

1 Darlegung und Begründung der Aufgabenstellung

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist es, einen Überblick von Aluminiumtragelementen unter den Aspekten der Metallurgie, Herstellung und Bemessung nach europäischer Normung zu geben.

In den Abschnitt der Metallurgie wird auf dem Gefügebau und die kristalline Struktur der Metalle sowie ihre physikalische und mechanische Eigenschaften eingegangen.

Ein weiterer Abschnitt befasst sich mit dem Legieren von Aluminiumwerkstoffen und mit dem Einfluss der Legierungselemente sowie den Grundlagen der Legierungsbildung.

Außerdem erfolgt eine Betrachtung der AlMgSi – Knetlegierung seitens der Metallurgie über ihre Herstellung wie auch die Einteilung und Definitionen der Werkstoffzustände und Bezeichnung der Basiszustände nach DIN EN 515.

Als Herstellungsart von Aluminiumtragelementen wird hier auf das Verfahren des Strangpressens zurückgegriffen. Die unterschiedlichen Verfahren werden graphisch dargestellt bzw. beschrieben.

In diesem Abschnitt wird erläutert, welche Anforderungen an die Werkzeuge hinsichtlich ihrer Konstruktion und Auslegung von Bedeutung sind.

Des Weiteren soll ein Überblick gegeben werden, was bei der Auslegung von Aluminiumtragelementen beim Strangpressen zu beachten ist, damit ein reibungsloser Prozessablauf gewährleistet ist.

Bei der Bemessung von Aluminiumtragelementen wird hier auf den Eurocod 9 eingegangen.

Es findet eine Beschreibung zur Ermittlung der Schnittkräfte im elastischen und plastischen Bereich statt.

Außerdem wird an Hand von Beispielen belegt, wie die Einteilung der Querschnitte nach Eurocode in den jeweiligen Klassen erfolgt.

Im Anschluss soll untersucht werden wie sich das Tragverhalten bei einem frei gewählten Querschnitt mit unterschiedlichen Stützweiten ändert.

Dabei findet ebenfalls eine Gegenüberstellung des Querschnitts aus zwei unterschiedlichen Aluminiumlegierungen statt.

Bei einem weiteren Beispiel soll an Hand von Berechnungen dargestellt werden, wie sich das Tragverhalten ändert in dem man diesen aus einzelnen Profilen herstellt und im Anschluss zu einem Profil mit Hilfe eines Schweißverfahren wieder zusammen fügt.

2 Gefüge der Metalle

Das Metallgefüge bildet sich nach dem Vergießen bei der Erstarrung der Schmelze zu einem festen Körper

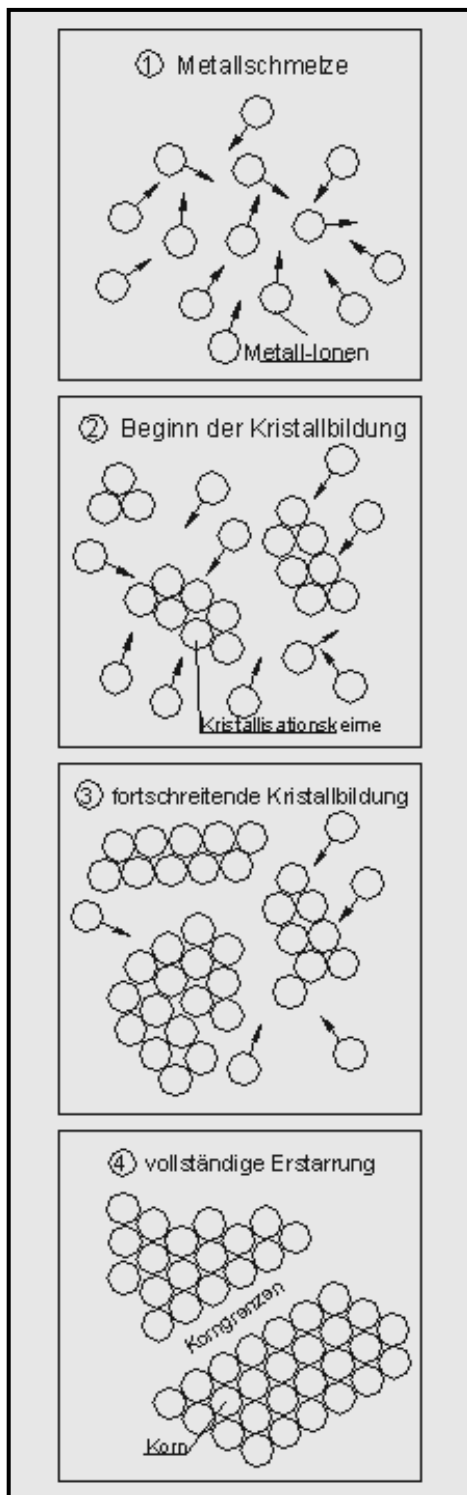


Bild 1: Kristallbildung

[Quelle: Werkstofftechnik für Metallbauberufe]

- in der Metallschmelze bewegen sich die Metall-Ionen frei und regellos

Abkühlung



- erste Metall-Ionen beginnen sich nach Kristallgitterbauplan zusammenzulagern
- Entstehung von ersten Kristallisationskeimen

Abkühlung



- wachsen der Kristallisationskeimen durch weiters anlagern von Metall-Ionen aus der Schmelze

Abkühlung



- nach Aufbrauch der Schmelze stoßen die wachsenden Kristalle an ihre Grenzen aneinander
 - Entstehung von unregelmäßig begrenzten Kristallen = **Gefügekörner**
- Zwischen den Körner bleibt ein schmaler Übergangsbereich aus ungeordneten Metall-Ionen und Verunreinigungen = **Korngrenzen**

2.1 Gefüge und kristalline Struktur der Metalle

1000-facher Vergrößerung

→

Erkennung des Gefüges

- aus Körner und Korngrenzen

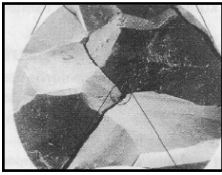


Bild 3: Gefüge

[Quelle: Werkstofftechnik für Metallbauberufe]

100.000-facher Vergrößerung →

Erkennung der kristallinen Struktur

- stufenartiger Aufbau des Metalls aus
lauter ähnlichen geformten Würfeln

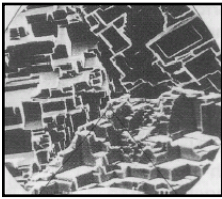


Bild 4: Gefüge

[Quelle: Werkstofftechnik für Metallbauberufe]

100.000.00-facher Vergrößerung →

Erkennung der atomaren Feinstruktur
Regelmäßige Anordnung der Abstände
und Winkeln zueinander
= würfelartige Kristallform

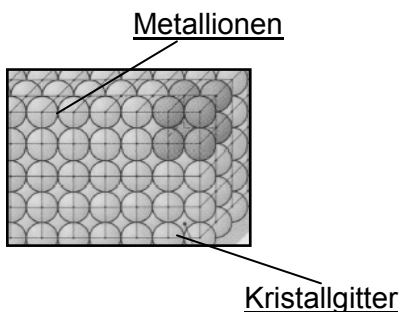


Bild 5: Gefüge

[Quelle: Werkstofftechnik für Metallbauberufe]

Die kleinste Einheit eines Kristallgitters bezeichnet man als **Elementarzelle**.

Sie gibt die typische Anordnung der Metallionen einer Metallart an und wird zur Kennzeichnung der verschiedenen Kristallgittertypen verwendet.

Die Metallionen der verschiedenen Metalle fügen sich in einer für jede Metallart typischen, geometrischen Anordnung zusammen. Diese sind von der Metallart und der Temperatur abhängig.

kubisch – Raum zentriertes Kristallgitter [**krz**]

α - Eisen, Cr, Mo

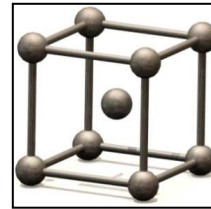


Bild 6: Kristallgitter krz

[Quelle: Maschinenbau-student.de]

kubisch – Flächen zentriertes Kristallgitter [**kfz**]

Al, AG, Au, Cu

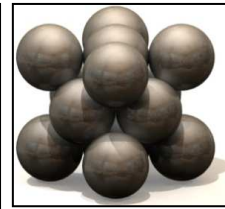
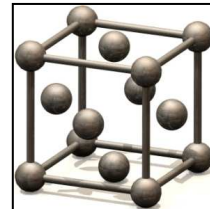


Bild 7: Kristallgitter kfz

[Quelle: Maschinenbau-student.de]

kubisch – hexagonales Kristallgitter [**hdP**]

Al, AG, Au

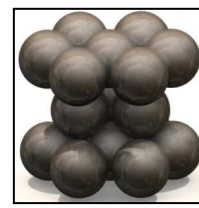
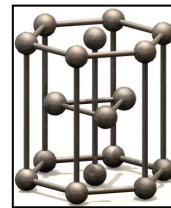


Bild 8: Kristallgitter hdP

[Quelle: Maschinenbau-student.de]

Einige Eigenschaften z. B. können primär auf die Art der Elementarzelle zurückgeführt werden.

Innerhalb einer Elementarzelle sind die Abstände der Atome untereinander in den verschiedenen Richtungen unterschiedlich, z. B. im kfz – Gitter ist die Richtung der Raumdiagonalen am größten und die Richtung der Flächendiagonalen am geringsten, während es beim krz – Gitter umgekehrt der Fall ist.

Daraus lässt sich auch ableiten, dass einige Eigenschaften der Metalle ebenfalls richtungsabhängig sind.

Diese Richtungsabhängigkeit bezeichnet man als **Anisotropie**. Man sagt der Werkstoff ist **anisotrop**.

Bei dem Werkstoff Kupfer beträgt der E-Modul in Richtung der Raumdiagonalen 190.000 N/mm^2 und in Richtung der Flächendiagonalen 66.600 N/mm^2 .

Diese Anisotropie wirkt sich in technischen Werkstoffen nicht aus, da die Achsen der einzelnen Kristalle im Allgemeinen völlig regellos ausgerichtet sind.

Dieser Zustand wird als *Quasi-Isotropie* bezeichnet.

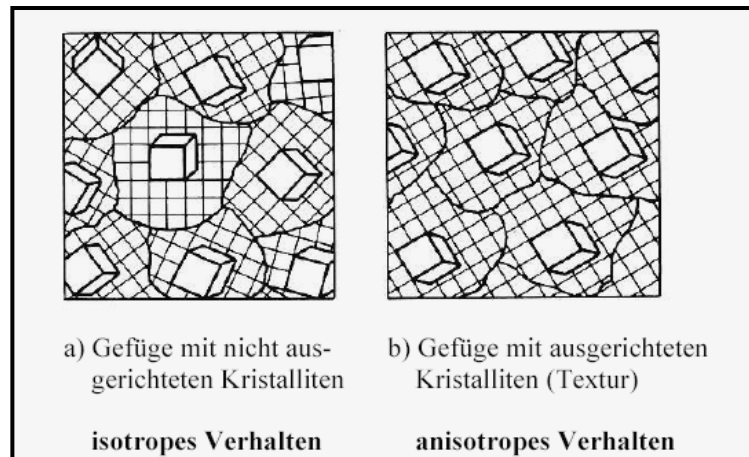


Bild 9: isotropes und anisotropes Verhalten

[Quelle: Werkstoffkunde Bargel * Schulze]

Die technischen Metalle sind fast ausschließlich vielkristallin, d.h., sie bestehen aus einer Vielzahl von einzelnen Kristallen, die zur Unterscheidung von frei gewachsenen Kristallen als Kristallite oder Körner bezeichnet werden.

Der vielkristalline Aufbau kann man bei einer verzinkten Stahloberfläche am besten betrachtet werden.

Der Verband der Körner heißt Gefüge. Zur Kennzeichnung des Gefüges eines reinen Metalls dienen die Begriffe *Korngröße und Kornform*.

Reine Metalle haben ein *homogenes Gefüge*, weil alle Kristallite die gleiche Struktur besitzen. Die Körner sind hinsichtlich ihres Gitteraufbaus und der Art der Atome einander gleichwertig. Die einzige Unterscheidung liegt darin, dass die räumliche Lage ihrer Gitterebenen unterschiedlich verläuft.

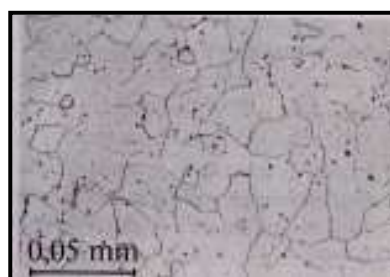


Bild 10: Homogenes Gefüge

[Quelle: Werkstoffkunde Bargel * Schulze]

Die Korngröße wird durch die mittlere Fläche oder den mittleren Durchmesser gekennzeichnet. Diese ist abhängig von Erstarrungs-, Umform- und Wärmebehandlungsprozessen. Das einzelne Korn hat das Bestreben eine Kugelform anzunehmen, um seine Energie gering zu halten. Somit ist die vorliegende Gestalt **globular**.

krz- Metalle → Gefüge aus kurvigen begrenzten zwillingsfreien Körnern

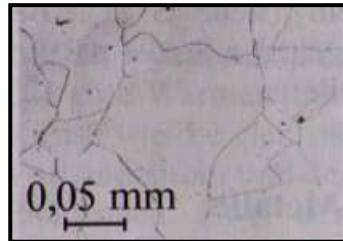


Bild 11: Kornform globulares Korn

[Quelle: Werkstoffkunde Bargel * Schulze]

kfz- Metalle → Gefüge aus eckigen Körnern und typischen Zwillingen

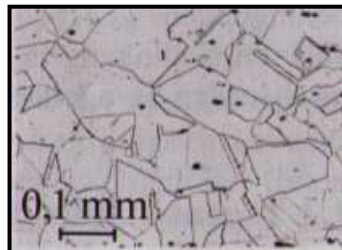


Bild 12: polyedrisches Korn

[Quelle: Werkstoffkunde Bargel * Schulze]

2.2 Physikalische Eigenschaften von Metallen

2.2.1 Elektrische Leitfähigkeit

Die Metalle bestehen im atomaren Bereich aus positiv geladenen Metallionen und sie umgebenden, frei beweglichen, negativ geladenen Elektronen, welche sie durchdringen ähnlich wie bei einem Gas. Werden dem Metallkörper an dieser Stelle zusätzlich Elektronen zugeführt, d.h. eine Spannung wird angelegt, so verschiebt sich das „Elektronengas“ und es fließen an anderer Stelle, soviel Elektronen vom Metallkörper ab, wie ihm zugeführt wurden. Diese leichte Verschiebbarkeit der Valenzelektronen ist die Ursache der guten elektrischen Leitfähigkeit der Metalle.

Die elektrische Leitfähigkeit nimmt bei Kaltverfestigten Metallen ab, infolge der höheren Versetzungsdichte. Bei Metallen, die eine Legierung erfahren haben oder eine Verunreinigung aufweisen, geht ebenfalls die Leitfähigkeit zurück, da sich Fremdatome im Gitter befinden.

Was außerdem zu beobachten ist, dass bei einer Erhöhung der Temperatur des Metalls, die elektrische Leitfähigkeit abnimmt, da durch die heftigere Wärmebewegung der positiven Metallionen des Stoffes die gerichtete Bewegung der frei beweglichen Elektronen stärker behindert wird.

2.2.2 Wärmeleitfähigkeit

Die gute Wärmeleitfähigkeit der Metalle beruht ebenso wie die elektrische Leitfähigkeit auf dem Vorhandensein und der Beweglichkeit der freien Elektronen. Die Wärmeleitfähigkeit geht mit zunehmender Temperatur zurück. Die Weitergabe des Impulses der Wärmeschwingungen spielt hier eine untergeordnete Rolle.

2.3 Mechanische Eigenschaften von Metallen

Sie sind nicht nur von der Struktur, sondern im starken Maße auch vom Gefüge (Korngröße und Kornform) abhängig.

die wichtigsten sind: - Verformung
 - Festigkeit

Aus diesen beiden Eigenschaften hängt das Bruchverhalten von Metallen ab.

2.3.1 Elastische und plastische Verformung

Mann unterscheidet makroskopisch zwei Arten der Verformung.

1. Längenänderungen (*Dehnung*)
2. Winkeländerung (*Schiebung*)

In der Gitterstruktur ist nur eine Winkeländerung möglich, bei einer Längenänderung (Abstandsänderung der Atome) sind die Kräfte so hoch, dass es zum Bruch kommt.

Durch beziehen der Kraft auf ihre Wirkungsfläche erhält man die Spannung.

Bei Gleitverformung nennt man sie *Schubspannung*.

Die Schubspannungen erzeugen auf gleitfähigen Gitterebenen Gleitverformungen.

Mann unterscheidet nach der Art ihrer Wirkung zwei Erscheinungen der Verformung.

Kleine Schubspannungen  Bewirken nur eine Winkeländerung des Gitters. Bei Rückgang gegen Null verschwindet die Verformung wieder, man sagt sie war **elastisch**.

Große Schubspannung  Überschreitet die Schubspannung einen kritischen Wert und somit die Winkeländerung des Gitters geraten die Atome einer Gitterebene in das Wirkungsfeld des jeweils nächsten Atoms der benachbarten Gitterebene und bewegen sich somit sprunghaft auf den nächsten Gitterplatz. Bei Rückgang gegen Null bleibt die Verformung, man sagt, sie ist bleibend oder **plastisch**.

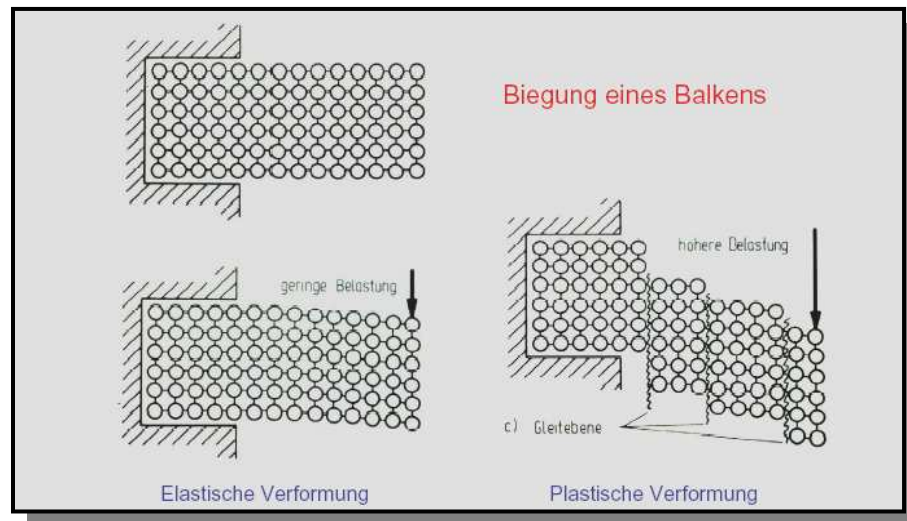


Bild 13: Biegung eines Balken

[Quelle: Werkstofftechnik für Metallbauberufe]

Die Verformbarkeit von Metallen ist eine Eigenschaft die stark anisotrop ist. Die Bewegung von Versetzungen erfolgt nicht auf allen Ebenen gleich, sondern es gleiten nur solche Gitterebenen aufeinander, die am dichtesten mit Atomen besetzt sind. Daraus ergibt sich, dass zur Bewegung von Versetzungen auf dichtest gepackten Ebenen geringe Spannungen erforderlich sind, im Gegensatz zu Ebenen mit geringerer dichter Atompackung.

Daraus ergeben sich auch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Gittertypen.

In der Elementarzelle des kfz- Gitters gibt es vier verschiedene Gleitebenen, die ein Tetraeder bilden, das von den Flächendiagonalen begrenzt wird.

Dagegen hat das hdP- Gitter nur eine Gleitebene. Die Basisebene der sechseckigen Säule. Hierbei werden die Begriffe *Oktaedergleitung* und *Basisgleitung* verwendet.

Eine Gleitebene mit einer Gleitrichtung ergibt ein *Gleitsystem*. Hieraus ergibt sich, dass das Kfz- Gitter bei 4 Gleitebenen mit je 3 Richtungen insgesamt 12 Gleitsysteme hat. Im Gegensatz zu dem hat das hdP- Gitter nur 3 dieser Gleitsysteme.

Hieraus ergibt sich, dass die Werkstoffe, die ein hexagonales Gitter besitzen, schlechtere Verformungseigenschaften besitzen, als die Werkstoffe mit einem kubisch -flächenzentrierten Gitter.

Gleitebenen im kfz -Gitter (beide Systeme sind gleichbedeutend)

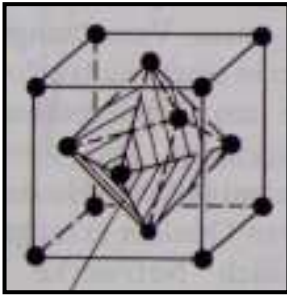


Bild 14: Oktaeder

[Quelle: Werkstoffkunde Bargel * Schulze]

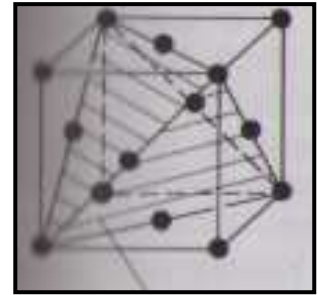


Bild 15: Tetraeder

2.3.2 Verfestigung

Bei der plastischen Verformung ist zu erkennen, dass die Versetzungen selten bis an die Oberfläche des Kristalls verlaufen.

Daraus ergibt sich, dass die Zahl der Versetzungen nicht abnimmt.

Aus der praktischen Anwendung heraus zeigt sich, dass die Metalle sich verfestigen. Dabei lässt sich auch erklären, dass immer höhere Spannungen erforderlich sind, um eine Versetzung zu bewegen.

Im vielkristallinen Metall wird eine weitere Bewegung durch eine Art von Hindernissen erschwert.

Solche Hindernisse sind zum Beispiel die Korngrenzen mit ihrem hohen Energiegehalt, Einschlüsse im Gefüge und Versetzungslinien.

Die genannten Hindernisse wirken gleichzeitig auch als Versetzungsquelle, dies bedeutet, dass sie bei der plastischen Verformung ständig neue Versetzungen produzieren.

Durch die gegenseitige Beeinflussung der Versetzungen muss eine stetige Erhöhung der Spannung zur Bewegung aufgebracht werden.

Daraus steigt der Widerstand gegen die plastische Verformung, man sagt, das Metall verfestigt sich.

Die Abhängigkeit der erforderlichen Spannung von der Verformung wird durch die Fließkurve dargestellt.

2.3.3 Fließkurven kfz- Einkristall und vielkristallines Metall

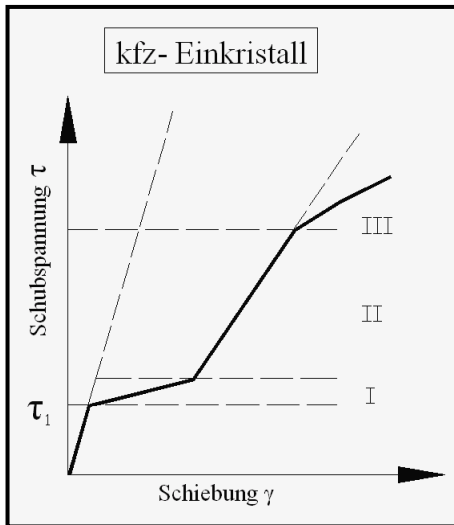


Bild 16: Fließkurve

Die Einteilung der plastischen Verformung geschieht in drei Teilbereiche, wo unterschiedliche Mechanismen wirksam sind.

Für Spannungen wo $\tau < \tau_1$ ist die Verformung rein elastisch. Der Anstieg der Geraden ist gegeben durch den Schubmodul des Metalls.

Die kritische Schubspannung τ_1 ist die bei der die ersten Abgleitungen um mindestens einen Atomabstand erfolgen.

Bereich I:

Hier erfolgt die plastische Verformung ohne Verfestigung, da keine Wechselwirkungen, siehe oben, zwischen den Versetzungen bestehen.

Bereich II:

In diesem Bereich entstehen lineare Verfestigungen bedingt durch die Wechselwirkung zwischen den Versetzungen. Der Anstieg der Geraden ist kleiner als der vorausgehenden elastischen Verformung. Die Festigkeitszunahme ist verbunden mit der quadratischen Zunahme der Versetzungsdichte.

Bereich III:

Hier erfolgt ein Rückgang des Verfestigungskoeffizienten. In diesem Bereich sind die Schubspannungen so hoch, dass die Versetzungen ihre Gleitebenen verlassen und somit den *Hindernissen* ausweichen.

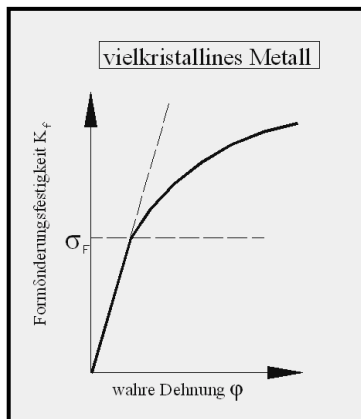


Bild 17: Fließkurve

Viele technische Metalle weisen die Form des Vielkristalles auf. Die Fließkurve eines Vielkristalles wird auch als *Normalspannungs- Dehnungs- Kurve* bezeichnet.

Bis zum Punkt σ_F erfolgt ein linearer Anstieg, dem Bereich überwiegend elastische Verformung.

Ab dem Punkt σ_F erfolgt ein gekrümmten Verlauf der Kurve mit zunehmenden plastischen Anteilen des Werkstoffes.

Als Ersatz für die bei diesen Werkstoffen fehlende Streckgrenze hat man die *0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$* eingeführt.

Dies ist die Spannung, bei der der Werkstoff nach Entlastung eine bleibende Dehnung von 0,2% aufweist.

3 Legieren von Aluminium

Aluminium kann im schmelzflüssigen Zustand mit Kupfer, Magnesium, Silizium, Eisen, Titan, Beryllium, Chrom, Zink, Zirkon und Molybdän legiert werden, um bestimmte Eigenschaften zu fördern oder andere, ungewünschte Eigenschaften zu unterdrücken.

Es fällt in diesem Zusammenhang bei den Aluminiumgusslegierungen auch der Begriff der Aluminiumvorlegierung. Unter Aluminiumvorlegierung versteht man Legierungen, die als Zusatz beim Einschmelzen verwendet werden, um die Zusammensetzung einzustellen oder die Gussstruktur zu beeinflussen.

Bei einigen Vorlegierungen ist der Anteil des Hauptlegierungselementes höher als 50%. Man unterscheidet zwischen zwei Formen der Vorlegierungen:

1. Konzentrierte binäre Vorlegierung
2. Strukturvorlegierung

Mit dem Einsatz von binären Vorlegierungen erfolgt die Feineinstellung der Legierungszusammensetzung.

Strukturvorlegierungen finden ihren Einsatz um die Gussstruktur (Gussgefüge) zu beeinflussen. Ihr Einsatz kommt nur in geringen Mengen zum Einsatz.

Bei der Beeinflussung des Gefüges unterscheidet man zwischen folgenden Begriffen: **Kornfeinung**, **Veredelung** und **Siliziumfeinung**

Kornfeinung: Durch den Einsatz von Al-Ti-B-, Al-Ti-, Al-B- oder Al-Ti-C-Vorlegierungen findet eine Feinung des Al- Grundgefüges statt.

Veredelung: Bei Al-Si-Leg. kommt es durch den Einsatz von Strontium oder Natrium zu einer Feinung des *Eutektikum*.

Siliziumfeinung: Hier findet eine Umwandlung des lamellaren Siliziums in eine körnige Form und Feinung des Primärsiliziums statt.
Bei über-eutektischen Al-Si-Leg. geschieht dieses durch eine Phosphorbehandlung.

Eutektikum: Beim Übergang einer Legierungsschmelze vom flüssigen in den erstarrten Zustand kommt es mit abnehmender Temperatur zuerst zur Kristallisation nur einer Kristallart. (Primärkristallen)
Diese sind in der Regel Mischkristalle eines Legierungsbestandteils. Bei weiterer Abnahme der Temperatur kommt es allmählich zur Beimischung der anderen Legierungsbestandteile. Die dabei entstehenden Kristalle nennt man α -Mischkristalle.
Erreicht die Temperatur einen bestimmten Punkt, erfolgt die Einstellung der Beimischung und der andere Stoff hat das Bestreben seine eigenen Kristalle zu bilden. Somit liegen nun zwei Kristallarten neben einander vor.
Der somit entstandene Zustand wird Eutektikum genannt.



3.1 Einfluss der Legierungselemente

Silizium



Bild 18: Silizium
[Quelle: chemie-master.de]

- Aluminiumschmelze wird dünnflüssiger
- Schmelztemperatur ↓
- ab 0,3% Anteil Aushärtung der Legierung möglich

Magnesium



Bild 19: Magnesium
[Quelle: chemie-master.de]

- beschleunigt die Aushärtbarkeit durch Aufweiten des Al- Gitters
- unterdrückt den diffusions blockierenden Einfluss von Eisenverunreinigungen
- Festigkeit, Härte, Korrosionswiderstand, Lötbarkeit ↑

Silizium

in Kombination Mg

- Wärmebehandlung, Korrosionswiderstand ↑

Mangan



Bild 20: Magnesium
[Quelle: chemie-master.de]

- Dehnung, Korrosionswiderstand ↑
- Erhöhung der Zugfestigkeit bei nicht aushärtbaren Leg.
- bildet mit Al die intermetallische Verbindung Al₆Mn

Kupfer



Bild 21: Kupfer
[Quelle: chemie-master.de]

- bewirkt Aushärtbarkeit von Al- Leg.
- Korrosionswiderstand ↓
- Festigkeit, Härte, Wärmebehandlung ↑
- bildet mit Al die intermetallische Verbindung Al₂Cu

Zink



Bild 22: Zink
[Quelle: chemie-master.de]

- bewirkt die Aushärtbarkeit bei AlMg- Leg
- geht innerhalb der Al- Leg. mit Mg eine *intermetallische Verbindung* ein MgZn₂

Zink

in Kombination Mg

- Festigkeit, Härte ↑
- Wärmebehandlung ↑
- Korrosionswiderstand ↓

Titan/Zirkon

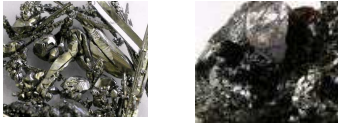


Bild 23: Titan/Zirkon
[Quelle: chemie-master.de]

- bewirken bei geringen Beimengungen $\leq 0,1\%$ eine Kornverfeinerung

Intermetallische Verbindung:

Homogene chemische Verbindung aus zwei oder mehreren Metallen. Ihre Gitterstruktur unterscheiden sich von denen der Legierungen der konstituierenden Metalle. In dem Gitter liegt eine Art Mischbindung vor, aus einem metallischen Bindungsanteil und einem geringeren Atom- Ionen Bindungsanteil.

Intermetallische Verbindungen weisen häufig eine große Härte bzw. Sprödigkeit auf.

3.2 Grundlagen der Legierungsbildung

Metallische Werkstoffe bestehen praktisch immer aus mehreren Elementen
= Legierungen.

