Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 91 (1973)
Heft: 23: Ausstellung Bau und Architektur 73, Bern, 20. bis 27. Juni

Artikel: Die Erfindung der nichtrostenden Stähle vor 60 Jahren
Autor: Keller, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-71897

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

91. Jahrgang Heft 23 SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG 7. Juni 1973

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Die Erfindung der nichtrostenden Stähle vor 60 Jahren

DK 669.18 : 93/99

Von **A. Keller**, Zürich

1. Einleitung

Die nichtrostenden Stähle haben in der verhältnismässig kurzen Zeitspanne ihres Daseins eine aussergewöhnlich vielseitige Anwendung gefunden. Als Werkstoffe für ganze Anlagen oder für Einzelteile spielen sie in der chemischen Industrie bei Apparaten, Maschinen, Fahrzeugen, Werkzeugen sowie in der Architektur, im Haushalt und in der Chirurgie eine oft ausschlaggebende Rolle. Der Zeitpunkt ihrer Erfindung und erstmaligen Anwendung fällt in die Jahre vor dem Ersten Weltkrieg, hauptsächlich in die letzten Monate des Jahres 1912. Zu ihrer Entwicklung mussten gewissermassen drei Stufen durchlaufen werden:

1. Erschmelzen von Legierungen in der ungefähren Zusammensetzung der nichtrostenden Stähle;
2. Erkennung der Eigenschaft des Nichtrostens und ihrer praktischen Bedeutung;
3. Auffinden von Wärmebehandlungsmethoden, um eine gute Verarbeitbarkeit zu erzielen.

An der Erfindung der nichtrostenden Stähle sind zahlreiche Forscher beteiligt, unter welchen einige durch überragende Leistungen hervortreten. Heute bietet sich eine grosse Anzahl nichtrostender Stähle an; einige typische Vertreter sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Die heutige grosse Mannigfaltigkeit ergibt sich durch Abweichungen von der aufgeführten Zusammensetzung, durch zusätzliche Legierungsbestandteile und durch analysenbedingte Gefügeänderungen, z.B. im Sinne von Mischgefügen. Von Bedeutung, auch im Hinblick auf die Entwicklungsgeschichte, ist die Einteilung in die beiden Gruppen der hochlegierten Chromstähle und Chromnickelstähle.

Die verschiedenen gebräuchlichen Bezeichnungen: nichtrostende Stähle, rostfreie Stähle, Stainless (fleckenfreie) Steels, korrosionsbeständige Stähle, säurebeständige oder säurefeste Stähle werden wahlweise verwendet und sind hinsichtlich des Verhaltens der Stähle nur bedingt zutreffend.

Bei der Beschäftigung mit der Erfindungsphase der nichtrostenden Stähle stellt sich die Frage, welche Werkstoffe wir verwenden würden, wenn es diese Stähle nicht gäbe oder die Erfindung bis heute nicht gelungen wäre. Zweifellos vermögen die Kunststoffe bei zahlreichen Anwendungsfällen die nichtrostenden Stähle zu ersetzen. Sie werden aber vor allem dort verwendet, wo früher Kupferlegierungen, insbesondere Neusilber, ferner Edelmetalle, Blei, keramische Werkstoffe und mit Oberflächenschutz versehene gewöhnliche Stähle zum Einsatz gelangten. Verschiedene Entwicklungen waren aber erst möglich, als sich die nichtrostenden Stähle zu den vorhandenen Werkstoffen hinzugesellten.

2. Kenntnisse und Entwicklungen vor der Erfindungszeit

Bevor die hochchromhaltigen Stähle mit ihrer vorzüglichen Rost- und Korrosionsbeständigkeit bekannt waren, galten die hochnickelhaltigen Stähle als praktisch rostfrei, mindestens aber als rostträge. Sie traten in den letzten Jahren des 19. Jahrhunderts in den Kreis der technisch verwendbaren Stähle ein. Ein Stahl mit 9 bis 11% Nickel wurde von der Poldi-Hütte zur Herstellung von korrosionsbeständigen Gewehrläufen angewendet; allgemein hat sich das Streben nach rostfreien Stählen für Gewehrläufe stark fördernd auf die Entwicklung der nichtrostenden Stähle ausgewirkt. Ein Stahl mit 25% Nickel wurde von verschiedenen Werken als rostträger Stahl erzeugt, wobei die als Folge seiner niedrigen Streckgrenze gute Verarbeitbarkeit seiner Verbreitung und Anwendung förderlich war. Die metallkundlichen Kenntnisse der Nickelstähle sind dem Franzosen *L. Guillet* zu verdanken, welcher die in Abhängigkeit von Kohlenstoff- und Nickelgehalt auftretenden Gefüge erforschte und die Erkenntnisse in einem Diagramm zusammenfasste. Er dehnte seine Untersuchungen auf die Chromstähle (z.B. 13,6% Cr) und auf Chromnickelstähle (z.B. 20,55% Cr und 10,6% Ni) aus und versuchte auch diese Erkenntnisse in Diagrammen darzulegen. Er erschmolz und untersuchte also Stähle mit der Zusammensetzung der späteren nichtrostenden Stähle, ohne aber ihre praktische Bedeutung zu erkennen; er stellte lediglich fest, dass sie dem Anätzen zur Gefügeuntersuchung grösseren Widerstand entgegensetzten.

Der Engländer Sir *Robert Hadfield*, dem die Erfindung des Manganhartstahles, des heute noch in grossem Umfang verwendeten verschleissfesten, hochlegierten Manganstahles, zu verdanken ist, erschmolz im Jahre 1892 zahlreiche Chromstähle mit Chromgehalten bis zu 16,7%. Er untersuchte den Einfluss eines Chromgehaltes jedoch in 50%iger Schwefelsäure, also in einem Angriffsmittel, dem nichtrostende Chromstähle nicht zu widerstehen vermögen, und stellte dabei sogar einen ungünstigen Einfluss eines Chromgehaltes fest. Erst als er im Jahre 1915 auf ein Schriftstück von *H. Brearley* (siehe später) stiess, aus welchem die Rostsicherheit der hochlegierten Chromstähle ersichtlich war, griff er auf die noch in seinem Museum liegenden Proben aus hochlegiertem Chromstahl zurück und erkannte, dass sie die lange Zeit ohne jede Veränderung, also in blankem Zustand, überdauert hatten.

