

Legierungselemente

Einfluss der Legierungen auf Stahl

Bei den Legierungselementen ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob sie Karbid-, Austenit- oder Ferritbildner sind bzw. zu welchem Zweck sie dem Stahl zulegiert werden.

Jedes einzelne Element verleiht dem Stahl je nach Anteil bestimmte spezifische Eigenschaften. Bei Anwesenheit mehrerer Elemente kann die **Wirkung gesteigert** werden. Es gibt jedoch Legierungsvarianten, bei denen die Einzelelemente bezüglich eines bestimmten Verhaltens ihren Einfluss nicht in gleicher Richtung ausüben, sondern sich **entgegenwirken** können.

Das Vorhandensein der Legierungselemente im Stahl bringt nur die Voraussetzung für die gewünschten Eigenschaften; erst die Verarbeitung und Wärmebehandlung lässt diese erzielen.

▷ **Aluminium (Al)** : *Schmelzpunkt 658°C*

Es ist das stärkste, sehr häufig angewandte **Desoxydation-** und ausserdem **Denitrierungsmittel**; dadurch wirkt es auch stark begünstigend auf die Alterungsunempfindlichkeit ein. In kleinen Zugaben unterstützt es die Feinkornausbildung.

Da Aluminium mit Stickstoff Nitride mit hoher Härte bildet, ist es meist Legierungselement in Nitrierstählen

Es **erhöht die Zunderbeständigkeit** und wird deshalb häufig ferritischen hitzebeständigen Stählen zulegiert. Bei unlegierten Kohlenstoffstählen kann man durch "Alitieren" (einbringen von Aluminium in die Oberfläche) die Zunderbeständigkeit fördern. Aluminium engt den *Gamma*-Bereich sehr stark ein.

Wegen der starken Erhöhung der Koerzitivkraft ist Aluminium Legierungselement in Eisen-Nickel-Kobalt-Aluminium-Dauermagnetlegierungen.

▷ **Arsen (As)** : *Schmelzpunkt 817°C unter Druck.*

Schnürt ebenfalls das *Gamma*-Gebiet ab und ist Stahlschädling, da es starke Seigerungsneigung zeigt, ähnlich wie Phosphor. Die Beseitigung der Seigerungen durch Diffusions-Glühen ist jedoch noch schwieriger als bei Phosphor. Weiterhin **erhöht es die Anlassprädigkeit**, setzt die **Zähigkeit stark herab** und **beeinträchtigt die Schweissbarkeit**.

▷ **Bor (B)** : *Schmelzpunkt 2300°C*

Da Bor einen hohen Wirkungsquerschnitt für Neutronen-Absorption aufweist, legiert man damit Stähle für Regler und Abschirmungen von Atomkernenergie-Anlagen.

Austenitische 18/8 CrNi-Stähle können mit Bor über Ausscheidungshärtungen auf höhere Streckgrenze und Festigkeit gebracht werden, wobei aber die Korrosionsbeständigkeit gemindert wird. Durch Bor hervorgerufene Ausscheidungen verbessern die Festigkeitseigenschaften hochwarmfester Stahltypen im Bereich erhöhter Temperaturen.

In Baustählen verbessert dieses Element die Durchhärtung und bewirkt damit in Einsatzstählen eine Erhöhung der Kernfestigkeit.

Mit einer Minderung der Schweissbarkeit in Borlegierten Stählen muss gerechnet

werden.

▷ **Beryllium (Be)** : *Schmelzpunkt 1280°C*

Aus Kupfer-Beryllium-Legierungen werden Spiralfedern für Uhren hergestellt, die kaum magnetisierbar sind und eine viel höhere Zahl von Lastwechseln aushalten als Stahlfedern. Nickel-Beryllium-Legierungen sind sehr hart und korrosionsbeständig; Verwendung in chirurgischen Instrumenten.

Sehr stark Abschnürung des *Gamma*-Gebietes. Mit Beryllium können Ausscheidungshärtungen gezielt werden, wobei aber die Zähigkeit sinkt; stark desoxydierend, grosse Affinität zu Schwefel.

