



european
aluminium association

ALUMINIUM IM NUTZFAHRZEUGBAU





Vaccari Giovanni

Giovanni
Vaccari

SPEDIZIONI & EVENTI
TEL. 0408671221

5

124L

420

BK-241NA

VORWORT

“Aluminium im Nutzfahrzeugbau” wurde zusammengestellt durch die European Aluminium Association als Antwort auf die Fragen von Herstellern und Betreibern von Nutzfahrzeugen und Zubehörteilen. Es ist ein Kompendium aus Basisinformationen solcher Aspekte von Aluminium wie:

- Gründe für den Einsatz von Aluminium
- Die wichtigsten Walz-, Strangpress- und Gusslegierungen; deren Eigenschaften, mechanische Charakteristiken usw.
- Der Entwurf und die Berechnung von Bauteilen, Ermüdung und Crashverhalten
- Das Fügen von Halbzeugen: Verarbeitung, Schweißen und andere Fügeverfahren
- Die Korrosionsbeständigkeit von Aluminiumlegierungen unter Einsatzbedingungen
- Oberflächenbehandlungen
- Reinigung und Reparatur

Dieses Handbuch ist speziell für Konstrukteure und Prozessingenieure, Instandhaltungs- und Wartungsfachkräfte und generell für jeden mit Interesse an den Anwendungsmöglichkeiten und der Entwicklung von Aluminium im Nutzfahrzeugbau entworfen worden.

Aufgrund der Limitierung eines Gesamtwerkes auf die wichtigsten Zusammenhänge war es nicht möglich, auf alle Aspekte im Einzelnen detailliert einzugehen. Unser Ziel war es, die aktuellsten Fragestellungen zu präsentieren und wir haben jeweils auf die relevanten Normen verwiesen, die der Leser für tiefergehendere Fragen nutzen kann.

Die Informationen in dieser Veröffentlichung sind genereller Natur und können nicht zur Beantwortung konkreter detaillierter technischer oder wissenschaftlicher Aspekte verwendet werden. Die European Aluminium Association kann nicht für jedwede Schäden oder Kosten, die aus Nutzung dieser Veröffentlichung entstanden sind, haftbar gemacht werden. Für zusätzliche Informationen kontaktieren Sie bitte Ihren Aluminiumlieferanten, um spezielle Fragen mit den entsprechenden Experten diskutieren zu können.

INHALT



I. VORWORT 3

II. ALUMINIUM IM TRANSPORTWESEN 7

1. Ein Jahrhundert Aluminium im Transportwesen 8
2. Die Entwicklung von Nutzfahrzeugen 12
3. Aluminumanwendungen und Gewichtsersparnis 13
4. Heutige Aspekte 13



III. GRÜNDE FÜR DEN EINSATZ VON ALUMINIUM 15

1. Kurze Amortisationszeit 16
2. Leistungsfähigkeit von Aluminium 18
3. Umweltfreundlichkeit und sozialer Nutzen 22
4. Auf der Strasse... 25



IV. HÄUFIG GESTELLTE FRAGEN 29

1. Aluminium 30
2. Aluminium- Chassis 32
3. Aluminium- Muldenkipper 35
4. Aluminium- Tankfahrzeuge 37



V. ALUMINIUMLEGIERUNGEN FÜR DEN NUTZFAHRZEUGBAU 39

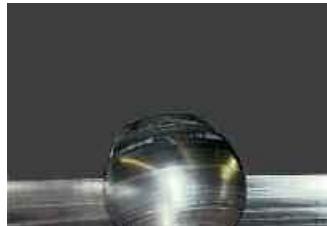
1. Vorwort 40
2. Internationale Kennzeichnungssysteme 41
3. Grundlegende Zustandsbezeichnungen 42
4. Unterteilungen der H- Zustandsbezeichnungen 42
5. Unterteilungen der T- Zustandsbezeichnungen 43
6. Typische Legierungen für den Nutzfahrzeugbau 44
7. Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften 50
8. Einfluss der Verarbeitungsmethoden auf die Eigenschaften der Legierungen 52
9. Liste der relevanten Normen 55



VI. ENTWURF UND BERECHNUNG 57

1. Vorwort 58
2. Möglichkeiten mit Aluminium 58
3. Symbole 58
4. Aluminium vs. Stahl 59
5. Grenzzustand der Tragfestigkeit 62
6. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit 64
7. Grenzbelastung 64
8. Ermüdungsverhalten 76
9. Spezielle Designfragen 86
10. Referenzen 89





VII. VERARBEITUNG	91
1. Vorwort	92
2. Verarbeitung von Aluminiumblechen	93
3. Verarbeitung von Aluminiumprofilen	98
4. Bohren	102
5. Gewindeschneiden	103
6. Tiefziehen	104
7. Rotationsumformen ("Drücken", "Bördeln" und "Kümpeln")	105



VIII. SCHWEIßEN	107
1. Vorwort	108
2. WIG- Schweißen (Wolfram- Inert- Gas)	109
3. MIG- Schweißen (Metall - Inert -Gas)	110
4. Plasma MIG- Schweißen	118
5. Laserschweißen	118
6. Laser- MIG- Schweißen	119
7. Widerstandsschweißen	120
8. FSW - Reibrührschweißen	120
9. Schweißnahtvorbereitung	122
10. Qualitätsprüfung	123
11. Design und Vermeidung von Deformationen	126



IX. ANDERE FÜGEVERFAHREN	129
1. Kleben	130
2. Schrauben und Bolzen	133
3. Nieten	133
4. Schnappverbindungen	135



X. OBERFLÄCHENBEHANDLUNGEN	137
1. Vorwort	138
2. Möglichkeiten mit Aluminium	138
3. Mechanische Oberflächenbehandlungen	139
4. Chemische Oberflächenbehandlungen	141



XI. KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT	145
1. Definition von Korrosion	146
2. Korrosion von Aluminium	146



XII. REINIGUNG VON ALUMINIUMFAHRZEUGEN	153
1. Vorwort	154
2. Ursachen für Schmutzflecken	154
3. Anwendung des Reinigungsmittels	155
4. Reinigungsverfahren	155



XIII. REPARATUR VON ALUMINIUM- NUTZFAHRZEUGEN	157
1. Vorwort	158
2. Ausführung von Reparaturen	159
3. Reparatur von Aluminium- Fahrgestellen	159
4. MIG und WIG- Schweißnahtreparaturen	160

Liste der Autoren und Quellen von Fotos und Tabellen	.162
--	------



KAPITEL II

ALUMINIUM IM TRANSPORTWESEN

1. EIN JAHRHUNDERT ALUMINIUM IM TRANSPORTWESEN	8
2. DIE ENTWICKLUNG DES NUTZFAHRZEUGBAUS	12
3. ALUMINIUM- ANWENDUNGEN UND GEWICHTSERSPARNIS	13
4. HEUTIGE ASPEKTE	13

1. Ein Jahrhundert Aluminium im Transportwesen



Airbus A380

Im Jahr 1903 schrieben die Gebrüder Wright Luftfahrtgeschichte, als ihnen der erste motorisierte Flug mit Hilfe eines Leichtgewicht-Motors mit Aluminium-Bauteilen gelang. Heut-

zutage ist der Flugzeugbau ohne Aluminium undenkbar. Es macht mehr als 60% des strukturellen Gewichts des Airbus A380 und bis zu 80% des von Kurz- und Mittelstreckenflugzeugen aus. In

den 20er Jahren des vorigen Jahrhunderts begann der Einsatz von Aluminium im Schiffbau durch die Entwicklung von neuen, seewasserbeständigen Legierungen.