Tabelle 1. Typische Vertreter nichtrostender Stähle

Gruppe	Zusammensetzung	Gefüge	Verwendungsbeispiele
Chromstähle	0,08% C 14% Cr	ferritisch	Bestecke, Haushaltapparate, Verkleidungen
	0,2% C 13% Cr	martensitisch	Maschinenbau
	0,4% C 13% Cr	martensitisch mit Karbiden	Messer, Werkzeuge, Chirurgie
Chromnickelstähle	<0,06% C 18% Cr 10% Ni	austenitisch	Haushalt, Lebensmittelindustrie, Architektur
	<0,06% C 18% Cr 11% Ni 2% Mo	austenitisch	Lebensmittel- und chemische Industrie

Im Jahre 1895 begann der Amerikaner *E. Haynes* mit Schmelzversuchen zur Herstellung korrosionsbeständiger Legierungen. Er erkannte die hohe Beständigkeit von Chrom-Nickel-Legierungen mit über 10% Chrom, insbesondere gegen Salpetersäure. Seine Arbeiten, worüber er erstmals im Jahre 1910 veröffentlichte, betrafen aber vor allem Chrom-Kobalt-Legierungen, teilweise mit Zusätzen von Wolfram und Molybdän. Aus seinen Versuchen gingen die später als korrosionsbeständige Werkstoffe zu grosser Bedeutung gelangten Stellite- und Hastelloy-Legierungen hervor. Haynes hat wohl die günstige Wirkung von Chrom im Hinblick auf den Korrosionswiderstand von Metallegierungen aufgezeigt, doch kann er nicht unter die Erfinder des nichtrostenden Stahles eingereiht werden.

Das chemische Element Chrom wurde zu Ende des 18. Jahrhunderts entdeckt, und schon früh hat man seine hohe Beständigkeit gegen chemische Angriffsmittel festgestellt. Auch wurde erkannt, dass Legierungen mit Eisen, Ferrochromlegierungen, selbst von Königswasser nicht angegriffen werden. Im Laufe der Zeit konnte dann das Wesen dieses passiven Verhaltens eines Metalles gegenüber einem Angriffsmittel, die Passivität, erklärt werden: das Metall überzieht sich im ersten Augenblick des Angriffs, sofern ein Sauerstoffangebot vorhanden ist, mit einer äusserst dünnen, lückenlosen, undurchlässigen und festhaftenden Schicht des Metalloxides, wodurch eine völlige Trennung zwischen Metall und Angriffsmittel herbeigeführt wird. Im Falle des nichtrostenden Stahles vermag Chrom diese Eigenschaft auch auf die Stahllegierung zu übertragen, sofern es in einem genügenden Anteil von etwa 13% vorhanden ist. – Ferrochrom zur Herstellung chromhaltiger Stähle stand ursprünglich nur mit hohem Kohlenstoffgehalt zur Verfügung. Erst seit der Erfindung des aluminothermischen Verfahrens zur Herstellung kohlenstofffreien Ferrochroms im Jahre 1895 konnten auch kohlenstoffarme Chromstähle erschmolzen werden.

Von grösster Bedeutung im Hinblick auf die Erfindung des nichtrostenden Stahles ist die aus Aachen stammende, von *W. Borchers* angeregte Doktorarbeit von *P. Monnartz:* «Beitrag zum Studium der Eisen-Chrom-Legierungen unter besonderer Berücksichtigung der Säurebeständigkeit», veröffentlicht im Jahre 1911. Bei diesen kohlenstofffrei hergestellten Eisen-Chrom-Legierungen wurde ermittelt, dass die Beständigkeit gegen Salpetersäure mit steigendem Chromgehalt zunimmt, um bei 20 bis 40% diejenige von Chrom zu erreichen. Das Maximum der Passivierbarkeit wurde bei 65% Chrom gefunden. Bereits im Jahre 1910 meldeten Borchers und Monnartz ein Patent für eine Eisenlegierung an, welche Chrom und Molybdän enthält. Als unterste Grenze war 10% Chrom aufgeführt, doch galt die hauptsächliche Aufmerksamkeit der Erfinder den hohen Chromgehalten, namentlich einer Legierung mit 60% Chrom, 35% Eisen und 2 bis 3% Molybdän, da ein Ersatz für Platin angestrebt wurde. Es kam ein Vertragsabschluss mit der Firma Fried. Krupp zustande; soweit nachgewiesen werden kann, wurden 1437 kg dieser Legierungen hergestellt bzw. verkauft. Einer umfassenden Anwendung standen unbefriedigende mechanische Eigenschaften im Wege. Monnartz wurde nach Abschluss seiner Doktorarbeit bei Fried. Krupp zur Weiterentwicklung der Chrom-Eisen-Legierungen angestellt. Entgegen den Abmachungen wurde er aber im Walzwerk beschäftigt; seinen Einsprachen blieb der Erfolg versagt, und so blieb er von der weiteren Entwicklung ausgeschlossen.

Obschon bis zum Jahre 1912 wesentliche Vorarbeit geleistet worden war und beträchtliche Kenntnisse vorlagen, bestand im Hinblick auf nichtrostende Stähle eine beträchtliche Skepsis. Noch im Jahre 1912 äusserte *G. Mars* in seinem Buch über Spezialstähle, es würden alle Angaben darauf hinweisen, «dass es keine Eisenlegierungen gibt, welche den Angriffen des Rostens dermassen widerstehen, dass man das Eisen mit Erfolg ohne Schutzanstrich in Berührung mit Wasser verwenden könnte».

Aber eben dieses Jahr war das Geburtsjahr der nichtrostenden Stähle.

