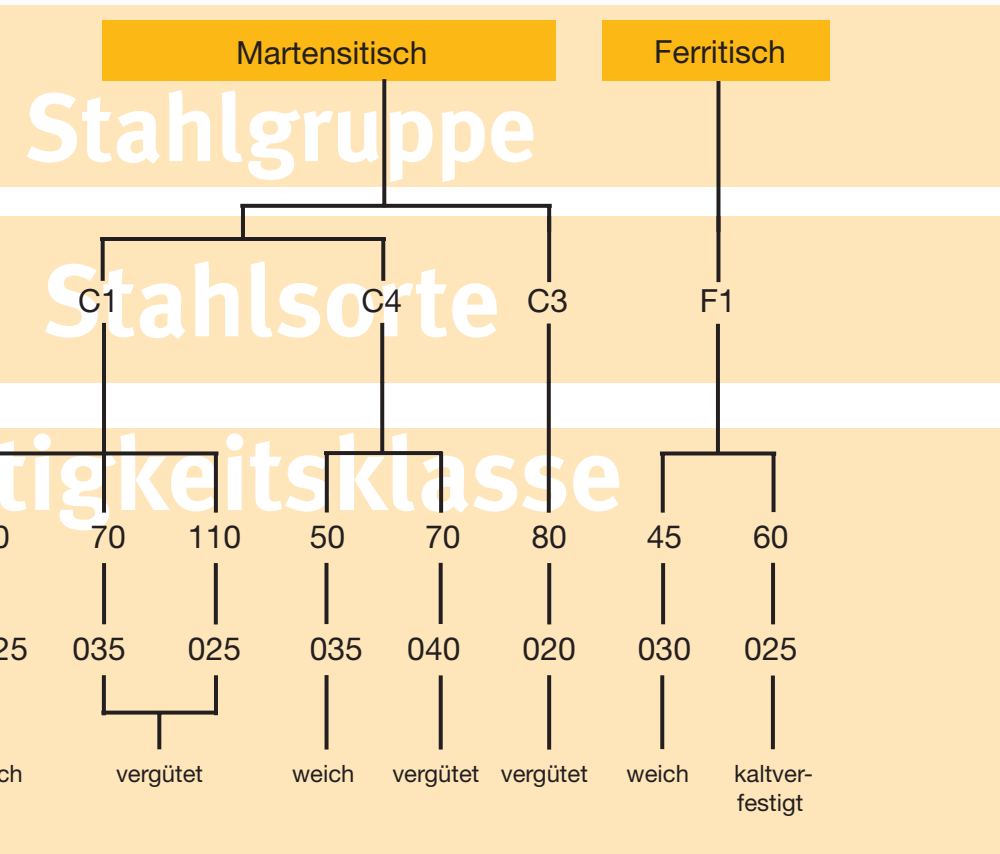


im Stahlgefüge. Sie entsteht, wenn die Abkühlung nach dem Härten sehr schnell erfolgt.

Bei der technischen Wärmebehandlung von Stählen kommt der martensitischen Umwandlung wohl die größte Bedeutung zu, weil, von Ausnahmen in der Praxis abgesehen, alle Härte- und Vergütungsbehandlungen über eine Martensitbildung ablaufen. Gegenüber den austenitischen Werkstoffen können martensitische Werkstoffe gehärtet werden. Martensite kommen den mechanischen Eigenschaften von Stahl näher. Die Korrosionsbeständigkeit ist allerdings gegenüber den Austeniten geringer.

### Ferritische Stähle

Als Ferrit oder ferritisch bezeichnet man eine kristalline Struktur im Stahlgefüge. Ferritische Stähle sind warmfeste Stähle mit besonderen magnetischen Eigenschaften, welche nicht abschreckhärter sind. Sie neigen zur Bildung von grobem Korn, welches nicht zu beseitigen ist. Sie weisen üblicherweise eine deutliche Härte und Sprödigkeit auf. Eine Zuordnung von Werkstoffen zu den einzelnen Stahlsorten sowie deren Eigenschaften sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:



## ... im Spiegel ihrer

### Permeabilität

Die magnetische Permeabilität  $\mu_{\tau}$  bestimmt die Durchlässigkeit von Materie für magnetische Felder. Permeabilität ist das Verhältnis der magnetischen Flussdichte  $B$  zur magnetischen Feldstärke  $H$ . Der Werkstoff hat eine geringe magnetische Permeabilität, wenn der Wert für  $\mu_{\tau}$  nahe 1 liegt. Für Verbindungselemente aus Edelstahl ist diese Eigenschaft in den Teilen der ISO 3506 in informativen Anhängen beschrieben. Verbindungselemente aus austenitischen Stählen sind im Allgemeinen nicht magnetisierbar. Nach der Kaltumformung kann eine gewisse Magnetisierbarkeit vorliegen. Auch durch Spanabhub bei gedrehten Ausführungen oder durch Stanzen kann Magnetismus auftreten. So weist A 2 ein  $\mu_{\tau} \sim 1,8$  auf, ein A 4 ein  $\mu_{\tau} \sim 1,015$ . In besonderen Anwendungsfällen können zu hohe Werte durch eine spezielle Wärmebehandlung von erfahrenen Betrieben reduziert werden. Dabei können aber auch die mechanischen Eigenschaften beeinträchtigt werden.

### Kaltverschweißung/Fressen

Bei Verbindung zweier Elemente aus nichtrostenden Stählen sind die Reibungswerte im Gewinde und an den Auflageflächen größer als bei vergüteten Schrauben. Es wird angenommen, dass es bei der Verschraubung zu Verschweißungen im mikroskopischen Bereich kommt. Durch weiteres Anziehen des Verbindungselements werden die Verschweißungen wieder aufgerissen. Dadurch erhöht sich die Oberflächenrauheit und erschwert weiteres Drehen der Schrauben oder Mutter. Dies wiederholt sich so oft, bis sich das Verbindungselement nicht mehr drehen lässt. Die Gefahr der Kaltverschweißung kann durch die Verwendung von Kupferpaste oder ähnlichen Schmierstoffen vermindert werden. Eine ebenfalls in der Praxis erprobte, aber technisch nicht nachweisbare Variante, ist die Verwendung von beispielsweise A 2-Schrauben mit A 4-Muttern.

Stahlsorte	Werkstoffnummer	Eigenschaften
A 1	1.4300 (X12CrNi18-8) 1.4305 (X8CrNiS18-9)	<ul style="list-style-type: none"> <li>für spanende Bearbeitung</li> <li>bedingt korrosionsbeständig</li> <li>bedingt säurebeständig</li> <li>bedingt schweisssbar</li> </ul>
A 2	1.4301 (X5CrNi18-10) 1.4303 (X4CrNi18-12) 1.4306 (X2CrNi19-11)	<ul style="list-style-type: none"> <li>für fließgepresste Bearbeitung</li> <li>korrosionsbeständig</li> <li>bedingt säurebeständig</li> <li>gut schweisssbar</li> </ul>
A 3	1.4541 (X6CrNiTi18-10) 1.4590 (X2CrNbZr17) 1.4550 (X6CrNiNb18-10)	<ul style="list-style-type: none"> <li>für fließgepresste Bearbeitung</li> <li>höchste Korrosionsbeständigkeit</li> <li>hoch säurebeständig</li> <li>gut schweisssbar</li> </ul>
A 4	1.4401 (X5CrNiMo17-12-2) 1.4435 (X2CrNiMo18-14-3) 1.4439 (X2CrNiMoN17-13-5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>für fließgepresste Bearbeitung</li> <li>höchste Korrosionsbeständigkeit</li> <li>hoch säurebeständig</li> <li>gut schweisssbar</li> </ul>
A 5	1.4436 (X3CrNiMo17-13-3) 1.4571 (X6CrNiMoTi17-12-2) 1.4580 (X6CrNiMoNb17-12-2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>für fließgepresste Bearbeitung</li> <li>höchste Korrosionsbeständigkeit</li> <li>hoch säurebeständig</li> <li>gut schweisssbar</li> </ul>
C 1	1.4006 (X12Cr13) 1.4021 (X20Cr13)	<ul style="list-style-type: none"> <li>bedingt rostbeständig</li> </ul>
C 3	1.4057 (X17CrNi16-2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>bedingt rostbeständig</li> <li>für spanende Bearbeitung</li> </ul>
C 4	1.4104 (X14CrMoS17)	<ul style="list-style-type: none"> <li>bedingt rostbeständig</li> <li>für spanende Bearbeitung</li> </ul>
F 1	1.4016 (X6Cr17)	<ul style="list-style-type: none"> <li>korrosionsbeständig</li> <li>bedingt säurebeständig</li> <li>gute Eignung bei Umgebungen mit hohem Chloridgehalt</li> </ul>