Kreuzfahrtschiff mit Aluminium- Decksaufbauten



Heutzutage sind mehr als 1000 Hochgeschwindigkeits- Passagierschiffe im Einsatz, deren Rumpf und Deckaufbauten aus Aluminium bestehen. Die oberen Deckaufbauten von Kreuzfahrtschiffen werden heute normalerweise ebenfalls aus Aluminium gebaut, wohingegen mehr als die Hälfte aller privaten Jachten komplett aus Aluminium gefertigt werden. Alle diese Schiffe nutzen die vielen Vorteile von Aluminium wie Leichtigkeit bei hoher Festigkeit und hoher Korrosionsbeständigkeit, einer Grundvoraussetzung für maritime Umgebungen.

Katamaran UAI 50 (Babcock)



TGV Duplex (Alstom - SNCF)



In den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts stellte sich Aluminium als das bevorzugte Metall zur Verringerung der Unterhalts- und Betriebskosten und zur Verbesserung des Beschleunigungsverhaltens von U- Bahnen und

Straßenbahnen, Intercity- und Hochgeschwindigkeitszügen heraus. 1996 wurde der TGV Duplex eingeführt, der aufgrund der intensiven Nutzung von Aluminiumbauteilen 40% mehr Passagiere bei 12% geringerem

Gewicht als die Einzeldeckversion transportieren kann. Heutzutage verkehren Aluminium-U- und Straßenbahnen in vielen Städten der Welt und Alumini umzüge überall in der Welt.



Aluminium- Motorhaube

1899 wurde ein kleiner Sportwagen mit einer Aluminiumkarosserie auf der Berliner Automobil-Ausstellung enthüllt. 1948 begann Land Rover mit der Verwendung von Aluminium als Karosserie - Außenbleche. Heutzutage beinhalten neben den wohlbekannten, aluminium-intensiven Autos wie dem Audi A8, nahezu alle Fahrzeuge signifikante Mengen an Aluminium.

Die durchschnittliche Menge an Aluminium in Personenkraftwagen betrug im Jahr 2005 schon 131 kg.

Im selben Jahr wies ein Viertel aller in Europa produzierten PKW eine Aluminium-Motorhaube auf und ein Drittel aller europäischen Fahrzeuge war mit einem Aluminium-Stoßfänger-System ausgerüstet.

Aluminium- Stoßfänger- Modul, vorbereitet für den Crash- Test

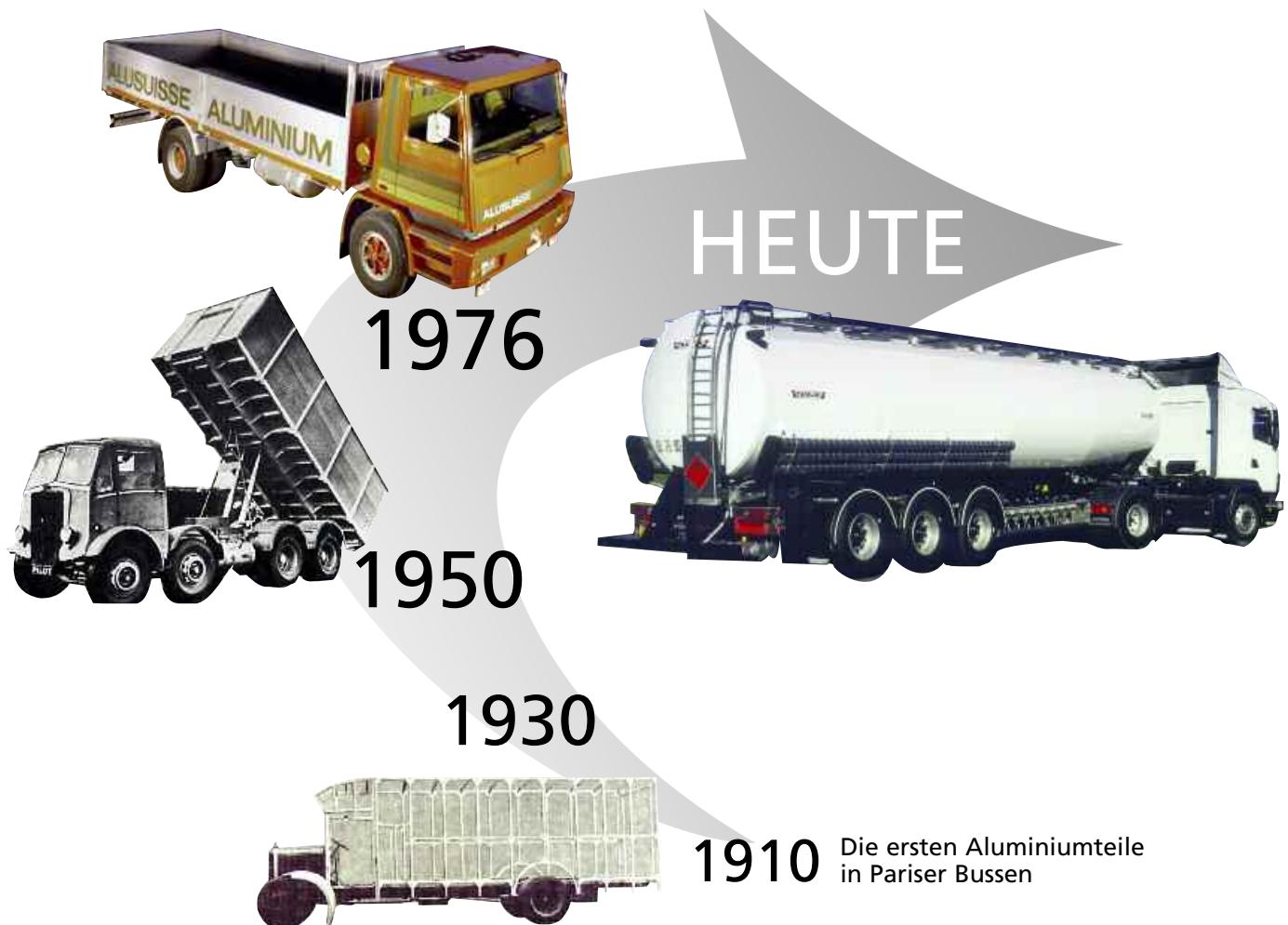


2. Entwicklung von Nutzfahrzeugen

Nach seinem Debut als Werkstoff für den Bau von Bussen für die Stadt Paris im Jahr 1910 wurde Aluminium in den 30er Jahren in einer Vielzahl von Bau- teilen von Nutzfahrzeugen eingesetzt. Die 1950er Jahre sahen

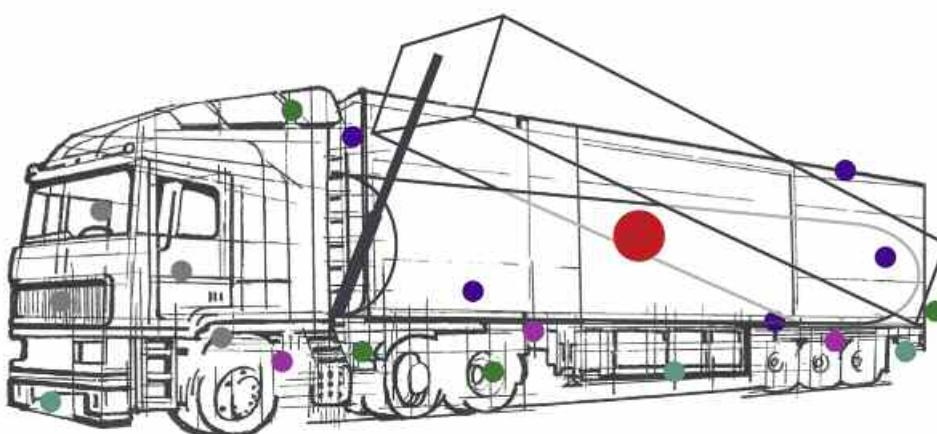
die ersten Aluminiumtankfahrzeuge, Kofferfahrzeuge und Muldenkipper. Heutzutage werden die meisten Tankfahrzeuge und Silofahrzeuge komplett aus Aluminium gefertigt. Es wird ebenfalls häufig für Kofferauf-

bauten, Kipp- und Selbstentla- deaufbauten und eine Vielzahl von Komponenten eingesetzt. Betrachtet man die heutige Nutzfahrzeugflotte, so spart Alu- minium durchschnittlich 800 kg Gewicht pro Fahrzeug ein.