Tabelle 2. Zusammensetzung der Schmelzen C_4 und C_5 in %

Stahl	Kohlenst.	Silizium	Mangan	Nickel	Chrom
C_4	0,22	0,07	0,13	1,75	10,05
C_5	0,31	0,08	0,11	5,00	20,10

3. Die Erfindungszeit

Während langer Zeit war England auf dem Gebiet von Stahlforschung und -entwicklung führend; mit der grosszügigen Erweiterung der Chemisch-Physikalischen Versuchsanstalt der Firma Fried. Krupp in Essen im Jahre 1909 erfüllte sich auch in Deutschland die Voraussetzung für eine entsprechende Tätigkeit. Diesem Institut stand der Physiker *B. Strauss* vor, dessen erster Assistent der Hüttenmann *Ed. Maurer* war. Zur Entwicklung von Stählen für Pyrometerrohre erschmolz Strauss im Dezember 1910 im Tiegel fünf Stähle mit Chromgehalten zwischen 10 und 29%, die sich aber als unbearbeitbar erwiesen und deshalb nicht weiter verfolgt wurden. Im Jahre 1912 wurden in der Versuchsanstalt 1909 begonnene Versuche im Hinblick auf das Korrosionsverhalten von Stählen intensiviert. Im September 1912 stiess Maurer auf eine englische Veröffentlichung, welche besagte, dass ein Chromgehalt sich günstig auf die Korrosionsbeständigkeit auswirke, indem ein Stahl mit 5,3% Chrom sich gemäss Zahlenangaben als nennenswert korrosionssicher erwies. Dabei erinnerte sich Maurer an die Arbeit von Monnartz, wonach eine Eisen-Chrom-Legierung mit 20% Chrom und mit niedrigem Kohlenstoffgehalt gegen verdünnte Salpetersäure gleich beständig wie reines Chrom sei; er schloss daraus, dass ein Stahl mit 20% Chrom rostfrei sein müsse. Maurer suchte alsdann nach der von Strauss erschmolzenen Stahlprobe mit 20% Chrom und stellte fest, dass sie trotz dem langen Lagern an der Laborluft völlig blank geblieben war. Dieser Stahl erwies sich aber aufgrund der Schlagprobe als sehr spröde, so dass Maurer seine Aufmerksamkeit zwei anderen Stählen aus der seinerzeitigen Versuchsreihe zuwandte, welche einen gewissen Nickelgehalt aufwiesen. Auch im Hinblick auf die Patentlage im Falle einer Anmeldung erachtete er nickelhaltige Stähle als aussichtsreicher; aus diesem Grund enthielten die deutschen Chromstähle von Anfang an Nickel in mässigem Anteil. Die Zusammensetzung der beiden 1910 hergestellten Stahlschmelzen C_4 und C_5, aus denen eigentlich die nichtrostenden Stähle entwickelt wurden, sind in Tabelle 2 angegeben.

Maurer stellte sich die Aufgabe, diese beiden Stähle, von denen der eine martensitisches und der andere austenitisch-karbidisches Gefüge aufwies und die unbearbeitbar und spröde waren, bearbeitbar und zähe zu machen. Von einer früheren einjährigen Tätigkeit her im Laboratorium von Le Chatelier an der Sorbonne in Paris verfügte er über gründliche Kenntnisse im Gefügeaufbau der Stähle und in der Gefügebeeinflussung durch Wärmebehandlungen. Da ihm die Voraussetzungen, einen Stahl in den austenitischen Zustand überzuführen, bekannt waren, führte schon der erste Versuch am Stahl C_5 zum Erfolg: durch Abschrecken von 1100°C erreichte er gute Zähigkeit und Bearbeitbarkeit. Zur Behandlung des Stahles C_4 wiesen ihm die Abkühlungskurven und die daraus ermittelten Umwandlungspunkte den Weg zum Erfolg; durch übliches Vergüten mit hohem Anlassen erzielte

er ebenfalls Bearbeitbarkeit und gute Schlagzähigkeit. So war es ihm in der Zeit von nur einem Monat gelungen, Stähle, die er als nichtrostend erkannte, durch geeignete Behandlungen in einen Zustand überzuführen, der die praktische Anwendbarkeit gewährleistete. Gleichzeitig liefen Rostversuche, die für den Stahl C_4 hohe und für den Stahl C_5 absolute Rostsicherheit nachwiesen.

Bereits am 4. Oktober 1912 wurden dem Kruppschen Patentbüro Entwürfe für Patentanmeldungen übergeben. Am 17. Oktober und am 20. Dezember 1912 meldete die Firma Fried. Krupp in Essen je ein Patent auf den Namen *Clemens Pasel* (der mit der technischen Entwicklung nichts zu tun hatte, sondern lediglich mit den patentrechtlichen Belangen) an. Die erste Anmeldung betraf die Herstellung von Gegenständen (Schusswaffenläufen, Turbinenschaufeln usw.), die hohe Widerstandsfähigkeit gegen Korrosion erfordern; der Bereich der Zusammensetzung wurde mit 6 bis 25% Chrom, 20 bis ½% Nickel und bis zu 1% Kohlenstoff festgelegt, und geeignete Wärmebehandlungen wurden dem Patentschutz unterstellt. Die zweite Anmeldung beanspruchte Patentschutz für die Herstellung von Gegenständen, die hohe Widerstandsfähigkeit gegen den Angriff durch Säuren und hohe Festigkeit erfordern (Gefässe, Rohre, Maschinenteile usw.), wobei die Zusammensetzung mit 15 bis 40% Chrom, 20 bis 4% Nickel und bis 1% Kohlenstoff festgelegt und die erforderliche Wärmebehandlung angegeben wurde. Die Patente wurden im Februar 1918 unter den Nummern 304 126 bzw. 304 159 in Deutschland erteilt; in England konnte schon 1913 und in Frankreich 1914 Patentschutz erreicht werden.