▷ **Kohlenstoff (C)** : *Schmelzpunkt 3540°C*

Kohlenstoff ist das wichtigste und einflussreichste Legierungselement im Stahl. Neben Kohlenstoff enthält jeder unlegierte Stahl Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel, welche bei der Herstellung unbeabsichtigt hinzukommen. Der Zusatz weiterer Legierungselemente zur Erzielung besonderer Wirkungen, sowie die bewusste Erhöhung des Mangan- und Siliziumgehaltes führt zum legierten Stahl. Mit zunehmendem Kohlenstoff-Gehalt steigen die Festigkeit und Härtebarkeit des Stahles, wogegen seine Dehnung, Schmiedbarkeit, Schweissbarkeit und Bearbeitbarkeit (durch spanabhebende Werkzeuge) verringert werden. Der Korrosionswiderstand gegenüber Wasser, Säuren und heissen Gasen wird durch den Kohlenstoff praktisch nicht beeinflusst.

▷ **Kalzium (Ca)** : *Schmelzpunkt 850°C*

Gemeinsam mit Silizium in Form von Silico-Kalzium zur Desoxydation eingesetzt. Kalzium erhöht die Zunderbeständigkeit von Heizeleiterwerkstoffen.

▷ **Cer (Ce)** : *Schmelzpunkt 775°C*

Wirkt reinigend, da es stark desoxydiert und die Entschwefelung fördert; es kommt gewöhnlich gemeinsam mit Lanthan, Neodym, Praseodym und anderen seltenen Edelmetallen als "Mischmetall" zum Einsatz.

Begünstigt in hochlegierten Stählen z.T. die Warmverformbarkeit und verbessert in hitzebeständigen Stählen die Zunderbeständigkeit.

Eisen-Cer-Legierungen mit ungefähr 70% Cer sind pyrophor (Zündsteine)
Zusatz in kugelgraphitischem Gusseisen

▷ **Kobalt (Co)** : *Schmelzpunkt 1492°C*

Kobalt bildet keine Karbide; es hemmt das Kornwachstum bei höheren Temperaturen und verbessert die Anlassprädigkeit und die Warmfestigkeit stark; deshalb oft Legierungselement in Schnellstählen, Warmarbeitsstählen, warmfesten und hochwarmfesten Werkstoffen. Begünstigt die Graphitbildung. Es erhöht in grossen Anteilen die Remanenz, Koerzitivkraft und Wärmeleitfähigkeit; deshalb Legierungsbasis für höchstwertige Dauermagnetstähle und -legierungen. Unter Neutronenbestrahlung bildet sich das stark radioaktive Isotop ⁶⁰Co, weshalb Kobalt in Stählen für Atomreaktoren unerwünscht ist.

▷ **Chrom (Cr)** : *Schmelzpunkt 1920°C*

Chrom macht Stahl öl- bzw. lufthärtbar. Durch Herabsetzung der für die Martensitbildung erforderlichen kritischen Abkühlgeschwindigkeit erhöht es die Härtebarkeit und verbessert damit die Vergütbarkeit. Die Kerbschlagzähigkeit wird jedoch verringert, setzt die Dehnung aber nur sehr wenig herab. Die Schweissbarkeit nimmt bei reinen Chromstählen mit zunehmendem Chrom-Gehalt ab. Die Zugfestigkeit des Stahls steigt um die 80-100 N/mm² je 1% Chrom.

Chrom ist Karbidbildner. Seine Karbide steigern Schnitthaltigkeit und Verschleissfestigkeit. Warmfestigkeit und Druckwasserstoff-Beständigkeit werden

durch Chrom begünstigt. Während steigende Chrom-Gehalte die Zunderbeständigkeit erhöhen, ist für die Korrosionsbeständigkeit von Stählen ein Mindestgehalt von etwa 13% Chrom erforderlich, welches in der Grundmasse gelöst sein muss.

Das Element schnürt das *Gamma*-Gebiet ab und erweitert dadurch den Ferritbereich; stabilisiert jedoch den Austenit in austenitischen Chrom-Mangan- bzw. Chrom-Nickel-Stählen.

Wärmeleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit werden verringert. Die Wärmeausdehnung wird gesenkt (Legierungen für Glaseinschmelzung).

Bei gleichzeitig höherem Kohlenstoffanteil erhöhen Chrom Gehalte bis 3% Remanenz und Koeritivkraft.