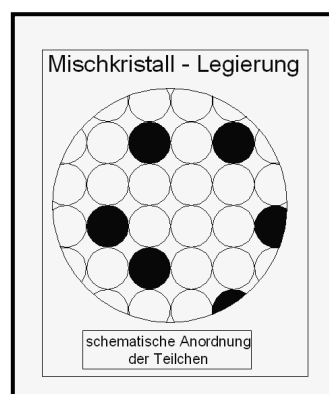
Die Legierungselemente beeinflussen den kristallinen Aufbau und damit die Eigenschaften der Werkstoffe.

Es können sich folgende, aus mehreren Atomsorten bestehende Kristallarten bilden:

- Mischkristalle
- Intermediäre Verbindungen
- Kristallgemische z. B. Eutektikum

Bild 24: Mischkristall schematisch

[Quelle: Werkstofftechnik für Metallbauberufe]



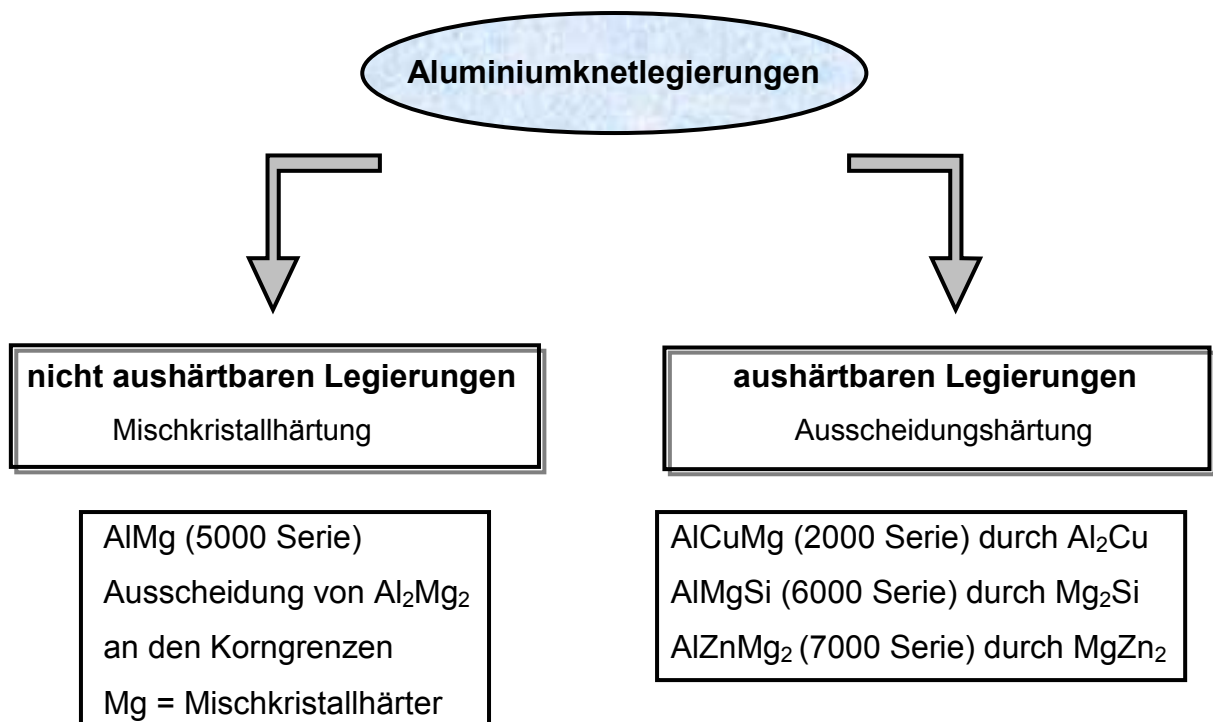
Mischkristalle: Die meisten Metalle können in ihrem Gitterverband (Matrix) eine bestimmte Menge an Fremdatomen aufnehmen.
Die Fremdatome werden im Wirtsgitter gelöst.
Dadurch können Verspannungen des Gitters entstehen.
Mischkristalle bestehen aus mindestens zwei unterschiedlichen Atomsorten.
Mann unterscheidet nach Lage der Legierungsatome B im Wirtsgitter A zwischen

- Substitutionsmischkristalle
- Einlagerungsmischkristalle

Die wichtigsten Legierungselemente des Aluminiums sind wie oben schon genannt Cu, Mg und Si.

Die Zustandsschaubilder der binären (Paarweisen) Legierungen dieser Elemente mit dem Aluminium haben Teilbereiche vom

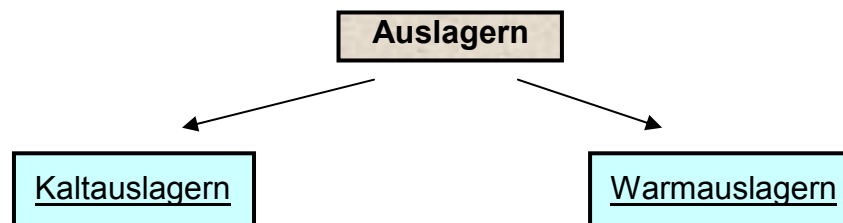
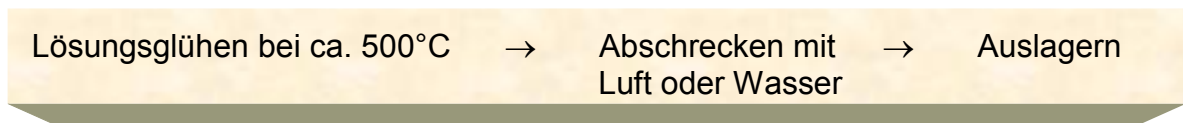
- eutektischen Typ
- begrenzte Mischkristallbildung im Randbereich
- intermediäre Phasen



3.2.1 Aushärten

Das Aushärten ist bei einigen Aluminium-Legierungen ein Prozess, bei dem die innere Metallstruktur von Aluminium „verspannt“ wird und die sog. Gitter- und Gleitebenen blockiert werden.

Das Aushärten trägt zur Erhöhung der Festigkeit und Härte bei. Es ist dabei eine Steigerung um ca. den doppelten Wert gegenüber dem ungehärteten Werkstoff zu erwarten. Das Aushärten erfolgt in drei Arbeitsschritten.



Kaltauslagern (AlMgCu- Leg.)

Nach dem *Lösungsglühen* bei ca. 500°C wird die Legierung in Wasser abgeschreckt, dadurch wird die Ausscheidung des Kupfers unterdrückt.

Lösungsglühen Die Legierung wird zunächst auf Lösungstemperatur erwärmt, wobei sich das Atomgitter von Aluminium aufweitet.
Die Fremdatome gehen "in Lösung", verteilen sich statistisch regelmäßig im Grundmetall

Abschreckung Durch anschließende Abschreckung (Volumenreduktion) geraten die Fremdatome unter Diffusionsdruck, der sie nach und nach an die Gitter- und Gleitebenen sowie die Korngrenzen des Gefüges herausdrängt. Das bewirkt einerseits die Verspannung der Metallstruktur, andererseits verhindern die an den Korngrenzen diffundierten Fremdatome dort das Abgleiten/Verschieben der einzelnen Kristalle gegeneinander - Blockieren der Gitter- und Gleitebenen.

Dieser Diffusionsprozess verläuft beim kalt aushärtbaren Aluminium bereits bei Raumtemperatur selbstständig ab und benötigt etwa 4-7 Tage. Bei den warm aushärtbaren Legierungen muss mit einer Auslagerungstemperatur von 120 - 180° C "nachgeholfen" werden, Der Diffusionsvorgang ist dann jedoch bereits nach einigen Stunden bis 2 Tagen abgeschlossen.

Bei einer langsamen und kontinuierlichen Abkühlung ist dieser Vorgang nicht zu beobachten. Durch den Abschreckvorgang liegt nun Kupfer in einer übersättigten Lösung vor. Daraus resultiert auch, dass die Zugfestigkeit höher ist als im Weichgeglühten Zustand und das Umformverhalten des Werkstoffs ist noch gut. Das nach dem Abschrecken folgende Kaltauslagern geschieht bei etwa 20°C. Nach schon kurzer Zeit erfolgt die Ausscheidungshärtung mit dem daraus verbundenen Anstieg der Härte, Zugfestigkeit und der Streckgrenze ohne die Bruchdehnung und die physikalischen Eigenschaften negativ zu beeinflussen. Die Erklärung zu diesem Vorgang liegt darin, dass das Aluminiumgitter versucht, dass in der Lösung vorhandene Kupfer auszuscheiden. Dadurch kommt es zur Entstehung von Kupfer- reichen Zonen. Diese Gleitebenen blockieren nun wiederum das Gefüge.

Der Prozess des Kaltauslagerns ist in ca. 5-8 Tagen abgeschlossen. Durch eine Erhöhung der Umgebungstemperatur auf ca. 30-35°C lässt sich dieser Vorgang allerdings beschleunigen. Bei einer Temperaturerniedrigung ist der entgegen gesetzte Fall zu beobachten.

Warmauslagern bei AlMgSi- Legierungen

Die Vorgänge und der Ablauf beim Lösungsglühen wie auch beim Abschrecken ist wie bei den AlMgCu- Leg. Nach dem Abschrecken erfolgt in einer Zeitspanne von 4 - 48 Stunden und bei einer Temperatur von 120°C – 200°C eine Auslagerung des Werkstoffs. Bei diesem Vorgang kommt es ebenfalls zu Ausscheidungs-
vorgängen die zu einer Behinderung des Gleitens der Gitterebenen führen.

Damit verbunden ist ein erheblicher Anstieg der Härte, Zugfestigkeit und Streckgrenze zu verzeichnen. Der Abfall der Bruchdehnung ist wesentlich höher als bei der Kaltauslagerung. Nach dem Erreichen des Maximums kommt es zu einem Abfall der Festigkeitswerte. Daraus ergibt sich eine genaue Einhaltung der richtigen Zeit- und Temperaturwerte, um die geforderten Werkstoffeigenschaften zu erhalten. Durch das Warmauslagern werden höhere Festigkeitswerte erreicht als wie beim Kaltauslagern.

Beachte: Ausgehärtete Aluminium – Bauteile verlieren ein Teil ihrer Festigkeit bei starker Erwärmung (z. B. beim Schweißen oder Löten).

Werkstoff	Zustand	0,2%- Dehngrenze	Zugfestigkeit	Bruchdehnung	Eigenschaften und Verwendung
		Rp,0,2 in [N/mm²]	Rm in [N/mm²]	in [%]	
nicht aushärtbare Al-Knetlegierung					
EN AW-1050A	weich	<60	65	27	korrosionsfest,geringe Zugfestigkeit Bänder,Fließpressteile
3.0255	hart	110	130	4	
EN AW-5754	weich	80	180	14	meerwasserbeständig, polierfähig Behälter,Bootskörper, Rohrleitung
3.3535	hart	180	250	4	
aushärtbare Al-Knetlegierung					
EN AW-6060	kalt.-ausgel.	65	130	15	gute Schweißeignung, anodisierbar Tragkonstr. Fensterprofile
3.3206	warm ausgel.	195	245	10	
EN AW-7020	warm ausgel.	280	350	10	selbstständige Aushärtung nach schweißen Schweißkonstruktionen
3.4335					
EN AW-7075	warm ausgel.	220-270	330-400	10 bis 6	höchste Festigkeit, geringe Korrosionsbest. hochbelastete Maschinenteile
3.4365					
EN AW-6012	warm ausgel.	200	275	8	aushärtbare Automatenlegierung Automaten - Drehteile
3.0615					

Tabelle 1: Eigenschaften und Verwendung gängiger Aluminiumwerkstoffe

[Quelle: Werkstofftechnik für Metallbauberufe]

4 AlMgSi – Knetlegierung

Bevor die gegossenen Aluminiumblöcke durch andere Fertigungsverfahren z. B. Schmieden, Walzen und Ziehen weiterverarbeitet werden können, ist zunächst eine Vorbehandlung notwendig.

Beim Abkühlen des geschmolzenen Aluminiums bilden sich gleichmäßig in der Schmelze verteilt kleine Kristalle, die mit zunehmender Erstarrung wachsen, bis sie auf die jeweiligen Nachbarkristalle stoßen. An den Stoßstellen lagern sich bevorzugt die zulegierten Metalle sowie Verunreinigungen ab, die dadurch ein hartes, sprödes Gerüst von sog. Korngrenzen bilden.

Da eine nachfolgende Kaltverformung unweigerlich zu Rissen im Metallgefüge führen würde, muss zunächst ein "Aufbrechen" der spröden Bereiche erfolgen.

Dieses geschieht durch Erwärmung bis kurz unter den Schmelzpunkt.

Durch dieses „Kneten“ des Werkstoffes erreicht man eine Streckung des Metallgefüges, bei dem sich die Bruchstücke der alten Korngrenzen gleichmäßig im Metallgefüge verteilen.

Das ursprüngliche Gussgefüge wird mit diesem Verfahren zu einem Zeilengefüge umgewandelt, wird zäher und erlaubt erst jetzt eine weitere Verarbeitung durch Kaltverformung.

4.1 Zweistoffsysteme mit begrenzter Löslichkeit

Legierungen dieser Art können, zwar Mischkristalle bilden, jedoch nicht in jeder Zusammensetzung. Im Gegensatz zu Legierungen mit vollkommener Löslichkeit unterscheiden sich hier die Atomgrößen stärker, was bedeutet, dass die Gitterverzerrungen ab einer gewissen Zusammensetzung unerträglich werden. Auch das Kristallsystem kann ein Hindernis sein, wenn sich die Legierungselemente im Kristallsystem zwar ähnlich, aber nicht gleich sind.

Die 6000er Legierungen (Legierungen auf AlMgSi- Basis) weisen mittlere bis hohe Festigkeiten auf. Außerdem besitzen sie auch eine hohe Bruchzähigkeit, gute Umformeigenschaften und Korrosionseigenschaften.

Die Hauptlegierungselemente sind Magnesium und Silizium.

Durch eine Zugabe von Kupfer und Mangan erfolgt eine Verfeinerung der Materialeigenschaften.

Die gewünschten Eigenschaften dieser Legierung erhält man durch feinverteilte, nanoskalige Ausscheidungen, welche durch ihr Spannungsfeld die Versetzungsbewegung effektiv behindern.

Die AlMgSi – Legierungen sind aushärtbar. Die Aushärtbarkeit lässt sich auf die MgSi Phase zurückführen.

Technische Zusammensetzung

- Mg 0,30% bis 1,5%
- Si 0,20% bis 1,6%
- Mn 0% bis 1%
- Cr 0% bis 0,35%

Daraus resultiert etwa 0,40% bis 1.6% Mg_2Si .

Im Dreistoffsystem Al– Mg– Si tritt auf der Seite Mg– Si bei Mg_2 eine *intermediäre Phase* auf.

intermediäre Phase: Verbindung zwei Metalle = intermetallische Verbindungen
= Metallide

Betrachtet man Mg_2Si als eine selbstständige Legierungskomponente, so kann man zwischen Aluminium und Mg_2Si ein Zweistoffschaubild zeichnen.

Auf diesem quasibinären Schnitt nimmt auf der Aluminiumseite die Löslichkeit für Mg_2Si im α - Mischkristall ab.

Hierbei kommt es in diesem Bereich im Gegensatz zu den Systemen Al-Mg oder Al-Si bei geeigneter Wärmebehandlung zu einer ausgeprägten Aushärtung.

Dieselben Vorgänge hat man auch bei den Dreistoffsystem Al-Mg-Zn mit der intermediären Verbindung $MgZn_2$.

Auf Grundlage dieser beiden Legierungssysteme werden einige Aluminiumlegierungen entwickelt.

Durch die Bildung von Mg_2Si wird die Zugfestigkeit der Legierung erheblich erhöht.

Mn zwischen 0,2% und 1% wird bei AlMgSi – Legierungen größerer Festigkeit zugesetzt, daraus ergibt sich eine Steigerung der Kerbschlagzähigkeit.

AlMgSi - Legierungen weisen eine gute Korrosionsbeständigkeit auf.

4.2 schematische Aushärtung einer Aluminium Legierung

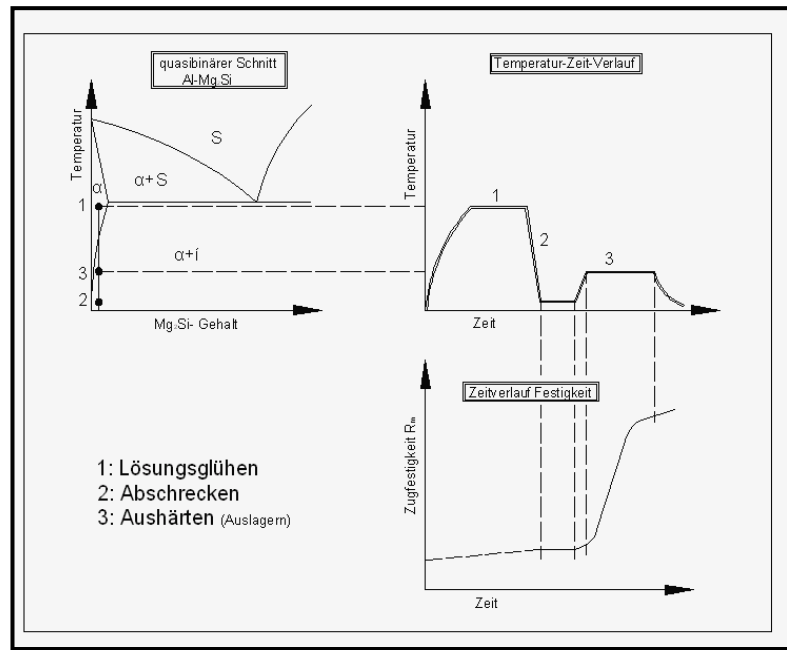


Bild 25: Aushärtung Al- Legierung

4.3 Einteilung der Aluminiumlegierungen

Serie	Hauptlegierungs- element	Beispiel	Bemerkung
1000	Aluminium	AL	nicht schweißbar aushärtbar hohe Leitfähigkeit
2000	Kupfer	AlCu	hohe Festigkeit, aushärtbar geringe Korrosionsbeständigkeit
3000	Mangan	AlMn	Umformverhalten ↑ nicht aushärtbar Einsatz bei hohen Temperaturen
4000	Silizium	AlSi	teilweise aushärtbar Schweißbarkeit ↑
5000	Magnesium	AlMg	nicht aushärtbar Festigkeit↑
6000	Magnesium und Silizium	AlMgSi	aushärtbar, Dehngrenze ↑ Biegefähigkeit↑
			durch Warmauslagerung Festigkeit ↑ Korrosionsbeständigkeit ↑
7000	Zink	AlZn	Spannungsrissskorrosion ↑ Festigkeit ↑
8000	sonstige Elemente		
9000	nicht verwendete Serie		

Tabelle 2: Einteilung der Al- Legierungen [Quelle: IN EN 573-1]

4.4 Definitionen der Werkstoffzustände

Kaltumformen:

plastische Umformung eines Metalls bei einer Temperatur und Geschwindigkeit, die zu einer Kaltverfestigung führt.

Kaltverfestigung:

Veränderung eines Metallgefüges durch Kaltumformung, die zu einer Erhöhung der Festigkeit und Härte führt bei Abnahme der Formbarkeit

Lösungsglühen:

Wärmebehandlung des Metalls mit anschließendem Abschrecken. Dabei bleiben die Elemente, die im Mischkristall in Lösung gebracht wurden, in diesem Zustand.

Auslagern:

Ausscheidung aus dem übersättigten Mischkristall
Diese Ausscheidung führt zu einer Änderung der Eigenschaften der Legierung.

Kaltauslagern bei Raumtemperatur (langsam)

Warmauslagern bei höheren Temperaturen (schnell)

Weichglühen:

Wärmebehandlung → Erweichen des Metalls durch Entfestigen oder durch Vergrößerung der Ausscheidungen aus dem Mischkristall

4.5 Bezeichnung der Basiszustände nach DIN EN 515

Kennzeichnung	Beschreibung
F- Herstellerzustand	Bezeichnung für Erzeugnisse aus Umformverfahren Für diesen Zustand wird keine Festlegung der Grenzwerte im Bezug auf die mechanischen Eigenschaften getroffen.
O- Weichgeglüht	Bezeichnung für Erzeugnisse die zur Erzielung eines Zustandes mit möglichst geringer Festigkeit geglüht werden
H- Kaltverfestigt	Bezeichnung für Erzeugnisse die der festgelegten mechanischen Eigenschaften nach dem Weichglühen oder Warmumformen einer Kaltumformung unterzogen werden
W- Lösungsgeglüht	Die Bezeichnung gibt einen instabilen Zustand an. Sie gilt für Legierungen, die nach dem Lösungsglühen bei Raumtemperatur aushärten. Die Bezeichnung ist nur dann eindeutig, wenn eine Angabe der Zeitspanne erfolgt. z.B. W1/2h
T- Wärmebehandelt	Bezeichnung für Erzeugnisse, die sich einer Wärmebehandlung unterziehen, um einen stabilen Zustand zu erreichen mit oder ohne Kaltverfestigung. Nachfolgende Nummern geben spezifische Reihenfolge der Behandlungen an.

4.6 Unterteilung der Zustandsbezeichnungen T nach DIN EN 515

T1 → Abgeschreckt aus der Warmumformungstemperatur und kaltausgelagert auf weitgehend stabilen Zustand

T2 → Abgeschreckt aus der Warmumformungstemperatur, kaltumgeformt und kaltausgelagert auf weitgehend stabilen Zustand

T3 → Lösungsgeglüht, kaltumgeformt und kaltausgelagert auf weitgehend stabilen Zustand

T4 → Lösungsgeglüht, und kaltausgelagert auf weitgehend stabilen Zustand

T5 → Abgeschreckt aus der Warmumformungstemperatur und warmausgelagert

T6 → Lösungsgeglüht, und warmausgelagert

T7 → Lösungsgeglüht, und überhärtet/stabilisiert

T8 → Lösungsgeglüht, kaltumgeformt und warmausgelagert

T9 → Lösungsgeglüht, warmausgelagert und kaltumgeformt

1. Ziffer → Kennzeichnung der spezifischen Reihenfolge der Behandlungen

2. Ziffer → Kennzeichnung einer Behandlungsvariante, die die Merkmale des Erzeugnisses im Vergleich zum ursprünglichen T- Zustand deutlich verändert.

4.7 Gegenüberstellung der Eigenschaften von Aluminium mit anderen Konstruktionswerkstoffen

	Aluminium	Kupfer	Stahl S235	Kunststoff
Zugfestigkeit [N/mm ²]	250	250	400	50
Dehnung [%]	15	25	20	25
E- Modul [N/mm ²]	70.000	125.000	21.000	3.000
Spezifisches Gewicht [kg/dm ³]	2,7	8,9	7,8	1,4
Schmelzpunkt [°C]	650	1080	1500	80
Anwendbar im Temperaturbereich [°C]	-400	-500	-550	-130
Elektrische Leitfähigkeit [m/(Ωmm) ²]	29	55	7	-
Wärmeleitfähigkeit [W/m °C]	200	400	76	0,15
Längenausdehnungskoeffizient 10 ⁻⁰⁶ /K	24	17	12	60-100
Unmagnetisch	ja	ja	nein	ja
Schweißbar	ja	ja	ja	ja

Tabelle 3: Eigenschaften von Aluminium und anderen Werkstoffen

[Quelle: Werkstofftechnik für Metallbauberufe]

5 Strangpressen

5.1 Entwicklung und Beschreibung des Verfahrens

Das Verfahrensprinzip des Strangpressens läuft auf eine Konstruktion aus dem Jahr 1795 des Engländer Joseph Bramah zurück. Im Jahr 1820 wurde auf Grundlage seiner Konstruktion eine erste Hydraulische Presse entwickelt. Die eigentliche Strangpresse wurde erst im Jahr 1894 von Alexander Dicks entwickelt und zum Patent angemeldet. Deshalb fiel bis in den 30er Jahren der Begriff vom Strangpressen nach Dick'schen Verfahren.

In den darauf folgenden Jahren wurde die Anlagentechnik des Strangpressens immer weiter entwickelt. Anfangs benutzte man wasserhydraulische Pressen, die aber mit der Zeit durch ölhydraulische Pressen ersetzt wurden. Daraus lässt sich auch die Entwicklung von einigen Sonderverfahren wie das hydrostatische Pressen oder das Conform- Verfahren ableiten. Die beiden Verfahren finden ihren Einsatz bei Spezialanwendungen und spielen somit nur eine untergeordnete Rolle. Das indirekte Verfahren hat sich bei schwer verpressbaren Legierungen durchgesetzt. Auf den meisten Strangpressanlagen werden Aluminiumlegierungen in den verschiedensten Formen verpresst. Dabei sind komplexe Geometrien mit sehr geringen Wandstärken möglich.

Das Strangpressen ist heute neben dem Schmieden und Walzen eines der wichtigsten Verfahren zum Umformen von Metallen. Dabei finden die Materialien wie Kupfer, Stahl, Titan und insbesondere Aluminiumwerkstoffe ihre Anwendung.

Dieses Verfahren ist ein spannloses Umformverfahren. Es dient zur Herstellung von Drähten, Rohren und unregelmäßig prismatischen Teilen bzw. Profilen. Die Hohlprofile werden über Schweißkammermatrizen gepresst. Hierbei verschweißt das Umformgut bei der Umformung innerhalb der Matrice. Man kann dieses unter den Verfahren des Pressschweißens einordnen. Die dabei entstandenen Hohlprofile weisen an einen Teil ihrer Flächen Pressschweißnähte auf.

Die äußere Form des Profils wird durch die Matrize bestimmt.

Durch den Einsatz von unterschiedlichen Werkzeugen, kann man die verschiedensten Profile erzeugen.

Beim Strangpressen wird ein aufgeheizter Block in den Rezipient eingelegt und durch einen Stempel mit hohem Druck durch eine Matrize gepresst. Der Werkstoff beginnt zu fließen und tritt durch die Matrizenöffnung wieder als Strang aus.

Strangpressen eignet sich für alle gut umformbaren Werkstoffe wie Aluminium, Kupfer, Blei, Messing und auch Stahl.

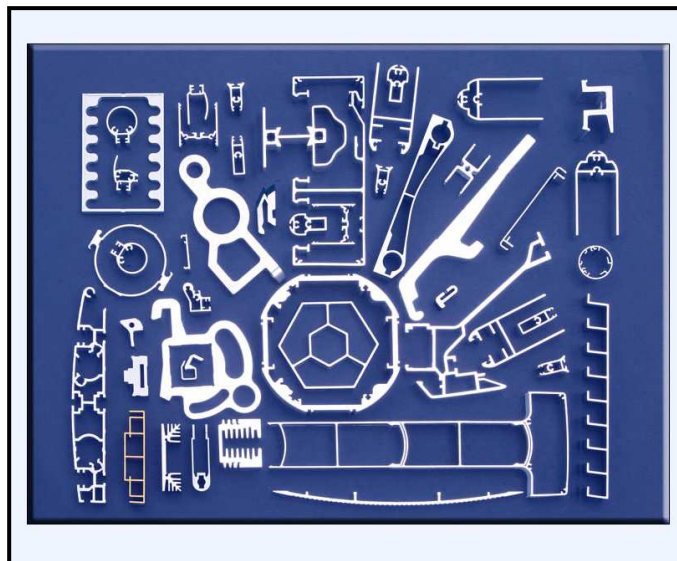
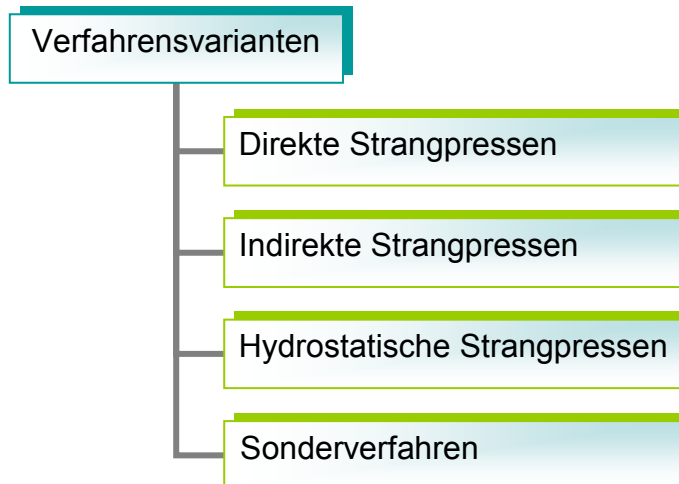


Bild 26: Profilformen

[Quelle: alumock.de]

5.2 Übersicht der Verfahrenvarianten



5.3 Verfahren des Direkten Strangpressens

Direkte Strangpressen

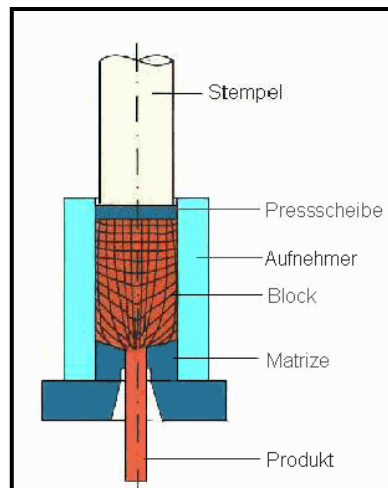


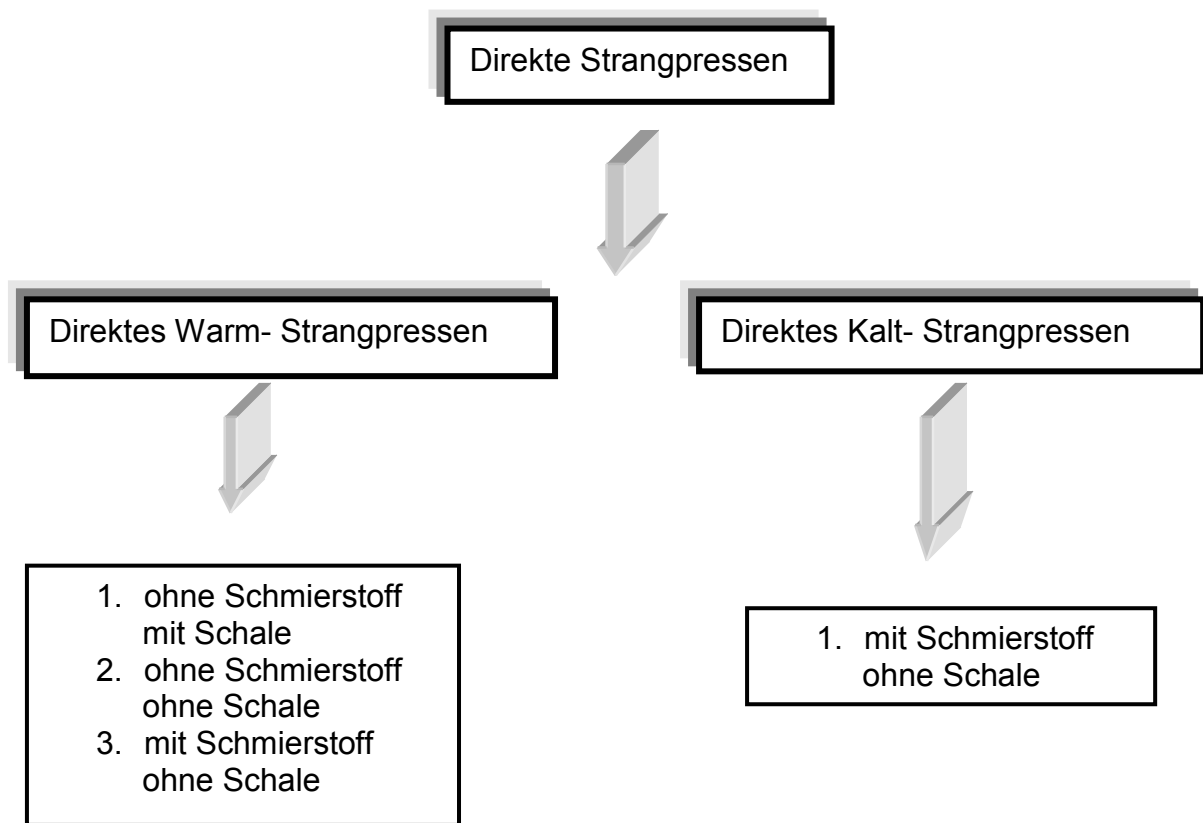
Bild 27: schematische Darstellung [Quelle: TU Berlin]

Das Direkte Strangpressen ist das am häufigsten angewendete Verfahren.