Die Patentanmeldung vom 17. Oktober 1912 stellt die erste öffentliche Bekanntmachung über nichtrostenden Stahl dar. Die weitere technische Verfolgung, namentlich des austenitischen Stahles, erfolgte durch *Strauss*. Ende 1912 machte er *C. Bosch* von der Badischen Anilin- und Soda-Fabrik auf diesen Stahl aufmerksam, und dieser erblickte in der Anwendung des neuen Stahles die Lösung der grossen materialbedingten Probleme, die sich der Ammoniaksynthese entgegenstellten. Bis Mitte 1914 wurden 18 Tonnen und bis Mitte 1915 nochmals 56 Tonnen nichtrostenden Stahles an die genannte Firma geliefert. Auch das Ausland begann sich für die neuen Stähle zu interessieren. Aufgrund weiterer Versuche wurden die Grenzen für die Zusammensetzung der beiden Stahlgruppen abgesteckt und jeder Gruppe ein Vertreter zugeordnet, Tabelle 3. Die Kruppschen Bezeichnungen vermochten sich bis heute zu erhalten.

Vergleichende Korrosionsversuche zeigten den überwältigenden Vorteil der neuen Stähle, Tabelle 4.

Im Frühjahr 1914 wurde die Öffentlichkeit erstmals mit den neuen Stählen auf der Baltischen Ausstellung in Malmö bekanntgemacht, indem Krupp eine Werbeschrift auflegte und als Lieferformen geschmiedete und gewalzte Stangen, Formstücke, Blech, Band, Draht, nahtlose Rohre und Gussstücke aufführte. Die Herstellung nahtloser Rohre gelang Mannesmann erst nach Überwindung grösserer Schwierigkeiten beim Kaltziehen. Im Juni 1914 berichtete Strauss vor der Hauptversammlung deutscher Chemiker über den sich zur Anwendung in der chemischen Industrie besonders gut eignenden austenitischen Chromnickelstahl und über die Beeinflussung der Gefüge durch Zusammensetzung und Wärmebehandlung. Der Weltkrieg und das Publikationsverbot bei Krupp verhinderten dann weitere Bekanntmachungen über diese Stähle. Die grundlegende Arbeit erschien im August 1920, als Strauss und Maurer im ersten Jahrgang der Kruppschen Monatshefte erstmals umfassend über diese Stähle orientierten. Seither sind Tausende von Veröffentlichungen über nichtrostende Stähle erschienen, doch hat keine nur annähernd diese Aussagekraft und Inhaltsschwere wie die erste Veröffentlichung im Jahre 1920.

Auch andernorts wurde in der zweiten Hälfte des Jahres 1912 an der Entwicklung der nichtrostenden Stähle gearbeitet, doch konnte sie nicht mit jener Zielstrebigkeit betrieben werden wie bei der Firma Fried. Krupp, wo sie trotz hohen Kosten eine Förderung durch die Leitung des Unternehmens erfuhr. In Österreich befasste sich *M. Mauermann* mit nichtrostenden Stählen, der als Betriebsingenieur und Direktor bei den Phönix-Stahlwerken J.E. Bleckmann in Mürzzuschlag und alsdann bei der Rechtsnachfolgerin Schoeller-Bleckmann Stahlwerke AG, Wien, tätig war. Ende September 1912 stellte er Schmelzen mit rd. 9% Chrom und 3% Nickel her und arbeitete auch ein Wärmebehandlungsverfahren zur Bearbeitung dieser Stähle aus. Diese Stahllegierungen, die zwar für nichtrostende Stähle einen etwas zu niedrigen Chromgehalt aufwiesen, wurden im April 1913 an der Adria-Ausstellung in Wien vom Phönix-Stahlwerk Bleckmann der Öffentlichkeit vorgestellt. Der Einsatz dieser Stähle war vor allem zur Herstellung von Gewehrläufen, Messern und Ventilkegeln vorgesehen. Die Weiterentwicklung wurde aber von der Unternehmungsleitung infolge der hohen Kosten gehemmt. Immerhin führten die frühen Arbeiten von Mauermann dazu, dass Krupp der Firma Bleckmann ein Vorbenützungsrecht an ihrem österreichischen Patent einräumen musste.

In England war *H. Brearley* bei den Firmen John Brown and Co., Ltd., und Thomas Firth and Sons, Ltd., Sheffield, an der Entwicklung geeigneter Stähle für Gewehre und Geschütze beteiligt. Im Oktober 1912 erschmolz er drei Stähle mit Chromgehalten von 6 bis 15% und ohne bzw. mit 2% Nickel im Tiegel. Es war keineswegs seine Absicht, nichtrostende Stähle zu erzeugen; immerhin stellte er, wie schon andere vor ihm, fest, dass die Chromstähle dem Anätzen für die metallographische Untersuchung grossen Widerstand entgegensetzen. Die erschmolzenen Stähle eigneten sich für den vorgesehenen Verwendungszweck wenig, doch erkannte Brearley 1913 den hohen Widerstand gegen Rosten und arbeitete auch geeignete Wärmebehandlungsverfahren aus. Er veranlasste den Leiter der Messerschmiedeabteilung der Firma R.F. Mosley in Sheffield, Messer aus solchen Stählen herzustellen, und, nach Anfangsschwierigkeiten, bürgerten sich Stähle mit 11 bis 14% Cr zur Herstellung von Tischmessern ein. Da Brearley dann seine Stelle wechselte, unterliess er Patentanmeldungen in England, erwarb

Tabelle 3. Grenzen für die Zusammensetzung der Stahlgruppen VM und VA in %

	Kohlenstoff	Chrom	Nickel
VM-Gruppe	0,1–0,6	10–16	0,5–4
Stahl V_1M	0,15	14	1,8
VA-Gruppe	0,1–0,5	20–25	4–20
Stahl V_2A	0,25	20	7

Es bedeuten: V = Versuchsanstalt, A = austenitisches, M (F) = martensitisches (ferritisches) Grundgefüge, Zahlen = Numerierung; austenitisch: gerade, martensitisch (ferritisch): ungerade Zahlen.

Tabelle 4. Rosten bzw. Korrosion (Gewichtsabnahme) verschiedener Stähle

	an Luft	in Seewasser	in Salpetersäure 10%ig kalt	in Salpetersäure 50%ig kochend
Flusseisen	100	100	100	100
Stahl mit 5% (9%) Nickel	70	79	97	98
Stahl mit 25% Nickel	11	55	69	103
Stahl V_1M	0,4	5,2	–	–
Stahl V_2A	0	0,6	0	0

aber 1915 und 1916 Patente in Frankreich, in den USA und in Kanada. Über seine Arbeiten veröffentlichte er erst im Jahre 1924. In den USA wurden die ersten nichtrostenden Chromstähle im Mai und im Juni 1914 durch *F. Garratt* bei Firth-Sterling Steel Co. erschmolzen. Die Anregung hierzu ging aus der Verbindung dieser Firma mit Thomas Firth and Sons, Ltd., hervor, bei welcher Brearley tätig war.