▷ **Kupfer (Cu) :** *Schmelzpunkt 1084°C*

Kupfer wird nur bei wenigen Stahlsorten zulegiert, da es sich unter der Zunderschicht anreichert und durch Eindringen in die Korngrenze eine grosse Oberflächenempfindlichkeit bei Warmverformungsprozessen verursacht, weshalb es z.T. als Stahlschädling betrachtet wird.

Die Streckgrenze und das Streckgrenzen-Festigkeitsverhältniss werden erhöht. Gehalte über 0.30% können Aushärtungen bewirken. Die Härbarkeit wird verbessert. Die Schweissbarkeit wird durch Kupfer nicht beeinflusst.

In unlegierten und schwachlegierten Stählen wird durch Kupfer eine bedeutende Verbesserung der Witterungsbeständigkeit erreicht.

In säurefesten hochlegierten Stählen erbringt ein Kupfer-Gehalt über 1% verbesserte Beständigkeit gegen Salzsäure und Schwefelsäure.

▷ **Wasserstoff (H) :** *Schmelzpunkt -262°C*

Dieses Element ist ein Stahlschädling, weil er Versprödung durch Abfall von Dehnung und Einschnürung ohne Erhöhung von Streckgrenze und Zugfestigkeit hervorruft.

Wasserstoff bildet die Ursache für die gefürchtete Flockenbildung und begünstigt die Schattenstreifenentstehung. Beim Beizen entstehender atomarer Wasserstoff dringt unter Blasenbildung in den Stahl ein. Feuchter Wasserstoff entkohlt bei höheren Temperaturen.

▷ **Magnesium (Mg) :** *Schmelzpunkt 657°C*

Dieses Element wird als Desoxydations- und Entschwefelungsmittel hinzulegiert. In Gusseisen erzeugt Magnesium Kugelgraphit.

▷ **Mangan (Mn) :** *Schmelzpunkt 1221°C*

Mangan desoxydiert. Es bindet Schwefel als Mangan-Sulfide und verringert dadurch den ungünstigen Einfluss des Eisen-Sulfides. Besondere Bedeutung hat dies bei Automatenstahl; die Rotbruchgefahr wird verringert.

Mangan setzt die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit sehr stark herab und erhöht damit die Härbarkeit. Streckgrenze sowie Festigkeit werden durch Mangan-Zusatz erhöht, ferner wirkt Mangan sich günstig auf die Schmiedbarkeit und Schweissbarkeit aus und vergrössert stark die Einhärttiefe.

Gehalte über 4% führen auch bei langsamer Abkühlung zur Ausbildung von spröden martensitischem Gefüge, so dass der Legierungsbereich kaum genützt wird.

Stähle mit Mangan-Gehalten über 12% sind bei gleichzeitigem hohen Kohlenstoff-Anteil austenitisch, weil Mangan den *Gamma*-Bereich erheblich ausweitet. Solche Stähle erhalten unter schlagender Beanspruchung der Oberfläche eine sehr hohe Kaltverfestigung, während der Kern zäh bleibt; sie sind deshalb bei Schlageinwirkung hochverschleissfest.

Stähle mit Mangan-Gehalten von 18% aufwärts bleiben auch nach verhältnismässig starker Kaltverformung nicht magnetisierbar und werden als Sonderstähle und auch als

kaltzähe Stähle bei Tieftemperatur-Beanspruchung verwendet.
Durch Mangan erhöht sich der Wärmeausdehnungs-Koeffizient, während Wärmeleitfähigkeit und elektrische Leitfähigkeit sinken.

▷ **Molybdän (Mo)** : *Schmelzpunkt 2622°C*

Molybdän legiert man meist zusammen mit anderen Elementen. Durch Herabsetzung der kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit wird die Härtebarkeit verbessert. Molybdän verringert weitgehend die Anlasssprödigkeit, beispielsweise bei Chrom-, Nickel- und bei Mangan-Stählen, fördert die Feinkornbildung und wirkt sich auch günstig auf die Schweißbarkeit aus. Erhöhung von Streckgrenze und Festigkeit. Bei höherem Molybdän-Gehalt wird die Schneidbarkeit erschwert. Starker Karbidbildner; die Schneideigenschaften bei Schnellarbeitsstählen werden dadurch verbessert.