Durch ein Aufstauchen des Blockes am Anfang des Prozesses im Aufnehmer erreicht man, dass dieser die Form der Aufnehmerbohrung annimmt.

Im Anschluss daran schiebt der Stempel den Block entlang der Innenoberfläche des Rezipienten in Richtung der Matrize.

Durch diese Relativbewegung kommt es zur Entstehung relativ hoher Reibungskräfte. Da bei diesem Verfahren die Richtung des Stempels gleich der des austretenden Umformgutes ist spricht man auch vom Vorwärts Strangpressen.



5.4 Verfahren des Indirekten Strangpressens

Indirekte Strangpressen

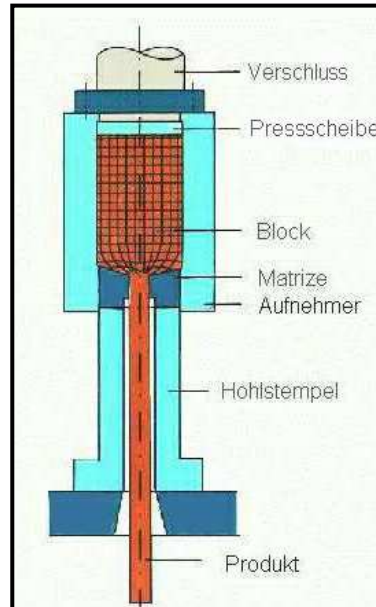
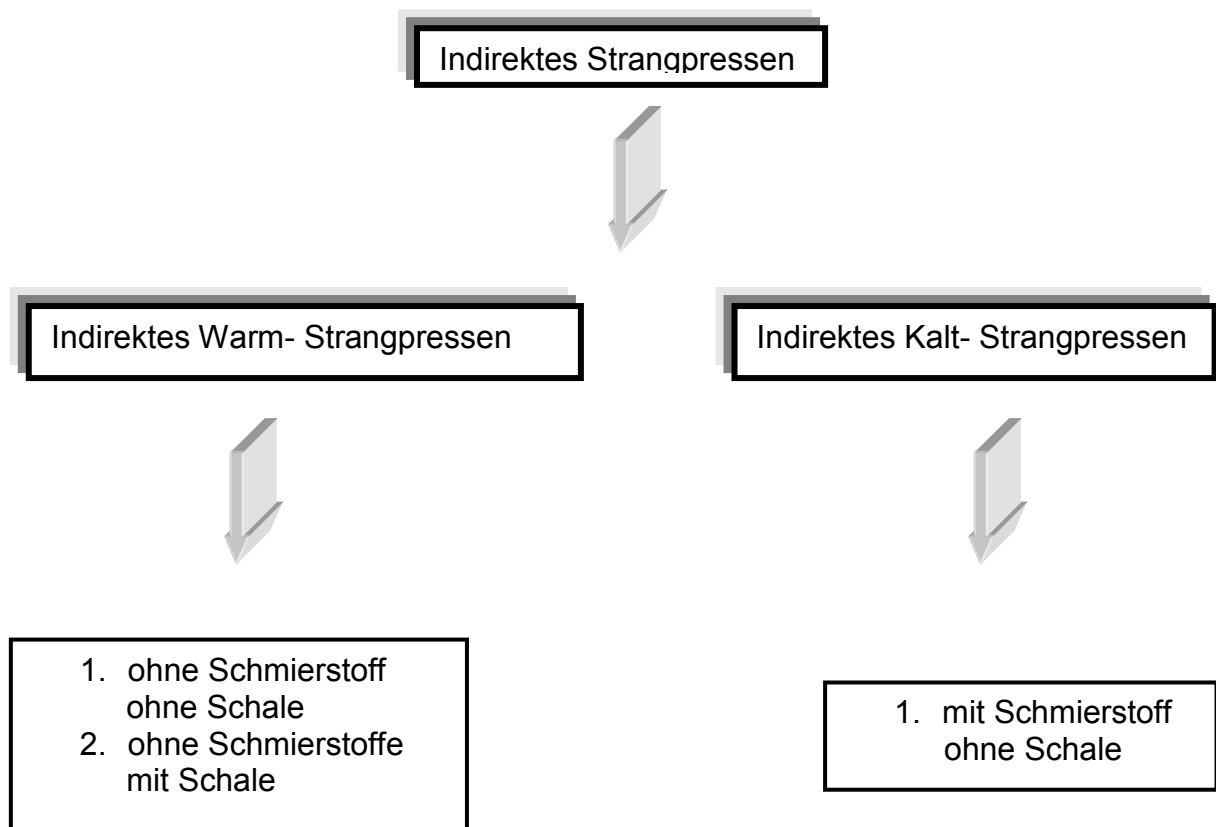


Bild 28: schematische Darstellung [Quelle: TU Berlin]

Beim Indirekten Strangpressen wird wie beim Direkten Strangpressen zu Beginn der Block im Aufnehmer gestaucht. Der Rezipient ist bei diesen Verfahren einseitig verschlossen und auf der anderen Seite dringt die Matrize in den Aufnehmer ein. Die Abstützung der Matrize erfolgt durch einen Hohlstempel.

Der Vorteil bei diesem Verfahren gegenüber dem Direkten Strangpressen ist das die Relativbewegung zwischen Block und Aufnehmer entfällt da sie eine gemeinsame Bewegung ausüben. Dadurch sind bei diesen Verfahren geringere Presskräfte notwendig. Die einzigen Reibungskräfte die hier zu verzeichnen sind resultieren aus der Relativbewegung zwischen Aufnehmer und Matrize. Sie sind aber vernachlässigbar gering.



5.5 Verfahren des Hydrostatischen Strangpressens

Hydrostatische Strangpressen

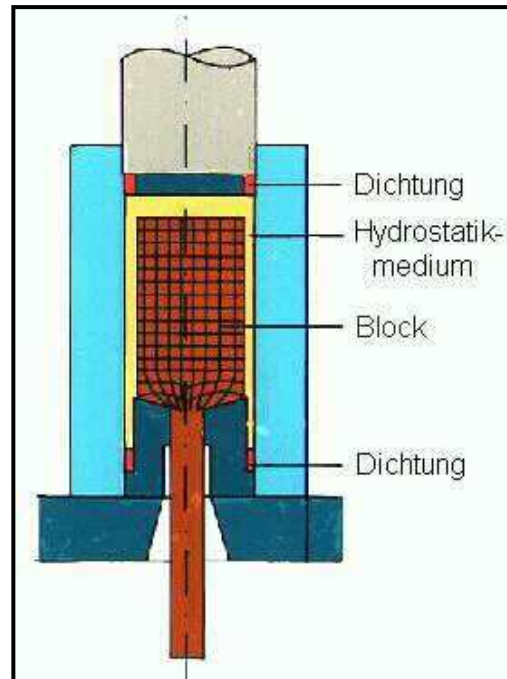
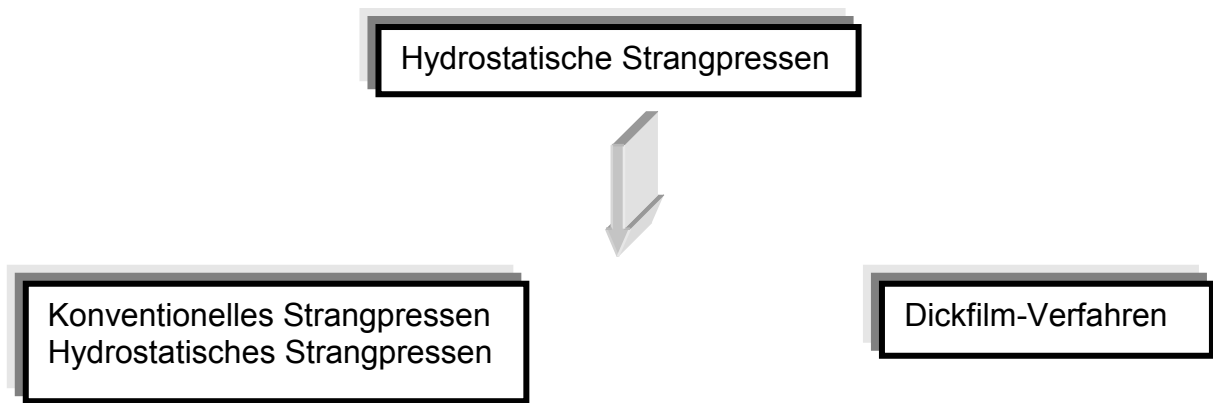


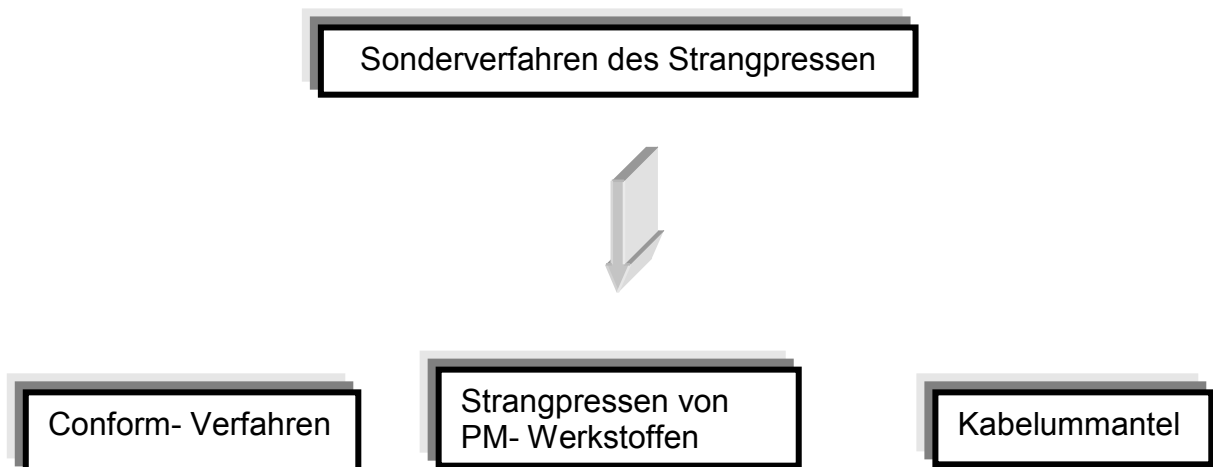
Bild 29: schematische Darstellung [Quelle: TU Berlin]

Bei diesem Verfahren wird der Block im Aufnehmer von einem Druckmedium umgeben. Der Aufnehmerraum ist in der Richtung des Stempels und der Matrize abgedichtet so dass eine Komprimierung des Hydrostatikmediums bei der Stempelbewegung erfolgt. Bei diesem Verfahren hat der Stempel keine direkte Berührung mit dem Block. Daraus ergibt sich das die Geschwindigkeit des Stempels nicht gleich der des Blockes ist sondern von der Volumenverdrängung des Hydrostatikmediums abhängt. Voraussetzung bei diesem Verfahren ist eine konische Matrize und eine Anspitzung des Blockes. Dadurch das sich zwischen der Aufnehmerwand und dem Block ein Medium befindet liegt eine geringe Flüssigkeitsreibung an der Oberfläche des Blockes vor.

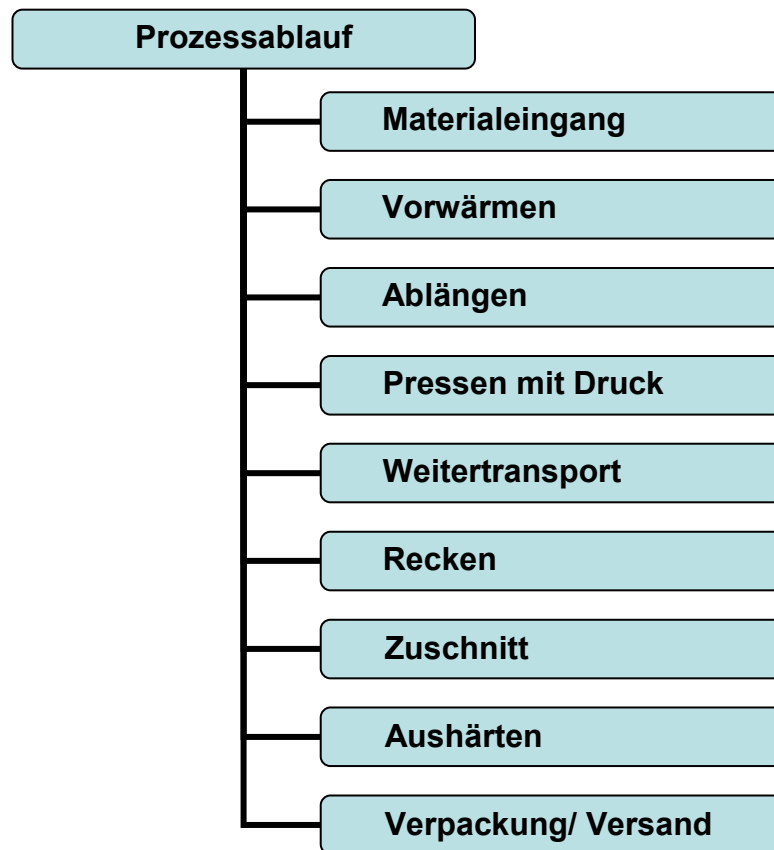
Bei dem Hydrostatischen Strangpressen spielt die Reibung zwischen Umformgut und Matrize eine bedeutende Rolle. Ein weiterer Vorteil ist das ein Aufstauchen des Blockes zum Verfahrensbeginn entfallen kann.



5.6 Sonderverfahren des Strangpressen



5.7 Prozessablauf beim Strangpressen



- **Materialeingang**

Überprüfung der Pressbolzen und Entnahme von Probestücken zur technischen Dokumentation

- **Vorwärmen**

Vorwärmen des Pressbolzens in einem Ofen. Dies geschieht in mehreren Zwischenschritten bis eine Temperatur von 450-500°C erreicht ist.

- **Ablängen**

Die hierbei gewünschte Länge des Pressbolzens ist von verschiedenen Faktoren abhängig.

Die wesentlichen Faktoren sind Profilgewicht, gewünschte Fertigungslänge des Kunden und der anfallende Prozessschrott.

Wenn diese Faktoren berücksichtigt sind, kommt es zum Ablängen des vorgewärmten Pressbolzens, der anschließend in den vorgewärmten Rezipienten eingelegt wird.

- **Pressen mit Druck**

Fixierung des Pressbolzens in dem vorgewärmten Rezipient vor dem aufgespannten Werkzeug. Anschließend fährt der Stempel gegen den Pressbolzen und drückt somit diesen durch das Werkzeug hindurch.

- **Weitertransport**

Es erfolgt ein Weitertransport der Profile auf den Auslauftischen mit zu Hilfenahme von Pullern. (variablen Profilzangen)

Hier erfolgt ebenfalls die Kühlung der Profile mit Luft oder Wasser.

Die Art der Kühlung ist abhängig von Profilgröße, Form und Legierung.

- **Recken**

Durch das Recken der Profile erfolgt ein Abbau der Spannungen und somit eine Verbesserung des Gefüges und der Planität

- **Zuschnitt**

Zuschnitt der Profile auf Fertiglängen

- **Aushärten**

Im Anschluss erfolgt ein Warmaushärten der Strangpressprofile bei ca. 190°C für 4 - 8 Stunden.

Durch diesen Prozess stellt sich bei den jeweiligen Profilen die gewünschte Endfestigkeit ein.

- **Verpackung/ Versand**

Überprüfung der Pressqualität durch einzelne Entnahme von Proben, die auf Maßhaltigkeit wie auch auf Festigkeitskennwerte hin überprüft werden.

Anschließend erfolgt eine Verpackung der Profile in den verschiedensten Ausführungen. Die Verpackungen sind zum Beispiel Paletten, Holzkisten oder Karton um nur einige Möglichkeiten zu nennen.

5.8 Anforderung an Werkzeug und Werkzeugwerkstoff

Man unterteilt die Strangpresswerkzeuge in drei Gruppen.

1. unmittelbare Beteiligung an der Formgebung des Presswerkstoffs
2. mittelbare Beteiligung (für Stütz- und Hilfsfunktionen)
3. Hilfswerkzeuge

Zu der ersten Gruppe zählt man die Pressmatrizen, Kammer- und Brückenwerkzeuge und die Pressdorne. Sie kommen bei dem Herstellungsprozess direkt mit der Temperatur des vorgewärmten Presswerkstoffs in Verbindung.

Die zweite Gruppe umfasst Presswerkzeuge die keine Form gebende Funktion haben, aber an der Formgebung beteiligt sind. Hierzu zählen Rezipientinnenbüchse, Pressstempel, Pressscheibe, Pressstempel, Dornstange sowie Werkzeugträgerstempel und Rezipientenverschlussplatte.

Indirekten Strangpressen → Rezipientenverschlussstempel mit Verschlusscheibe

Zu der dritten Gruppe zählen die Hilfswerkzeuge wie Matrizenhalter, Werkzeughalter, Druckplattenhalter sowie Stützwerkzeugen wie Rezipientenmantel, Rezipientenzwischenbüchse und Untersatz, Druckplatte und Druckring im Werkzeugsatz beim Direkten Strangpressen.

5.8.1 Anforderung an die Presswerkzeuge

Presswerkzeuge der unmittelbaren äußeren und inneren Formgebung bestehen aus einem Warmarbeitswerkstoff, der mit hinreichender Anlassbeständigkeit ausgestattet ist.

Sie sollten einen geringen Korrekturaufwand erfordern und mit möglichst wenigen Probepressungen voll einsatzfähig sein sowie dabei eine optimale Strangaustrittsgeschwindigkeiten zulassen.

Außerdem gewähren sie einen gleichmäßigen Materialfluss über dem Strangquerschnitt sowie bei Hohlprofilen und Rohren einwandfreie Pressnähte der Pressstränge gewährleisten und hohe Standmengen bei gleichmäßiger, optimaler Qualität der produzierten Pressstränge in Bezug auf Maßhaltigkeit, Formgenauigkeit und Oberflächengüte zulassen.

Presswerkzeuge der mittelbaren Formgebung sind ebenfalls aus einem Anlassbeständigen Warmarbeitswerkstoff gefertigt.

Dabei sollten sie eine hohe Funktionstüchtigkeit sowie hohe Standmengen bei einem geringen Herstellungspreis bieten.

Bei den *Hilfs- und Stützwerkzeugen* sollte die Dimensionierung so ausfallen, dass die Form gebenden Bereiche der Presswerkzeuge unter Wirkung der Presskräfte nur geringe elastische Formänderungen erfahren, so dass Materialfluss und Formgebung nicht negativ beeinflusst werden.

5.8.2 Anforderungen an die Werkzeugwerkstoffe

Die Werkstoffe der Strangpresswerkzeuge werden hoch thermisch und mechanisch wechselnd beansprucht.

Die Belastungen auf die Werkzeuge muss man nach der Art der Presszyklen unterscheiden.

Bei schnell ablaufenden Presszyklen kann die damit verbundene thermomechanische Belastung der Werkzeuge durchaus als Dauerbelastung eingestuft werden.

Liegt ein langsam ablaufender Presszyklus vor, geht man von einer unterbrochenen Zeitstandsbelastung aus.

Den höchsten Belastungen sind die Werkzeuge ausgesetzt, die unmittelbar mit der auf die Umformtemperatur gebrachten Materialien in Berührung kommen.

Hier erfährt das Werkzeug in den thermomechanisch belasteten Berührungsflächen Reibungs- und Scherkräfte, sowie die Umformkräfte die durch den Materialdurchfluss entstehen.

Die auftretende Reibung und Scherung im Rezipienten und in den Gleitflächen der Form gebenden Presswerkzeuge können im großen Maße die Gesamtpresskraft beeinflussen.

Verschleiß und Anlagerungen in den Werkstoffgleitflächen führen dazu, dass die Presswerkzeuge mittel- und langfristig unbrauchbar werden.

Um die Reibung und den Verschleiß in den Wirk- und Gleitflächen der Presswerkzeuge zu minimieren, betrachtet man die Gleitpaarung Presswerkstoff/Werkzeug als Tribosystem.

(Tribosystem, bestehend aus Grundkörper, Gegenkörper, Zwischenstoff und Umgebungsmedium)

Es besteht zwar aufgrund der Umformaufgabe des Strangpressverfahren kaum eine Auswahlmöglichkeit, jedoch können verfahrensspezifisch trocknende Reibung beim ungeschmierten Direkten Strangpressen mit Schmierung sowie Flüssigkeitsreibung beim hydrostatischen und geschmierten Strangpressen auftreten.

Der in den Werkzeuggleitflächen auftretende Verschleiß setzt sich im wesentlichen aus *abrasivem* (Zerspanung im Mikrobereich) und *adhäsivem* (Abscherung der Randschichten) Verschleiß zusammen.

Der adhäsive Verschleiß beeinflusst ungünstig die Qualität der Strangoberfläche im Form gebenden Durchbruch der Pressmatrize.

Dagegen führt die abrasive Verschleißform zu Form- und Maßungenaugkeiten der Profile.

Man ist bemüht diese beiden Verschleißformen zu minimieren, in dem man beispielsweise eine Form von Schmierung einsetzt.

Bei der 6000er Legierungsreihe ist dieses nicht möglich, da sonst ein Reißen der Oberfläche beim Strangpressen geschieht.

Hier wird durch thermochemische Oberflächenbehandlung, wie Randschichtbildung mit Hilfe von *Nitrieren* gearbeitet.

Nitrieren: Anreicherung der Randschicht mit Stickstoff

Hierbei wird das Werkstück in einem Glühofen gasförmigen Stickstoff ausgesetzt, der in die Randschicht eindringt.

Eine andere Alternative wäre, durch Abscheidung verschleißfester Oberflächenschichten mit Hilfe des CVD- Verfahrens und darüber hinaus durch Matrizen sowie Dorneinsätze aus thermisch höher belastbaren Warmarbeitswerkstoffen.

CVD- Verfahren: Dünnschichttechnologie bei den Materialien (dünne Schichten unter 1 μm) durch verschiedene Verfahren auf das Substrat aufgebracht. Anschließend erfolgt eine Weiterbearbeitung der Oberfläche.

Werkzeugarten:

Die verwendeten Werkzeugarten die beim Strangpressen zum Einsatz kommen lassen sich in zwei große Hauptgruppen unterteilen.

1. für Hohlprofile
2. für Vollprofile

zu 1. Die Werkzeuge bestehen in der Regel aus zwei oder mehreren Teilen. Der ankommende Werkstoff wird durch den jeweiligen Aufbau des Werkzeuges geteilt und innerhalb der Matrize auf die entsprechende Form gepresst und verlässt dann als fertiger Querschnitt das Werkzeug.

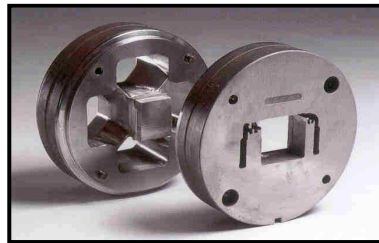


Bild 30: Werkzeug für Hohlprofile [Quelle: Hydro]

zu 2. Die Werkzeuge für Vollprofile bestehen nur aus einem Teil. Hier wird der Materialfluss innerhalb des Werkzeuges nicht aufgeteilt, sondern er wird durch die Art der Matrize in einem Stück auf die jeweilige Form gepresst.

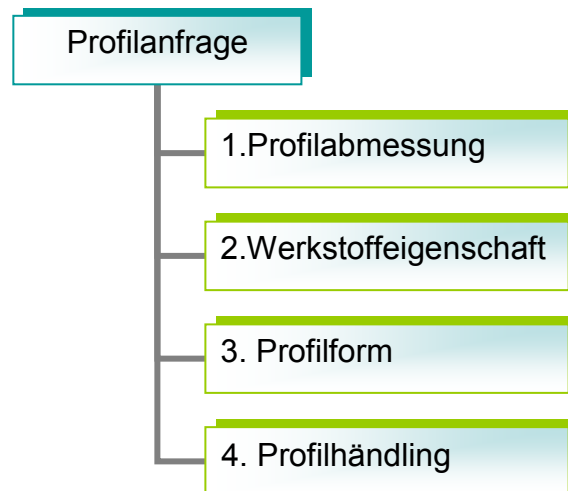


Bild 31: Werkzeug für Vollprofile [Quelle: Hydro]

Als Grundmaterial der Werkzeuge dienen die schmelzmetallurgisch erzeugten Warmarbeitsstähle.

Werkstoff - Nr. 1.2343 → X38CrMoV5-1
 1.2344 → X40CrMoV5-1
 1.2367 → X38CrMoV5-3
 1.2714 → 56NiCrMoV7

5.9 Vorüberlegungen zur Herstellung von Profilen



1. Profilabmessung

Bei den Profilabmessungen werden die Abmaße der herzustellenden Profile betrachtet. Dieses erfolgt mit Hilfe des umschreibenden Kreises.

Dieser gibt Auskunft darüber, ob das gewünschte Profil in der Anlage mit den Abmaßen des Rezipientendurchmesser gefertigt werden kann.

Im engen Zusammenhang dazu steht auch die vorhandene Anlagentechnik, wie zum Beispiel Presskraft der Pressen.

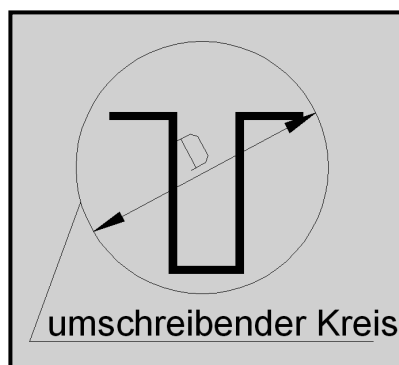


Bild 31: schematische Darstellung

2. Werkstoffeigenschaften

In diesem Punkt erfolgt eine Auswahl, aus welcher Legierung das Profil herzustellen ist.

Bei der Auswahl der Legierung sind die Werkstoffeigenschaften wie Dehngrenze $R_{p0,2}$, Zugfestigkeit R_m und Bruchdehnung A mit zu berücksichtigen.

Damit findet auch eine Einteilung statt, mit welchem Verfahren und mit welchem Parametern die gewünschten Profile herzustellen sind, da sich die verschiedenen Legierungen auch mit unterschiedlichen Verfahren herstellen lassen.

Eine weitere Rolle spielen der spätere Einsatzbereich und der Verwendungszweck der Profile.

<u>hochfeste aushärtbaren Legierungen</u>	
EN AW- 6082	[alt: AlMgSi1]
EN AW- 7020	[alt: AlZn4,5Mg]
<u>mittelfeste aushärtbaren Legierungen</u>	
EN AW- 6060	[alt: AlMgSi0,5]
EN AW- 6065A	[alt: AlMgSi0,7]
<u>kaltverfestigbaren Legierungen</u>	
EN AW- 5005(A)	[alt: AlMg]
EN AW-5049	[alt: AlMgMn]

Tabelle 4: Konstruktionswerkstoffe

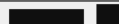
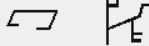
3. Profilform

Bei der Profilform spielen hauptsächlich Ästhetische wie auch funktionale Punkte eine Rolle.

Man unterscheidet hierbei eine Weiterverwendung des Profils in Form von Halbzeugen oder als Endprodukt, unter Berücksichtigung der statischen Anforderung.

An die Auswahl der Profilform ist stark die Ausbildung und Konstruktion des Werkzeuges geknüpft.

Ein weiterer Punkt ist, dass bei der Auswahl der Profilform auch die Kosten zur Herstellung des Werkzeuges mit zu betrachten sind.

Formgruppe	Formbezeichnung	Beispiele
A	Stangen	
B	Formstangen	
C	Standardprofile	
D	einfache Vollprofile	
E	halboffene PR.	
F	PR. mit schroffem Querschnittsübergang	
G	PR. mit ungünstigen Zungen	
H	einfache Formrohre	
J	einfache Hohlprofile	
K	Hohl-PR. mit zwei und mehr Hohlräumen	
L	Formrohre mit Außenprofilierung	
M	Formrohre mit Innenprofilierung	
N	Breithohl.-PR	

Anstieg des Schwierigkeitsgrad

Tabelle 5: Formgruppen nach Laue/Stenger [Quelle: Jaroslav Koser]

Gruppierung der Aluminiumwerkstoffe nach der Verpressbarkeit						
DIN EN 573-3	Gruppe	mittl. Presstemperatur in [°C]	Austrittsgeschwindigkeit für die Formgruppe in [m/min]			
			A	B	C	
EN- AW 6060	2	460 bis 480	80	50	40	
EN- AW 6082	3	450 bis 530	15	12	6	
EN- AW 7020	3	480 bis 500	12	8	4	
EN- AW 5049	3	450	15	10	5	
EN- AW 5754	3	460	6	5	3	
EN- AW 5083	4	430 bis 460	3	2	1	
	max.Umform- grad 1: F_0/F_1	mittleres Verpressungs Verhältnis F_0/F_1	Umformzahl EN- AW1050A = 1	relative Verpressbarkeit im Vergleich zu AW- EN 6060		
EN- AW 6060	1:400	15 ... 80	3	100		
EN- AW 6082	1:200	15 ... 80	10	60		
EN- AW 7020	1:200		10	30		
EN- AW 5049	1:100	15 ... 60	15	50		
EN- AW 5754	1: 80	15 ... 6	20	60 - 80		
EN- AW 5083	1: 50	15 ... 40	35	20		
Formgruppen						
A = Stangen						
B = einfache Profile mit gleichmäßiger Wanddicke						
C = verwickelte Querschnitte						
Gruppe						
von 2 nach 4 = abnehmende Pressbarkeit						

Tabelle 6: Hanser Werkstattblatt 510 [Quelle: Jaroslav Koser]

4. Profilhändling

In diesem Punkt fließt hauptsächlich die technische Ausrüstung der Strangpressanlage ein.

- Auslauftisch/ Kühltisch
- Zangen zur Profilaufnahme
- Zuschnitt
- Betrieblicher Transport
- Verpackung

5.10 Allgemeine Konstruktionsregeln

Entwurfskriterien

Bei dem Entwurf eines neuen Profils müssen genaue Überlegungen gemacht werden, in wie weit sich die Kosten zum Herstellen des Werkzeuges rentieren.

- Gesamtquerschnittsoptimierung mit Massenminimierung und Stabilisierung
- Auswahl bei großen Profilen, ob Möglichkeit besteht zur Zerteilung und diese im Nachgang durch Schweißen oder eine andere Art von Verbindung z.B.: Schrauben oder Stecken wieder zu verbinden.

Dabei ist die Lage der Schweißnaht und der somit verbundenen Wärmeeinflusszone von großer Bedeutung,

- Auswahl der Legierung mit den Parametern der Verpressbarkeit in Abhängigkeit der wirtschaftlichen, wie auch technologischen Einzelheiten.