Bei der Verfolgung der Entwicklungsgeschichte der nichtrostenden Stähle fällt auf, dass die Chromstähle an verschiedenen Orten und unabhängig voneinander, jedoch fast gleichzeitig, entwickelt worden sind. Dank der Förderung, welche die Firma Krupp der Entwicklungsarbeit angedeihen liess, hatten die Chromstähle im Oktober 1912 die Anwendungsreife erlangt. Die Entwicklung der austenitischen Stähle spielte sich ausschliesslich bei Krupp ab. Wohl das grösste Verdienst kommt Maurer zu, welcher die Eigenschaft des Nichtrostens beider Stahlsorten und ihre Bedeutung für die Technik erkannt und durch die Ausarbeitung von Wärmebehandlungsverfahren die praktische Anwendung ermöglicht hat. Allerdings bedurfte es noch der grossen Anstrengungen von Strauss, der die vielen bei der Verarbeitung auftretenden Anfangsschwierigkeiten zu überwinden hatte.

4. Spätere Weiterentwicklungen

4.1. Änderungen in der Grundzusammensetzung

Systematische Untersuchungen in der Versuchsanstalt von Krupp führten zu umfassenden Kenntnissen über die bei unterschiedlichen Chrom- und Nickelgehalten sich einstellenden Gefüge der Chromnickelstähle. Die den ersten Versuchen dienende Schmelze aus dem Jahre 1910 ergab keinen völlig austenitischen unmagnetischen Stahl, da der Nickelgehalt mit 5,0% zu niedrig war; der anzustrebende Nickelgehalt wurde deshalb auf 7% erhöht. Als dann später die austenitischen Stähle nicht mehr im Tiegel- oder im Siemens-Martin-Ofen, sondern im Elektroofen erzeugt wurden, begann ein neuer Gefügebestandteil aufzutreten, der als Ferrit erkannt wurde. Die Ursache lag im tieferen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Elektroofenschmelzen, und Abhilfe wurde in der Absenkung des Chromgehaltes auf 18% und in der Erhöhung des Nickelgehaltes auf 8 bis 9% gefunden. Hieraus ergab sich dann die Bezeichnung «18/8-Stähle», die aber nicht von Krupp stammt.

Zur Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit wurde die VA-Reihe durch Stähle mit weiteren Legierungsbestandteilen erweitert. Im Jahre 1922 nahm Krupp ein Patent auf molybdänhaltige Chrom-Nickel-Stähle und 1936 ein solches auf molybdän- und kupferhaltige für den Fall besonders scharfer Korrosionsangriffe.

Da Mangan im gleichen Sinne wie Nickel die Austenitbildung unterstützt, kann es in austenitischen Stählen ganz oder teilweise als Ersatz für Nickel zur Anwendung gelangen. Obschon Chrom der hauptsächlichste Legierungsbestandteil hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit ist, wirkt auch Nickel unter gewissen Bedingungen korrosionshemmend, eine Funktion, die Mangan nicht zukommt. Solche Spar- oder Austauschstähle können deshalb nur bedingt zum Einsatz gelangen. Die Anwendung beschränkt sich auf Länder mit ungenügendem Nickelvorkommen, wie die Sowjetunion, oder auf Zeiten mit Nickelknappheit, wie in Deutschland während des Zweiten Weltkrieges, oder auf spezielle Verwendungszwecke.

Auch bei den Chromstählen sind im Laufe der Zeit Analysenanpassungen vorgenommen worden. Den Chromgehalt legte man im Hinblick auf gute Beständigkeit gegen Rosten mit 12 bis 14% fest, den Nickelgehalt liess man fallen oder begrenzte ihn auf maximal 1%. Der Kohlenstoffgehalt wurde zwischen den Grenzen von 0,15 und 1% je nach Verwendungszweck eingestuft: für Verformungszwecke, als Maschinenbaustahl oder als Werkzeugstahl. Besonders weiche Varianten mit nur einigen Hundertstelprozenten Kohlenstoff und 13 oder 17% Chrom führten sich etwa vom Jahre 1920 an als ferritische, nicht vergütbare Stähle ein, von England her kommend, unter der Bezeichnung «Stainless Iron». Die Herstellung solcher Stähle war erst nach dem Aufkommen des kohlenstoffarmen Ferrochroms möglich.

4.2. Kornzerfallsbeständige austenitische Stähle

Dass in den ersten Jahren die austenitischen Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,2 bis 0,3% hergestellt wurden, mutet uns heute, angesichts der Kenntnisse über die interkristalline Korrosion, geradezu als grotesk an. Um bei einem solchen Stahl den vollaustenitischen, karbidfreien Zustand zu erreichen, muss er von etwa 1200 °C abgeschreckt werden. Der Kohlenstoff löst sich bei dieser Temperatur in der Grundmasse, und die rasche Abkühlung verhindert eine Ausscheidung. Wird der Stahl aber auf eine Temperatur von mehr als z.B. 600 °C erwärmt, wie es längs Schweissnähten der Fall ist, so diffundiert der Kohlenstoff an die Korngrenzen des Austenits und scheidet sich dort unter Inanspruchnahme von Chrom als Chromkarbid aus, wodurch die Korngrenzengebiete als Folge der Chromverarmung an Korrosionsbeständigkeit einbüssen. Ein nachfolgender chemischer Angriff kann dann die Korngrenzen auflösen und den Verband der Körner lockern oder aufheben.