3. Aluminiumanwendungen und Gewichtersparnis

Einige Beispiele:



- Sattelzug- und Lastwagenkomponenten
 - Kabine und Türen: -200 kg
 - Fahrgestell: -350 kg
 - Antriebsteile: -125 kg
 - Aufhängungsteile: -110 kg

- Aufbauten
 - Geschlossener Aufbau: $90 \text{ m}^2 = -800 \text{ kg}$
 - Mulden: -800 bis -2000 kg
 - ADR Tank: $43.000 \text{ l} = -1100 \text{ kg}$
 - Schubboden Aufbau
 - Silo

- Aufbautenkomponenten
 - Planenschiene: $2 \times 13.5 \text{ m} = -100 \text{ kg}$
 - Vorderwand: -85 kg
 - Hecktür: -85 kg
 - Seitenwände: $600 \text{ mm} = -240 \text{ kg}$
 - Rungen: $10 \times 600 \text{ mm} = -50 \text{ kg}$

- Sicherheitsteile
 - Vordere Stoßstange: -15 kg
 - Hintere Stoßstange: -15 kg
 - Seitlicher Unterfahrschutz: -20 kg
 - Vorderer und hinterer Unterfahrschutz

- Auflieger-Unterbauten
 - Fahrgestell: $13.5 \text{ m} = -700 \text{ kg}$
 - Fahrgestell: $6 \text{ m} = -300 \text{ kg}$
 - Fahrgestell und Boden: $13.5 \text{ m} = -1100 \text{ kg}$
 - Sattelstützen: -35 kg

- Zubehör
 - Druckluftbehälter: $6 \times 60 \text{ l} = -54 \text{ kg}$
 - Treibstofftank: $600 \text{ l} = -35 \text{ kg}$
 - Werkzeugkasten: -15 kg
 - Hecklift: -150 kg
 - Räder: $14 \text{ Felgen} = -300 \text{ kg}$

4. Heutige Aspekte

Der wichtigste Aspekt für Transportunternehmen ist die Rentabilität.

Die steigenden Dieselpreise und die Investition in neue Motortechnologien lassen die Kosten steigen, während es zunehmend schwieriger wird, die Transportpreise in einem Umfeld starken Wettbewerbs zwischen den Speditionen zu erhöhen.

Eine Investition muß daher eine sehr kurze Amortisationszeit aufweisen.

Konsequenterweise müssen die Fahrzeughersteller ständig ihre Leistungsfähigkeit zu minimalen Kosten verbessern. Die Auswahl eines Werkstoffs hängt daher von seinem Preis, seinen mechanischen Eigenschaften und seinem Einfluss auf die Fertigungskosten eines Fahrzeugs ab.

Aus gesellschaftlicher Sicht stehen Energieeffizienz, Reduzierung von Treibhausgasen und Verkehrssicherheit in der Prioritätsliste der europäischen Behörden ganz oben.

Kapitel III erläutert, wie Aluminium hilft, diese Herausforderungen anzunehmen.



KAPITEL III

GRÜNDE FÜR DEN EINSATZ VON ALUMINIUM

1.	KURZE AMORTISATIONS- ZEIT	16
1.1.	Erhöhung des Ladegewichtes + höherer Wiederverkaufswert = Zusätzliches Einkommen	16
1.2.	Kraftstoffersparnis + Langlebigkeit + verringerte Wartungskosten = Kostenersparnis	16
1.3.	Machen Sie Ihre eigene Berechnung auf www.alutransport.eu	16
1.4.	Mautgebühren	17
1.5.	Geringes Risiko von Arbeitsunfällen	17
2.	LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON ALUMINIUM	18
2.1.	Hohes Festigkeit zu Gewicht- Verhältnis und hohes Steifigkeit zu Gewicht- Verhältnis	18
2.2.	Langlebigkeit	19
2.3.	Stabilität	20
2.4.	Vielfältigkeit und Funktionalität von Halbzeugen, Guß- und Schmiedeteilen ..	20
2.5.	Einfache Verarbeitbarkeit	21
3.	UMWELTFREUNDLICHKEIT UND SOZIALER NUTZEN	22
3.1.	Aluminium reduziert CO₂ - Emissionen	22
3.2.	Aluminium als Ergänzung zu EURO IV und EURO V Motoren	22
3.3.	Aluminium verbessert die Sicherheit auf den Strassen	23
3.4.	Aluminium ist leicht und günstig zu recyceln	24
4.	AUF DER STRASSE...	25
4.1.	Für immer ein attraktives Erscheinungsbild	25
4.2.	Aluminium ist leicht zu reparieren	26

1. Kurze Amortisationszeit

1.1. Erhöhung des Ladegewichtes + höherer Wiederverkaufswert = zusätzliches Einkommen

Aluminium reduziert das Leerge wicht eines Nutzfahrzeugs. Beim Transport von Fracht mit hohem Eigengewicht, welches zu einer Beladung bis an die Grenze des Maximalgewichtes führt, hilft Aluminium, mehr Ladung zu transportieren. Dies führt zu zusätzli-

chem Einkommen und / oder besserer Wettbewerbsfähigkeit.

Zusätzlich dazu haben Fahrzeuge aus Aluminium beim Weiterverkauf auf dem Gebrauchtfahrzeugmarkt auch in zweiter oder dritter Hand noch einen hohen

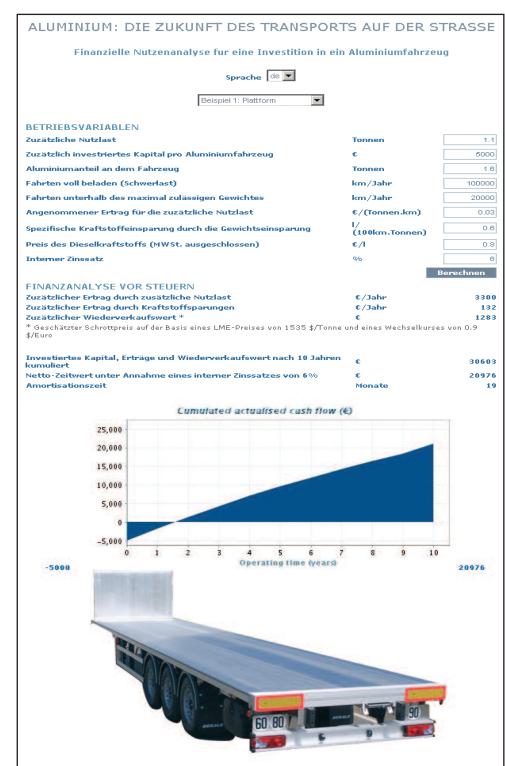
Wiederverkaufswert. Selbst am Ende ihres Fahrzeuglebens haben sie immer noch einen hohen Schrottwert. Dies hängt damit zusammen, daß Aluminium einfach, ohne Qualitätseinbußen und mit 5% des ursprünglichen Energiebedarfes zu recyceln ist.