## Eigenschaften

### Härten von austenitischen Werkstoffen (Kolsterisieren)

Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Oberflächenhärte, z.B. als Verschleißschutz bildet das Kolsterisieren. Hierbei werden mittels eines Diffusionsverfahrens bei niedriger Temperatur ( $< 300^{\circ}\text{C}$ ) große Mengen Kohlenstoff eindiffundiert. Der Kohlenstoff wird in Zwischengitterplätzen gelöst und bildet keine Carbide. Aufgrund der großen Mengen Kohlenstoff kommt es zu Druckspannungen in der Oberfläche, die eine sehr hohe Oberflächenhärte von  $> 1000\text{ HV }0,05$  erzeugen. Die Standardbehandlung als Verschleißschutz ergibt eine Einhärtetiefe von  $22\mu\text{m}$ , für austenitischen, rostfreien Stahl.

### Kritisch: Federnde Eigenschaften mitverspannter Elemente

Da austenitische Werkstoffe nicht vergütet werden können, erreichen sie nicht die gleichen mechanischen Eigenschaften wie Federstahl (hohe Härte). Die von Federstahl gewohnten Eigenschaften sind fast nicht vorhanden. Spannscheiben aus A 2 (1.4301) werden z. B. bei der Montage „platt“ gedrückt. Nach dem Lösen bleiben die Spannscheiben in diesem „platten“ Zustand, was den Rückschluss zulässt, dass eine Federwirkung nahezu nicht vorhanden ist. Die Normung trägt diesem Sachverhalt Rechnung, indem alle mitverspannten, federnden Elemente aus dem Werkstoff

„Nichtrostender Stahl“ nicht genormt sind. Dennoch werden diese in der Praxis oft verlangt. Als einzige Alternative für derartige Anwendungen kommt der austenitische Werkstoff 1.4310 (X10CrNi18-8) in Betracht. Dieser kann zwar nicht dieselben Eigenschaften wie Federstahl aufweisen, erreicht aber zumindest, wenn auch reduzierte, nachweisbare Federkräfte. Für den Anwender ist dies oft nur durch ein genaues Studium der Artikeltexte erkennbar. Mitverspannte, federnde Elemente, die in ihrer Bezeichnung nur den Hinweis A 2 oder A 4 enthalten und oftmals preisgünstig angeboten werden, sollten aufgrund nicht vorhandener Federkräfte keine Verwendung in modernen Konstruktionen finden.



Parabolspiegel aus Edelstahl, Forschungsanlage in Almeria, Spanien\*

### Festigkeitsklassen

Da austenitische Werkstoffe nicht über eine Wärmebehandlung gehärtet oder vergütet werden können, weisen sie im unbearbeiteten Lieferzustand die Festigkeitsklasse 50 auf, was einer Zugfestigkeit von ca.  $500\text{ MPa}$  entspricht. Bei einer spanlosen Herstellung werden sie kaltverfestigt, wodurch die Zugfestigkeiten auf bis zu  $700\text{ MPa}$  bzw.  $800\text{ MPa}$  (Festigkeitsklasse 70 + 80) ansteigen können. Da der Verfestigungsdruck z.B. beim Gewindewalzen Grenzen unterliegt, kann die in der Praxis übliche Festigkeitsklasse 70 maximal bei Schrauben bis zur Größe von M 24 erreicht werden. Anders als bei Stahlschrauben besteht zwischen der 0,2%-Dehngrenze und der Zugfestigkeit kein linearer Zusammenhang. Die zur entsprechenden Zugfestigkeit 50, 70, 80 gehörende Dehngrenze ist umseitiger Tabelle zu entnehmen.