Auswahl der Werkstoffstärke



Festigkeitsanforderungen

Verwendungszweck

Produktionstechnische Gesichtspunkte

Wirtschaftlichkeit beim Strangpressen

günstig Profilformen



gleiche Wandstärke

einfache und weiche Formen (runde Kanten)

symmetrische Querschnitte

keine tiefen und schmalen Öffnungen

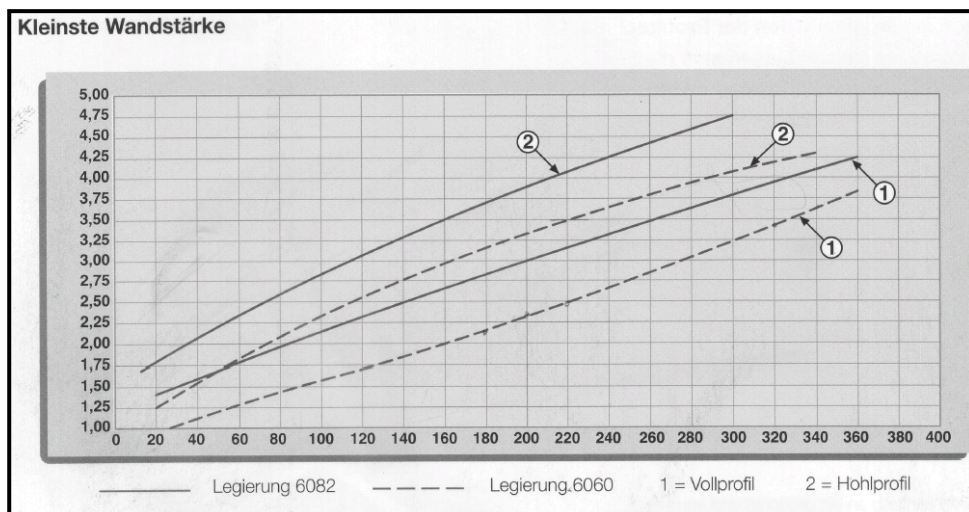


Tabelle 7: Empfohlene kleinste Wandstärke [mm] zum $\varnothing$ des umschriebenen Kreises

[Quelle: DIN 1748 Teil 3]

5.11 Konstruktive Hinweise

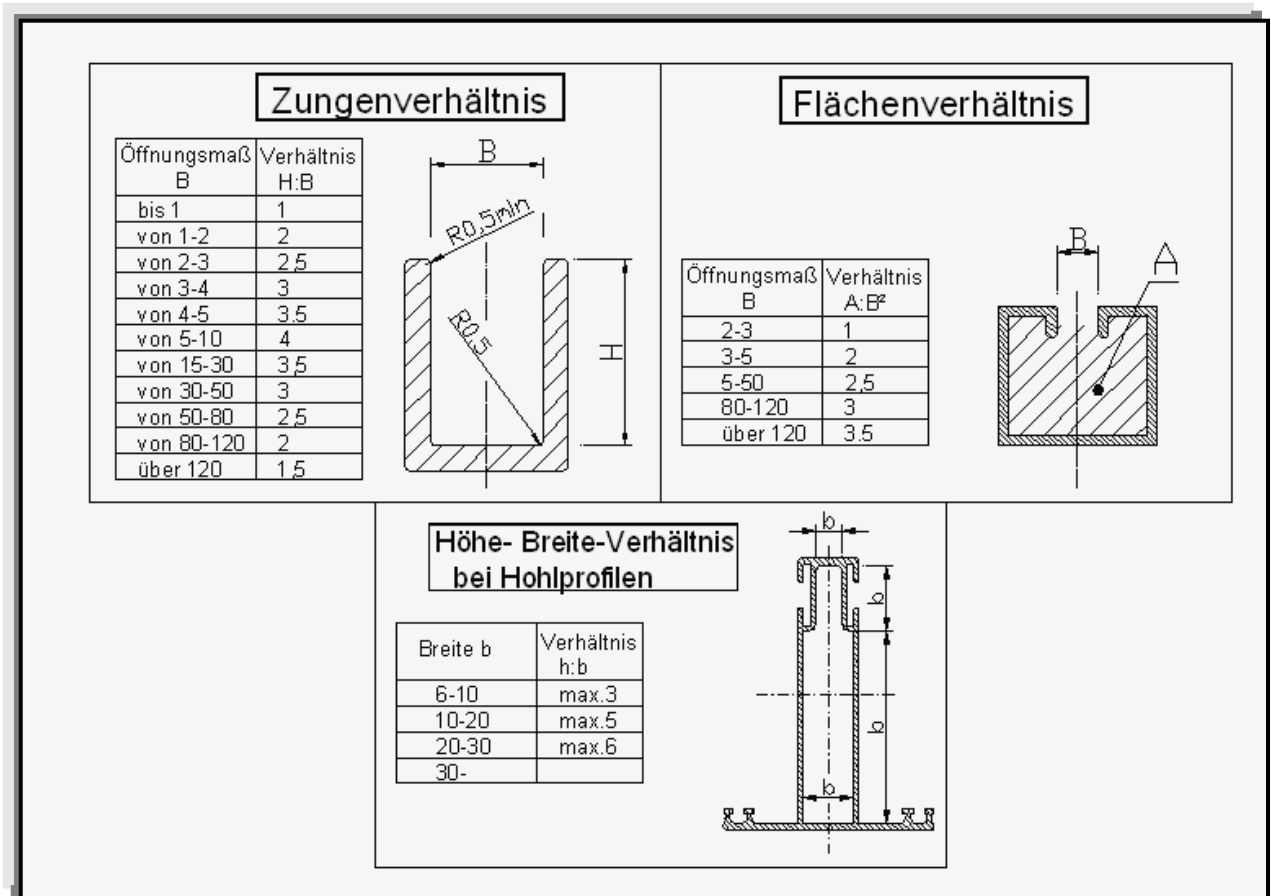
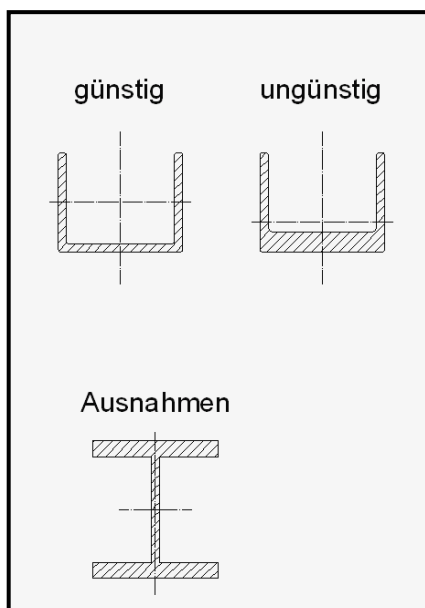


Bild 32: Konstruktive Hinweise [Quelle: DIN 1748 Teil 3]



Vermeidung unterschiedlicher Wandstärken



Herstellung möglich
Vorteil: wenn die Wandstärken aus Festigkeitsgründen weit vom Schwerpunkt entfernt liegen soll.

Bild 33: Profilausbildung

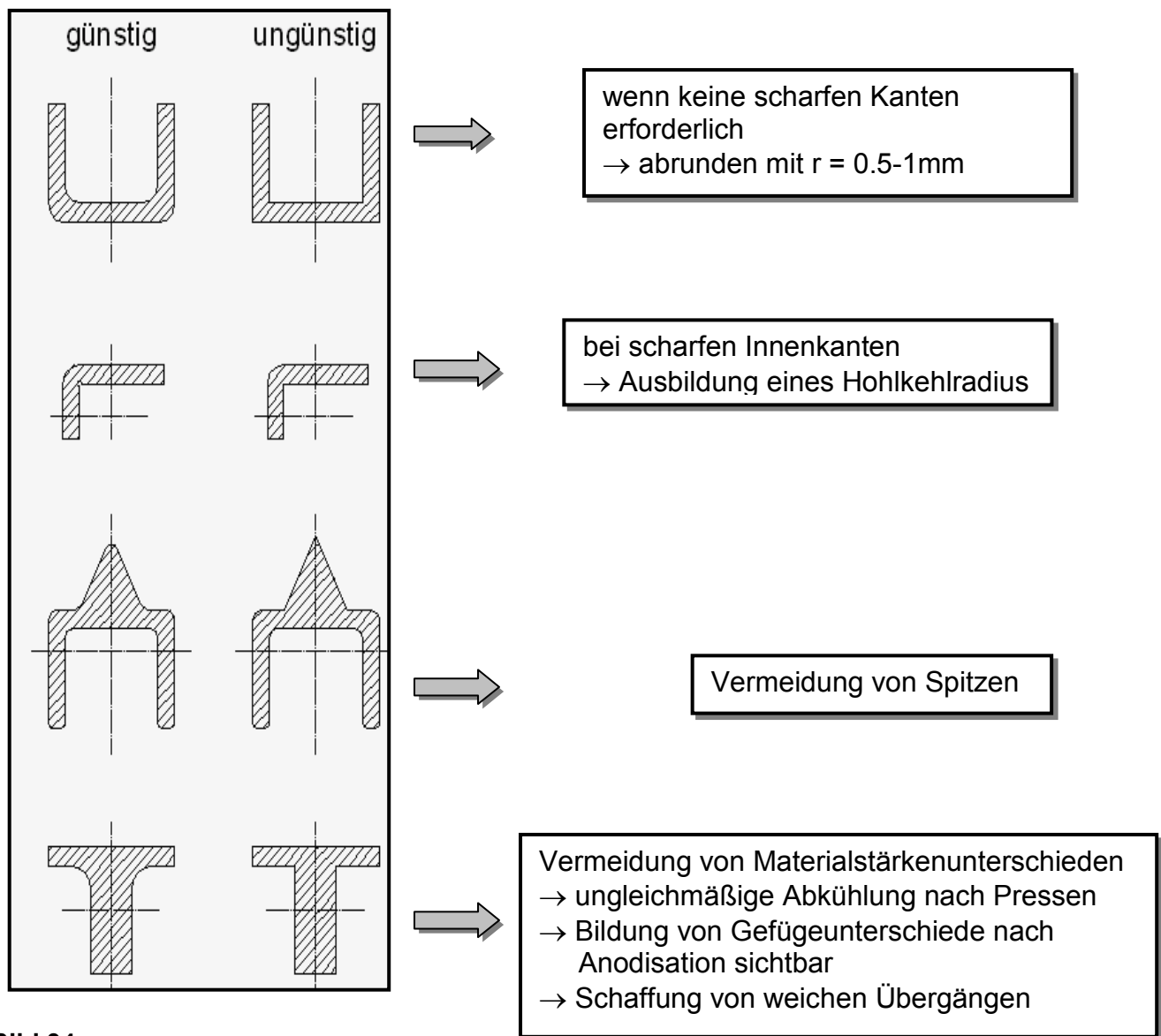
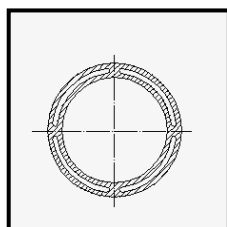


Bild 34:



Reduzierung von zusätzlichen Kammern
 → Pressfreundlichkeit ↑
 → Wirtschaftlichkeit ↑
 → Ausführung in zwei Teilen (Teleskop) ↑

Bild 35: Profilausbildung

5.12 Mehrteilige Profilkonstruktionen

Bei der Verwendung von mehrteiligen Profilen müssen die erheblichen Werkzeugkosten mit berücksichtigt werden. Man geht davon aus, dass eine wirtschaftliche Anwendung im Fahrzeugbau und Waggonbau bei großen Abnahmemengen vertretbar ist.

Die Großprofile fangen ab einer Größe von über 300mm des umschriebenen Kreises an. Um diese nach dem Strangpressen zu verbinden, können bei der Herstellung schon die Schweißvorrichtungen (Schweißbadsicherung) mit in den Prozess integriert werden.

Bei der Ausführung von mehrteiligen Profilen muss ebenfalls die Lage der Längsnähte mit großer Genauigkeit berücksichtigt werden.

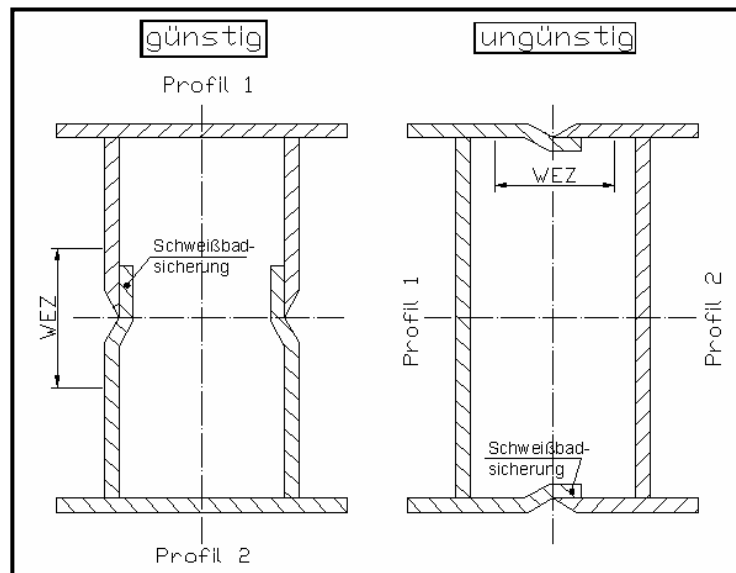


Bild 36: Beispiel mehrteiliges Profil

	ohne WEZ	WEZ oben	WEZ seitlich
J in $[\text{cm}^4]$	$\cong 3005$	$\cong 2610$	$\cong 2995$
W in $[\text{cm}^3]$	$\cong 322$	$\cong 278$	$\cong 322$

Tabelle 8: Veränderung der statischen Werte nach Lage der WEZ

Im normalen Gebrauch von mehrteiligen Profilen sind Größen von 200 bis 250mm des umschriebenen Kreises üblich.

6 Verbindungsarten von Aluminiumtragwerken

6.1 Fügen durch Schweißen

Das Schweißen stellt bei Aluminium- Konstruktionen eine wichtige dauerhafte Verbindung dar.

Der Schweißprozess von Aluminiumlegierungen erfordert eine hohe Wärmezufuhr, die hohe Wärmeleitzahl dieser Werkstoffgruppe zurück zuführen ist.

Daraus resultiert, dass beim Schweißen sich breitere Temperaturfelder ausbilden im Gegensatz zum Stahl.

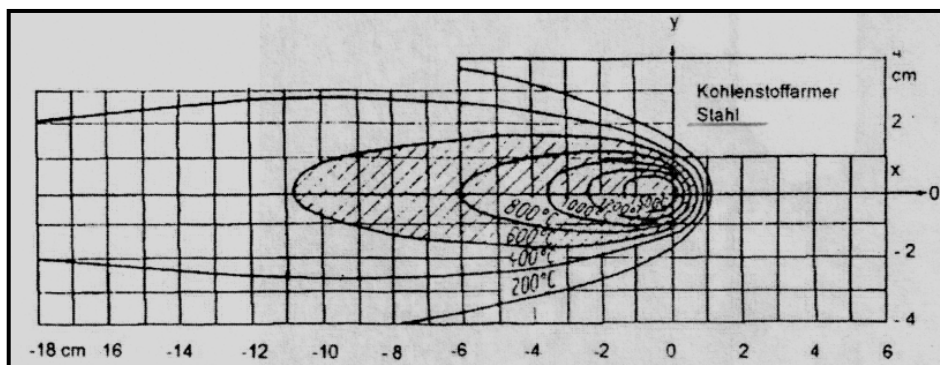


Bild 37: Temperaturverteilung im Stahl nach Rykalin [Quelle: SLV Halle]

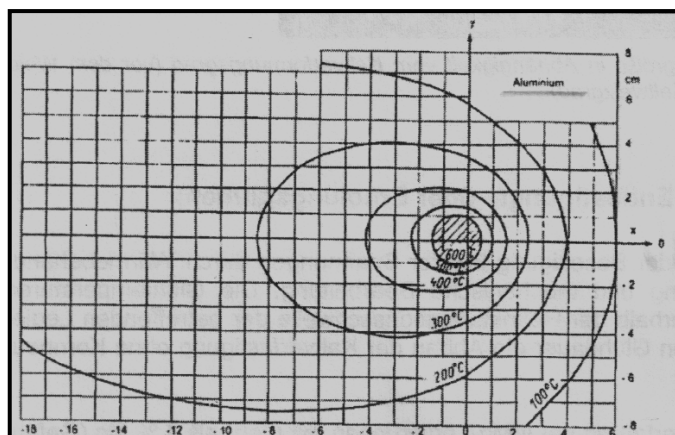
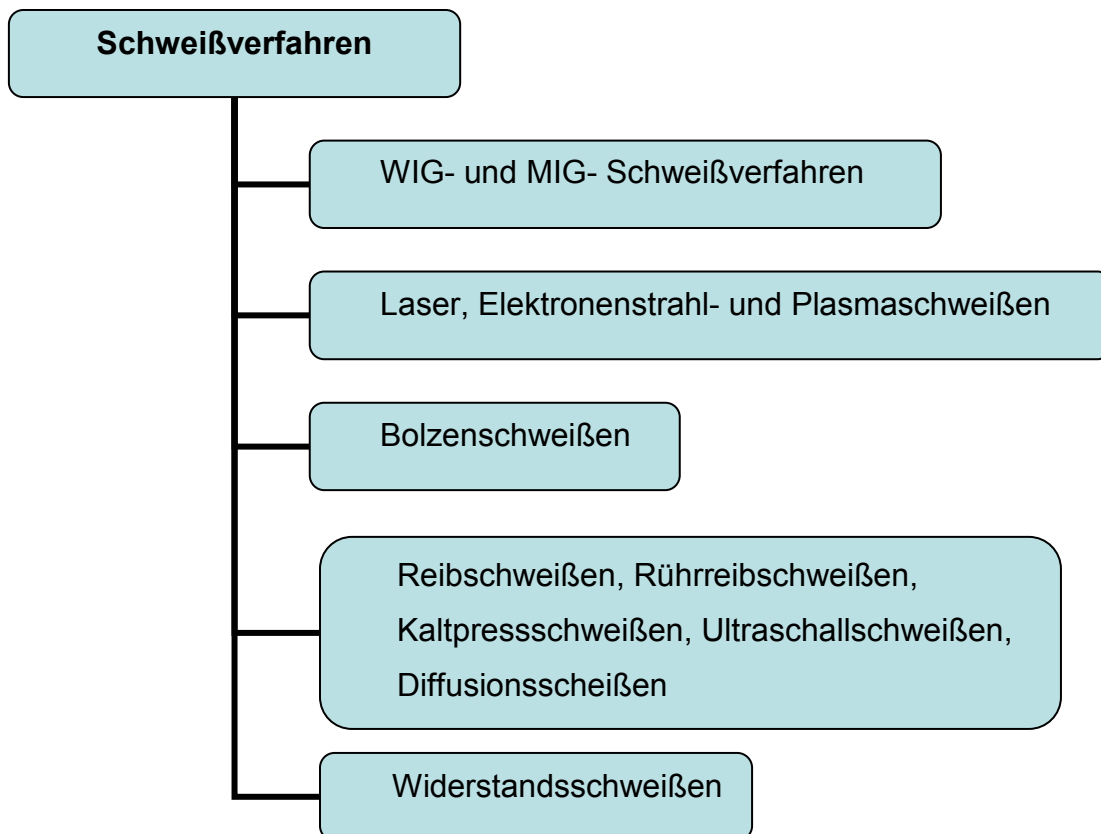


Bild 38: Temperaturverteilung im Aluminium nach Rykalin [Quelle: SLV Halle]

Durch das breite Temperaturfeld und den großen Wärmeausdehnungskoeffizient sowie das hohe Schwindmaß, welches Aluminiumlegierungen aufweisen, kommt es zu starken Änderungen der Form beim Schweißen. Sie zeichnen sich wieder in Form von Deformationen, innere Spannungen und Rissen ab.

Dadurch empfiehlt sich eine Auswahl des einzusetzenden Schweißverfahren, welches möglichst eine schmale Wärme Einflusszone erzeugt und wo mit einer hohen Schweißgeschwindigkeit gearbeitet werden kann.

Schweißverfahren zur Verbindung von Aluminiumbauteilen



Bei dem Schweißen von Aluminiumlegierungen ändern sich die mechanischen Eigenschaften in der Wärmeeinflusszone beachtlich. Es kommt hier zum enormen Festigkeitsabfall.

Bei kalt verfestigten Legierungen kann der Festigkeitsabfall bis zu 50% betragen. Es werden Festigkeitswerte wie im weich geglühten Zustand erreicht.

Die rasche Abkühlung nach dem Schweißen, was eine Art der Abschreckung gleicht, führt dazu, dass eine teilweise Kaltaushärtung stattfindet. Dadurch steigen die Festigkeitswerte wieder an. Diesen Vorgang beinhaltet zum Beispiel die Legierung AlZnMg.

Die Legierungen der AlMgSi Reihe können im warm ausgehärteten Zustand geschweißt werden. Durch ein Lösungsglühen mit Abschrecken und Anlassen kann man die Schweißverbindung wieder auf ihre ursprünglichen Festigkeitswerte zurücksetzen.

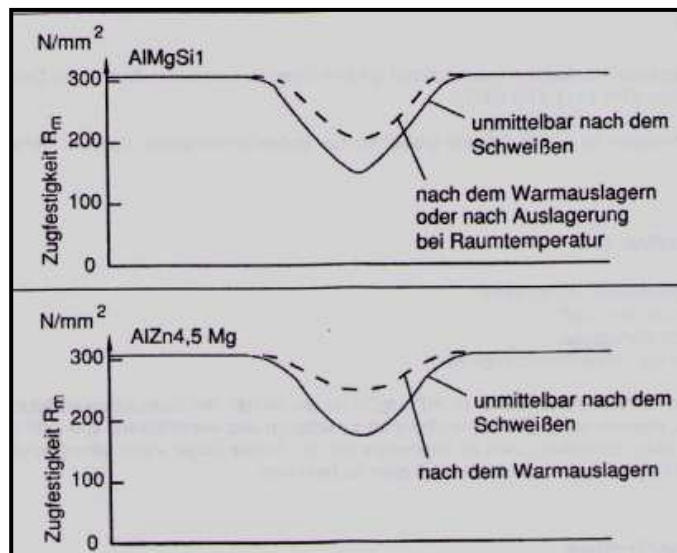


Bild 39: Festigkeitsverhalten beim MIG- Schweißen [Quelle: SLV Halle]

Durch die hohe Wärmedehnung die Aluminiumwerkstoffe aufweisen kann es beim Schweißen zur Rissbildung führen. Die dabei entstehenden Risse nennt man Heißrisse. Sie treten vor allem bei Aluminiumknetlegierungen mit breitem Erstarrungsbereich auf.

Durch Volumenänderung, Absorption von Gasen oder Einfrierung von aufgelösten Oxidteilchen der Mischkristalle was auf dem Vorgang der Entmischung basiert sind die Heißrisse ebenfalls in der Übergangszone zu beobachten.

Einen positiven Einfluss auf die Entstehung von Heißrissen hat auch eine Ausbildung von starren Konstruktionen die Folge.

Hier kommt es durch die Behinderung der Ausdehnung und des anschließenden schrumpfen zu einer Bildung von hohen Eigenspannungen.

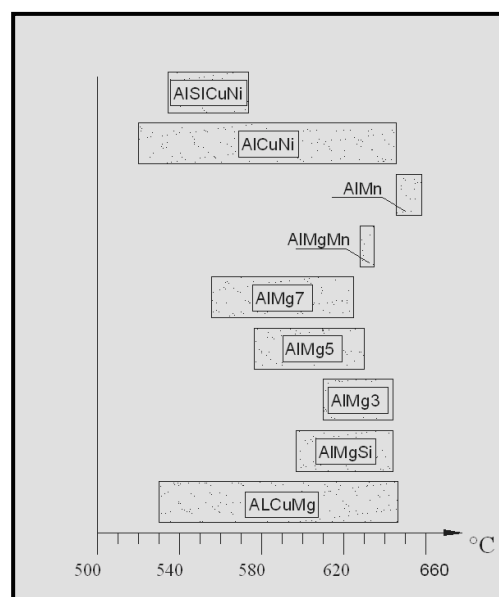


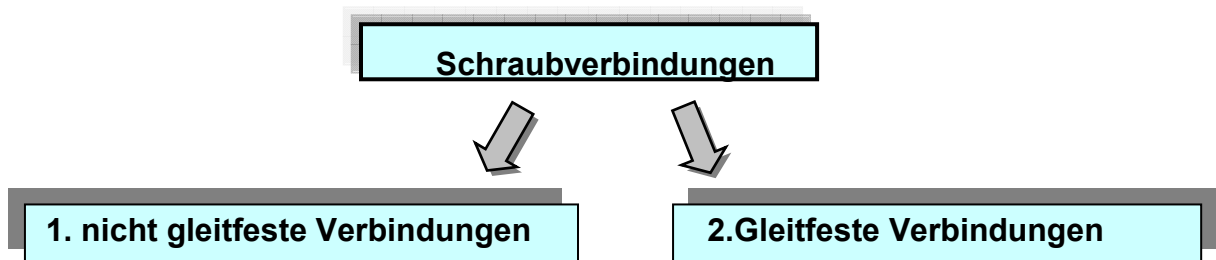
Bild 40: Erstarrungsbereich von Aluminiumknetlegierungen [Quelle: SLV Halle]

6.2 Fügen durch Schrauben

Eine weitere Lösung, Profile miteinander zu verbinden, bietet eine Schraubvariante. Zur Verbindung von Aluminiumbauteilen verwendet man feuerverzinkte oder kadmierte Stahlschrauben.

Heutzutage finden immer mehr Schrauben aus austenitischen Chromnickelstählen ihren Einsatz.

Bei einer Verwendung der Schraubverbindungen aus hochfesten Aluminiumlegierungen sind gesonderte Schutzmaßnahmen hinsichtlich des Korrosionsschutzes zu unternehmen, da sie eine geringere Beständigkeit gegenüber angreifenden Medien bieten.



nicht gleitfeste Verbindungen

Die Belastung bei dem Einsatz einer nicht gleitfesten Verbindung und nicht vorgespannten Schrauben wird über den Lochleibungsdruck des Schraubenschaftes in der Bohrung übertragen.

Diese auftretende Kraft wird erst wirksam, wenn die vorhandene Schraube durch eine Art von Bewegung ihr Lochspiel überwunden hat und sie somit am Bohrloch anliegt.

Wenn man eine Verbindung mit mehreren Schrauben und durch unterschiedliche Lage der Schäfte ausbildet, kann man dieser Bewegung entgegen steuern und sie wird somit kleiner.

Diese Art von Bewegung verursacht in der ausgebildeten Konstruktion eine Verformung, die sich wiederum nachteilig im Stabilitätsverhalten auswirkt.

Ein großes Problem bei der Ausbildung von Schraubverbindungen in Aluminiumkonstruktionen tritt auf, wenn es zu einer Art von Lastumkehr kommt.

Hier wird das vorhandene Lochspiel, das eine Schraubverbindung aufweist, erneut in entgegen gesetzter Richtung durchlaufen und es kommt zu einer Ovalisierung des Bohrloches.

Um diesen Problem entgegen zu wirken, empfiehlt es sich, solche Verbindungen mit Passschrauben auszubilden, da hier das Lochspiel sehr gering ist.

gleitfeste Verbindungen

Bei der Auslegung einer Schraubverbindung als gleitfeste Verbindung treten die Nachteile einer nicht gleitfesten Verbindung nicht auf.

Die Lastübertragung erfolgt hier über ruhende Reibung, da die Vorspannkraft der eingesetzten Schraube eine Flächenpressung der zu verbindenden Bauteile erzeugt.

Da Aluminiumlegierungen die Gefahr des Kriechens aufweisen, kann es bei einer zu großen Vorspannkraft zum Versagen der Verbindung führen.

Durch das Einsetzen des Kriechvorganges kommt es zur Abminderung der bestehenden Vorspannkraft und somit zur Verringerung der zu übertragenden Last.

Mit dem Einsatz durch größere Beilagenscheiben sollte man die Flächenpressung bei ca. 80% der 0,2- Dehngrenze einschränken. Zusätzlich wirkt ein erneutes Anziehen nach einer bestimmten Zeitspanne dem Verlust der Vorspannkraft entgegen.

Um den Reibwert an den Kontaktflächen zu verbessern sollte darauf geachtet werden, dass die Oberfläche einen vorgeschriebenen Rauheitswert aufweist. Sollte dieser aber zu hoch werden, kann es hinsichtlich der Spaltkorrosion zu Problemen kommen.

Bei der Ausführung von eingeschnittenen Gewinden in den Aluminium-Bauteilen, die die Nachteile einer einschnittigen Verbindung aufweisen, kann es hinsichtlich der Lastübertragung durch die Lochleibung über das Gewinde bei zu großer Beanspruchung zum Versagen der Verbindung kommen.

Deshalb empfiehlt es sich, diese Art der Ausführung nur bei einer geringen Belastung in Betracht zu ziehen. Ebenso ist der Einsatz einer Nietverbindung nur zu Übertragung von geringen Lasten geeignet, die sich nicht in axialer Richtung auswirken.

7 Ermittlung der Schnittgrößen bei Tragwerken nach Eurocode 9

statisch bestimmtes Tragwerk  mit Hilfe von Gleichgewichtsbedingungen

statisch unbestimmtes Tragwerk  Beachtung der Verformungen oder
Berücksichtigung lokaler Instabilitäten von
Querschnitten
Beachtung des Einfluss der mitwirkenden
Breite infolge Schubverformung

Berechnung der Schnittgrößen  - linear oder nichtlinearen elastischen
Berechnungsverfahren
- plastischen Berechnungsverfahren ohne
oder mit Berücksichtigung von
Verfestigungen

elastische Berechnungsverfahren  **für Querschnittsklassen 2,3,4**

plastische Berechnungsverfahren  **nur Querschnittsklasse 1**
unter Nachweis des
Verformungsvermögens der
Querschnitte mit dem
Verformungsanforderung der
Gesamtstruktur entspricht

7.1 elastische Berechnungsverfahren (im linearen Bereich)

1. Spannungs- Dehnungs- Linie des Werkstoffs unabhängig vom Beanspruchungsniveau linear ist

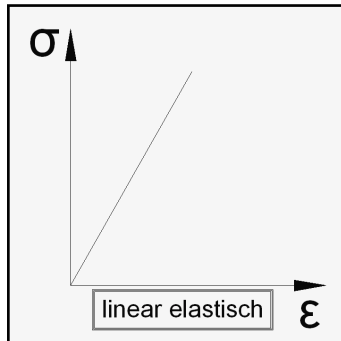


Bild 41:

[Quelle: prEN1999-1-1]

1. Die Annahme unter 1. kann nach Theorie 1. und 2. Ordnung erfolgen auch wenn der Widerstand des Querschnitts mit Werten oberhalb der Elastizitätsgrenze liegt.
2. In der elastischen Tragwerksberechnung nach Theorie 1. Ordnung dürfen die Momente umgelagert werden. (um bis zu 15% des Maximalwertes)

Voraussetzung:

- Schnittgrößen im Bauwerk mit den aufgebrachten Lasten verbleiben im Gleichgewicht.
- alle Bauteile, wo eine Reduzierung der Momente erfolgt, müssen Merkmale der Querschnittsklassen 1 und 2 aufweisen.