1.2. Kraftstoffersparnis + Langlebigkeit + verringerte Wartungskosten = Kostenersparnis

Eine Studie der IFEU¹ in Zusammenarbeit mit der TU Graz² kam zu dem Ergebnis, dass 1 t Gewichtersparnis bei einem Nutzfahrzeug zu einer Kraftstoffersparnis von 0,6 l / 100 km führt. Diese Ersparnis tritt bei Fahrten mit einem Gewicht unterhalb des Maximalgewichts, d.h. beim Transport von Gütern geringem spezifischen Gewichtes, bei Teilladungen oder bei Leerfahrten auf.

Die bekannt gute Korrosionsbeständigkeit von Aluminium ist ein offensichtlicher Vorteil beim Transport auf der Strasse: Es trägt zu einer langen Nutzungsdauer bei, insbesondere bei Fahrzeugen, die in einer Umgebung mit stark korrosiver Umwelt betrieben werden. Es wird keine Lackierung oder sonstige Oberflächenbehandlung benötigt und das Fahrzeug ist einfacher zu reinigen. Die

Wartungskosten beschränken sich daher auf ein Minimum.



1.3. Machen Sie Ihre eigene Berechnung auf: www.alutransport.eu

Machen Sie Ihre eigene Kalkulation auf www.alutransport.eu

und sehen Sie sich das nebenstehende Beispiel an.

1. Institut für Energie und Umwelt Forschung, Heidelberg, Deutschland

2. Technische Universität Graz, Österreich



Mautstation

1.4. Mautgebühren

Gemäß dem "Verursacherprinzip" führt eine Vielzahl von Ländern Strassennutzungsgebühren pro gefahrenem Kilometer ein. Die Erhöhung der Nutzlast ermöglicht die Verteilung dieser Gebühren auf eine höhere Tonnage an Fracht.

In Ländern mit Beschränkung der Mautgebühren auf die Klasse der schwersten Nutzfahrzeuge werden häufig sogenannte "Mini-Trailer" eingesetzt, die es durch die Verwendung einer signifikanten Menge an Aluminium erlauben, eine hohe Nutzlast trotz Unterschreitung des mautpflichtigen Gewichtes zu erreichen.

1.5. Verringertes Risiko von Arbeitsunfällen

Bewegliche Teile, die bei jeder Beladung geöffnet oder geschlossen werden müssen, wie z.B. Seitenwände oder Hecktüren, sind leichter zu bewegen, wenn sie aus Aluminium sind. Dies erspart dem Fahrer viel mühsame manuelle Arbeit. Die Verwendung von Profilen mit abgerundeten Kanten oder gekanteten Blechen mit abgerundeten Ecken für die Böden von Kofferfahrzeugen verringert die Verletzungsgefahr.

Mini-Trailer (Tang Fahrzeugbau GmbH)



2. Leistungsfähigkeit von Aluminium

2.1. Hohes Festigkeit zu Gewicht- Verhältnis und hohes Steifigkeit zu Gewicht- Verhältnis

Aluminiumlegierungen, die im Nutzfahrzeugbau eingesetzt werden, haben ein mit anderen modernen Metallen wie hochfestem Stahl oder Titan vergleichbares Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht bzw. Steifigkeit zu Gewicht. Diese Eigenschaften, zusammen mit vielen anderen, müssen bei der Konstruktion eines Fahrzeugs in Betracht gezogen werden.

Eine Gewichtseinsparung durch einfaches Kopieren einer Stahlkonstruktion kann mit Aluminium nicht erreicht werden. Aluminium- optimierte Konstruktionen basieren auf speziellen Profilquerschnitten (20 bis 40% höhere Träger), sanften Übergängen und intelligenten Verbindungsstrukturen, die normalerweise zu Gewichtseinsparun-

gen von 40 - 60% verglichen mit konkurrierenden Metallen führen (s. untenstehendes Beispiel). Um die oberen und unteren Limits des Aluminiumleichtbaus zu veranschaulichen, lassen Sie uns die 2 extremen Äquivalenz-Philosophien "gleiche Festigkeit" und "gleiche Steifigkeit" in Bezug auf einen herkömmlichen Chassis- Träger analysieren:

Vergleich einer gewichts- optimierten Konstruktion aus 3 verschiedenen Metallen und 2 Konstruktionskriterien

DEFINITION			
	Baustahl	hochfester Stahl	Aluminium-legierung
Streckgrenze (MPa)	350	760	250
E- Modul (MPa)	210000	210000	70000
Spez. Gewicht (kg/m³)	7800	7800	2700



GLEICHE FESTIGKEIT			GLEICHE STEIFIGKEIT		
	Baustahl	hochfester Stahl	Aluminium-Legierung	Baustahl	hochfester Stahl
Festigkeit	1	=	1	=	1
Steifigkeit	1	>	0.30	<	0.56
Gewicht	1	>	0.71	>	0.42
Trägerhöhe	1	>	0.65	<	1.18

→ Unfaires Vergleich ! ←

Unlackiertes Aluminium-Patrouillenboot (All American Marine)



Bei gleicher Festigkeit:

- Ist der Aluminiumträger der leichteste, hat aber eine geringere Steifigkeit als der Baustahlträger
- Der hochfeste Stahlträger nimmt den 2. Platz in Bezug auf Gewicht ein, seine Steifigkeit ist aber am geringsten!
- Die Aluminiumlösung ist ca. 60% leichter als die Baustahllösung (0.42 vs. 1) und immer noch 40% leichter als hochfester Stahl (0.42 vs. 0.71).

Bei gleicher Steifigkeit:

- Ist der Aluminiumträger der leichteste mit 45% Gewicht einsparung (0.55 vs. 1)
- Der Träger aus hochfestem Stahl wiegt genauso viel wie der aus Baustahl, da beide Materialien auf demselben Grundwerkstoff mit identischem E- Modul basieren.
- Verglichen mit dem Baustahlträger ist der Aluminiumträger 50% fester, der aus hochfestem Stahl 120%.

Vergleicht man einen Aluminiumträger, der auf gleiche Steifigkeit wie ein Baustahlträger ausgelegt wurde, mit einem einem HSS-Träger, der auf gleiche Festigkeit ausgelegt wurde wie dieser Bau stahlträger, zeigt sich nur eine geringe Gewichtersparnis mit Aluminium (0.55 vs. 0.71); dieser Vergleich ist aber unfair, da der

Aluminiumträger eine wesentlich höhere Festigkeit (1.54 vs. 1) und eine deutlich höhere Steifigkeit (1 vs. 0.30) aufweist.

Zu guter Letzt sei zu erwähnen, daß weitere Gewichtsoptimierungen mit Aluminium möglich sind:

- Der o.g. Vergleich basiert auf einem Standard- Träger, dem sogenannten "Doppel - T"
- Die Finite Elemente Methode erlaubt eine präzisere Festlegung der optimalen Querschnittsgeometrie
- Diese Querschnitte, selbst wenn sie sehr komplex sind, können mit dem Aluminium- Strangpressprozess leicht hergestellt werden
- Bei Teilen, bei denen Festigkeit das ausschlaggebende Kriterium ist, können hochfeste Aluminiumlegierungen eingesetzt werden und so eine weitere Gewichtsreduzierung ermöglichen.

2.2. Lebensdauer

Einige Nutzfahrzeugfotzenbetreiber befürchten immer noch Probleme mit Aluminium- Fahr gestellen in rauen Betriebsbedingungen, doch sie sollten wissen, dass die Lebensdauer bei richtiger Konstruktion nicht werkstoffabhängig ist.