Bei der Bewertung der austenitischen Stähle der Entwicklungszeit ist jedoch zu berücksichtigen, dass vorerst keine Veranlassung bestand, den Kohlenstoffgehalt unter 0,2% abzusenken; im Hinblick auf die damals gebräuchlichen Stähle war dieser Kohlenstoffgehalt nicht besonders hoch. Ausserdem fielen die nach üblichen Verfahren hergestellten Stähle mit diesem Kohlenstoffgehalt an, und zudem war damals das Schweissen als Verbindungsverfahren erst im Aufkommen begriffen. Mit seinem Überhandnehmen erwies sich dann aber das Erfordernis des Abschreckens geschweisster Apparate als störend, wenn nicht geradezu als undurchführbar.

Die ungünstige Wirkung eines zu hohen Kohlenstoffgehaltes war den Erfindern des austenitischen Stahles bei Krupp schon frühzeitig bekannt. An einem Vortrag vor der American Society for Testing Materials im Jahre 1924 erwähnte Strauss, dass ein Abschrecken von 1150 bis 1250 °C erforderlich sei, um die Karbide in Lösung zu bringen, dass sie sich aber beim Glühen bei 700 bis 800 °C besonders an den Korngrenzen wieder ausscheiden. Dies habe eine Abnahme der Dehnung beim Warmzerreissversuch zur Folge, bei hohem Kohlenstoffgehalt bis auf sehr kleine Werte. In den Jahren 1928 und 1930 veröffentlichten Strauss und Mitarbeiter Ergebnisse von Potentialmessungen an Stählen mit und ohne Karbidausscheidungen, ferner wurde berichtet, dass in der Praxis verschiedentlich Brüchigkeit beobachtet wurde, die bis zum Zerbröckeln und Zerfall in Kristallpulver ging. Hierbei wird erstmals von «interkristalliner Korrosion» gesprochen und eine Probe auf Anfälligkeit in heisser, kupfersulfathaltiger Schwefelsäure aufgeführt, die sich als «Strausstest» bis heute als massgebend erhalten hat.

In Erkennung der schädlichen Rolle des Kohlenstoffs wurden Stähle mit abgesenktem Kohlenstoffgehalt entwickelt, die Reihe der VA-Supra-Stähle mit unter 0,07% Kohlenstoff für Zwecke, bei denen es auf die Widerstandsfähigkeit gegen interkristalline Korrosion ankommt. Solche Stähle können ohne Abschreckbehandlung für die meisten Zwecke eingesetzt werden. Die Patentanmeldung durch Krupp erfolgte im Jahre 1928. Bald hernach wurden weitere Patente nachgesucht mit dem Gegenstand, durch Legierungszusätze den Kohlenstoff zu einem unschädlichen Karbid abzubinden, nämlich durch

Krupp 1929 mit Titan oder Vanadin und 1930 mit Niob und Niob+Tantal als Zusatz zur Stabilisierung, während bei der Firma Gebr. Böhler u. Co. im Jahre 1930 beobachtet wurde, dass mit Tantal die gleiche Wirkung zu erzielen ist.

Später, gefördert durch die Anwendung von reinem Sauerstoff in der Metallurgie, kamen dann die Extra-Low-Carbon-Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt unter 0,03% hinzu, die auch bei schwierigen Angriffsverhältnissen Sicherheit gegen interkristalline Korrosion bieten, allerdings unter Inkaufnahme einer erniedrigten Streckgrenze.

4.3. Stickstofflegierte austenitische Stähle

Der Amerikaner *R. Franks* machte erstmals im Jahre 1933 darauf aufmerksam, dass durch einen Stickstoffzusatz zu einem Stahl mit 18% Chrom und 8% Nickel eine Erhöhung der Streckgrenze bewirkt wird. Dass Stickstoff von hochchromhaltigen Stählen besser aufgenommen wird als von üblichen Stählen, war schon einige Jahre zuvor bekannt. F. Rapatz von der Firma Gebr. Böhler u. Co. wies im Jahre 1939 darauf hin, dass Stickstoff hinsichtlich der Gefügebeeinflussung gleich wirkt wie Nickel und demzufolge in austenitischen Stählen teilweise und bedingt Nickel zu ersetzen vermag. Anschliessende Forschungsarbeiten stellten dann fest, dass 0,1% Stickstoff gleich wirkt wie 3 bis 4% Nickel, ferner dass bis 0,04% Stickstoff kein Einfluss auf die Streckgrenze ausgeübt wird, dass aber Stickstoffgehalte von 0,04 bis 0,11% die Streckgrenze von 21 auf 29 kg/mm² anzuheben vermögen und dass höhere Gehalte keinen Vorteil mehr ergeben. Seit etwa 20 Jahren werden stickstofflegierte austenitische Stähle praktisch verwendet, und zwar hauptsächlich in jenen Fällen, wo durch eine sehr tiefe Bemessung des Kohlenstoffgehaltes der Abfall der Streckgrenze kompensiert werden soll.

4.4. Beziehung zwischen Zusammensetzung und Gefüge der austenitischen Stähle

Zur Voraussage des Gefüges von austenitischen Stählen anhand ihrer Zusammensetzung oder, umgekehrt, zur Festlegung der Zusammensetzung bei vorgegebenem Gefüge werden hauptsächlich die Schaeffler-Diagramme für Stahlguss oder für Schweissgut verwendet. Im Hinblick auf die Bedeutung dieser Diagramme ist die geschichtliche Herleitung von einigem Interesse.

In dem im Jahre 1920 erschienenen Aufsatz von Strauss und Maurer war ein Diagramm mit dem Chrom- und dem Nickelgehalt auf den beiden Achsen enthalten, das die Chromnickelstähle aufgrund ihres Gefüges in vier Gruppen, abhängig von der Legierungshöhe, einteilt (Bild 1). Die Karbidkomponente blieb unberücksichtigt. Die Erstellung des Diagrammes erfolgte anhand von Schmelzen mit «praktisch niederem Kohlenstoffgehalt» von 0,1 bis 0,5%, also mit Gehalten, die damals üblich, in heutiger Sicht aber viel zu hoch waren. Der Ursprung dieses Diagramms liegt im Jahre 1906, als *L. Guillet* Chromnickelstähle untersuchte, bereits eine Gruppeneinteilung vornahm und ein ungefähres Dreistoffdiagramm mit Kohlenstoff, Chrom und Nickel als Raumachsen erstellte.