Die mechanischen und chemischen Eigenschaften für nichtrostende Verbindungselemente sind in der DIN EN ISO 3506-1/-2 und -3 festgelegt. →

## → Hohe Reibungswerte beim Verschrauben

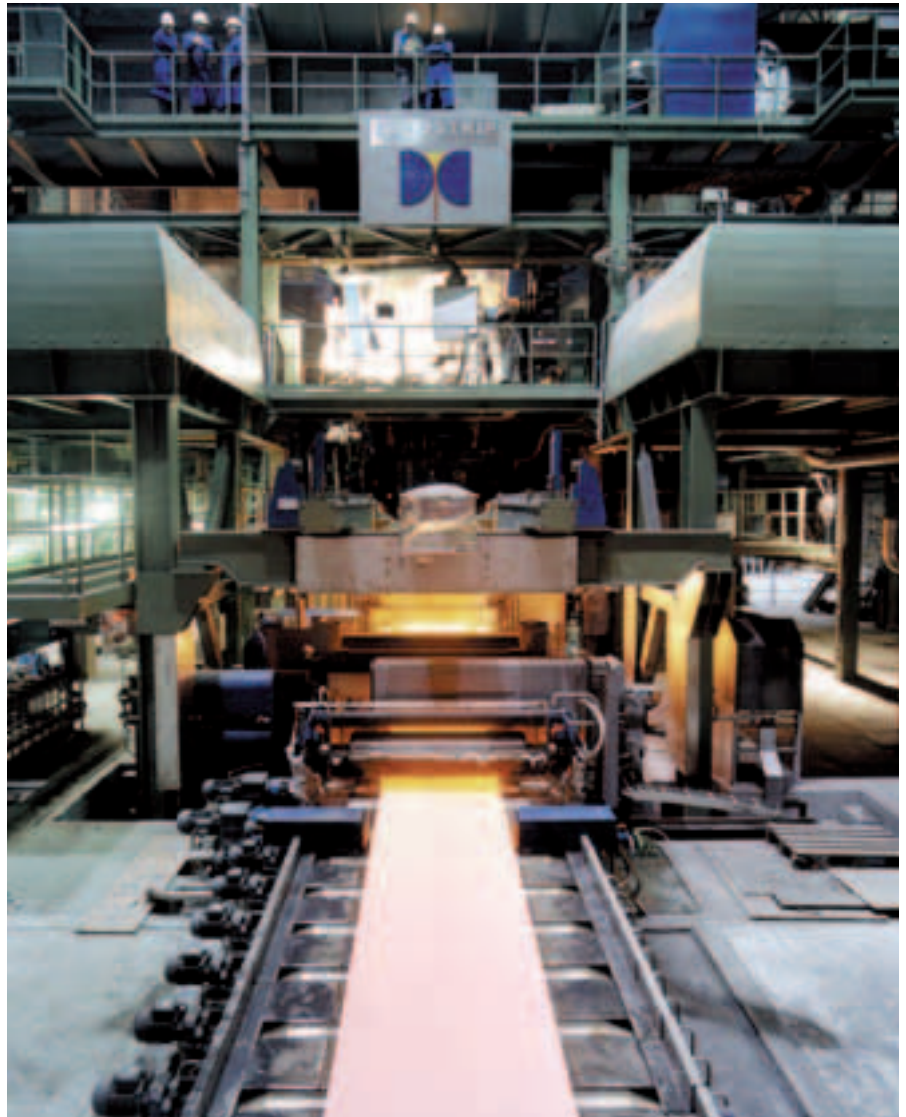
Neben den anderen Festigkeitsklassen haben Verbindungselemente aus austenitischen Werkstoffen auch ein anderes Reibungsverhalten im Gewinde, so dass andere Montageverhalten und Anziehdrehmomente angewendet werden müssen als bei vergüteten Stahlschrauben.

Bei Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen sind die Reibungswerte im Gewinde und an den Auflageflächen wesentlich größer als bei vergüteten Stahlschrauben. Auch der Streubereich der Reibungswerte ist hier viel größer (bis über 100%).

Durch die Verwendung von Schmiermitteln (z. B. Kupferpaste oder Überzüge wie Delta Seal GZ) können die Reibungszahlen gezielt verändert werden. Zur endgültigen Bestimmung des richtigen Drehmomentes ist ein Versuch unter Einsatzbedingungen angeraten.