Erfahrene Hersteller optimieren ihre Konstruktionen in Bezug auf das eingesetzte Material und sind so in der Lage, Aluminium-Fahrgestelle zu bauen, deren Lebensdauer ebenso lang oder länger als die herkömmlicher Modelle ist.

Es ist ebenso wichtig zu unterstreichen, dass Aluminiumfahrzeuge oft in Transportsegmenten eingesetzt werden, in dem die Belastungsfaktoren die höchsten sind (feste und flüssige Güter, Straßenbau etc.); mit anderen Worten in Bereichen, wo sie viel intensiver gebraucht werden als

konventionelle Typen. Dieser Fakt muß bei der Konstruktion von Aluminiumfahrzeugen berücksichtigt werden.

Richtig eingesetzt, wurden Aluminiumlegierungen entwickelt, um optimale Korrosionseigenschaften unter allen Umweltbedingungen zu bieten. Nur ein Beispiel: Die weit verbreitete Anwendung von unlackiertem Aluminium in maritimen Anwendungen.

2.3. Stabilität

Die Erreichung der IRTE³ Class A⁴ Kipper-Stabilitätsnorm ist für ein Aluminiumfahrgestell kein Problem. Aluminium hat gemäß den Tests aus dem Sommer 2002 keine Auffälligkeit bezüglich Durchbiegung und erreicht leicht dieselbe Stabilität wie Stahl.

In der Tat bestand ein Ganz-Aluminiumfahrzeug, welches wesentlich leichter als andere war, den IRTE Class A Test mit 44 to mit seinem Standard-Chassis, was deutlich machte, dass ein geeignetes Design sowohl zu Leichtigkeit wie auch zu torsionaler Steifigkeit führen kann.

3. Institute of Road Transport Engineers, GB.

4. "Class A" Norm bedeutet, dass ein voll geladener und aufgerichteter Aufzieher 7° seitlich geneigt werden kann ohne umzukippen



Kipper - Stabilitätstest (STAS)

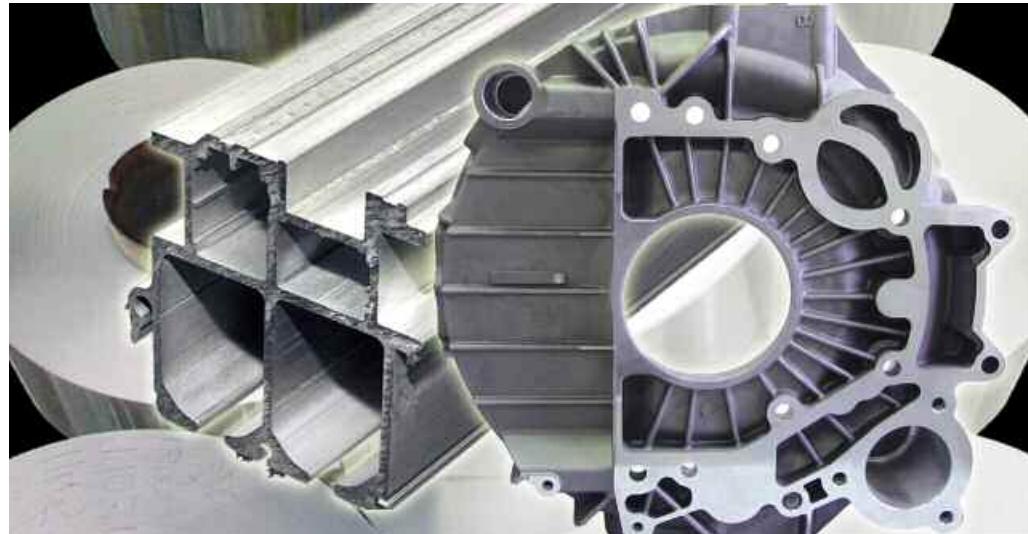
2.4. Vielfältigkeit und Funktionalität von Halbzeugen, Guss- und Schmiedeteilen

Fahrzeugkonstrukteure und Hersteller können aus einer Vielzahl von Halbzeugen auswählen:

- Walzprodukte: Bleche, Rau-
penbleche (Bodenbleche), vorla-
ckierte Bleche

- Stranggepresstes Halbzeug:
Hohle oder durchgängige Profile
in Standard- oder Sonderformen
- Guss- und Schmiedeteile

Verschiedene Aluminium- Produkte



Diese Vielfalt an Halbzeugen ermöglicht:

- Das Design struktureller Elemente mit besonderen Funktionen wie z. B. Formen mit Vertiefungen für Schraubenköpfe, hydraulische Kreisläufe, Clinch-Verbindungen, Schweißnahtflanken etc.
- Das Einsparen von Zeit und Kosten für die Montage und die Endbehandlung. Dieses kann die höheren Kosten für das Vormaterial aus Aluminiumlegierungen verglichen mit Stahlstrukturen kompensieren.
- Die Reduzierung von Schweißspannungen durch das Anbringen von Gussteilen an Verbindungsübergängen oder die Verwendung von speziellen Strang-

pressprofilen zur Verschiebung der Schweißspannungen in Bereiche der fertigen Konstruktion mit geringen Spannungen.

- Das Design komplexer gegossener oder geschmiedeter Formen.

2.5. Einfache Verarbeitbarkeit

Aluminiumlegierungen für die Herstellung von Nutzfahrzeugen oder Zubehör sind leicht zu verarbeiten. Sie ermöglichen eine Vielzahl von Formgebungs- und Fügetechniken, welche in den Kapiteln VII, VIII & IX beschrieben werden.

Kurz gesagt, kann Aluminium einfach

- Geschnitten werden: sägen, schneiden, wasserstrahlschneiden, laser- oder plamaschneiden
- Bearbeitet werden: fräsen, bohren
- Gebogen werden
- Gefügt werden: schweißen, kleben, schrauben, nieten

Weiterhin ist Aluminium aufgrund seines geringen Gewichtes in der Werkstatt leicht zu bewegen.

3. Umweltfreundlichkeit und soziale Aspekte

3.1. Aluminium reduziert CO₂ - Emissionen

Um Emissionsreduzierungen zu ermöglichen, ist es nicht nur wichtig, Motoren mit geringem Schadstoffausstoß zu entwickeln, sondern diese auch auf sinnvollste Weise zu betreiben. Die Gewichtsreduzierung durch den Einsatz von Aluminium ist ein effizienter Weg, dieses Ziel zu erreichen.

Aluminium trägt zur Reduzierung des CO₂ - Ausstoßes der Transportbranche wie folgt bei:

- Beim Transport schwerer Ladung ermöglicht es die Erhöhung der Nutzlast von Fahrzeugen und verbessert durch den Transport von mehr Gütern pro Fahrt die Transporteffizienz. In diesem Fall führt eine Tonne an geringerem Leergewicht eines Nutzfahrzeugs zu einer Ersparnis von 1.500 Liter Diesel pro 100.000 km Fahrleistung.

- Beim Transport großvolumiger Ladung reduziert es das Gesamtgewicht und dadurch den Kraftstoffverbrauch pro Kilometer. In diesem Fall führt eine Tonne an geringerem Leergewicht zu einer Kraftstoffersparnis von 600 Litern Diesel pro 100.000 km.

- Beim Transport von Personen verringern sich das Gesamtgewicht und damit der Kraftstoffverbrauch. Eine Tonne an Gewichtsersparen bei einem Bus im Stadtverkehr spart zwischen 1.700 und 1.900 Liter je 100.000 km.

Unter Berücksichtigung der Primärmetallproduktion, der Verarbeitungskosten und der Wiederverwendbarkeit am Lebensende, wurde die Reduzierung über den Lebenszyklus wie folgt geschätzt:

- 1 kg Aluminium in einem heutigen normalen LKW reduziert den Ausstoß von CO₂ um 28 kg.
- 1 kg Aluminium in einem Stadtbus reduziert den Ausstoß von CO₂ um 40 - 45 kg.