7.2 elastische Berechnungsverfahren (im nichtlinearen Bereich)

1. Spannungs- Dehnungs- Linie des Werkstoffs nicht linear verläuft.
Tangentenmodul an der Kurve hängt von der Spannungshöhe ab

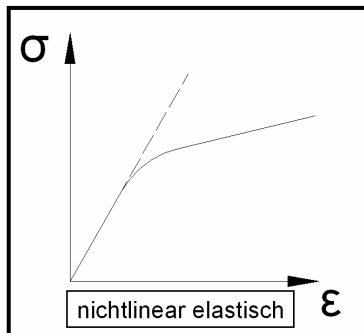


Bild 42:

[Quelle: prEN1999-1-1]

2. Die Annahme unter 1. kann nach Theorie 1. und 2. Ordnung erfolgen auch wenn der Widerstand des Querschnitts mit Werten oberhalb der Elastizitätsgrenze liegt.
3. Die Beschreibung der Spannungs- Dehnungs- Beziehung des Werkstoffes sollte das aktuelle nichtlineare Verhalten der Legierung berücksichtigen.

7.3 Plastische Berechnungsverfahren (ohne Verfestigung)

1. erfolgt mit der Annahme eines der folgenden Stoffmodelle für den Werkstoff
 - star-ideal plastisch
 - linear elastisch – ideal plastisch
 - nicht elastisch – ideal plastisch

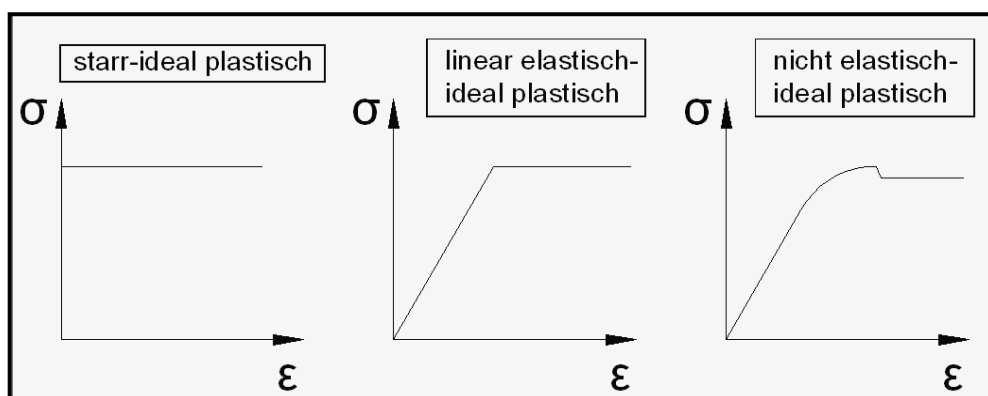


Bild 43: Diagramme [Quelle: prEN1999-1-1]

ideal plastisch Werkstoffmodell

→ Vernachlässigung der Verformung des Querschnitts, der Bauteile und der Gründung

linear elastisch-ideal plastisch Werkstoffmodell

→ Querschnittsverhalten bleibt vollkommen ideal elastisch bis an der meist beanspruchten Faser die Elastizitätsgrenze erreicht ist.

Übergang in den plastischen Bereich erfolgt in Abhängigkeit der Lastkonfiguration wie auch der Querschnittsformen in einzelnen Schritten.

Annahme: Konzentration der plastischen Deformation an den Fließgelenken

nicht elastisch-ideal plastisch Werkstoffmodell

→ Berechnung des aktuellen nicht linearen elastischen Verhaltens des Werkstoffes als auch des Querschnitts bei der Verformung eines Bauteils bevor sich ein plastisches Gelenk bildet .

Querschnitt bleibt vollkommen elastisch bis Spannung an der meistbeanspruchten Faser die Elastizitätsgrenze erreicht.

Schnittgrößen steigen an → Querschnitt geht schrittweise in den plastischen Bereich bis der volle plastische Widerstand erreicht ist.

7.4 Plastische Tragwerksberechnung (mit Berücksichtigung der Verfestigung)

erfolgt mit der Berücksichtigung des Verfestigungseffektes der Werkstoffmodelle

- starr- verfestigender Verlauf
- linear elastisch – verfestigender Verlauf
- allgm. nichtlinear-plastischer Verlauf

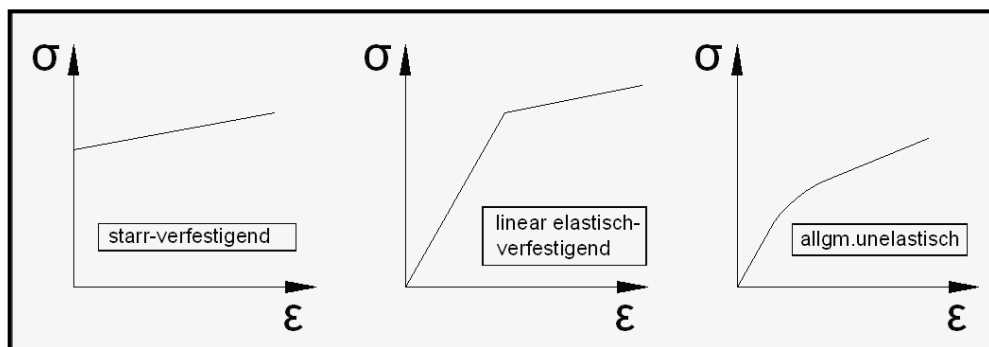


Bild 44: Diagramme [Quelle: prEN1999-1-1]

starr- verfestigenden Werkstoffmodels

→ Vernachlässigung der elastischen Verformung der Querschnitte, Bauteile und der Gründung.

Annahme: Konzentration der plastischen Deformation an den Fließgelenken

Fortlaufender Anstieg der Festigkeit in plastischen Gelenken bis plastischer Widerstand erreicht ist.

Beim Erreichen des Grenzwertes der Festigkeit oder der Verformung ist die Berechnung auszusetzen.

linear elastisch- verfestigenden Werkstoffmodell

→ Querschnittsverhalten bleibt elastisch bis zur Elastizitätsgrenze in der meist beanspruchten Faser.

Anstieg der Festigkeit in den plastischen Gelenken nachdem der elastische Grenzwiderstand erreicht ist.

Übergang in den plastischen Bereich ist abhängig von der Lastkonfiguration und der Querschnittsform.

Beim Erreichen des Grenzwerts der Festigkeit oder der Verformung ist die Berechnung auszusetzen.

Annahme: Konzentration der plastischen Deformation an den Fließgelenken

allgemeinen unelastischen verfestigenden Werkstoffmodell

→ Beschreibung des Materials als auch der Querschnitt durch den aktuellen Spannungs-Dehnungs-Verlauf bzw. durch den verallgemeinerten Schnittgrößen-Verschiebungs-Verlauf.

Der Übergang elastischer → plastischer Bereich erfolgt allmählich.

Erreichen des Tragzustandes durch festgelegte Grenzwerte für die Festigkeit oder die Verformung.

7.5 Klassifizierung der Querschnitte nach Eurocode

Hierbei soll eine Einteilung stattfinden, um eine Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen der einzelnen Querschnittsteile zu unterscheiden.

Querschnitte Klasse 1

→ können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationsvermögen für plastische Tragwerksberechnung ausbilden.

Querschnitts Klasse 2

→ können die plastische Momententragfähigkeit bilden(plastisches Gelenk) mit begrenztem Rotationsvermögen durch örtliches Beulen bilden

Querschnitts Klasse 3

→ können in der meistbeanspruchten Faser des Aluminiumbauteils bis zur 0,2- Grenze belastet werden, aber es kann keine plastische Momententragfähigkeit entwickelt werden durch das daraus entstehende örtliches Beulen.

Durch Ausbildung schlanker Querschnitte tritt dieses hauptsächlich auf.

Querschnitts Klasse 4

→ bei dieser Querschnittsklasse tritt das örtliche Beulen vor Erreichen der Dehngrenze in den einzelnen Querschnittsteilen ein.

1. Um die Abminderung der Beanspruchbarkeit infolge örtlichen Beulens zu berücksichtigen, dürfen bei Querschnitten der Klasse 4 effektive Dicken verwendet werden.
2. Die Klassifizierung der Querschnitte ist vom Breiten-Dickenverhältnis b/t ihrer Druck beanspruchten Teile abhängig.
3. Im Allgemeinen können die verschiedenen Druck beanspruchten Querschnittsteile (z.B. Steg oder Flansch) verschiedenen Querschnittsklassen zugeordnet werden.
4. Klassifiziert wird ein Querschnitt nach der höchsten (ungünstigsten) Klasse seiner Druck beanspruchten Querschnittsteile.
5. Dünnwandige Teile werden bei der Klassifizierung in folgende Grundtypen eingeteilt:
 - ebene auskragende Querschnittsteile
 - ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile
 - gekrümmte innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile

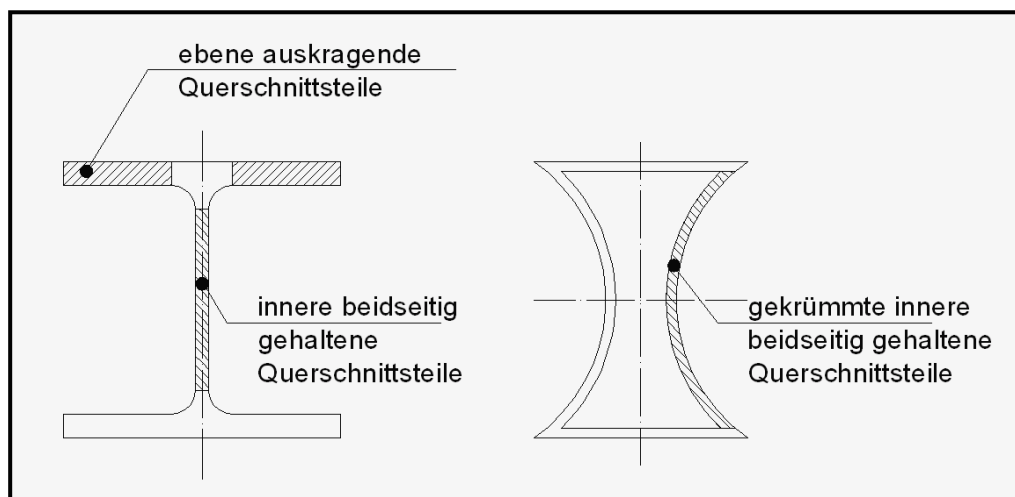
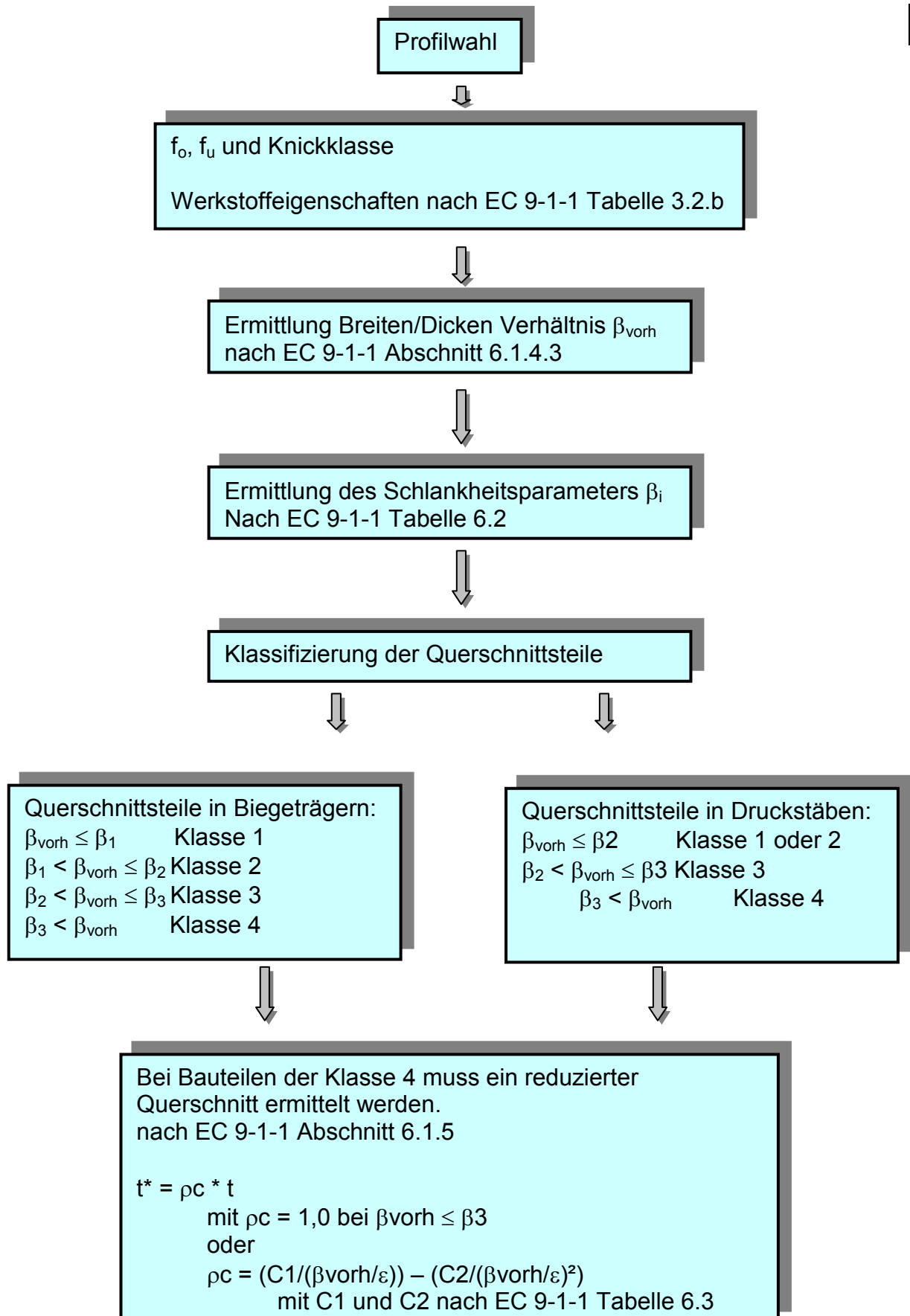


Bild 45: Klassifizierung der Grundtypen

Überprüfung der Grenzzustände von Bauteilen – Flussdiagramm nach Eurocode 9 (prEN 1999-1-1:2006)



8 Beispiel 1 zur Nachweisführung nach EC9

8.1 Bestimmung der Querschnittsklasse

Belastung: mittige Einzellast

Statisches System: Einfeldträger

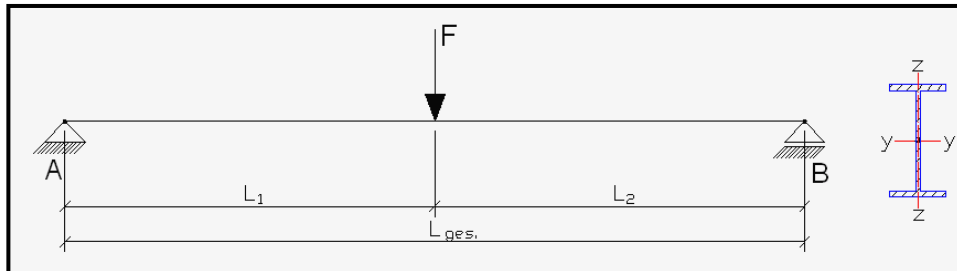


Bild 46: Statisches System

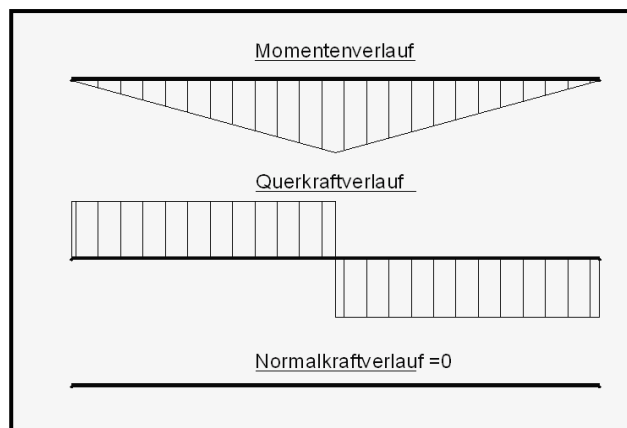


Bild 47: Schnittkräfteverlauf

Profilwerkstoff: EN AW-6060 T66 (AlMgSi0,5 F22)

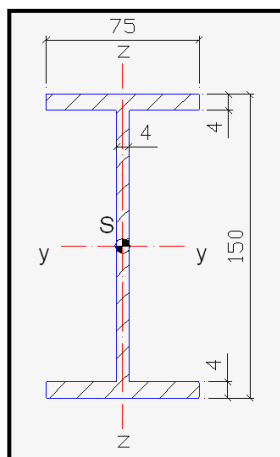


Bild 48: Profilabmessungen

Auswahl der Werkstoffeigenschaften nach EC9-1-1 Tabelle 3.2b

Produktform: EP (Strang gepresste Profile)

Legierung: 6060

Zustand: T66

Dicke: $3 > t < 25\text{mm}$

→ Elastizitätsgrenze: $f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$

Bruchgrenze: $f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$

→ Beulklasse (BC) = A

Ermittlung des Breiten/Dicken Verhältnisses β_{vorh} nach EC9-1-1

Abschnitt 6.1.4.3

Steg: ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile mit Nulldurchgang des Spannungsverlaufs in der Mitte

$$\beta_{\text{vorh}} = \eta * (b/t)$$

b = Breite des Querschnitts

t = Querschnittsdicke

$\eta = 0,4$ nach EC 9-1-1 Bild 6.2

$$\beta_{\text{vorh}} = 0,40 * (142\text{mm}/4\text{mm})$$

$$\underline{\beta_{\text{vorh}} = 14,2}$$

Ermittlung der Schlankheitsparameter β_i nach EC9-1-1 Tabelle 6.2

Steg: Innen liegende Teilfläche Klasse A ungeschweißt

$$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)}$$

f_o in $[\text{N/mm}^2]$

$$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} \quad \varepsilon = \sqrt{(250 / 150)} \quad \underline{\varepsilon = 1,29}$$

$$\beta_1 = 11 * \varepsilon \quad \beta_1 = 11 * 1,29 \quad \underline{\beta_1 = 14.19}$$

$$\beta_2 = 16 * \varepsilon \quad \beta_2 = 16 * 1,29 \quad \underline{\beta_2 = 20,64}$$

$$\beta_3 = 22 * \varepsilon \quad \beta_3 = 22 * 1,29 \quad \underline{\beta_3 = 28.38}$$

Auswahl der Querschnittsklasse:

Querschnittsteile in Biegeträgern:

$\beta_{vorh} \leq \beta_1$	Klasse 1
$\beta_1 < \beta_{vorh} \leq \beta_2$	Klasse 2
$\beta_2 < \beta_{vorh} \leq \beta_3$	Klasse 3
$\beta_3 < \beta_{vorh}$	Klasse 4

Steg: $\beta_1 < \beta_{vorh} \leq \beta_2 \rightarrow 14,19 < 14,2 \leq 20,64 =$ Querschnittsklasse 2

Flansch: ebene auskragende Querschnittsteile mit maximaler Druckspannung am äußeren Rand

$$\beta_{vorh} = \eta * (b/t)$$

b = Breite des überstehenden Querschnitts
t= Querschnittsdicke

$\eta = 1,0$ nach EC 9-1-1 Bild 6.2

$$\beta_{vorh} = 1,0 * (35,5\text{mm}/4\text{mm}) \quad \underline{\beta_{vorh} = 8,88}$$

Ermittlung der Schlankheitsparameter β_i nach EC9-1-1 Tabelle 6.2

Flansch: Außen liegende Teilfläche Klasse A ungeschweißt

$$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} \quad f_o \text{ in [N/mm}^2\text{]}$$

$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)}$	$\varepsilon = \sqrt{(250 / 150)}$	$\underline{\varepsilon = 1,29}$
$\beta_1 = 3 * \varepsilon$	$\beta_1 = 3 * 1,29$	$\underline{\beta_1 = 3,87}$
$\beta_2 = 4,5 * \varepsilon$	$\beta_2 = 4,5 * 1,29$	$\underline{\beta_2 = 5,81}$
$\beta_3 = 6 * \varepsilon$	$\beta_3 = 6 * 1,29$	$\underline{\beta_3 = 7,74}$

Auswahl der Querschnittsklasse:

Querschnittsteile in Biegeträgern:

$\beta_{vorh} \leq \beta 1$	Klasse 1
$\beta 1 < \beta_{vorh} \leq \beta 2$	Klasse 2
$\beta 2 < \beta_{vorh} \leq \beta 3$	Klasse 3
$\beta 3 < \beta_{vorh}$	Klasse 4

Flansch: $\beta 3 < \beta_{vorh} \rightarrow 7,74 < 8,88 = \underline{\text{Querschnittsklasse 4}}$

Bei Bauteilen der Klasse 4 muss ein *reduzierter* Querschnitt ermittelt werden.
nach EC 9-1-1 Abschnitt 6.1.5

$$t^* = \rho_c * t$$

$$\rho_c = 1,0 \quad \text{bei } \beta_{vorh} \leq \beta 3$$

oder

$$\rho_c = (C1/(\beta_{vorh}/\epsilon)) - (C2/(\beta_{vorh}/\epsilon)^2) \quad \text{bei } \beta_{vorh} > \beta 3$$

C1 und C2 nach EC 9-1-1 Tabelle 6.3

Flansch: Außen liegende Teilfläche Klasse A ungeschweißt

Tabelle 6.3

C1 $\rightarrow$ 10 C2 $\rightarrow$ 24

$$\rho_c = (C1/(\beta_{vorh}/\epsilon)) - (C2/(\beta_{vorh}/\epsilon)^2)$$

$$\rho_c = (10/(8,88/1,29)) - (24/(8,88/1,29)^2) \quad \underline{\rho_c = 0,9467}$$

$$t^* = \rho_c * t$$

$$t^* = 0,9467 * 4\text{mm} \rightarrow \underline{t^* = 3,78}$$

Die Querschnittsklasse des gesamten Querschnitts entspricht der größten Querschnittsklasse der einzelnen Bleche des Querschnitts.

Der vorliegende Querschnitt ist daher der Querschnittsklasse 4 zuzuordnen

8.2 Querschnittsnachweise

Produktform: EP (Strang gepresste Profile)

Legierung: 6060

Zustand: T66

1. Werkstoffeigenschaften nach EC9-1-1 Tabelle 3.2b

→ Elastizitätsgrenze: $f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$

→ Bruchgrenze: $f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$

2. Querschnittswerte

→ **elastisches Widerstandsmoment**

$$W_{Y,\text{net}} = [(2 \cdot I_y) / H] \quad \text{in } [\text{cm}^3]$$

$$I_y = \{[(B \cdot H^3) - (b \cdot h^3)] / 12\} \quad \text{in } [\text{cm}^4]$$

Maße in cm

$$I_y = \{[(7,5 \cdot 15^3) - (7,1 \cdot 14,2^3)] / 12\}$$

$$\underline{I_y = 415,3 \text{ cm}^4}$$

$$W_{Y,\text{net}} = [(2 \cdot 415,3) / 15]$$

$$\underline{W_{Y,\text{net}} = 55,4 \text{ cm}^3}$$

→ **plastisches Widerstandsmoment**

$$W_{y,\text{pl}} = \sum (A_i \cdot z_i) \quad \text{in } [\text{cm}^3]$$

Maße in cm

$$W_{y,\text{pl}} = 2 \cdot [(A_1 \cdot z_1) + (A_2 \cdot z_2)]$$

$$W_{y,\text{pl}} = 2 \cdot \{[(7,5 \cdot 0,4) \cdot 7,3] + [(7,1 \cdot 0,4) \cdot 3,5]\}$$

$$\underline{W_{y,\text{pl}} = 63,97 \text{ cm}^3}$$

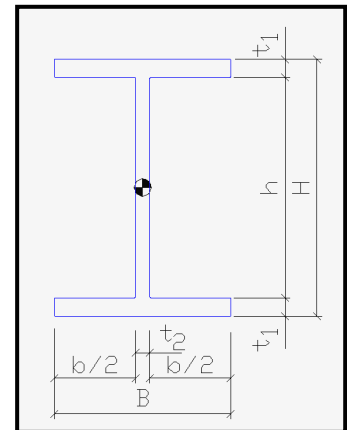


Bild 49: Profilquerschnitt

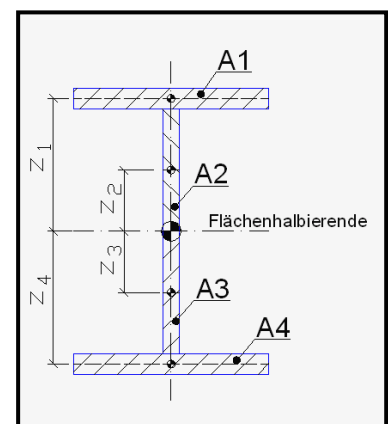


Bild 50: Profilquerschnitt

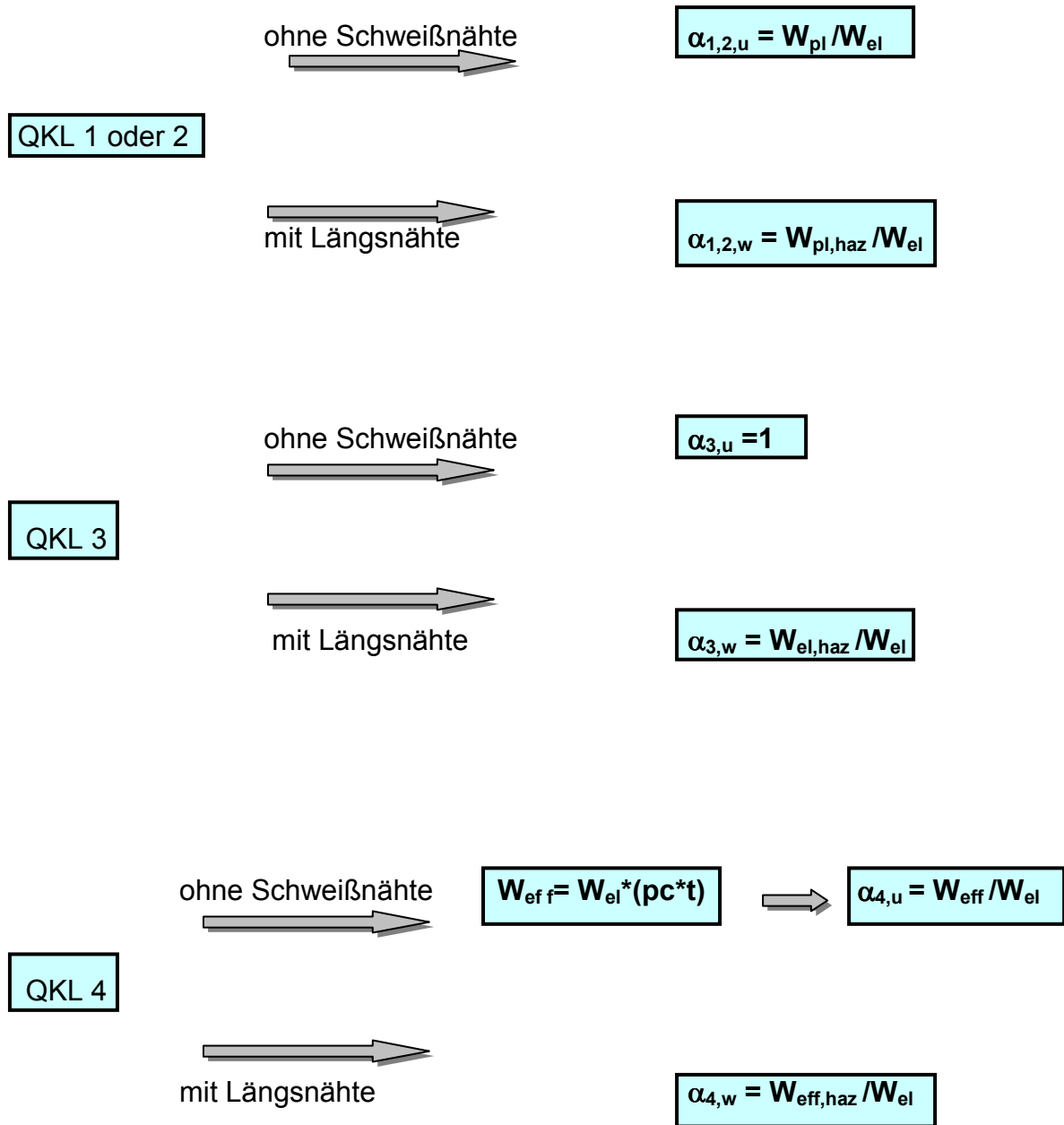
3. Berechnung des Bemessungswertes der Einwirkung M_{ed}

$$M_{ed} = \gamma_F \cdot \frac{F \cdot l}{4} \quad \text{mit } \gamma_F = 1,5$$

$$M_{ed} = 1,5 \cdot \frac{1\text{kN} \cdot 300\text{cm}}{4}$$

$$M_{ed} = \underline{112,5\text{kNcm}}$$

4. Bestimmung Formfaktor α EC 9-1-1 Tab.6.4



5. Berechnung der Widerstände nach EC 9-1-1 Kap.6.2.5

- im Nettoquerschnitt

$$M_{u,Rd} = \frac{W_{y,net} * f_u}{\gamma_{M2}}$$

mit $\gamma_{M2} = 1,25$

$$M_{u,Rd} = \frac{55,4\text{cm}^3 * 19,5 \text{ kN/cm}^2}{1,25}$$

$$M_{u,Rd} = \underline{864,2\text{kNcm}}$$

- in jedem Querschnitt

$$M_{c,Rd} = \frac{\alpha * W_{y,net} * f_o}{\gamma_{M1}}$$

mit $\gamma_{M1} = 1,1$
 $\alpha = 3,8$

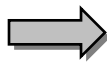
$$M_{c,Rd} = \frac{3,8 * 55,4\text{cm}^3 * 15 \text{ kN/cm}^2}{1,1}$$

$$M_{c,R} = \underline{2870,7\text{kNcm}}$$



unter einachsige Biegung wird der kleinere der Werte
angesetzt

$$M_{u,Rd} = \underline{864,2 \text{ kNcm}}$$
$$M_{c,Rd} = \underline{2870,7 \text{ kNcm}}$$



M_{Rd} = kleine Wert von beiden

6. Nachweis des Querschnitts

$$M_{Ed} / M_{Rd} \leq 1,0$$

$$M_{Ed} = \underline{112,5 \text{ kNcm}}$$

$$M_{Rd} = \underline{864,2 \text{ kNcm}}$$

$$112,5\text{kNcm} / 864,2\text{kNcm}$$

$$= \underline{0,13 \leq 1,0}$$

8.3 Gegenüberstellung des QS aus unterschiedlichen Blechdicken

Aufgabe: - Gegenüberstellung von Beispiel 1
aus der Legierung 6060, Zustand T66 durch Veränderung der
Materialdicken des Steges und der Gurte

Ziel: - Einteilung der einzelnen Querschnitte nach europäischer Normung
- Untersuchung der max Belastung bei unterschiedlichen Stützweiten
bei einer mittig angreifenden Einzelkraft