Es gehört zu jenen Elementen, welche die Korrosionsbeständigkeit erhöhen und wird deshalb bei hochlegierten Chrom-Stählen und bei austenitischen Chrom-Nickel-Stählen häufig eingesetzt; hohe Molybdän Gehalte senken die Lochfrassanfälligkeit. Sehr starke Einengung des *Gamma*-Bereichs; Erhöhung der Warmfestigkeit, die Zunderbeständigkeit wird vermindert.

▷ **Stickstoff (N)** : *Schmelzpunkt -210°C*

Dieses Element kann sowohl als Stahlschädling wie auch als Legierungsbestandteil in Erscheinung treten.

Schädlich wegen der Verminderung der Zähigkeit durch Ausscheidungsvorgänge, der Hervorrufung von Alterungsempfindlichkeit und Blausprödigkeit (Verformung in Gebieten der Blauwärme 300-350°C) sowie wegen der Möglichkeit der Auslösung von interkristalliner Spannungsrisskorrosion in unlegierten und niedriglegierten Stählen.

Als Legierungselement erweitert Stickstoff das *Gamma*-Gebiet und stabilisiert das austenitische Gefüge; erhöht in austenitischen Stählen die Festigkeit und vor allem die Streckgrenze sowie die mechanischen Eigenschaften in der Wärme.

Stickstoff lässt durch Nitritbildung beim Nitrieren hohe Oberflächengüte erreichen.

▷ **Niob-Tantal (Nb-Ta)** : *Schmelzpunkte Nb 1960°C Ta 3030°C*

Diese Elemente kommen fast nur gemeinsam vor und sind sehr schwer voneinander zu trennen, so dass sie üblicherweise zusammen verwendet werden. Sehr starke Karbidbildner, deshalb besonders als Stabilisatoren chemisch beständigen Stählen zulegiert. Beide Elemente sind Ferritbildner und verringern damit den *Gamma*-Bereich. Infolge der Erhöhung der Warmfestigkeit und Zeitstandfestigkeit durch Niob wird es zu hochwarmfestem austenitischen Kesselstählen oft zulegiert.

Tantal hat einen hohen Absorptions-Querschnitt für Neutronen; für Atomreaktorstähle kommt nur Tantal-armes Niob in Betracht.

▷ **Nickel (Ni)** : *Schmelzpunkt 1453°C*

Erhöht die Streckgrenze und Kerbzähigkeit in Baustählen. Nickel wird zudem bei Einsatzstählen und Vergütungsstählen verwendet zur Erhöhung der Zähigkeit. Das Element erweitert das *Gamma*-Gebiet und bewirkt daher in korrosions- und zunderbeständigen Chrom-Nickel-Stählen die Austenitstruktur.

Hohe Nickelgehalte führen zu Stählen mit kleiner Temperatur-Ausdehnung (Invar).

▷ **Antimon (Sb)** : *Schmelzpunkt 630°C*

Dieses Element ist ein Stahlschädling, es erniedrigt die Zähigkeit des Stahls; es wird das *Gamma*-Gebiet abgeschnürt. Allgemein sind wenig Informationen zu diesem Legierungselement erhältlich.

▷ **Blei (Pb)** : *Schmelzpunkt 327.4°C*

Blei ist eigentlich kein "richtiges" Legierungselement, da es die gegebenen

Eigenschaften bei bestimmten Legierungsgehalten kaum beeinflusst. Dieses Legierungselement wird in Gehalten von ca. 0.2%-0.5% hinzulegiert, um die Bearbeitbarkeit wesentlich zu verbessern. Es entstehen kürzere Späne und saubere Schnittflächen.

Ein weiteres Einsatzgebiet von Blei ist in Lagern, wo die hervorragenden Gleiteigenschaften ausgenutzt werden.

▷ **Phosphor (P)** : *Schmelzpunkt 44°C*

Phosphor wird meist als Stahlschädling betrachtet, da dieser starke Primärseigerungen bei der Erstarrung der Schmelze und die Möglichkeit zu Sekundärseigerungen im festen Zustand durch die starke Abschnürung des *Gamma*-Gebietes ergibt. Infolge der verhältnismässig geringen Diffusionsgeschwindigkeit, sowohl im *Alpha*- als auch im *Gamma*-Mischkristall können gegebene Seigerungen nur schwierig ausgeglichen werden. Da es kaum möglich ist, eine homogene Verteilung des Phosphors zu erzielen, versucht man, den P-Gehalt sehr niedrig zu halten und dementsprechend bei hochwertigen Stählen eine obere Grenze von 0.03%-0.05% anzustreben. Das Ausmass der Seigerungen kann nicht mit Sicherheit bestimmt werden

Phosphor erhöht schon in geringsten Gehalten die Empfindlichkeit gegen Anlassversprödung. Die P-Versprödung steigt mit der Zunahme des C-Gehaltes, mit steigender Härtetemperatur, mit der Korngrösse und mit der Verminderung des Verschmiedungsgrades. Die Versprödung tritt als Kaltbrüchigkeit und Empfindlichkeit gegenüber Schlagbeanspruchung in Erscheinung.