3.2. Aluminium als Ergänzung zu EURO IV und EURO V- Motoren

Die europäischen Umweltdirektiven für LKW datieren zurück ins Jahr 1988, wobei die ersten Regelungen zur Beschränkung der Emissionen von Stickstoffoxiden (NOx) und Rußpartikeln (PM) aus Dieselmotoren zu Beginn der 1990er Jahre eingeführt wurden.

Die EURO IV und EURO V-Regelungen stellen eine dramatische Verschärfung der Richtlinien zur Reduzierung von NOX und PM dar. Sie führten damit zu der Entwicklung neuer Verbrennungstechnologien und Abgasbehandlungssysteme und stellen damit eine Gewichtserhöhung um bis zu 300 kg dar.

Die Verwendung zusätzlicher Aluminiumkomponenten erlaubt es dem Hersteller, diese Gewichtserhöhung zu kompensieren. Die Nutzlast kann somit beibehalten oder sogar gesteigert werden.



LKW mit Crash- Modul



3.3. Aluminium verbessert die Verkehrssicherheit

In Zusammenhang mit ihrem Verkehrssicherheitsprogramm prüft die Europäische Kommission die Einführung von Crash-Energieabsorptionssystemen für Lastkraftwagen. Die Aluminium-industrie hat hierzu schon verschiedene Lösungen für den Automobil- und Schienenverkehr entwickelt und steht bereit, diese auch auf den Nutzfahrzeugsektor zu übertragen.

Bezüglich der Deformationsfähigkeit, der energie-absorbierende Elemente bei einem Unfall

unterliegen, sind Aluminium-Systeme traditionellen Systemen wegen ihres signifikant höheren Crash- Energie- Aufnahmevermögens pro Gewichtseinheit deutlich überlegen. Als Daumenregel gilt eine um 40% verbesserte Leistungsfähigkeit des Aluminium- Leichtbaus.

Aus diesem Grund ist Aluminium perfekt geeignet für Front-, Heck- und Seitenstoßfängersysteme. Aluminiumelemente können auch zur Verbesserung der Energieabsorption in Front- und

Heckunterfahrschutzsystemen eingesetzt werden und stellen zudem ein Potential für Führerhausfronten mit gutem Deformationsverhalten dar.

Zu guter Letzt bedeuten zusätzliche Sicherheitssysteme immer auch zusätzliches Gewicht, welches durch den Ersatz schwerer Werkstoffe durch Aluminium ausgeglichen werden kann.

Aluminium- Kipper auf einem Recyclinghof (Galloo Recycling)



3.4. Aluminium kann einfach und kostengünstig recycelt werden

Im Gegensatz zu herkömmlichen Fahrzeugen, die zum Ende ihrer Nutzungszeit in weit von Europa entfernte Länder exportiert werden, verbringen aluminium-intensive Fahrzeuge ihr gesamtes Fahrzeugleben auf dem europäischen Kontinent, wo sie dann schließlich auch nach Ende der Nutzung in ihre Bauteile zer-

legt werden⁵. Aufgrund des hohen Wertes von Aluminiumschrott ist die Motivation hoch, das Fahrzeug an einen Recyclingbetrieb zu verkaufen, wodurch eine unnötige Deponierung vermieden werden kann.

Recyceltes Aluminium verliert nichts seiner Qualität und spart 95% des ursprünglichen Energiebedarfes. Die Energie, die zur Herstellung benötigt wurde, ist nicht verloren: Sie ist "im Metall gespeichert".

5. *The fate of Aluminium from end-of-life commercial vehicles*, Université de Technologie de Troyes



8 Jahre alte Aluminiumkippmulde, wieder verwendet auf einem neuen Fahrgestell.

4. Auf der Strasse...

4.1. Für immer ein attraktives Erscheinungsbild

Auch das moderne Nutzfahrzeug unterliegt den Zwängen des industriellen Designs. Fahrzeuggbetreiber möchten, daß ihre LKW optisch attraktiv aussehen mit sauberer, gefälligen Linien. Aluminiumhalzeuge sind dafür die ideale Lösung.

So ist zum Beispiel die Verwendung von Sonderprofilen oder unbehandelten oder vorlack-

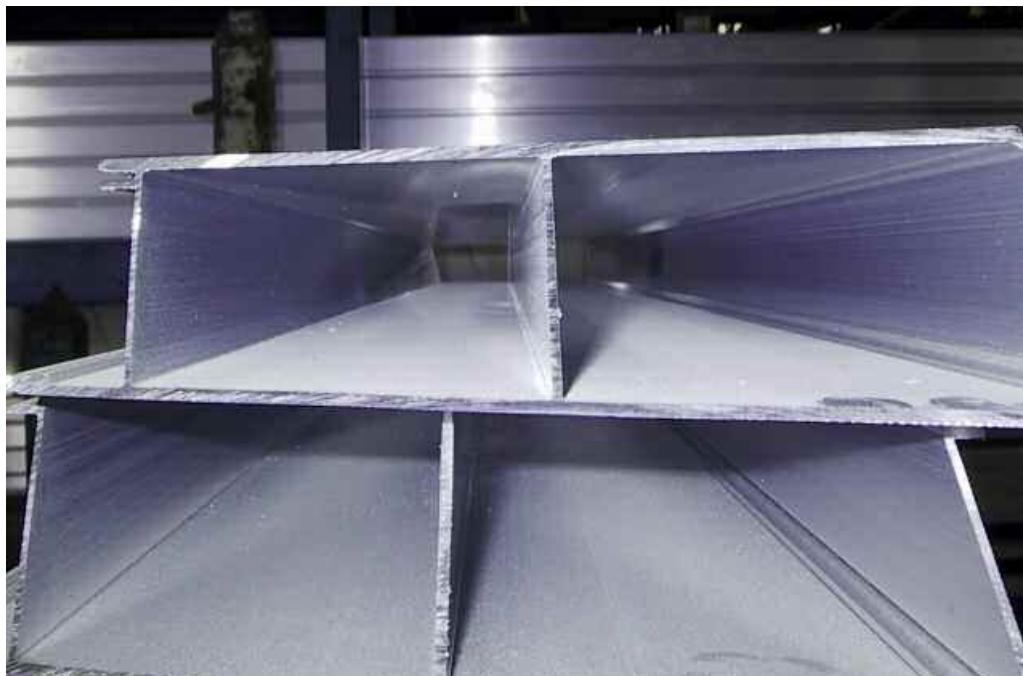
ierten Blechen, die leicht zu formen sind, eine einfache Methode, um Kofferfahrzeuge mit innen oder außen abgerundeten Ecken oder Kanten zu produzieren.

Bei Kipfern oder Selbstentladern ermöglicht dies ein sanftes Entladen und ein einfaches Reinigen. Zusätzlich dazu ermöglicht die Verwendung von doppelseitigen Wandprofilen aus Aluminium die Erhaltung einer per-

fekten äußeren Oberfläche über eine lange Zeit. Image- bewußte Spediteure bevorzugen diese Technologie besonders.

Aluminium wird verwendet, um die leichtesten, stärksten und schönsten Räder herzustellen.

Zu guter Letzt tritt auch nach einer Kollision keine Korrosion von Aluminiumbauteilen auf, welches dazu beiträgt, das "Image" der Spedition zu bewahren.