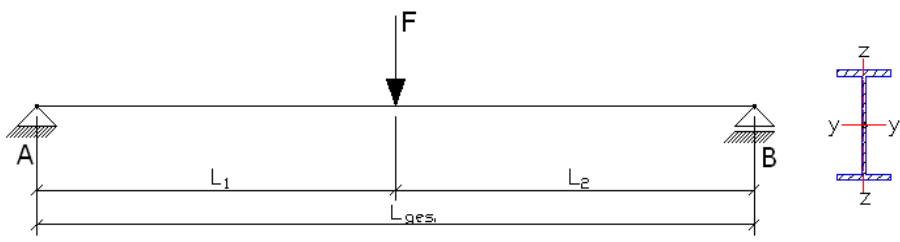
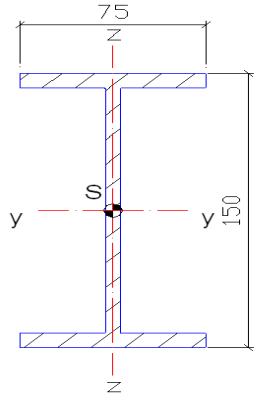
				
Produktform	EP (stranggepresst)	Profiltyp	Materialstärke Gurt [mm]	Materialstärke Steg [mm]
Legierung	6060	Variante 1.1	4	4
Zustand	T66	Variante 2.1	6	6
Elastizitätsgrenze:	$f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$	Variante 3.1	8	8
Bruchgrenze:	$f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$	Variante 4.1	10	10
		Variante 5.1	4	6
		Variante 6.1	4	8
		Variante 7.1	4	10
		Variante 8.1	6	4
		Variante 9.1	6	8
		Variante 10.1	6	10
		Variante 11.1	8	4
		Variante 12.1	8	6
		Variante 13.1	8	10
		Variante 14.1	10	4
		Variante 15.1	10	6
		Variante 16.1	10	8

Tabelle 9: Legierung und Materialdicken Variante *.1

Typ	$\beta_{\text{vorh Steg}}$	$\beta_{1,\text{Steg}}=14,19$ $\beta_{2,\text{Steg}}=20,64$ $\beta_{3,\text{Steg}}=28,38$ QS-Steg	$\beta_{\text{vorh Gurt}}$	$\beta_{1,\text{Gurt}}=3,87$ $\beta_{2,\text{Gurt}}=5,81$ $\beta_{3,\text{Gurt}}=7,74$ QS-Gurt	t* reduzierte Flansch- stärke	Einstufung des Gesamt- querschnitts
1.1	14,20	2	8,88	4	3,8	Klasse 4
2.1	9,20	1	5,75	2	-	Klasse 2
3.1	6,70	1	4,19	2	-	Klasse 2
4.1	5,20	1	3,25	1	-	Klasse 1
5.1	9,40	1	8,63	4	3,8	Klasse 4
6.1	7,10	1	8,38	4	3,9	Klasse 4
7.1	5,68	1	8,13	4	3,9	Klasse 4
8.1	13,80	1	5,92	3	-	Klasse 3
9.1	6,90	1	5,58	2	-	Klasse 2
10.1	5,52	1	5,42	2	-	Klasse 2
11.1	13,40	1	4,44	2	-	Klasse 2
12.1	8,93	1	4,31	2	-	Klasse 2
13.1	5,36	1	4,06	2	-	Klasse 2
14.1	13,00	1	3,55	1	-	Klasse 1
15.1	8,66	1	3,45	1	-	Klasse 1
16.1	6,50	1	3,35	1	-	Klasse 1

Tabelle 10: Zuordnung der Querschnittsklasse der Variante *.1

Querschnitts,- Widerstandswerte						
Typ	Trägheits- moment	Widerstands- moment el.	Widerstands- moment pl.	Widerstände im Netto-QS	Formfaktor	Widerstände in jeden QS
	$I_y [\text{cm}^4]$	$W_{Y,\text{net}} [\text{cm}^3]$	$W_{Y,\text{pl}} [\text{cm}^3]$	$M_{u,\text{Rd}} [\text{kNcm}]$		$M_{c,\text{Rd}} [\text{kNcm}]$
1.1	415,30	55,40	63,97	<u>864,2</u>	3,80	2870,7
2.1	598,23	79,76	93,37	<u>1244,3</u>	1,17	1273,2
3.1	765,97	102,13	121,11	<u>1593,2</u>	1,19	1651,5
4.1	919,33	122,58	147,25	<u>1912,2</u>	1,20	2008,0
5.1	462,98	61,73	74,05	<u>963,0</u>	3,83	3224,0
6.1	510,71	68,09	84,13	<u>1062,2</u>	3,88	3602,6
7.1	558,43	74,46	94,21	<u>1161,6</u>	3,93	3990,4
8.1	554,43	73,92	83,84	1153,2	1,00	<u>1008,0</u>
9.1	642,03	85,60	102,89	<u>1335,4</u>	1,20	1403,0
10.1	685,84	91,44	112,41	<u>1426,5</u>	1,23	1532,9
11.1	685,76	91,44	103,16	1426,5	1,13	<u>1406,7</u>
12.1	725,87	96,78	112,13	<u>1509,8</u>	1,16	1529,0
13.1	806,07	107,48	130,09	<u>1676,7</u>	1,21	1774,0
14.1	809,48	107,93	121,9	1683,7	1,13	<u>1662,3</u>
15.1	846,10	112,81	130,35	<u>1759,8</u>	1,16	1777,5
16.1	882,72	117,70	138,8	<u>1836,1</u>	1,18	1892,7


kleinerer maßgebend

Tabelle 11: Querschnitts,- Widerstandswerte der Variante *.1

Typ	Stützweite l [m]			
	3m	4m	5m	6m
	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]
1.1	7,68	5,76	4,61	3,84
2.1	11,06	8,30	6,64	5,53
3.1	14,16	10,62	8,50	7,08
4.1	17,00	12,75	10,20	8,50
5.1	8,56	6,42	5,14	4,28
6.1	9,44	7,08	5,67	4,72
7.1	10,33	7,74	6,20	5,16
8.1	8,96	6,72	5,38	4,48
9.1	11,87	8,90	7,12	5,93
10.1	12,68	9,51	7,61	6,34
11.1	12,50	9,38	7,50	6,25
12.1	13,42	10,07	8,05	6,71
13.1	14,90	11,18	8,94	7,45
14.1	14,78	11,08	8,87	7,39
15.1	15,64	11,73	9,39	7,82
16.1	16,32	12,24	9,79	8,16

Tabelle 12: maximale aufnehmbare Kraft zur Stützweite der Variante *.1

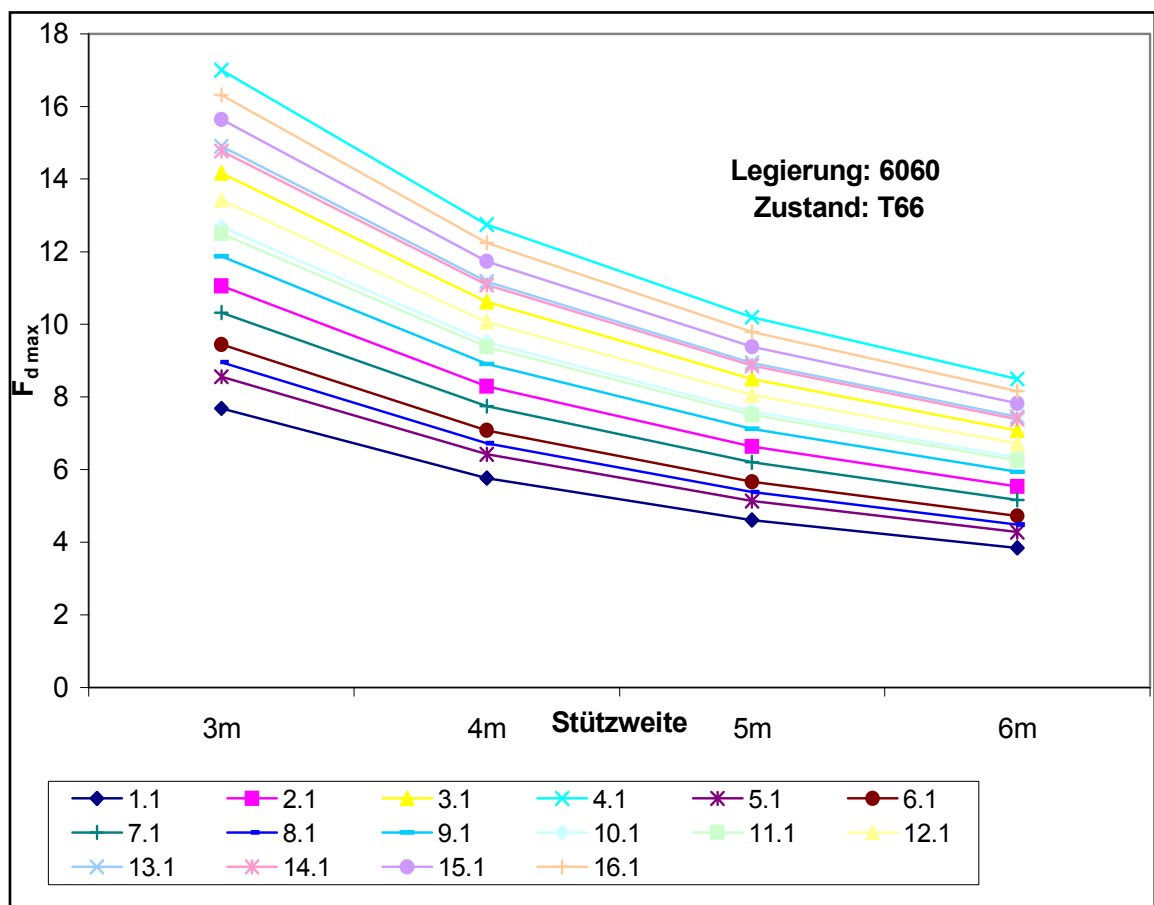


Diagramm 1: graphische Darstellung von Variante *.1

Auswertung: Durch die Veränderung der einzelnen Materialdicken im Steg wie auch in den Gurten erfolgt somit eine fortlaufende unterschiedliche Einteilung der Querschnitte in den dazu gehörenden Klassen nach Eurocode 9. Damit verändert sich auch das Tragverhalten der einzelnen Querschnitte hinsichtlich der maximalen aufnehmbaren Last. Die Tragfähigkeit des einzelnen Querschnitts verringert sich mit steigender Querschnittsklasse was aus den Tabellen ersichtlich wird.

Dieses ist darauf zurückzuführen dass die Bauteile die zu der Querschnittsklasse 1 zugeordnet werden, plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationsvermögen für plastische Tragwerksberechnung ausbilden können, im Gegensatz zu denen der Querschnittsklasse 4 wo dieses nicht der Fall ist sondern bei dieser Querschnittsklasse tritt das örtliche Beulen vor Erreichen der Dehngrenze in den einzelnen Querschnittsteilen ein.

Die Varianten 1.1, 5.1, 6.1 und 7.1 spiegeln dieses wieder auf Grund ihrer relativen schlanken Ausbildung des Steges und der Gurte. Durch eine all zu schlanke Ausbildung der Profile kann es bezüglich der Herstellung durch das Strangpressen zu ungewollten Problemen kommen, da ein Verwerfen der Profile sich nur erswert vermeiden lässt.

Des weitem sollte darauf geachtet werden, dass die einzelnen Materialdicken zwischen dem Steg und den Gurten keine allzu großen Unterschiede aufweisen, da es sonst bei der Herstellung zu keinen kontinuierlichen Materialfluss kommt.

8.4 Gegenüberstellung des Querschnitts aus unterschiedlichen Werkstoffen

Aufgabe: - Gegenüberstellung von Beispiel 1
aus der Legierung 6060, Zustand T66
mit den gleichen Abmaßen (Breite, Höhe, Dicken)
aus der Legierung 7020, Zustand T6
- Veränderung der Materialdicken im Steg wie auch Gurt

Ziel: - Einteilung der einzelnen Querschnitte nach europäischer Normung
- Untersuchung der max Belastung bei unterschiedlichen Stützweiten
bei einer mittig angreifenden Einzelkraft

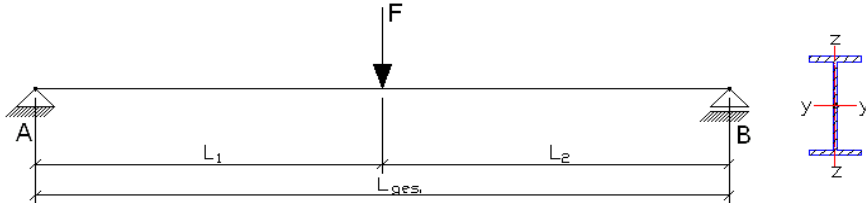
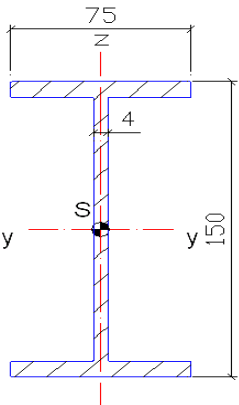
				
Produktform	EP (stranggepresst)	Profiltyp	Materialstärke Gurt [mm]	Materialstärke Steg [mm]
Legierung	7020	Variante 1.2	4	4
Zustand	T6	Variante 2.2	6	6
Elastizitätsgrenze:	$f_o = 29 \text{ kN/cm}^2$	Variante 3.2	8	8
Bruchgrenze:	$f_u = 35 \text{ kN/cm}^2$	Variante 4.2	10	10
		Variante 5.2	4	6
		Variante 6.2	4	8
		Variante 7.2	4	10
		Variante 8.2	6	4
		Variante 9.2	6	8
		Variante 10.2	6	10
		Variante 11.2	8	4
		Variante 12.2	8	6
		Variante 13.2	8	10
		Variante 14.2	10	4
		Variante 15.2	10	6
		Variante 16.2	10	8

Tabelle 13: Legierung und Materialdicken Variante *.2

Typ	$\beta_{\text{vorh Steg}}$	$\beta_{1,\text{Steg}}=10,21$ $\beta_{2,\text{Steg}}=14,85$ $\beta_{3,\text{Steg}}=20,42$ QS-Steg	$\beta_{\text{vorh Gurt}}$	$\beta_{1,\text{Gurt}}=2,78$ $\beta_{2,\text{Gurt}}=4,18$ $\beta_{3,\text{Gurt}}=5,57$ QS-Gurt	t* reduzierte Flansch- stärke	Einstufung des Gesamtquer- schnitts
1.2	14,20	2	8,88	4	3,2	Klasse 4
2.2	9,20	1	5,75	4	5,9	Klasse 4
3.2	6,70	1	4,19	3	-	Klasse 3
4.2	5,20	1	3,25	1	-	Klasse 1
5.2	9,47	1	8,63	4	3,2	Klasse 4
6.2	7,10	1	8,38	4	3,3	Klasse 4
7.2	5,68	1	8,13	4	3,3	Klasse 4
8.2	13,80	2	5,92	4	5,9	Klasse 4
9.2	6,90	1	5,58	4	6,0	Klasse 4
10.2	5,52	1	5,42	3	-	Klasse 3
11.2	13,40	2	4,44	3	-	Klasse 3
12.2	8,93	1	4,31	3	-	Klasse 3
13.2	5,36	1	4,06	2	-	Klasse 2
14.2	13,00	2	3,55	2	-	Klasse 2
15.2	8,67	1	3,45	2	-	Klasse 2
16.2	6,50	1	3,35	2	-	Klasse 2

Tabelle 14: Zuordnung der Querschnittsklasse der Variante *.2

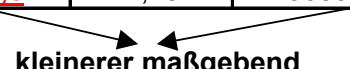
Querschnitts,- Widerstandswerte						
Typ	Trägheits- moment	Widerstands- moment el.	Widerstands- moment pl.	Widerstände im Netto-QS	Formfaktor	Widerstände in jeden QS
	$I_y \text{ [cm}^4\text{]}$	$W_{y,\text{net}} \text{ [cm}^3\text{]}$	$W_{y,\text{pl}} \text{ [cm}^3\text{]}$	$M_{u,\text{Rd}} \text{ [kNcm]}$		$M_{c,\text{Rd}} \text{ [kNcm]}$
1.2	415,30	55,40	63,97	1551,2	3,15	4600,7
2.2	598,23	79,76	93,37	2233,28	5,93	12469,4
3.2	765,97	102,13	121,11	2859,64	1,00	2692,5
4.2	919,33	122,58	147,25	3432,24	1,20	3882,0
5.2	462,98	61,73	74,05	1728,44	3,19	5191,5
6.2	510,71	68,09	84,13	1906,52	3,25	5834,1
7.2	558,43	74,46	94,21	2084,88	3,31	6497,7
8.2	554,43	73,92	83,84	2069,76	5,86	11420,0
9.2	642,03	85,60	102,89	2396,8	5,99	13517,8
10.2	685,84	91,44	112,41	2560,32	1,00	2410,7
11.2	685,76	91,44	103,16	2560,32	1,00	2410,7
12.2	725,87	96,78	112,13	2709,84	1,00	2551,5
13.2	806,07	107,48	130,09	3009,44	1,21	3429,6
14.2	809,48	107,93	121,9	3022,04	1,13	3213,7
15.2	846,10	112,81	130,35	3158,68	1,16	3436,5
16.2	882,72	117,70	138,8	3295,6	1,18	3659,3
 kleinerer maßgebend						

Tabelle 15: Querschnitts,- Widerstandswerte der Variante *.2

Typ	Stützweite l [m]			
	3m	4m	5m	6m
	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]
1.2	13,79	10,34	8,27	6,89
2.2	19,85	14,89	11,91	9,93
3.2	23,93	17,95	14,36	11,97
4.2	30,51	22,88	18,31	15,25
5.2	15,36	11,52	9,22	7,68
6.2	16,95	12,71	10,17	8,47
7.2	18,53	13,90	11,12	9,27
8.2	18,40	13,80	11,04	9,20
9.2	21,30	15,98	12,78	10,65
10.2	21,43	16,07	12,86	10,71
11.2	21,43	16,07	12,86	10,71
12.2	22,68	17,01	13,61	11,34
13.2	26,75	20,06	16,05	13,38
14.2	26,86	20,15	16,12	13,43
15.2	28,08	21,06	16,85	14,04

Tabelle 16: maximale aufnehmbare Kraft zur Stützweite der Variante *.2

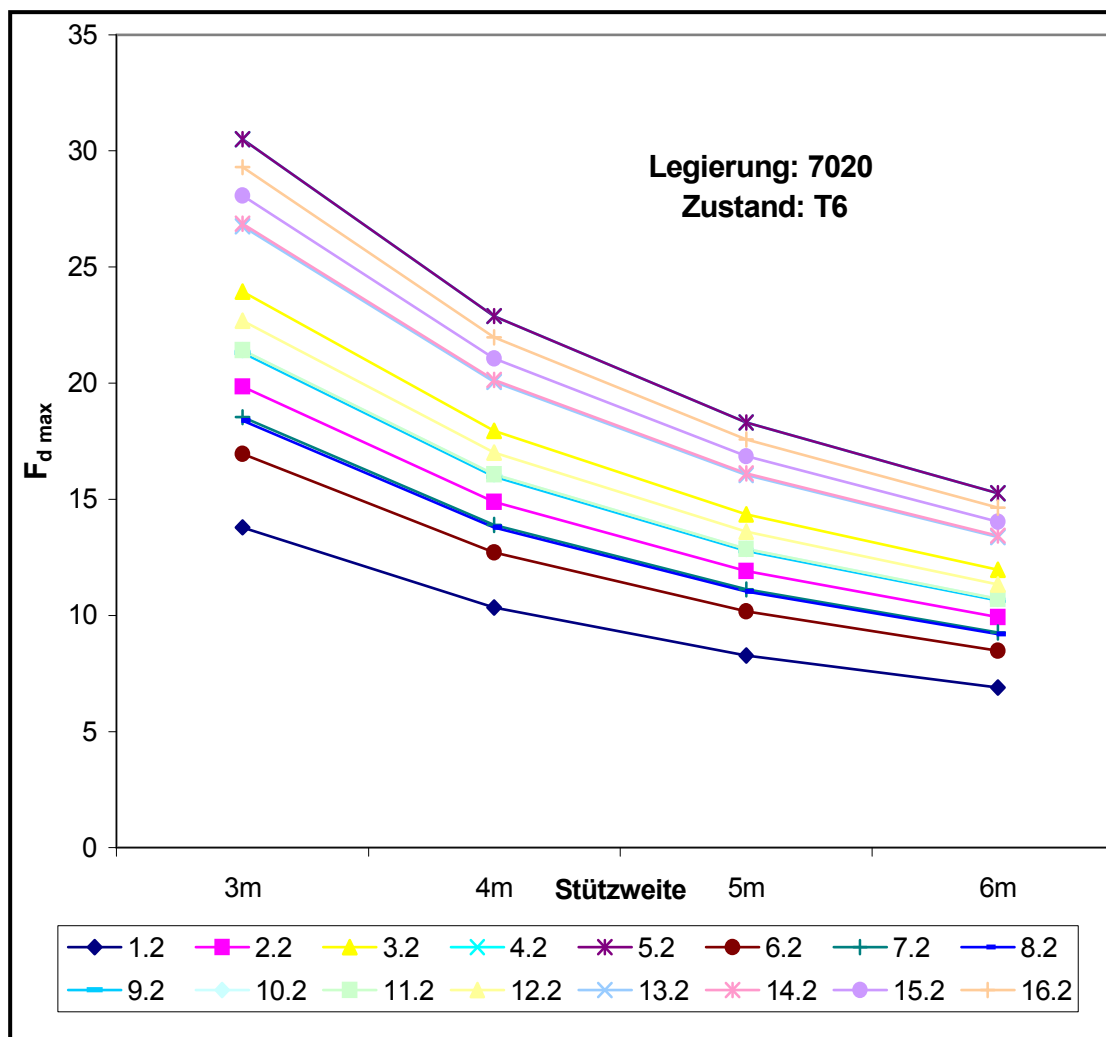


Diagramm 2: graphische Darstellung von Variante *.2

Auswertung: Hier findet eine Untersuchung statt durch eine Gegenüberstellung des 1. Beispiels mit den gleichen Randbedingungen (Breite, Höhe, Materialdicken und Belastung) nur aus einer anderen gewählten Legierung.

Die hieraus entstandenen Änderungen zeigen sich hauptsächlich in der Einteilung der Querschnitte in den einzelnen Klassen.

Obwohl bei der Legierung 7020 T6 deutlich höhere Werkstoffeigenschaften zu verzeichnen sind in Form der Elastizitätsgrenze = 29 kN/cm^2 und Bruchgrenze = 35 kN/cm^2 zu der Legierung 6060 T66

Elastizitätsgrenze = 15 kN/cm^2 und Bruchgrenze = $19,5 \text{ kN/cm}^2$ kommt es z.B. bei der Variante 2.1 → Klasse 2 zu einer Änderung bei Variante 2.2 in Klasse 4.

Dieses wirkt sich aber nicht auf das Tragverhalten aus.

Man erkennt, dass bei allen Querschnitten aus der Legierung 7020 T6 höhere Belastungen bei selben Stützweiten zu erkennen sind.

Dieses bedeutet einen Vorteil bei der Auslegung von Aluminium-Tragelementen in statischer Hinsicht, da hier eine höhere Belastung erreicht wird mit geringerem Materialeinsatz.

Man sollte aber auch eine Betrachtung hinsichtlich der Materialkosten und dem erhöhten Aufwand bei der Herstellung führen.

Nicht selten ist hier mit höheren Kosten zu rechnen, da sich die Pressgeschwindigkeit verringert.

Geht man davon aus, dass ein Presszyklus von einer Stunde angenommen wird, ist die zu erwartende erreichte Menge an fertigen Profilen bedeutend geringer bei der Wahl einer höherwertigen Legierung. Die Minimierung der Pressgeschwindigkeit hängt davon ab, dass sich die Fließigenschaften des Werkstoffes ändern.

9 Beispiel 2 zur Nachweisführung nach EC9

9.1 Bestimmung der Querschnittsklasse

Belastung: mittige Einzellast

Statisches System: Einfeldträger

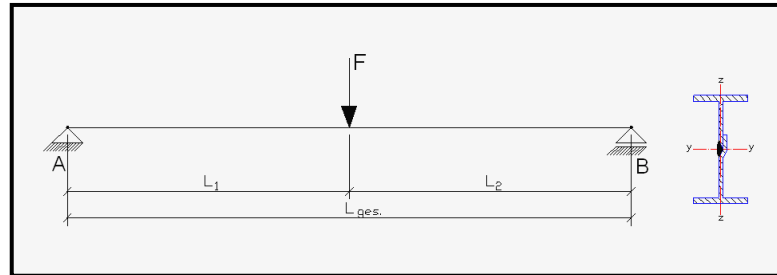


Bild 50: Statisches System

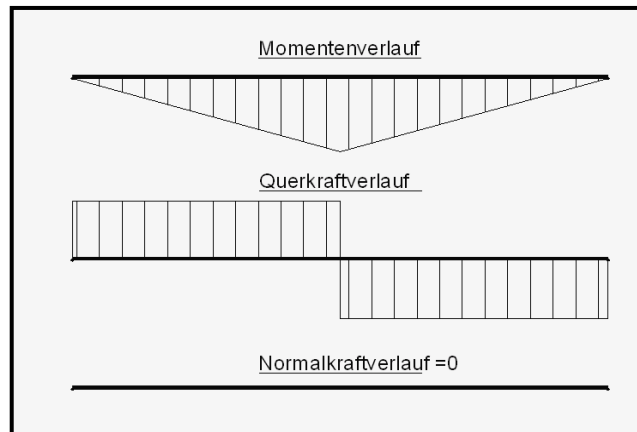


Bild 51: Schnittkräfteverlauf

Profilwerkstoff: EN AW-6060 T66 (AlMgSi0,5 F22)

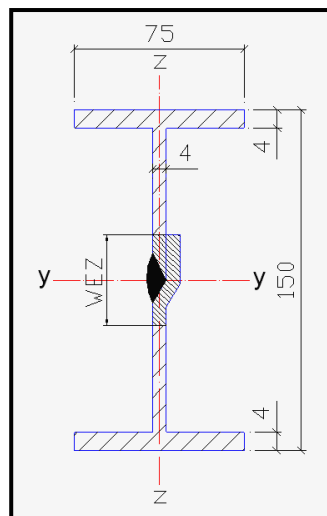


Bild 52: Profilabmessungen

Auswahl der Werkstoffeigenschaften nach EC9-1-1 Tabelle 3.2b

Produktform: 2* Einzelprofile EP (Strang gepresste Profile)
Schweißverfahren: MIG
Legierung: 6060
Zustand: T66
Dicke: $3 > t < 25\text{mm}$

ungeschweißt

→ Elastizitätsgrenze: $f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$
Bruchgrenze: $f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$

geschweißt

→ Elastizitätsgrenze: $f_{o,haz} = 6,5 \text{ kN/cm}^2$
Bruchgrenze: $f_{u,haz} = 11,0 \text{ kN/cm}^2$

→ Beulklasse (BC) = A

Ermittlung des Breiten/Dicken Verhältnisses β_{vorh}

nach EC9-1-1 Abschnitt 6.1.4.3

Steg: ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile mit Nulldurchgang des Spannungsverlaufs in der Mitte

$$\beta_{vorh} = \eta * (b/t)$$

b = Breite des Querschnitts

t = Querschnittsdicke

$\eta = 0,4$ nach EC 9-1-1 Bild 6.2

$$\beta_{vorh} = 0,40 * (142\text{mm}/4\text{mm})$$

$$\underline{\beta_{vorh} = 14,2}$$

Ermittlung der Schlankheitsparameter β_i nach EC9-1-1 Tabelle 6.2

Steg: Innenliegende Teilfläche Klasse A geschweißt

$$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} \quad f_o \text{ in [N/mm}^2\text{]}$$

$$\begin{array}{lll} \varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} & \varepsilon = \sqrt{(250 / 150)} & \underline{\varepsilon = 1,29} \\ \beta_1 = 9 * \varepsilon & \beta_1 = 9 * 1,29 & \underline{\beta_1 = 11,61} \\ \beta_2 = 13 * \varepsilon & \beta_2 = 13 * 1,29 & \underline{\beta_2 = 16,77} \\ \beta_3 = 18 * \varepsilon & \beta_3 = 18 * 1,29 & \underline{\beta_3 = 23,22} \end{array}$$

Auswahl der Querschnittsklasse:

Querschnittsteile in Biegeträgern:

$\beta_{vorh} \leq \beta_1$	Klasse 1
$\beta_1 < \beta_{vorh} \leq \beta_2$	Klasse 2
$\beta_2 < \beta_{vorh} \leq \beta_3$	Klasse 3
$\beta_3 < \beta_{vorh}$	Klasse 4

Steg: $\beta_1 < \beta_{vorh} \leq \beta_2 \rightarrow 11,61 < 14,2 \leq 16,77 = \underline{\text{Querschnittsklasse 2}}$

Flansch: ebene auskragende Querschnittsteile mit maximaler Druckspannung am äußeren Rand

$$\beta_{vorh} = \eta * (b/t)$$

b = Breite des überstehenden Querschnitts

t = Querschnittsdicke

$\eta = 1,0$ nach EC 9-1-1 Bild 6.2

$$\beta_{vorh} = 1,0 * (35,5\text{mm}/4\text{mm}) \quad \underline{\beta_{vorh} = 8,88}$$

Ermittlung des Schlankheitsparameter β_i nach EC9-1-1 Tabelle 6.2

Flansch: Außenliegende Teilfläche Klasse A geschweißt

$$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} \quad f_o \text{ in [N/mm}^2\text{]}$$

$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)}$	$\varepsilon = \sqrt{(250 / 150)}$	$\varepsilon = 1,29$
$\beta_1 = 2,5 * \varepsilon$	$\beta_1 = 2,5 * 1,29$	$\beta_1 = 3,23$
$\beta_2 = 4 * \varepsilon$	$\beta_2 = 4 * 1,29$	$\beta_2 = 5,16$
$\beta_3 = 5 * \varepsilon$	$\beta_3 = 5 * 1,29$	$\beta_3 = 6,45$

Auswahl der Querschnittsklasse:

Querschnittsteile in Biegeträgern:

$\beta_{vorh} \leq \beta_1$	Klasse 1
$\beta_1 < \beta_{vorh} \leq \beta_2$	Klasse 2
$\beta_2 < \beta_{vorh} \leq \beta_3$	Klasse 3
$\beta_3 < \beta_{vorh}$	Klasse 4

Flansch: $\beta_3 < \beta_{vorh} \rightarrow 7,74 < 8,9 = \underline{\text{Querschnittsklasse 4}}$

Bei Bauteilen der Klasse 4 muss ein *reduzierter* Querschnitt ermittelt werden.
nach EC 9-1-1 Abschnitt 6.1.5

$$t^* = \rho_c * t$$

$\rho_c = 1,0$	bei $\beta_{vorh} \leq \beta_3$
oder	
$\rho_c = (C1/(\beta_{vorh}/\varepsilon)) - (C2/(\beta_{vorh}/\varepsilon)^2)$ bei $\beta_{vorh} > \beta_3$	

C1 und C2 nach EC 9-1-1 Tabelle 6.3

Flansch: Außenliegende Teilfläche Klasse A ungeschweißt

Tabelle 6.3

C1 → 9

C2 → 20

$$\rho_c = (C1/(\beta_{vorh/\epsilon})) - (C2/(\beta_{vorh/\epsilon})^2)$$

$$\rho_c = (9/(8,8/1,29)) - (20/(8,8/1,29)^2)$$

$$\rho_c = 0,889$$

$$t^* = \rho_c * t$$

$$t^* = 0,889 * 4\text{mm} \rightarrow \underline{t^* = 3,5}$$

Die Querschnittsklasse des gesamten Querschnitts entspricht der größten Querschnittsklasse der einzelnen Bleche des Querschnitts.