Als sich aus Gründen der Korrosionsanfälligkeit eine Absenkung des Kohlenstoffgehaltes aufdrängte und die Schmelzen im Elektroofen hergestellt wurden, zeigte sich, dass das Diagramm von Strauss und Maurer Unstimmigkeiten, verursacht durch den zu hohen Kohlenstoffgehalt, enthielt, indem die Begrenzungslinien der Gefügefelder bei zu niedrigen Nickelgehalten liegen. Ausserdem trat bei erniedrigtem Kohlenstoffgehalt ein neuer, als Ferrit identifizierter Gefügebestandteil auf, welcher im Diagramm fehlte. Die bestehenden Begrenzungslinien mussten also korrigiert und eine neue hinzugefügt werden. Ein derart berichtigtes Diagramm ist das häufig verwendete Schaeffler-Diagramm für Schweissgut (Bild 2); dieses enthält im Austenit-Ferrit-Feld zusätzlich Linien zur anteilmässigen Bestimmung der beiden Gefügebestandteile, und die beiden Achsen werden nicht durch die Chrom- bzw. Nickelgehalte allein bestimmt, sondern durch deren Äquivalente, indem analog wirkende Legierungsbestandteile mit berücksichtigt werden.

5. Der Forscher Eduard Maurer

In Anbetracht der grossen Verdienste, die Ed. Maurer im Hinblick auf die Erfindung und Entwicklung der nichtrostenden Stähle zukommen, rechtfertigt sich eine Würdigung dieser Persönlichkeit.

Eduard Maurer, geboren am 3. November 1886 in Königstein im Taunus, besuchte bis zur Reifeprüfung die Schulen in Luxemburg, wo seinem Vater die Stallungen des Grossherzogs von Luxemburg unterstanden. Aus dieser Umgebung des Knaben heraus ergab sich eine lebenslange Liebe zu Pferden, aber auch eine Umgangsform, die nicht immer allen Situationen angepasst war. Er studierte an den technischen Hochschulen Braunschweig und Karlsruhe Chemie, physikalische Chemie und Elektrochemie und arbeitete dann während eines Jahres auf dem Gebiet der Stahlforschung unter *Osmond* an der Sorbonne in Paris. Im Dezember 1908 promovierte er in Aachen mit der in Paris ausgeführten Arbeit über das Härten und Anlassen von Stahl zum Dr.-Ing.

Seine erste Anstellung fand er unmittelbar hernach als erster Assistent der Chemisch-Physikalischen Versuchsanstalt

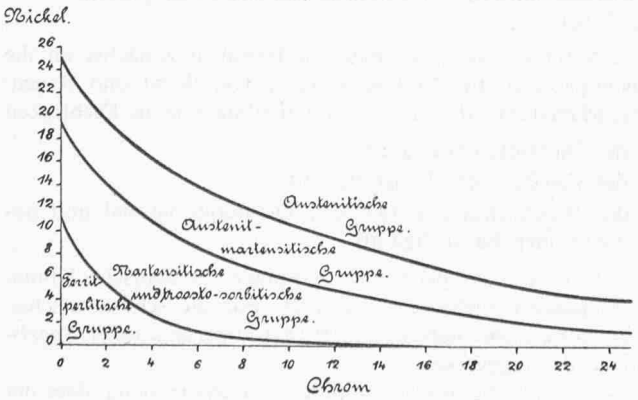

Bild 1. Gefügeschaubild der Chrom-Nickel-Stähle (nach *B. Strauss* und *E. Maurer*). Aus «Stahl und Eisen» *82* (1962) H. 22, S. 1527–1540

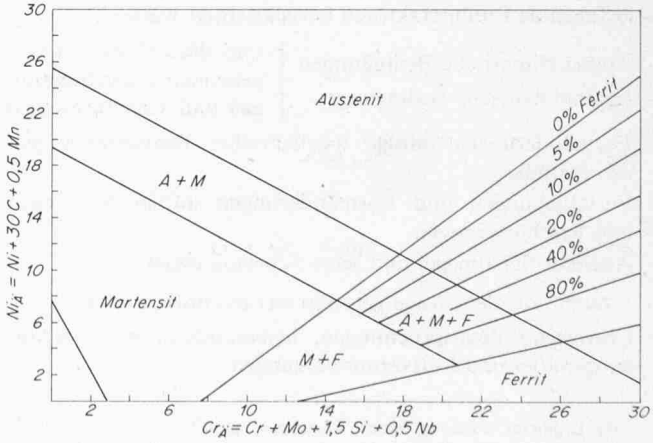

Bild 2. Schaeffler-Diagramm für nichtrostendes Schweissgut

der Fried. Krupp AG in Essen, deren Vorstand *B. Strauss* war. Mitte 1917 wurde ihm die zur Versuchsanstalt gehörende Abteilung für Stahluntersuchungen und die Vertretung des Vorstandes der Versuchsanstalt übertragen. Hier befasste er sich hauptsächlich mit nichtmetallischen Einschlüssen, mit der Flockenbildung im Stahl und mit den nichtrostenden Stählen. Im Jahre 1919 wechselte Maurer seinen Arbeitsplatz und wurde Vorsteher der chemischen und metallographischen Abteilungen des Kaiser-Wilhelm-Instituts (heute Max-Planck-Institut) für Eisenforschung und Vertreter des Direktors dieses Instituts; bald hernach wurde er mit der Arbeit «Über das β-Eisen und über Härtungstheorien» Dozent für Eisenhüttenkunde an der Technischen Hochschule Aachen. Von 1922 bis 1925 war er wiederum bei Fried. Krupp AG angestellt, und zwar als Leiter der Versuchsanstalt. Aus dieser Zeit rührt sein Gusseisendiagramm, welches den Zusammenhang zwischen Zusammensetzung und Gefüge des Graugusses darstellt und als Gattierungsgrundlage zu grosser Bedeutung gelangt ist. Im Jahre 1925 folgte er einem Ruf auf den Lehrstuhl für Eisenhüttenkunde an der Bergakademie Freiberg (Sachsen); nach seinen Plänen wurde dort das Eisenhütteninstitut errichtet.