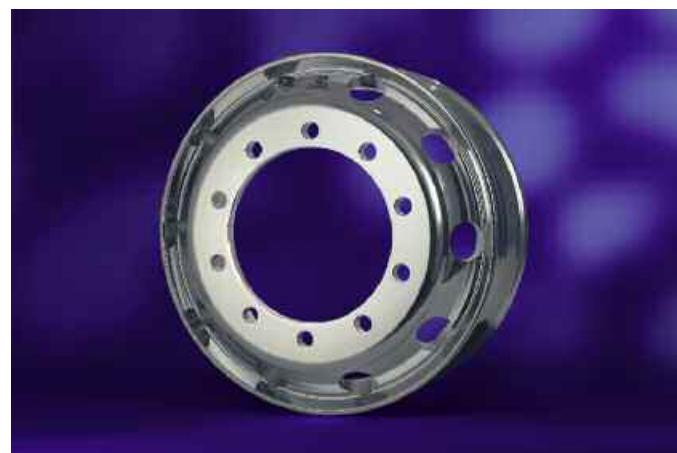
Doppelwandige Profilseitenwände für Kippmulden

4.2. Aluminium ist leicht zu reparieren

Es wird oft behauptet, dass Aluminiumfahrzeuge nicht repariert werden können. Diese Aussage stimmt so aber nicht. Nur wenige Menschen wissen, dass ein Land Rover seit 1948 mit Aluminium-Karosserieblechen gebaut wird und es in den letzten 50 Jahren auch keine Beschwerden darüber gab, dass diese Karosserie schwer zu reparieren sei. Dies verdeutlicht die Tatsache, dass eine Reparatur von Aluminium möglich ist, wenn auch unter Beachtung der Tatsache, dass dies nicht mit der Reparatur von Stahlteilen zu vergleichen ist. Führende Fahrgestell-Hersteller haben eine europäisches Netzwerk von Händlerbetrieben gegründet,

welche eine geeignete und sinnvolle Reparatur von Aluminiumteilen gewährleisten können.

Geschmiedetes Aluminiumrad





Reparatur eines
Aluminiumkipplers (Benalu)



KAPITEL IV

HÄUFIG GESTELLTE FRAGEN

1. ALUMINIUM	30
1.1. Was sind die Vorteile eines Aluminiumfahrzeugs?	30
1.2. Gibt es zusätzliche Kosten für ein Aluminiumfahrzeug?	30
1.3. Was sind die größten Vorteile für die Umwelt?	30
1.4. Ist es notwendig, ein Aluminiumfahrzeug zu lackieren?	31
1.5. Ist es möglich, ein Aluminiumfahrzeug zu reparieren?	31
1.6. Brennt Aluminium?	31
2. ALUMINIUM- FAHRGESTELLE	32
2.1. Wie ist ein Aluminium- Fahrgestell konstruiert und welche Gewichtseinsparungen sind möglich?	32
2.2. Gibt es unterschiedliche Fahrgestell- Konstruktionen?	33
2.3. Ist die Lebensdauer eines Aluminium- Fahrgestells geringer als die eine Stahl- Fahrgestells?	34
2.4. Wie verhält sich Aluminium im Vergleich zu hochfestem Stahl?	34
3. ALUMINIUM- KIPPER	35
3.1. Gibt es verschiedene Aluminiumkipper- Konstruktionen?	35
3.2. Was ist mit der Abriebbeständigkeit von Aluminiummulden?	35
3.3. Was für einen Typ Fahrgestell braucht man für eine Aluminiummulde?	36
3.4. Was ist mit der Kipp- Stabilität?	36
4. ALUMINIUM- TANKFAHRZEUGE	37
4.1. Wie sollte ein Tank zum Transport gefährlicher Güter (ADR- Richtlinien) konstruiert sein?	37
4.2. Welche Legierungen eignen sich für ADR- Tankfahrzeuge?	37



LKW mit Aluminium- Kofferaufbau

1. Aluminium

1.1. Was sind die Vorteile eines Aluminiumfahrzeugs?

Transportunternehmen profitieren von einer verbesserten Effizienz ihrer Fahrzeugflotte. Es gibt eine signifikante Erhöhung der Nutzlast, die die Flotte profitabler macht. Ein anderer Faktor ist die Kostenersparnis durch

eine kleinere Flotte mit weniger Personal, geringeren Kraftstoffkosten und geringeren Mautgebühren. Auflieger- und Anhängerleasingunternehmen können ihren Kunden Auflieger mit besserer

Effizienz anbieten. Durch die höhere Nutzlast, das längere Fahrzeugleben und den höheren Wiederverkaufswert können solche Unternehmen mehr Profit durch den Einsatz modernster Fahrzeuge generieren.

1.2. Gibt es zusätzliche Kosten für ein Aluminiumfahrzeug?

Ja, Aluminiumfahrzeuge sind geringfügig teurer als ein gleichartiges Stahlfahrzeug. Wenn man den Unterschied im Detail

analysiert, kann man erkennen, dass sich die zusätzlichen Kosten beim Transport schwerer Ladung innerhalb von 2 Jahren amorti-

sieren haben. Machen Sie Ihre eigene Kalkulation unter www.alutransport.eu

1.3. Was sind die größten Vorteile für die Umwelt?

Aluminium trägt zur Reduzierung der CO₂-Emissionen des Straßenverkehrs wie folgt bei:

- Beim Transport schwerer Ladung ermöglicht es die Erhöhung der Nutzlast von Fahrzeugen und verbessert durch den Transport von mehr Gütern pro Fahrt die Transporteffizienz. In diesem Fall führt eine Tonne an geringerem Leergewicht eines Nutzfahrzeugs zu einer Ersparnis von 1.500 Liter Diesel pro 100.000 km Fahrleistung.
- Beim Transport großvolumiger

Ladung reduziert es das Gesamtgewicht und dadurch den Kraftstoffverbrauch pro Kilometer. In diesem Fall führt eine Tonne an geringerem Leergewicht zu einer Kraftstoffersparnis von 600 Litern Diesel pro 100.000 km.

- Beim Transport von Personen verringern sich das Gesamtgewicht und damit der Kraftstoffverbrauch. Eine Tonne an Gewichtersparnis bei einem Bus im Stadtverkehr spart zwischen 1.700 und 1.900 Liter je 100.000 km.

Unter Berücksichtigung der Primärmetallproduktion, der Verarbeitungskosten und der Wiederwendbarkeit am Lebensende, wurde geschätzt¹, daß 1 kg Aluminium in einem heutigen normalen LKW den Ausstoß von CO₂ um 28 kg reduziert.

¹. CO₂ reduction potential of Aluminium for articulated trucks, EAA (European Aluminium Association), 2005



Reparatur eines Aluminium- Muldenkippers (STAS)

1.4. Ist es notwendig, ein Aluminiumfahrzeug zu lackieren?

Nein, ist es nicht. Aluminium hat mit seiner natürlichen Alumini- umoxidschicht einen exzellenten Oberflächenschutz. Wenn ein

LKW- Betreiber sich entscheidet, zusätzliches Geld (und damit zusätzliches Gewicht !) für eine Lackierung zu investieren, dann

hat dies mehr mit einem einheitlichen Erscheinungsbild und Image der Fahrzeugflotte zu tun.

1.5. Ist es möglich, ein Aluminiumfahrzeug zu reparieren?

Es wird oft behauptet, dass Aluminiumfahrzeuge nicht repariert werden können. Diese Aussage stimmt so aber nicht. Nur wenige Menschen wissen, dass ein Landrover seit 1948 mit Aluminium-Karosserieblechen gebaut wird und es in den letzten 50 Jahren auch keine Beschwerden darüber

gab, dass diese Karosserie schwer zu reparieren sei. Dies verdeutlicht die Tatsache, dass eine Reparatur von Aluminium möglich ist, wenn auch unter Beachtung der Tatsache, dass dies nicht mit der Reparatur von Stahlteilen zu vergleichen ist.