Der vorliegende Querschnitt ist daher der Querschnittsklasse 4 zuzuordnen.

9.2 Querschnittsnachweise

1. Auswahl der Werkstoffeigenschaften nach EC9-1-1 Tabelle 3.2b

Produktform: 2* Einzelprofile EP (Strang gepresste Profile)
Schweißverfahren: MIG
Legierung: 6060
Zustand: T66
Dicke: $3 > t < 25\text{mm}$

ungeschweißt

→ Elastizitätsgrenze: $f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$
Bruchgrenze: $f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$

geschweißt

→ Elastizitätsgrenze: $f_{o,haz} = 6,5 \text{ kN/cm}^2$
Bruchgrenze: $f_{u,haz} = 11,0 \text{ kN/cm}^2$

2. Querschnittswerte

Faktor zur Festigkeitsabminderung in der WEZ nach Tab. 3.2.b

$$p_{o,haz} = 0,43$$

$$p_{u,haz} = 0,56$$

Reduzierte Dicke in der WEZ

$$t_{eff} = t_{steg} * p_{o,haz} \quad t_{eff} = 4\text{mm} * 0,43 = \underline{1,72 \text{ mm}}$$

Breite der WEZ nach Kap. 6.1.6.3

$$\begin{aligned} 0 < t \leq 6 \text{ mm} &\rightarrow b_{haz} = 20 \text{ mm} \\ 6 < t \leq 12 \text{ mm} &\rightarrow b_{haz} = 30 \text{ mm} \\ 12 < t \leq 25 \text{ mm} &\rightarrow b_{haz} = 35 \text{ mm} \\ t \geq 25 \text{ mm} &\rightarrow b_{haz} = 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$0 < 4 \leq 6 \text{ mm} \rightarrow \underline{b_{haz} = 20 \text{ mm}}$$

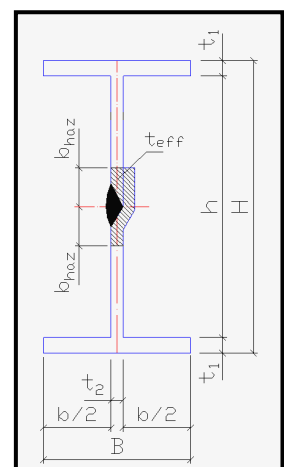


Bild 53: Profilquerschnitt

5. Berechnung der Widerstände nach EC 9-1-1 Kap.6.2.5

- im Nettoquerschnitt

$$M_{u,Rd} = \frac{W_{y,net,haz} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{mit } \gamma_{M2} = 1,25$$

$$M_{u,Rd} = \frac{54,79 \text{ cm}^3 \cdot 19,5 \text{ kN/cm}^2}{1,25}$$

$$M_{u,Rd} = \underline{854,8 \text{ kNcm}}$$

- in jedem Querschnitt

$$M_{c,Rd} = \frac{\alpha \cdot W_{y,net,haz} \cdot f_o}{\gamma_{M1}} \quad \begin{array}{l} \text{mit } \gamma_{M1} = 1,1 \\ \alpha = 3,54 \end{array}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{3,54 \cdot 54,79 \text{ cm}^3 \cdot 15 \text{ kN/cm}^2}{1,1}$$

$$M_{c,R} = \underline{2644,8 \text{ kNcm}}$$



unter einachsige Biegung wird der kleinere der Werte angesetzt

$$\begin{array}{l} M_{u,Rd} = \underline{854,8 \text{ kNcm}} \\ M_{c,Rd} = \underline{2644,8 \text{ kNcm}} \end{array}$$



M_{Rd} = kleine Wert von beiden

6. Nachweis des Querschnitts

$$M_{Ed} / M_{Rd} \leq 1,0$$

$$M_{Ed} = \underline{112,5 \text{ kNcm}}$$

$$M_{Rd} = \underline{864,2 \text{ kNcm}}$$

$$112,5 \text{ kNcm} / 854,8 \text{ kNcm}$$

$$= \underline{0,13} \leq 1,0$$

9.3 Gegenüberstellung ungeschweißte Ausführung mit der geschweißten Ausführung

Aufgabe:

- Gegenüberstellung von Variante *.1 (ungeschweißt) Variante *.3 (geschweißt) aus der Legierung 6060, Zustand T66
- Veränderung der Materialdicken im Steg wie auch Gurt

Ziel:

- Untersuchung der max Belastung bei unterschiedlichen Stützweiten bei einer mittig angreifenden Einzelkraft
- Auswertung bzw. Abschätzung der Verbesserung der Tragfähigkeit gegenüber der Aufwendung

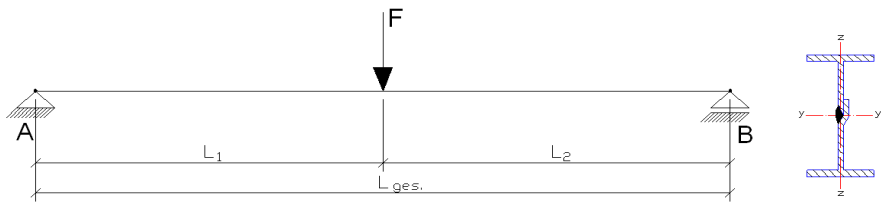
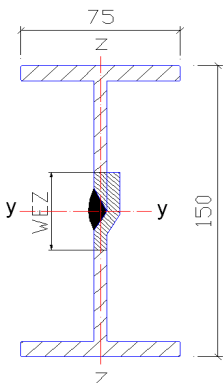
				
Produktform	2*EP (stranggepresst)	Profiltyp	Materialstärke Gurt [mm]	Materialstärke Steg [mm]
Legierung	6060	Variante 1.3	4	4
Zustand	T66	Variante 2.3	6	6
Elastizitätsgrenze:	$f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$	Variante 3.3	8	8
Bruchgrenze:	$f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$	Variante 4.3	10	10
		Variante 5.3	4	6
		Variante 6.3	4	8
		Variante 7.3	4	10
		Variante 8.3	6	4
		Variante 9.3	6	8
		Variante 10.3	6	10
		Variante 11.3	8	4
		Variante 12.3	8	6
		Variante 13.3	8	10
		Variante 14.3	10	4
		Variante 15.3	10	6
		Variante 16.3	10	8

Tabelle 17: Legierung und Materialdicken Variante *.3

Typ	$\beta_{\text{vorh Steg}}$	$\beta_{1,\text{Steg}}=11,61$ $\beta_{2,\text{Steg}}=16,77$ $\beta_{3,\text{Steg}}=23,22$ QS-Steg	$\beta_{\text{vorh Gurt}}$	$\beta_{1,\text{Gurt}}=3,23$ $\beta_{2,\text{Gurt}}=5,16$ $\beta_{3,\text{Gurt}}=6,45$ QS-Gurt	t*reduzierte Flansch- stärke	Einstufung des Gesamt- querschnitts
1.3	14,20	2	8,9	4	3,5	Klasse 4
2.3	9,20	1	5,8	3	-	Klasse 3
3.3	6,70	1	4,2	2	-	Klasse 2
4.3	5,20	1	3,3	2	-	Klasse 2
5.3	9,47	1	8,6	4	3,6	Klasse 4
6.3	7,10	1	8,4	4	3,6	Klasse 4
7.3	5,68	1	8,1	4	3,7	Klasse 4
8.3	13,80	2	5,9	3	-	Klasse 3
9.3	6,90	1	5,6	3	-	Klasse 3
10.3	5,52	1	5,4	3	-	Klasse 3
11.3	13,40	2	4,4	2	-	Klasse 2
12.3	8,93	1	4,3	2	-	Klasse 2
13.3	5,36	1	4,1	2	-	Klasse 2
14.3	13,00	2	3,6	2	-	Klasse 2
15.3	8,67	1	3,5	2	-	Klasse 2
16.3	6,50	1	3,4	2	-	Klasse 2

Tabelle 18: Zuordnung der Querschnittsklasse der Variante *.3

Querschnitts,- Widerstandswerte						
Typ	Trägheits- moment	Widerstands- moment el.	Widerstands- moment pl.	Widerstände im Netto-QS	Formfaktor	Widerstände in jeden QS
	$I_{y,\text{haz}} [\text{cm}^4]$	$W_{Y,\text{net,haz}} [\text{cm}^3]$	$W_{pl,\text{haz}} [\text{cm}^3]$	$M_{u,\text{Rd}} [\text{kNcm}]$		$M_{c,\text{Rd}} [\text{kNcm}]$
1.3	414,08	54,79	63,09	<u>854,8</u>	3,53	2637,5
2.3	592,07	77,71	90,29	<u>1212,2</u>	1,16	1231,3
3.3	757,76	99,39	117,01	<u>1550,5</u>	1,18	1595,5
4.3	909,07	119,16	142,12	<u>1858,9</u>	1,19	1938,0
5.3	456,82	59,68	70,97	<u>931,0</u>	3,6	2929,6
6.3	502,50	65,35	80,03	<u>1019,5</u>	3,64	3243,9
7.3	548,17	71,04	89,08	<u>1108,2</u>	3,7	3584,3
8.3	553,21	73,31	82,92	1143,7	1,13	<u>1130,7</u>
9.3	633,82	82,86	98,79	<u>1292,7</u>	1,19	1347,1
10.3	675,58	88,02	107,28	<u>1373,1</u>	1,22	1462,9
11.3	684,54	90,83	102,28	1417,0	1,13	<u>1394,7</u>
12.3	719,71	94,73	109,05	<u>1477,8</u>	1,15	1487,1
13.3	795,81	104,06	124,96	<u>1623,3</u>	1,20	1704,0
14.3	808,26	107,32	121,02	1674,2	1,13	<u>1650,3</u>
15.3	839,94	110,76	127,27	<u>1727,8</u>	1,15	1735,5
16.3	874,51	114,96	134,70	<u>1793,4</u>	1,17	1836,8



kleinerer maßgebend

Tabelle 19: Querschnitts,- Widerstandswerte der Variante *.3

Typ	Stützweite l [m]			
	3m	4m	5m	6m
1.3	7,60	5,70	4,56	3,80
2.3	10,78	8,08	6,47	5,39
3.3	13,78	10,34	8,27	6,89
4.3	16,52	12,39	9,91	8,26
5.3	8,28	6,21	4,97	4,14
6.3	9,06	6,80	5,44	4,53
7.3	9,85	7,39	5,91	4,93
8.3	10,05	7,54	6,03	5,03
9.3	11,49	8,62	6,89	5,75
10.3	12,21	9,15	7,32	6,10
11.3	12,40	9,30	7,44	6,20
12.3	13,14	9,85	7,88	6,57
13.3	14,43	10,82	8,66	7,21
14.3	14,67	11,00	8,80	7,33
15.3	15,36	11,52	9,22	7,68
15.4	15,94	11,96	9,57	7,97

Tabelle 20: maximale aufnehmbare Kraft zur Stützweite der Variante *.3

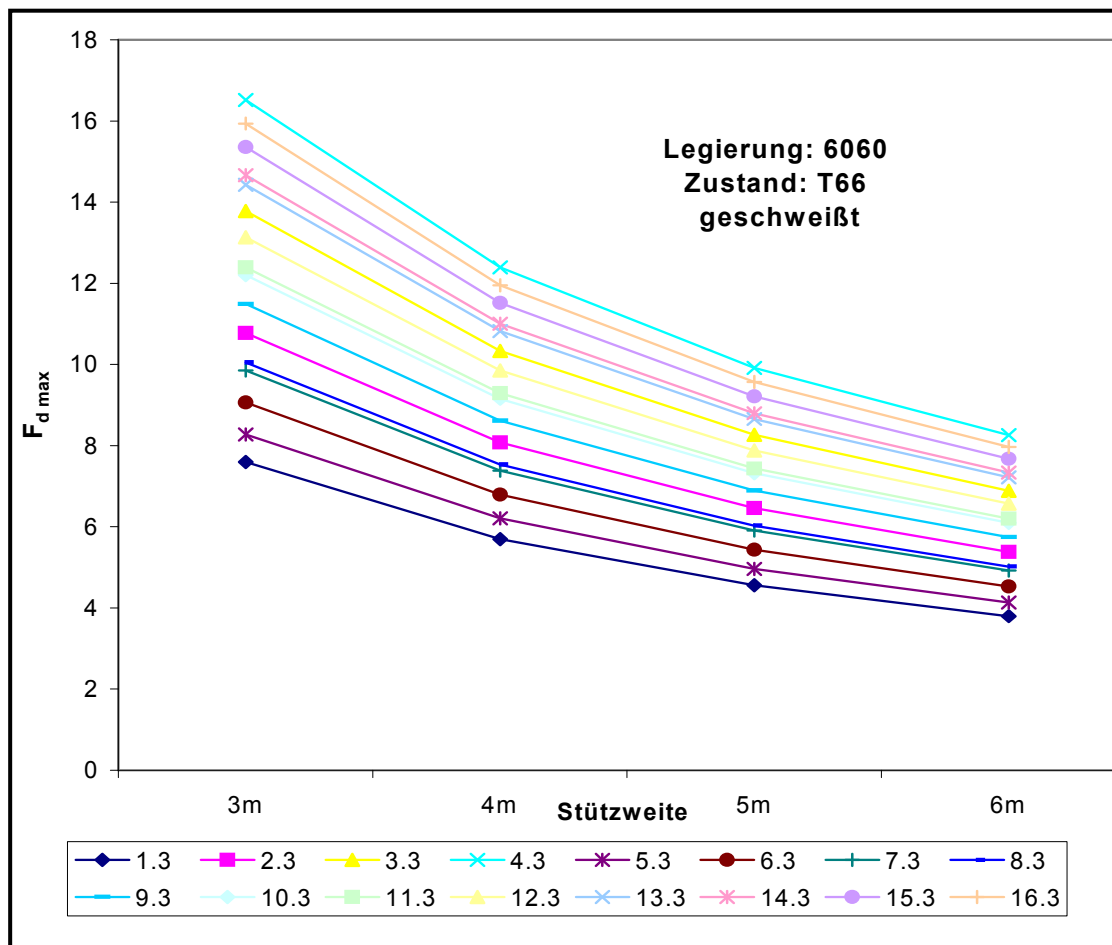


Diagramm 3: graphische Darstellung von Variante *.3

Auswertung: An Hand des gewählten Querschnitt aus dem 1. Beispiel wurde hier eine Möglichkeit untersucht, um diesen aus zwei separaten Profilen herzustellen.

Um den gewünschten Endquerschnitt zu erlangen erfolgt ein verschweißen der beiden separaten Profile.

Dabei wurde bei der Auslegung darauf geachtet, dass eine Schweißbadsicherung beim Herstellungsprozess integriert wurde.

Durch die Teilung des Profils in zwei separate Querschnitte lassen sich große bzw. hohe Querschnitte realisieren.

Bei der Auswertung in Richtung des Tragverhaltens ist folgendes zu beobachten.

Die Einteilung der einzelnen Querschnitte in den jeweiligen Klassen aus Variante *.1 (ungeschweißt) Tabelle 10 weisen nur geringe Unterschiede zu Variante *.3 (geschweißt) Tabelle 18 auf.

Alle Möglichkeiten aus der Variante *.3 Tabelle 20 zeigen geringere aufnehmbare Belastungen zu den Werten die in der Variante *.1 Tabelle 12.

Dieses ist auf die Reduzierung des Querschnittes durch die bestehende Wärmeeinflusszone zurückzuführen, da warm- und kaltausgehärtete Aluminiumlegierungen bei einer erneuten Wärmebeeinflussung deutliche Festigkeitsabminderungen aufweisen.

Daher tritt in der WEZ ein deutlicher Festigkeitsverlust ein.

Die dabei angenommene Ausdehnung der WEZ ist maßgeblich von den verwendeten Blechdicken und dem angewandten Schweißverfahren abhängig.

Ein weiterer Nachteil dieser Verbindungsart wäre, dass durch den Eintrag der Streckenenergie welche wiederum von dem gewählten Verfahren bzw. den Einstellungs- und Auslegungsparametern der Schweißverbindung abhängig ist, es zur Verformung der Profile kommen kann.

Eine alternative Möglichkeit die Profile miteinander zu Verbinden wären durch eine Schraub- oder Nietvariante zu realisieren.

Bei dieser Art der Verbindung muss eine Betrachtung hinsichtlich der Steifigkeit bei der Auslegung gemacht werden.

9.4 Gegenüberstellung der geschweißten Ausführung aus verschiedenen Legierungen

Aufgabe:

- Gegenüberstellung von Variante *.3 (geschweißt)
- Variante *.4 (geschweißt)
- aus der Legierung 7020, Zustand T6
- Veränderung der Materialdicken im Steg wie auch Gurt

Ziel:

- Untersuchung der max Belastung bei unterschiedlichen Stützweiten bei einer mittig angreifenden Einzelkraft
- Auswertung bzw. Abschätzung der Verbesserung der Tragfähigkeit gegenüber der Aufwendung

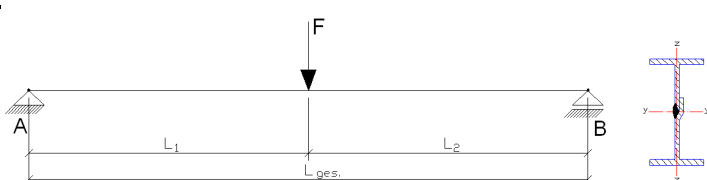
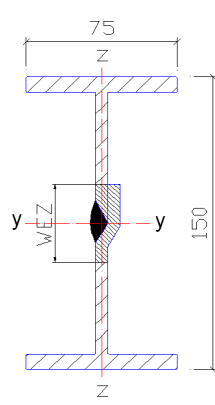
				
Produktform	2*EP (stranggepresst)	Profiltyp	Materialstärke Gurt [mm]	Materialstärke Steg [mm]
Legierung	7020	Variante 1.4	4	4
Zustand	T6	Variante 2.4	6	6
Elastizitätsgrenze:	$f_o = 29 \text{ kN/cm}^2$	Variante 3.4	8	8
Bruchgrenze:	$f_u = 35 \text{ kN/cm}^2$	Variante 4.4	10	10
		Variante 5.4	4	6
		Variante 6.4	4	8
		Variante 7.4	4	10
		Variante 8.4	6	4
		Variante 9.4	6	8
		Variante 10.4	6	10
		Variante 11.4	8	4
		Variante 12.4	8	6
		Variante 13.4	8	10
		Variante 14.4	10	4
		Variante 15.4	10	6
		Variante 16.4	10	8

Tabelle 21: Legierung und Materialdicken Variante *.4

Typ	$\beta_{\text{vorh Steg}}$	$\beta_{1,\text{Steg}}=8,35$ $\beta_{2,\text{Steg}}=12,06$ $\beta_{3,\text{Steg}}=16,70$ QS-Steg	$\beta_{\text{vorh Gurt}}$	$\beta_{1,\text{Gurt}}=2,32$ $\beta_{2,\text{Gurt}}=3,71$ $\beta_{3,\text{Gurt}}=4,64$ QS-Gurt	t*reduzierte Flansch- stärke	Einstufung des Gesamt- querschnitts
1.4	14,20	3	8,9	4	2,88	Klasse 4
2.4	9,20	2	5,8	4	5,57	Klasse 4
3.4	6,70	1	4,2	3	-	Klasse 3
4.4	5,20	1	3,3	2	-	Klasse 2
5.4	9,47	2	8,6	4	2,95	Klasse 4
6.4	7,10	1	8,4	4	3,00	Klasse 4
7.4	5,68	1	8,1	4	3,97	Klasse 4
8.4	13,80	3	5,9	4	5,52	Klasse 4
9.4	6,90	1	5,6	4	5,65	Klasse 4
10.4	5,52	1	5,4	4	5,74	Klasse 4
11.4	13,40	3	4,4	3	-	Klasse 3
12.4	8,93	2	4,3	3	-	Klasse 3
13.4	5,36	1	4,1	3	-	Klasse 3
14.4	13,00	3	3,6	2	-	Klasse 2
15.4	8,67	2	3,5	2	-	Klasse 2
16.4	6,50	1	3,4	2	-	Klasse 2

Tabelle 22: Zuordnung der Querschnittsklasse der Variante *.4

Querschnitts,- Widerstandswerte						
Profiltyp	Trägheits- moment	Widerstands- moment el.	Widerstands- moment pl.	Widerstände im Netto-QS	Formfaktor	Widerstände in jeden QS
	$I_{y,\text{haz}} [\text{cm}^4]$	$W_{y,\text{net,haz}} [\text{cm}^3]$	$W_{pl,\text{haz}} [\text{cm}^3]$	$M_{u,\text{Rd}} [\text{kNm}]$		$M_{c,\text{Rd}} [\text{kNm}]$
1.4	414,08	54,79	63,09	<u>1534,2</u>	2,88	4160,2
2.4	592,07	77,71	90,29	<u>2175,8</u>	5,56	11390,6
3.4	757,76	99,39	117,01	<u>2783,0</u>	1,18	3084,7
4.4	909,07	119,16	142,12	<u>3336,5</u>	1,19	3746,8
5.4	456,82	59,68	70,97	<u>1671,0</u>	2,95	4641,3
6.4	502,50	65,35	80,03	<u>1829,9</u>	3,00	5168,9
7.4	548,17	71,04	89,08	<u>1989,1</u>	3,96	7416,6
8.4	553,21	73,31	82,92	<u>2052,7</u>	5,52	10668,9
9.4	633,82	82,86	98,79	<u>2320,2</u>	5,65	12343,0
10.4	675,58	88,02	107,28	<u>2464,6</u>	5,73	13296,6
11.4	684,54	90,83	102,28	<u>2543,3</u>	1,13	2696,5
12.4	719,71	94,73	109,05	<u>2652,4</u>	1,15	2875,0
13.4	795,81	104,06	124,96	<u>2913,7</u>	1,20	3294,4
14.4	808,26	107,32	121,02	<u>3005,0</u>	1,13	3190,5
15.4	839,94	110,76	127,27	<u>3101,2</u>	1,15	3355,4
16.4	874,51	114,96	134,70	<u>3219,0</u>	1,17	3551,1

kleinerer maßgebend

Tabelle 23: Querschnitts,- Widerstandswerte der Variante *.4

Typ	Stützweite l [m]			
	3m	4m	5m	6m
	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]
1.4	13,64	10,23	8,18	6,82
2.4	19,34	14,51	11,60	9,67
3.4	24,74	18,55	14,84	12,37
4.4	29,66	22,24	17,79	14,83
5.4	14,85	11,14	8,91	7,43
6.4	16,27	12,20	9,76	8,13
7.4	17,68	13,26	10,61	8,84
8.4	18,25	13,68	10,95	9,12
9.4	20,62	15,47	12,37	10,31
10.4	21,91	16,43	13,14	10,95
11.4	22,61	16,96	13,56	11,30
12.4	23,58	17,68	14,15	11,79
13.4	25,90	19,42	15,54	12,95
14.4	26,71	20,03	16,03	13,36
15.4	27,57	20,67	16,54	13,78
16.4	28,61	21,46	17,17	14,31

Tabelle 24: maximale aufnehmbare Kraft zur Stützweite der Variante *.4

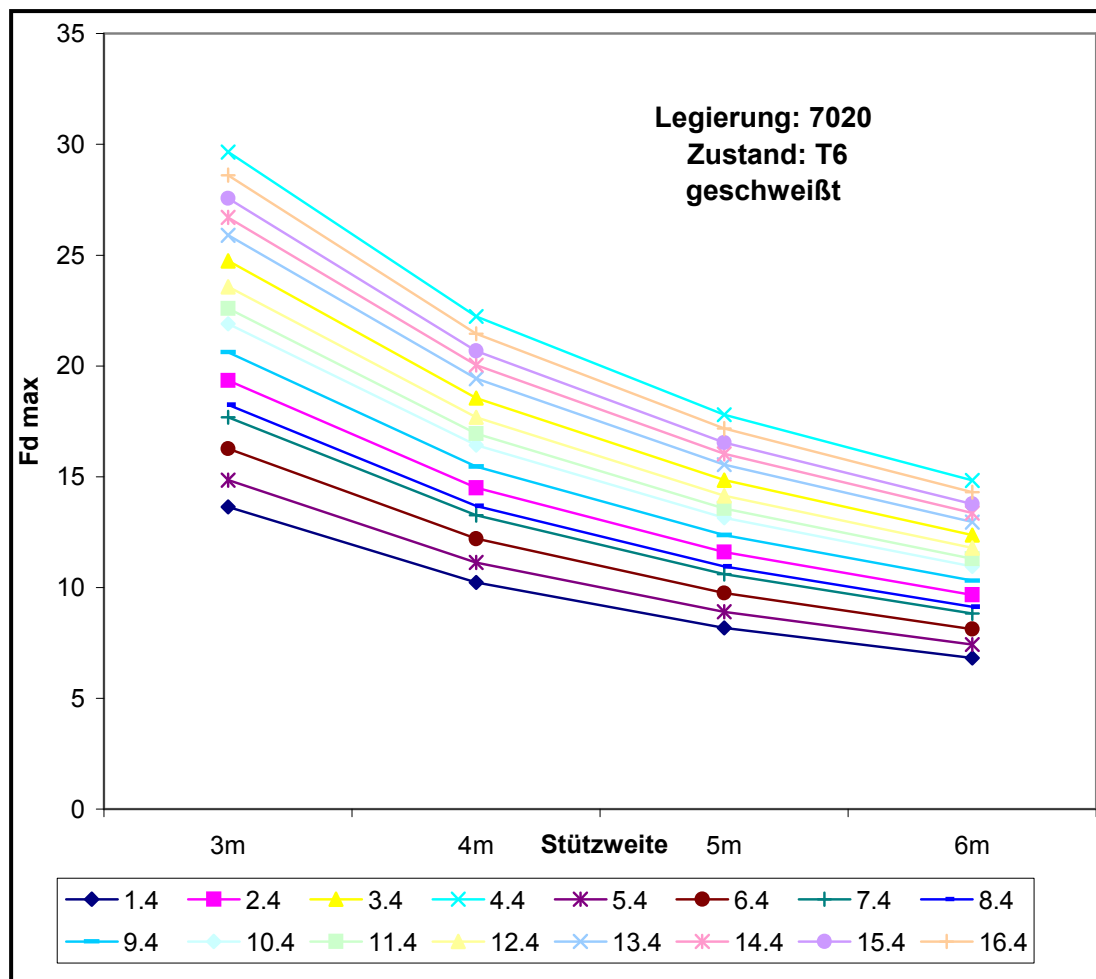


Diagramm 4: graphische Darstellung von Variante *.4

Auswertung:

Hier findet eine Gegenüberstellung des Querschnitts aus der Variante *.3 als geschweißte Ausführung mit der Legierung 6060 Zustand T66 zu der Variante *.4 aus der Legierung 7020 Zustand T6 statt. Dabei wurden die selben Randbedingungen hinsichtlich der Materialstärken und Stützweiten eingehalten. Es ist aus der Tabelle 21 eine Änderung der Querschnittsklassen zu der Tabelle 18 zu entnehmen.

Die Auswahl den Querschnitt aus einer Höherwertigeren Legierung herzustellen zeichnet sich auf das Tragverhalten des Querschnitts Variante *.4 Tabelle 24 wieder.

Hier ist zu erkennen das mit deutlich höheren Belastungen zu rechnen ist wie es bei Variante *.3 Tabelle 20 der Fall ist.

Dieses hat somit die Folge das es bei der Bemessung von Tragwerken einen größeren Spielraum hinsichtlich der Stützweiten gibt.

Man sollte aber auch bedenken das durch den Einsatz einer Höherwertigeren Legierung die Kosten hinsichtlich der Mateialbeschaffung steigen.

Durch das anschließende Zusammenfügen der Profile mit dem Verfahren der Schweißtechnik sind durch den Einsatz einer Höherwertigeren Legierung ebenfalls einige Dinge mit zu beachten.

Da hier andere Verfahrensbedingungen angewendet werden müssen. Daher sollte im Vorfeld eine genaue Abschätzung hinsichtlich dieses Problems erfolgen.