Das Ende des Zweiten Weltkriegs unterbrach vorübergehend die eigentliche Tätigkeit von Ed. Maurer und brachte ihm Schwierigkeiten und Bitterkeiten. Schwer traf ihn der Verlust seiner Frau, die beim Einmarsch der russischen Truppen ins Städtchen Freiberg unter dem Eindruck der Angst vor dem Kommenden freiwillig aus dem Leben schied. Nach wechselvoller Tätigkeit bot sich ihm dann aber wieder die Möglichkeit, seine Arbeitskraft seinem herkömmlichen Gebiet zur Verfügung zu stellen; in Henningsdorf bei Berlin entstand unter seiner Leitung das Eisenforschungsinstitut der DDR, dessen Leiter er dann von 1949 bis 1959 wurde. Seine hauptsächliche Beschäftigung galt hier der Qualitätssteigerung von Schmiedestücken und dem Hochbaustahl St 52. Daneben bot ihm die Humboldt-Universität Gelegenheit zur Entfaltung seiner Lehrtätigkeit auf dem Gebiet der Eisenhüttenkunde. Seinen Lebensabend verbrachte er in Niederschönhausen/Berlin; er ist am 21. Februar 1969 gestorben.

Neben zahlreichen Ehrungen von westlicher und von östlicher Seite erhielt er die Ehrendoktorwürde der Technischen Hochschule Aachen und der Humboldt-Universität in Berlin. Ed. Maurer hat seine ganze Kraft, seine ganze Zeit und auch einen grossen Teil seiner Geldmittel seinem Fachgebiet, der Stahlwissenschaft, zur Verfügung gestellt. Massgebend für seinen Erfolg waren scharfe Beobachtungsgabe, rasches Erkennen der Zusammenhänge, unermüdlicher Arbeitseinsatz und ein eiserner Durchhaltewille bis zur restlosen Erledigung einer Aufgabe. Seine Persönlichkeit war von ganz besonderer Prägung. Schonungslose Offenheit, Rauhigkeit und Barschheit, die nicht selten verletzend wirkten, stellten das Verhältnis zu Mitarbeitern und Gesprächspartnern oft auf eine harte Probe. Man musste die Vorzüge des inneren Menschen kennen, um ihm freundschaftliche Treue halten zu können; dann aber war der Umgang mit ihm ein Gewinn.

Das Nachschlagen zahlreicher für diesen Aufsatz massgebender Literaturstellen erfolgte in der Eisenbibliothek der Georg Fischer Aktiengesellschaft, Schaffhausen; ich danke dieser Firma für die Erlaubnis zur Benutzung dieser reichhaltigen Bibliothek.

Adresse des Verfassers: Dr.-Ing. *A. Keller*, Materialversuchsabteilung der Firma Escher Wyss AG, 8023 Zürich, Escher-Wyss-Platz.

Bauphysikalische Beanspruchungen an Baufugen

DK 691.58

Von Prof. **H. Kühne**, EMPA Dübendorf[1])

Allgemeines

Von einer Fugenabdichtung verlangt man in der Regel, dass sie unter allen im Einzelfall vorkommenden Beanspruchungen ausreichend und dauerhaft dichtet. Bei einer Gebäudefassade geht es dabei in erster Linie um eine Dichtung gegen Wasser- und Luftdurchtritt. Dazu tritt in vielen Fällen auch die Behinderung des Schalldurchganges.

Um eine solche Aufgabe zu lösen, muss man sich darüber klar werden, welchen äusseren Beanspruchungen eine solche Fugenabdichtung selbst ausgesetzt ist und welche Bewegungen zwischen den durch die Fuge getrennten Bauteilen auftreten können. In einer Erörterung der Dichtungsausbildung müssen also folgende Einflussfaktoren berücksichtigt werden:

- Aussenklimatische Bedingungen
- Innenklimatische Bedingungen

} und die sich daraus ergebenden Formänderungen und Verschiebungen

- Formänderungen infolge mechanischer Beanspruchungen der Bauteile
- Verschiebungen und Formänderungen infolge Setzungen und Erschütterungen
- Äusserer Schallpegel und seine Schwankungen.

Nicht aus dem Auge gelassen werden dürfen ferner:

- Chemische Beanspruchungen, insbesondere durch Reinigungsmittel und Luftverunreinigungen
- Mechanische Gebrauchsbeanspruchungen durch den Menschen (zum Beispiel Herausklauben von Fugendichtungsmitteln durch Kinder)
- Biologische Einflüsse, wie etwa das Herausholen von Dichtungsmassen durch Vögel und Nagetiere sowie die Beeinflussung oder gar Zerstörung derselben durch Pilze oder Bakterien.

Diese letzteren Fragen seien jedoch hier nur am Rande erwähnt. Hauptaufgabe der vorliegenden Ausführungen sind die aus den bauphysikalischen Beanspruchungen erwachsenden Verschiebungen im Bereich der Fugen.

Aussenklimatische Einwirkungen und ihre Konsequenzen

(s. Tabelle 1a)

Naturgemäss denkt man im Hochbau zunächst an die Dichtigkeit gegen Direkteinwirkung von Wind und Regen. Das Mass der Undurchlässigkeit hängt hier von der Dichtigkeit

- der Dichtungsmaterialien,
- der angrenzenden Baustoffe und
- der Berührungszone zwischen Dichtungsmaterial und angrenzenden Baustoffen ab.

E. Cziesielski [9] hat diese Fragen für deutsche Klimaverhältnisse eingehender analysiert. Für die schweizerischen Bedingungen sei einerseits auf [19/20], anderseits auf *R. Sagelsdorff* [15] hingewiesen.

Wichtig scheint aber in diesem Zusammenhang, dass der Wind gleichzeitig auch Kräfte auf die ganzen Bauelemente ausübt und damit Formänderungen hervorruft, welche zu

[1]) Ergänzte Fassung eines Vortrages, gehalten an der Tagung «Ausbildung von Fugen und deren Abdichtung» der SIA-Fachgruppe für industrielles Bauen (FIB) in Zürich am 25. Januar 1973.