Das REM-Team steht Ihnen bei Fragen gern zur Verfügung:  
**Hotline: 040 85363-999**



Edelstahl Bandgießanlage, Werk Krefeld\*

Stahlgruppe	Stahlsorte	Festigkeitsklasse	Durchmesserbereich	Zugfestigkeit R <sub>m</sub> MPa min.	0,2 %-Dehngrenze R <sub>p 0,2</sub> MPa min.	Bruch-Dehnung A <sup>2</sup> mm min.
Austenitisch	A1, A 2, A 3, A 4, A 5	50	≤ M 39	500	210	0,6 d
		70	≤ M 24	700	450	0,4 d
		80	≤ M 24	800	600	0,3 d
Martensitisch	C 1	50		500	250	0,2 d
		70		700	410	0,2 d
		110		1100	820	0,2 d
	C 3	80		800	640	0,2 d
	C 4	50		500	250	0,2 d
Ferritisch	F 1	70		700	410	0,2 d
		45		450	250	0,2 d
		60		600	410	0,2 d

\* Bildnachweis: Thyssen Krupp



## Unverbindliche Richtwerte

Die Tabelle enthält unverbindliche Richtwerte für verschiedene Reibungszahlen, gültig für Schrauben und Muttern nach DIN 912, 931, 933 und 934/ISO 4014, 4017, 4762 und 4032 aus

nichtrostenden Stählen A 2 und A 4 in der Festigkeitsklasse 50, 70 und 80 bis zu Nennlängen  $8 \times d$  und einer Dehngrenzenauslastung von 90 %.