10 Beispiel 3 zur Nachweisführung nach EC9

10.1 Bestimmung der Querschnittsklasse

Belastung: mittige Einzellast

Statisches System: Einfeldträger

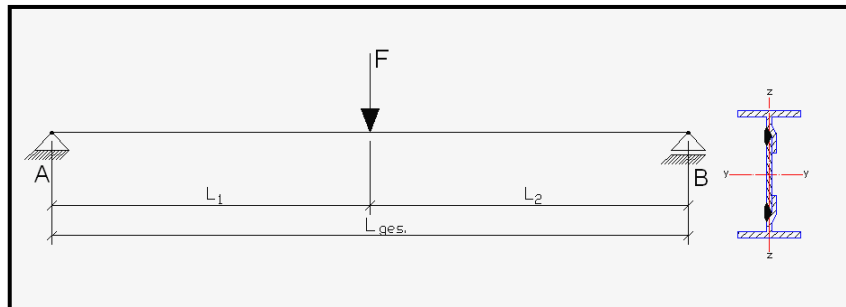


Bild 55: Statisches System

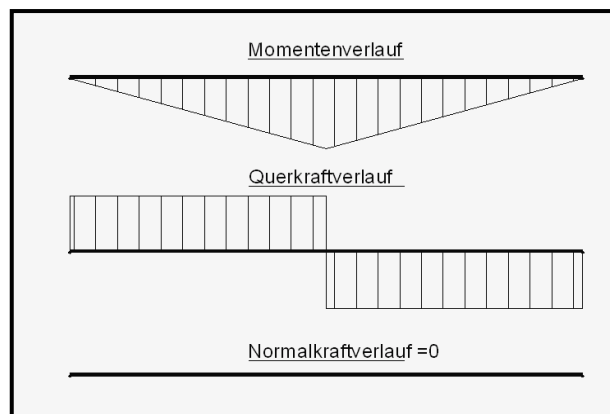


Bild 56: Schnittkräfteverlauf

Profilwerkstoff: EN AW-6060 T66 (AlMgSi0,5 F22)

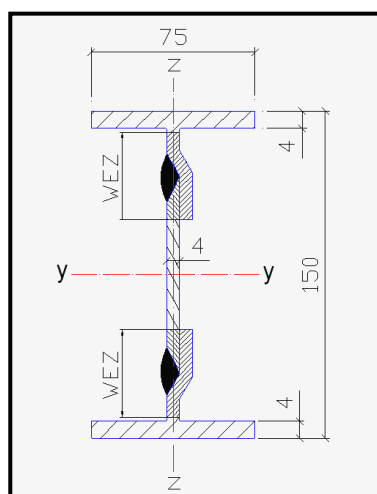


Bild 57: Profilabmessungen

Auswahl der Werkstoffeigenschaften nach EC9-1-1 Tabelle 3.2b

Produktform: 3* Einzelprofile EP (Strang gepresste Profile)
Schweißverfahren: MIG
Legierung: 6060
Zustand: T66
Dicke: $3 > t < 25\text{mm}$

ungeschweißt

→ Elastizitätsgrenze: $f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$
Bruchgrenze: $f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$

geschweißt

→ Elastizitätsgrenze: $f_{o,haz} = 6,5 \text{ kN/cm}^2$
Bruchgrenze: $f_{u,haz} = 11,0 \text{ kN/cm}^2$

→ Beulklasse (BC) = A

Ermittlung des Breiten/Dicken Verhältnisses β_{vorh}

nach EC9-1-1 Abschnitt 6.1.4.3

Steg: ebene innere, beidseitig gehaltene Querschnittsteile mit Nulldurchgang des Spannungsverlaufs in der Mitte

$$\beta_{vorh} = \eta * (b/t)$$

b = Breite des Querschnitts

t = Querschnittsdicke

$\eta = 0,4$ nach EC 9-1-1 Bild 6.2

$$\beta_{vorh} = 0,40 * (142\text{mm}/4\text{mm})$$

$$\underline{\beta_{vorh} = 14,2}$$

Ermittlung der Schlankheitsparameter β_i nach EC9-1-1 Tabelle 6.2

Steg: Innenliegende Teilfläche Klasse A geschweißt

$$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} \quad f_o \text{ in [N/mm}^2\text{]}$$

$$\begin{array}{lll} \varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} & \varepsilon = \sqrt{(250 / 150)} & \underline{\varepsilon = 1,29} \\ \beta_1 = 9 * \varepsilon & \beta_1 = 9 * 1,29 & \underline{\beta_1 = 11,61} \\ \beta_2 = 13 * \varepsilon & \beta_2 = 13 * 1,29 & \underline{\beta_2 = 16,77} \\ \beta_3 = 18 * \varepsilon & \beta_3 = 18 * 1,29 & \underline{\beta_3 = 23,22} \end{array}$$

Auswahl der Querschnittsklasse:

Querschnittsteile in Biegeträgern:

$\beta_{vorh} \leq \beta_1$	Klasse 1
$\beta_1 < \beta_{vorh} \leq \beta_2$	Klasse 2
$\beta_2 < \beta_{vorh} \leq \beta_3$	Klasse 3
$\beta_3 < \beta_{vorh}$	Klasse 4

Steg: $\beta_1 < \beta_{vorh} \leq \beta_2 \rightarrow 11,61 < 14,2 \leq 16,77 = \underline{\text{Querschnittsklasse 2}}$

Flansch: ebene auskragende Querschnittsteile mit maximaler Druckspannung am äußeren Rand

$$\beta_{vorh} = \eta * (b/t)$$

b = Breite des überstehenden Querschnitts
t = Querschnittsdicke

$\eta = 1,0$ nach EC 9-1-1 Bild 6.2

$$\beta_{vorh} = 1,0 * (35,5\text{mm}/4\text{mm}) \quad \underline{\beta_{vorh} = 8,88}$$

Ermittlung des Schlankheitsparameter β_1 nach EC9-1-1 Tabelle 6.2

Flansch: Außenliegende Teilfläche Klasse A geschweißt

$$\varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} \quad f_o \text{ in [N/mm}^2\text{]}$$

$$\begin{array}{lll} \varepsilon = \sqrt{(250 / f_o)} & \varepsilon = \sqrt{(250 / 150)} & \varepsilon = 1,29 \\ \beta_1 = 2,5 * \varepsilon & \beta_1 = 2,5 * 1,29 & \beta_1 = 3,23 \\ \beta_2 = 4 * \varepsilon & \beta_2 = 4 * 1,29 & \beta_2 = 5,16 \\ \beta_3 = 5 * \varepsilon & \beta_3 = 5 * 1,29 & \beta_3 = 6,45 \end{array}$$

Auswahl der Querschnittsklasse:

Querschnittsteile in Biegeträgern:

$\beta_{vorh} \leq \beta_1$	Klasse 1
$\beta_1 < \beta_{vorh} \leq \beta_2$	Klasse 2
$\beta_2 < \beta_{vorh} \leq \beta_3$	Klasse 3
$\beta_3 < \beta_{vorh}$	Klasse 4

Flansch: $\beta_3 < \beta_{vorh} \rightarrow 7,74 < 8,9 = \underline{\text{Querschnittsklasse 4}}$

Bei Bauteilen der Klasse 4 muss ein *reduzierter* Querschnitt ermittelt werden.
nach EC 9-1-1 Abschnitt 6.1.5

$$t^* = \rho_c * t$$

$$\begin{array}{l} \rho_c = 1,0 \quad \text{bei } \beta_{vorh} \leq \beta_3 \\ \text{oder} \\ \rho_c = (C1/(\beta_{vorh}/\varepsilon)) - (C2/(\beta_{vorh}/\varepsilon)^2) \quad \text{bei } \beta_{vorh} > \beta_3 \\ C1 \text{ und } C2 \text{ nach EC 9-1-1 Tabelle 6.3} \end{array}$$

Flansch: Außenliegende Teilfläche Klasse A ungeschweißt

Tabelle 6.3

C1 → 9

C2 → 20

$$\rho_c = (C1/(\beta_{vorh/\epsilon})) - (C2/(\beta_{vorh/\epsilon})^2)$$

$$\rho_c = (9/(8,8/1,29)) - (20/(8,8/1,29)^2)$$

$$\rho_c = 0,889$$

$$t^* = \rho_c * t$$

$$t^* = 0,889 * 4\text{mm} \rightarrow \underline{t^* = 3,5}$$

Die Querschnittsklasse des gesamten Querschnitts entspricht der größten Querschnittsklasse der einzelnen Bleche des Querschnitts.

Der vorliegende Querschnitt ist daher der Querschnittsklasse 4 zuzuordnen

10.2 Querschnittsnachweise

1. Auswahl der Werkstoffeigenschaften nach EC9-1-1 Tabelle 3.2b

Produktform: 3* Einzelprofile EP (Strang gepresste Profile)

Schweißverfahren: MIG

Legierung: 6060

Zustand: T66

Dicke: $3 > t < 25\text{mm}$

ungeschweißt

→ Elastizitätsgrenze: $f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$

Bruchgrenze: $f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$

geschweißt

→ Elastizitätsgrenze: $f_{o,haz} = 6,5 \text{ kN/cm}^2$

Bruchgrenze: $f_{u,haz} = 11,0 \text{ kN/cm}^2$

2. Querschnittswerte

Faktor zur Festigkeitsabminderung in der WEZ nach Tab. 3.2.b

$p_{o,haz} = 0,43$

$p_{u,haz} = 0,56$

Reduzierte Dicke in der WEZ

$$t_{eff} = t_{Steg} * p_{o,haz}$$

$$t_{eff} = 4\text{mm} * 0,43 = \underline{1,72 \text{ mm}}$$

Breite der WEZ nach Kap. 6.1.6.3

$$0 < t \leq 6 \text{ mm} \rightarrow b_{haz} = 20 \text{ mm}$$

$$6 < t \leq 12 \text{ mm} \rightarrow b_{haz} = 30 \text{ mm}$$

$$12 < t \leq 25 \text{ mm} \rightarrow b_{haz} = 35 \text{ mm}$$

$$t \geq 25 \text{ mm} \rightarrow b_{haz} = 40 \text{ mm}$$

$$0 < 4 \leq 6 \text{ mm} \rightarrow \underline{b_{haz} = 20 \text{ mm}}$$

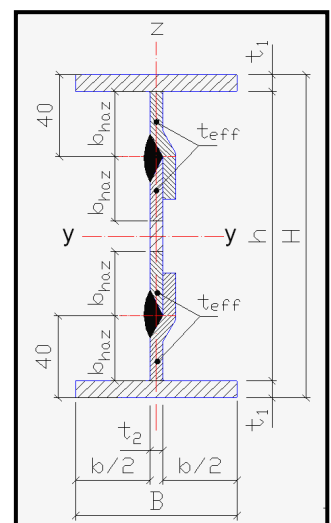


Bild 58: Profilquerschnitt

→ **elastisches Widerstandsmoment
mit Einfluss der WEZ**

$$W_{Y,net,haz} = 54,18 \text{ cm}^3$$

$$I_{y,haz} = 412,86 \text{ cm}^4$$

→ **plastisches Widerstandsmoment
mit Einfluss der WEZ**

$$W_{y,pl,haz} = \sum (A_i \cdot z_i) \text{ in } [\text{cm}^3]$$

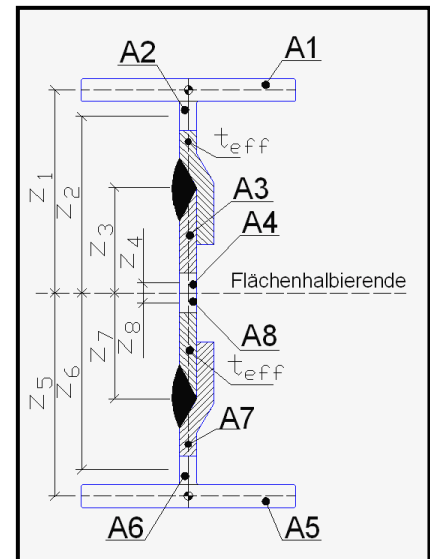


Bild 59: Profilquerschnitt

$$W_{y,pl,haz} = 57,22 \text{ cm}^3$$

3. Berechnung des Bemessungswertes der Einwirkung M_{ed}

$$M_{ed} = \frac{\gamma_F \cdot F \cdot l}{4} \quad \text{mit } \gamma_F = 1,5$$

$$M_{ed} = 1,5 \cdot \frac{1 \text{ kN} \cdot 300 \text{ cm}}{4} \quad \underline{M_{ed} = 112,5 \text{ kNcm}}$$

4. Bestimmung Formfaktor α EC 9-1-1 Tab.6.4

$$\alpha_{4,w} = W_{eff,haz} / W_{el}$$

nach Tabelle 6.3 mit

$$C1 \rightarrow 9$$

$$C2 \rightarrow 20$$

$$W_{eff,haz} = W_{el,haz} \cdot (p_c \cdot t)$$

$$p_c = \{ [C_1 / (\beta / \epsilon)] - [C_2 / (\beta / \epsilon)^2] \}$$

$$p_c = \{ [9 / (8,9/1,29)] - [20 / (8,9/1,29)^2] \}$$

$$\underline{p_c = 0,8843}$$

$$W_{eff,haz} = 54,18 \text{ cm}^3 \cdot (0,884 \cdot 4 \text{ mm})$$

$$\underline{W_{eff,haz} = 191,64 \text{ cm}^3}$$

$$\alpha_{4,w} = 191,64 \text{ cm}^3 / 54,18 \text{ cm}^3$$

$$\underline{\alpha_{4,w} = 3,537}$$

5. Berechnung der Widerstände nach EC 9-1-1 Kap.6.2.5

- im Nettoquerschnitt

$$M_{u,Rd} = \frac{W_{y,net,haz} * f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{mit} \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$M_{u,Rd} = \frac{54,18 \text{ cm}^3 * 19,5 \text{ kN/cm}^2}{1,25}$$

$$M_{u,Rd} = \underline{845,3 \text{ kNcm}}$$

- in jedem Querschnitt

$$M_{c,Rd} = \frac{\alpha * W_{y,net,haz} * f_o}{\gamma_{M1}} \quad \text{mit} \quad \gamma_{M1} = 1,1$$
$$\alpha = 3,54$$

$$M_{c,Rd} = \frac{3,54 * 54,18 \text{ cm}^3 * 15 \text{ kN/cm}^2}{1,1}$$

$$M_{c,R} = \underline{2215,4 \text{ kNcm}}$$



unter einachsige Biegung wird der kleinere der Werte angesetzt

$$M_{u,Rd} = 845,3 \text{ kNcm}$$
$$M_{c,Rd} = 2615,6 \text{ kNcm}$$



M_{Rd} = kleiner Wert von beiden

6. Nachweis des Querschnitts

$$M_{Ed} / M_{Rd} \leq 1,0$$
$$M_{Ed} = 112,5 \text{ kNcm}$$
$$M_{Rd} = \underline{845,3 \text{ kNcm}}$$

$$112,5 \text{ kNcm} / 845,3 \text{ kNcm}$$

$$= 0,14 \leq 1,0$$

10.3 Gegenüberstellung der beiden geschweißten Ausführungen

Aufgabe: - Gegenüberstellung von

Variante *.3 (1 mal geschweißt)

Variante *.5 (2 mal geschweißt)

aus der Legierung 6060, Zustand T66

- Veränderung der Materialdicken im Steg wie auch Gurt

Ziel:

- Untersuchung der max Belastung bei unterschiedlichen Stützweiten bei einer mittig angreifenden Einzelkraft
- Auswertung bzw. Abschätzung der Verbesserung der Tragfähigkeit gegenüber der Aufwendung

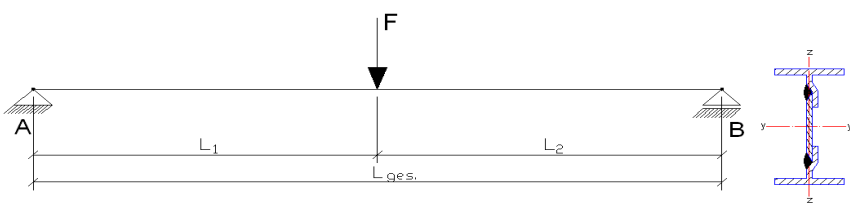
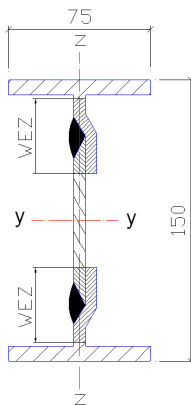
				
Produktform	3*EP (stranggepresst)	Profiltyp	Materialstärke Gurt [mm]	Materialstärke Steg [mm]
Legierung	6060	Variante 1.5	4	4
Zustand	T66	Variante 2.5	6	6
Elastizitätsgrenze:	$f_o = 15 \text{ kN/cm}^2$	Variante 3.5	8	8
Bruchgrenze:	$f_u = 19,5 \text{ kN/cm}^2$	Variante 4.5	10	10
		Variante 5.5	4	6
		Variante 6.5	4	8
		Variante 7.5	4	10
		Variante 8.5	6	4
		Variante 9.5	6	8
		Variante 10.5	6	10
		Variante 11.5	8	4
		Variante 12.5	8	6
		Variante 13.5	8	10
		Variante 14.5	10	4
		Variante 15.5	10	6
		Variante 16.5	10	8

Tabelle 25: Legierung und Materialdicken Variante *.5

Typ	β_{vorh} Steg	$\beta_{1,\text{Steg}}=11,61$ $\beta_{2,\text{Steg}}=16,77$ $\beta_{3,\text{Steg}}=23,22$ QS-Steg	β_{vorh} Gurt	$\beta_{1,\text{Gurt}}=3,23$ $\beta_{2,\text{Gurt}}=5,16$ $\beta_{3,\text{Gurt}}=6,45$ QS-Gurt	t* reduzierte Flanschstärke	Einstufung des Gesamtquerschnitts
1.5	14,20	2	8,9	4	3,5	Klasse 4
2.5	9,20	1	5,8	3	-	Klasse 3
3.5	6,70	1	4,2	2	-	Klasse 2
4.5	5,20	1	3,3	2	-	Klasse 2
5.5	9,47	1	8,6	4	3,6	Klasse 4
6.5	7,10	1	8,4	4	3,6	Klasse 4
7.5	5,68	1	8,1	4	3,7	Klasse 4
8.5	13,80	2	5,9	3	-	Klasse 3
9.5	6,90	1	5,6	3	-	Klasse 3
10.5	5,52	1	5,4	3	-	Klasse 3
11.5	13,40	2	4,4	2	-	Klasse 2
12.5	8,93	1	4,3	2	-	Klasse 2
13.5	5,36	1	4,1	2	-	Klasse 2
14.5	13,00	2	3,6	2	-	Klasse 2
15.5	8,67	1	3,5	2	-	Klasse 2
16.5	6,50	1	3,4	2	-	Klasse 2

Tabelle 26: Zuordnung der Querschnittsklasse der Variante *.5

Typ	Trägheitsmoment	Widerstandsmoment el.	Widerstandsmoment pl.	Widerstände im Netto-QS	Formfaktor	Widerstände in jeden QS
	$I_{y,\text{haz}} [\text{cm}^4]$	$W_{y,\text{net,haz}} [\text{cm}^3]$	$W_{pl,\text{haz}} [\text{cm}^3]$	$M_{u,Rd} [\text{kNm}]$		$M_{c,Rd} [\text{kNm}]$
1.5	412,86	54,18	57,22	845,3	3,54	2615,6
2.5	585,92	75,66	78,19	1180,2	1,03	1066,2
3.5	749,55	96,66	100,86	1507,9	1,04	1375,4
4.5	898,81	115,74	121,94	1805,5	1,05	1662,8
5.5	450,67	57,63	58,87	899,0	3,56	2797,5
6.5	494,29	62,62	63,88	976,8	3,64	3108,1
7.5	537,91	67,62	68,90	1054,9	3,70	3411,7
8.5	551,99	72,70	77,09	1134,2	1,06	1051,2
9.5	625,61	80,13	82,64	1250,0	1,03	1127,0
10.5	665,32	84,60	87,10	1319,8	1,03	1187,8
11.5	683,32	90,22	96,41	1407,5	1,07	1314,7
12.5	713,56	92,68	96,95	1445,7	1,05	1322,0
13.5	794,55	100,64	104,78	1570,0	1,04	1428,8
14.5	807,04	106,72	115,15	1664,8	1,08	1570,2
15.5	833,79	108,71	115,17	1695,8	1,06	1570,4
16.5	866,30	112,23	118,55	1750,8	1,06	1616,6

kleinerer maßgebend

Tabelle 27: Querschnitts,- Widerstandswerte der Variante *.5

Typ	Stützweite l [m]			
	3m	4m	5m	6m
	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]	$F_{d,max}$ [kN]
1.5	7,51	5,64	4,51	3,76
2.5	9,48	7,11	5,69	4,74
3.5	12,23	9,17	7,34	6,11
4.5	14,78	11,09	8,87	7,39
5.5	7,99	5,99	4,79	4,00
6.5	8,68	6,51	5,21	4,34
7.5	9,38	7,03	5,63	4,69
8.5	9,34	7,01	5,61	4,67
9.5	10,02	7,51	6,01	5,01
10.5	10,56	7,92	6,33	5,28
11.5	11,69	8,76	7,01	5,84
12.5	11,75	8,81	7,05	5,88
13.5	12,70	9,53	7,62	6,35
14.5	13,96	10,47	8,37	6,98
15.5	13,96	10,47	8,38	6,98
16.5	14,37	10,78	8,62	7,19

Tabelle 28: maximale aufnehmbare Kraft zur Stützweite der Variante *.5

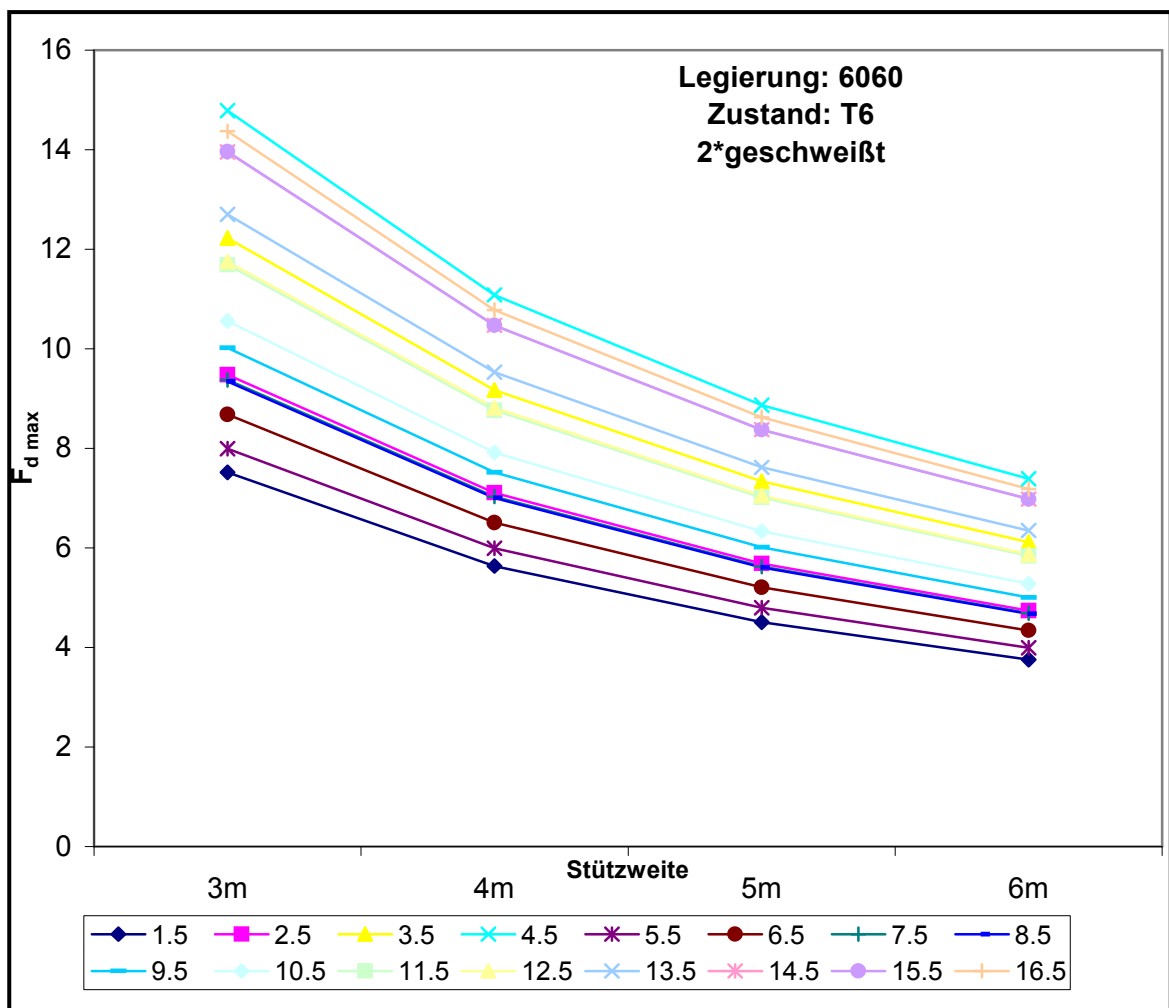


Diagramm 5: graphische Darstellung von Variante *.5

Auswertung:

An Hand des gewählten Querschnitt aus der Variante .3 (1*geschweißt) wurde hier eine Möglichkeit untersucht, um diesen mit der Ausbildung von zwei Schweißnähten herzustellen.

Dabei wurde bei der Auslegung des Profils darauf geachtet, dass eine Schweißbadsicherung beim Herstellungsprozess integriert wurde.

Durch die Teilung des Profils in drei separate Querschnitte lassen sich weitaus höhere Querschnitte als es bei der Variante *.3 der Fall ist zu realisieren.

Bei der Auswertung in Richtung des Tragverhaltens ist folgendes zu beobachten. Die Einteilung der einzelnen Querschnitte in den jeweiligen Klassen aus Variante *.3 Tabelle 18 weisen keine Unterschiede zu Variante *.5 Tabelle 26 auf.

Da bei der Einteilung der Querschnittsklassen die Anzahl der Profiltellungen keinen Einfluss auf die Berechnung ausübt.

Alle Beispiele aus der Variante *.3 Tabelle 20 zeigen höhere aufnehmbare Belastungen zu den Werten die in der Variante *.5 Tabelle 28 vorliegen.

Dieses ist auf die Reduzierung des Querschnittes durch die bestehende Wärmeeinflusszone zurück zuführen, da warm- und kaltausgehärtete Aluminiumlegierungen bei einer erneuten Wärmebeeinflussung deutliche Festigkeitsabminderungen aufweisen.

Da die Werte aus Tabelle 20 der Variante *.3 unter den Werten der Variante *.5 Tabelle 28 liegen ist durch die Abminderung des Querschnitts an zwei Stellen zu erklären.

Daher tritt in der WEZ ein deutlicher Festigkeitsverlust ein.

Die dabei angenommene Ausdehnung der WEZ ist maßgeblich von den verwendeten Blechdicken und dem angewandten Schweißverfahren abhängig.

Ein weiterer Nachteil dieser Verbindungsart wäre, dass durch den Eintrag der Streckenenergie welche wiederum von dem gewählten Verfahren bzw. den Einstellungs- und Auslegungsparametern der Schweißverbindung abhängig ist, es zur Verformung der Profile kommen kann.

Da bei Variante *.5 die Ausführung mit zwei Schweißnähten gewählt wurde liegt hier somit ein doppelter Eintrag an Streckenenergie vor. Es ist somit mit deutlich höheren Verformungen wie es bei der Variante *.3 der Fall ist zu rechnen.

Daher ist es von großer Bedeutung im Vorfeld dieser Verformung entgegen zu wirken in Form von Vorspannung und Schweißfolgeplänen.

Eine alternative Möglichkeit die Profile miteinander zu Verbinden wären durch eine Schraub- oder Nietvariante zu realisieren.

Bei dieser Art der Verbindung muss eine Betrachtung hinsichtlich der Steifigkeit bei der Auslegung gemacht werden.

11 Eignende Betrachtungen

Bei der Auslegung von Aluminiumtragelementen ist eine Reihe von Betrachtungen hinsichtlich der Metallurgie ,Herstellung und Bemessung zu führen. Aluminium ist ein Werkstoff dessen Ausgangsstoff in Form von Bauxit uns in ausreichender Masse als zu anderen Eisenerzen zur Verfügung steht.

Bei der Herstellung von 1t Aluminium werden 4t Bauxiterz sowie 15.000kw/h elektrische Energie benötig.

Das ist im Gegensatz dreimal soviel wie bei der Stahlherstellung benötigt werden.

Die Vorteile des Aluminiumwerkstoffes liegen bei der Wiederverwendung durch Recycling, da hier nur ein Bruchteil der aufzuwendenden elektrischen Energie benötigt wird. Dieses ist auf den niedrigen Schmelzpunkt den die Aluminiumlegierungen aufweisen zurück zuführen.

Aluminium ist auf Grund seiner geringern Dichte vielseitig einsetzbar.

Dieses hat den enormen Vorteil, dass die damit verbundenen Eigenlasten von Bauwerken und Konstruktionen um ein vielfaches geringer sind.

Durch den Einsatz von Aluminiumtragelementen lassen sich die vielfältigsten Formen unter der Berücksichtigung der Verfahrensspezifischen Parametern von Profilquerschnitten herstellen.

Da Aluminium einen geringeren Elastizitätsmodul aufweist wie es bei Stahlwerkstoffen der Fall ist, muss in Folge dessen dieser bei der Auswahl bzw. Auslegung der Profile berücksichtigt werden.

Durch das Strangpressen als Herstellungsverfahren von Aluminiumprofilen lässt sich diese auftretende Problematik lösen.

Durch eine ausreichende Kontur der Querschnitte im Verhältnis zu den Fertigungskosten kann das Tragverhalten positiv beeinflusst werden.

Bei der weiteren Verarbeitung von Halbzeugen aus Aluminium treten positive wie auch negative Erscheinungsformen in Betracht.

So bestehen zum Beispiel gute Umformeigenschaften und eine bessere spanene Bearbeitung im Vordergrund, was sich auf die daraus kürzeren Fertigungszeiten auswirkt.

Das Verbinden von Aluminiumlegierungen in dem Bereich der Schweißtechnik bewirkt einen nicht unerheblichen Aufwand an Verfahrenstechnik wie auch negative Einflüsse auf die Materialeigenschaften.

Meist sind diese Arbeiten mit sehr hohen Lohnkosten verbunden. Hier sind Überlegungen notwendig, ob diese durch andere Verbindungsmöglichkeiten zu bewerkstelligen sind.

Die Korrosionseigenschaften von Aluminiumlegierungen überwiegen denen des Stahles um ein Vielfaches was sich auf die Korrosionserhaltenden Maßnahmen die wir heute an Bauwerken innerhalb einer Zeitspanne ausführen müssen positiv aus. Es bildet auf der Oberfläche von selbst eine dünne aber dichte und fest haftende Oxidschicht. Durch eine weitere Behandlung der Oberfläche dem Eloxieren wird diese Schicht noch verstärkt.

Setzt man diesen Aufwand der Korrosionserhaltenden Maßnahmen den man bei anderen Konstruktionswerkstoffen betreiben muss mit dem der Profil und Verbindungstechnik von Aluminiumlegierungen gegenüber kommt man zu der Annahme, dass sich Bauwerke und Konstruktionen aus Aluminiumlegierungen auf eine längere Sicht wirtschaftlich günstiger gestalten.

12 Literaturverzeichnis

Bücher

- Bargel, Hans Jürgen; Schulze, Günter: Werkstoffkunde. - 7.Aufl.
- Berlin; Heideberg; New York; Barcelona; Hongkong; London; Mailand;
Paris; Singapur; Tokio: Springer, 2000
- Ignatowitz, Eckhard: Werkstofftechnik für Metallbauberufe. –3.Aufl.
-Hann- Gruiten: Europa Lehrmittel, 1997
- Koser, Jaroslav: Konstruieren mit Aluminium.
- Düsseldorf: Aluminium - Verlag, 1990
- Lass, Jan- F.: Untersuchung zur Entwicklung einer magnesiumgerechten
Strangpresstechnologie. - Norderstedt: Books on Demand GmbH, 2005
- Ostermann, Friedrich: Anwendungstechnologie Aluminium. – 2.Aufl.
- Berlin; Heideberg; New York: Springer, 2007
- Sapa: Handbuch für Konstrukteure. -1.Aufl. : J&L Annonbyra AB, 1997
- Uhlmann, M.: Werkstoffe und deren Verhalten. – Halle: SLV Halle, 2006

Internetquellen

- Arbeitskreis Leichtmetall des Fachausschusses Strangpressen der DGM:
Technische Lieferrichtlinien Warmarbeitsstähle zum Bau von
Strangpresswerkzeugen
<http://dgm.de/dgm/images/tech_richtlinien.pdf>
- CORUS Aluminium Profiltechnik GmbH: Aluminium Strangpressen
<http://burg-halle.de/englich/netzwerk-halle/report/alu_profil.pdf>
- Forschungszentrum Strangpressen (FZS) TU Berlin: Direktes Strangpressen
<<http://fzs.tu-berlin.de>>
- Universität Duisburg- Essen: Aluminium und - legierungen
<[http:// uni-due.de/imperia/md/content/werkstofftechnik/sk_wtii_ss08_aluminium.pdf](http://uni-due.de/imperia/md/content/werkstofftechnik/sk_wtii_ss08_aluminium.pdf)>
- Siegert, Klaus: C Strang- und Rohrpressverfahren
<http://i-basis.de/shop/firmen/alu_verlag/medien/leseprobe_22216.pdf?administration=hgd7k8pra06dhcmuc8vtjio5c5>

Hochschulschriften

- Klobes, Benedikt : Untersuchungen zu Frühstadien der Ausscheidungsbildung in AlMgSi- Legierungen. –2007. – 97 S.
Bonn, Universität, Mathematisch- Naturwissenschaftlichen Fakultät.

Normen

- DIN EN 515 Halbzeuge
Ausgabe: 1993-12
- DIN EN 573-3 chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug
Ausgabe:2003-10
- DIN EN 755-2 Stranggepresste Stangen,Rohre und Profile
Ausgabe : 2008-06
- DIN EN 755-9 Stranggepresste Stangen, Rohre und Profile
Ausgabe : 2001-07
- prEN 1999-1-1 Bemessung und Konstruktion von Aluminiumbauten
Ausgabe :2006

13 Erklärung zur selbständigen Arbeit

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Wittenberg den, 23.02.2009

Bearbeitungsort, Datum

Unterschrift: Stefan Schildhauer