In schwachlegierten Baustählen mit C-Gehalten von etwa 0.1% erhöht P die Festigkeit und die Korrosionsbeständigkeit gegen atmosphärischen Einflüsse; Cu unterstützt die Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit (rostträge Stähle).

Phosphor-Zusätze können in austenitischen Crom-Nickel-Stählen Streckgrenzerhöhungen bedingen und Ausscheidungseffekte erzielen.

▷ **Sauerstoff (O)** : *Schmelzpunkt -218.7°C*

Dieses Element ist ein Stahlschädling. Sauerstoff verschlechtert die technologischen Eigenschaften Kerbzähigkeit und Alterung. Zudem erzeugt das Element Rotbruch und begünstigt Holzfaserbruch

▷ **Schwefel (S)** : *Schmelzpunkt 118°C*

Dieses Element legiert am stärksten. Eisensulfid, verstärkt durch Sauerstoff, führt zu Rotbruch. Zudem wird die Zähigkeit verschlechtert. Schwefel in Automatenstählen bis 0.3% erhöht die Bearbeitbarkeit.

▷ **Silizium (Si)** : *Schmelzpunkt 1414°C*

Dieses Element wirkt desoxydierend und verengt den *Gamma*-Bereich. Silizium erhöht die Festigkeit und Verschleissfestigkeit. Dieser Legierungszusatz erhöht auch stark die Elastizitätsgrenze, daher wird er bei Federstählen hinzulegiert. Bei hohen Gehalten an Silizium erhöht der Zusatz die Zunderbeständigkeit und Säurebeständigkeit, jedoch wird die elektrische Leitfähigkeit und Koerzitivkraft erniedrigt; daher wird Silizium in Elektroblechen verwendet.

▷ **Titan (Ti)** : *Schmelzpunkt 1727°C*

Dieses Element ist ein starkes Desoxydationsmittel und Karbidbildner. Oft wird daher Titan als Stabilisator in korrosionsbeständigen Stählen verwendet.

▷ **Vanadium (V)** : *Schmelzpunkt 1726°C*

Dieses Element ist ein starker Karbidbildner. Vanadium bindet Stickstoff und ergibt eine feinkörnige Gusstruktur. Es erhöht den Verschleisswiderstand durch harte Karbide, sowie die Warmfestigkeit und Anlassbeständigkeit. Vanadium wird daher zu Schnellarbeitsstahl, Warmarbeitsstahl und Hochwarmfesten-Stahl hinzulegiert. Es erhöht auch die Elastizitätsgrenze bei Federstählen.

▷ **Wolfram (W)** : *Schmelzpunkt 3380°C*

Die Zugfestigkeit, Streckgrenze und Zähigkeit wird durch Wolfram erhöht. Es ist zudem ein starker Karbidbildner (harte Karbide). Wolfram erhöht die Warmfestigkeit und Verschleissfestigkeit, daher wird es als Zusatz bei Schnellarbeitsstahl und Warmarbeitsstahl verwendet.

▷ **Zinn (Sn)** : *Schmelzpunkt 231.8°C*

Dieses Element ist ein Stahlschädling und legiert stark.

▷ **Zirkon (Zr)** : *Schmelzpunkt 1860°C*

In speziellen Fällen wird dieses Element als Zusatzelement zur Desoxydation, Dendrierung und Entschwefelung verwendet. Es ist ein starker Karbidbildner. Zr-Zusätze zu völlig beruhigten schwefelhaltigen Automatenstählen üben einen günstigen Einfluss auf die Sulfidbildung und somit Vermeidung von Rotbruch aus.

Es erhöht die Lebensdauer von Heizleiterwerkstoffen und bewirkt eine Einengung des *Gamma*-Bereichs.