Ø	Fkl.	Montagevorspannkraft in kN für $\mu_{ges} =$								Anziehmomente in Nm für $\mu_{ges} =$							
		0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,30	0,40	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,30	0,40
M 4	50	1,47	1,48	1,39	1,35	1,31	1,26	1,07	0,91	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,6	1,8
	70	3,14	2,71	2,97	2,89	2,80	2,71	2,30	1,95	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,4	3,8
	80	4,19	4,08	3,96	3,85	3,73	3,61	3,06	2,61	2,4	2,7	3,0	3,3	3,5	3,7	4,6	5,1
M 5	50	2,39	2,33	2,27	2,20	2,14	2,07	1,76	1,50	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	3,2	3,6
	70	5,13	5,00	4,86	4,72	4,58	4,44	3,77	3,21	3,5	4,0	4,5	4,9	5,2	5,6	6,8	7,6
	80	6,84	6,66	6,48	6,29	6,10	5,91	5,02	4,28	4,7	5,4	5,9	6,5	7,0	7,4	9,1	10,2
M 6	50	3,39	3,30	3,21	3,11	3,02	2,93	2,48	2,11	2,9	3,3	3,6	3,9	4,2	4,5	5,5	6,2
	70	7,26	7,07	6,87	6,67	6,47	6,27	5,32	4,53	6,2	7,0	7,7	8,4	9,1	9,7	11,9	13,2
	80	9,68	9,43	9,13	8,90	8,63	8,36	7,09	6,04	8,2	9,3	10,3	11,3	12,1	12,9	15,8	17,7
M 8	50	6,21	6,05	5,88	5,72	5,54	5,37	4,57	3,89	7,0	7,9	8,8	9,6	10,3	11,0	13,6	15,2
	70	13,30	12,96	12,61	12,25	11,88	11,51	9,79	8,34	15,0	17,0	18,8	20,6	22,2	23,6	29,1	32,5
	80	17,74	17,29	16,81	16,33	15,84	15,35	13,05	11,11	19,9	22,6	25,1	27,4	29,5	31,5	38,8	43,4
M 10	50	9,87	9,62	9,37	9,10	8,83	8,56	7,28	6,20	13,8	15,7	17,4	19,0	20,5	21,8	27,0	30,2
	70	21,16	20,63	18,40	19,50	18,92	18,34	15,60	13,29	29,5	33,5	37,3	40,7	41,9	46,8	57,8	67,7
	80	28,21	27,50	26,76	25,99	25,22	24,45	20,79	17,72	39,4	44,7	49,7	54,3	58,5	62,4	77,1	86,2
M 12	50	14,38	14,03	13,65	13,27	12,87	12,48	10,62	9,05	23,8	27,1	30,1	32,9	35,4	37,8	46,8	52,3
	70	30,83	30,06	29,26	28,43	28,59	26,75	22,76	19,40	51,0	58,0	64,5	70,5	76,0	81,0	100,2	112,1
	80	41,10	40,08	39,01	37,90	36,78	35,66	30,35	25,87	68,0	77,3	85,9	93,9	101,0	108,0	133,6	149,5
M 14	50	19,74	19,25	18,74	18,21	17,68	17,14	14,59	12,44	37,8	43,0	47,9	52,4	56,5	60,2	74,6	83,5
	70	42,31	41,26	40,16	39,03	37,88	36,73	31,27	26,65	81,1	92,2	103,0	112,0	121,0	129,0	160,0	179,0
	80	56,41	55,01	53,54	52,04	50,50	48,97	41,69	35,54	108,0	123,0	137,0	150,0	161,0	172,0	212,0	238,5
M 16	50	27,04	26,39	25,71	25,01	24,29	23,56	20,10	17,16	58,2	66,5	74,2	81,4	87,9	94,0	117,0	131,0
	70	57,94	56,55	55,09	53,58	52,04	50,49	43,08	36,77	125,0	143,0	159,0	174,0	188,0	201,0	251,0	282,0
	80	77,25	74,40	73,46	71,44	69,39	67,33	57,44	49,03	166,0	190,0	212,0	233,0	251,0	269,0	334,0	375,0
M 18	50	33,01	32,20	31,35	30,47	29,58	28,68	24,43	20,83	81,3	92,6	103,0	113,0	122,0	130,0	161,0	180,0
	70	70,73	69,00	67,17	65,29	63,38	61,46	52,34	44,64	174,0	198,0	221,0	242,0	261,0	278,0	345,0	387,0
	80	94,31	92,00	89,56	87,05	84,51	81,95	69,79	59,52	232,0	265,0	295,0	322,0	348,0	371,0	460,0	515,0
M 20	50	42,27	41,26	40,20	39,10	37,79	36,84	31,34	26,83	114,0	130,0	146,0	160,0	173,0	184,0	230,0	258,0
	70	90,58	88,40	86,14	83,78	81,37	78,95	67,35	57,49	245,0	280,0	312,0	342,0	370,0	395,0	492,0	552,0
	80	120,80	117,90	114,90	111,70	108,50	105,30	89,80	76,70	326,0	373,0	416,0	456,0	493,0	527,0	656,0	736,0
M 22	50	52,67	51,45	50,15	48,80	47,42	46,02	39,32	33,59	156,0	178,0	200,0	219,0	237,0	254,0	318,0	257,0
	70	112,87	110,24	107,46	104,56	101,61	98,61	84,25	~	334,0	382,0	428,0	470,0	508,0	544,0	680,0	~
M 24	50	60,88	59,43	57,90	56,30	54,69	53,01	45,27	38,64	197,0	225,0	251,0	275,0	297,0	318,0	396,0	444,0
	70	130,50	127,40	124,10	120,70	117,20	113,70	97,00	~	421,0	482,0	537,0	589,0	637,0	680,0	848,0	~
M 27	50	79,86	78,02	76,05	74,01	71,93	69,82	59,67	50,98	289,0	332,0	371,0	408,0	442,0	473,0	591,0	666,0
	70	171,00	167,00	163,00	159,00	154,00	150,00	128,00	~	620,0	711,0	795,0	873,0	946,0	1013,0	1267,0	~
M 30	50	97,23	94,96	92,54	90,04	87,48	84,90	72,50	61,90	394,0	451,0	504,0	553,0	599,0	640,0	800,0	900,0
	70	208,00	203,00	198,00	193,00	187,00	182,00	155,00	~	844,0	966,0	1080,0	1186,0	1283,0	1373,0	1715,0	~
M 33	50	121,00	118,00	115,00	112,00	109,00	106,00	90,00	77,00	531,0	610,0	683,0	751,0	813,0	871,0	1092,0	1230,0
M 36	50	142,00	139,00	135,00	132,00	128,00	124,00	106,00	91,00	684,0	784,0	876,0	964,0	1044,0	1117,0	1398,0	1573,0
M 39	50	170,00	166,00	162,00	158,00	154,00	149,00	128,00	109,00	883,0	1014,0	1137,0	1250,0	1355,0	1452,0	1822,0	2054,0