Bitte beachten Sie hierzu Kapitel XIV bezüglich detaillierter Informationen.

Führende Fahrgestell- Hersteller haben eine europäisches Netzwerk von Händlerbetrieben begründet, welche eine geeignete und sinnvolle Reparatur von Aluminiumteilen gewährleisten können.

1.6. Brennt Aluminium?

Nein. Aluminium und seine Legierungen sind unter atmosphärischen Bedingungen abso-

lut unbrennbar und tragen nicht zur Ausbreitung eines Feuers bei. Aluminiumlegierungen

beginnen jedoch bei 650°C zu schmelzen, geben dabei aber keine gefährlichen Gase ab.

2. Aluminium- Fahrgestelle

2.1. Wie ist ein Aluminium- Fahrgestell konstruiert und was sind die Gewichtsvorteile?

Führende europäische Nutzfahrzeughersteller benutzen die Kriterien Festigkeit, Steifigkeit und Haltbarkeit für die Auslegung ihrer Fahrzeuge.

Es kann keine Gewichtsersparnis erreicht werden, wenn man das Stahldesign einfach auf Aluminium überträgt. Konstruktionen, die für Aluminium optimiert

wurden, basieren auf spezifischen Querschnitten (20 bis 40% höhere Träger), sanften Übergängen und intelligenten Fügeverbindungen, welches normalerweise zu einer Einsparung von 40-60% an Gewicht gegenüber herkömmlichen Metallen führt (siehe hierzu Kapitel III):

1) Ein guter Leichtgewichtsanhänger muß die gleiche Festigkeit wie ein herkömmliches Modell aufweisen. Wenn dies das alleinige Kriterium sein würde, würde das Gewichts-Einsparpotential mit Aluminium am höchsten sein (bis zu 60%) und hochfester Stahl würde eine halb so hohe Gewichtsersparnis wie Aluminium ermöglichen (ca. 30%).

Fahrgestell eines Aluminium- Kippers (Benalu)



Fahrgestell eines Aluminium- Kippers
(Leciñena)



2) Eine minimale Steifigkeit wird generell benötigt.

- Wenn die Steifigkeit gleich der von Standard- Stahlmodellen sein muss, werden die Gewichtsvorteile von Aluminium bei ca. 45% liegen, und dies bei höchster Festigkeit. Hochfester Stahl wird hierbei keinen Gewichtsvor teil ermöglichen können.
- Wenn die geforderte minimale Steifigkeit geringer als bei Standard- Stahlmodellen ist, dann werden die Gewichtsvorteile von Aluminium bei ca. 45% - 60% liegen; die von hochfestem Stahl zwischen 0 und der Hälfte der Gewichtseinsparung von Aluminium.

3) Die Haltbarkeit eines Fahrzeugs muss gewährleistet sein. Da Aluminiumfahrzeuge wesentlich intensiver als herkömmliche Fahrzeuge genutzt werden, muss deren Dauerfestigkeit entsprechend höher sein. Dies kann man durch werkstoffgerechtes Konstruieren erreichen. Neben einer Vielzahl anderer Möglichkeiten zählen hierzu insbesondere höhere Träger, sanfte Bauteilübergänge und intelligente Fügeverbindungen als Schlüsselemente.

2.2. Gibt es unterschiedliche Aluminium- Fahrgestelle?

Jeder Hersteller hat seine eigenen Konstruktionen, die speziell auf die jeweiligen Einsatzbedingungen der Fahrzeuge und die Fertigungserfahrungen der Fahrgestellhersteller zugeschnitten sind (so bevorzugen einige reine Schweißkonstruktionen, während andere eine Mischbauweise aus Schweiß- und Schraubverbindungen bevorzugen). Es ist ebenso wichtig zu unterstreichen, dass Aluminiumfahrzeuge wesentlich intensiver genutzt werden als herkömmliche Modelle, was ebenfalls bei der Konstruktion berücksichtigt werden muss.

Hierbei gibt es zwei grundsätzliche dominierende Konstruktionsphilosophien in der Fahrgestellindustrie.

In Ländern wie Italien, wo gleiche Steifigkeit wie bei Stahlmodellen als ein Muss erscheint, ist

Durchbiegung das Hauptkriterium, und dies führt normalerweise zu höheren Lebenszeiten als konventionelle Modelle, zusammen mit einer attraktiven Gewichtersparnis.

In anderen Ländern ist die zu Stahl gleiche Lebensdauer das wichtigste Kriterium. Eine gute Konstruktion wird hierbei mindestens eine gleiche Lebenszeit ermöglichen, eine Steifigkeit im Rahmen der Anforderungen ermöglichen (wenn auch geringfügig geringer als bei Stahlmodellen), und dies bei einer maximierten Gewichtersparnis.

In jedem Fall werden die Aluminium- Fahrgestelle stabiler als die herkömmlichen Modelle sein und das Risiko des Versagens der Konstruktion durch statische Überladung wird bei Aluminiumfahrzeugen am geringsten sein.



2.3. Ist die Lebensdauer eines Aluminium- Fahrgestells geringer als die eines Stahl- Fahrgestells ?

Die Lebensdauer ist eine Konstruktionsaufgabe und keine Frage der Materialwahl. Aluminium- Fahrgestelle werden zumeist in Trans-

portsegmenten eingesetzt, wo die Belastungsfaktoren am größten sind (Behälter für Flüssig- und Feststofftransporte, Muldenkip-

per), und können trotzdem Lebensdauern von mehr als 20 Jahren erreichen.

2.4. Wie verhält sich Aluminium im Vergleich zu hochfestem Stahl?

Man sollte zwischen reinem Aluminium und Aluminiumlegierungen unterscheiden. Reines Aluminium wird im Fahrzeugbau nicht eingesetzt. Ein weites Spektrum an Aluminiumlegierungen existiert, darunter auch hochfeste Varianten. Was selten kommuniziert wird, ist, daß alle

Legierungen, die auf demselben Grundmetall basieren, die gleichen elastischen Eigenschaften aufweisen.

Dies bedeutet, dass die einzige Möglichkeit einer Leichtgewichts- Alternative zu einem Standard- Fahrgestell bei Beibe-

haltung der gleichen Steifigkeit die Auswahl eines alternativen Werkstoffs darstellt, z. B. der Wechsel von Stahl zu Aluminium (s. Kapitel III).

3. Aluminium- Kipper

3.1. Gibt es unterschiedliche Aluminiumkipper- Konstruktionen?

Ja, es gibt eine Vielzahl an Kippervarianten, und alle können mit speziellen Aluminiumhalbzeugen, die eine hohe Produktivität bei der Herstellung,

erhöhte Nutzlast, geringe laufende Kosten und ein hervorragendes Flottenimage ermöglichen, gebaut werden.

Für weitere Details beziehen Sie sich bitte auf Kapitel VI.

3.2. Was ist mit der Abriebbeständigkeit von Aluminium- Kippmulden?

Die Abriebbedingungen können extrem zwischen den einzelnen Ladegütern variieren. Deshalb ist es nicht immer möglich, die Härte einer Legierung in Bezug zur Abrieb-Beständigkeit zu setzen. Es wurde festgestellt, dass vielmehr das Ladegut selbst die Abriebbeständigkeit bestimmt.

Die Auswahl des Materials für die Konstruktion von Aluminium-Kippmulden ist heutzutage oft eine Frage spezifischer Erfahrungen, der Materialverfügbarkeit und der spezifischen Produktionsmethoden der Kippmulden-Hersteller.

Typische Bodenblech- Materialien sind:

- 5083 H32 H321, H34
- 5086 H24
- 5383 H34
- 5454 H22, H24
- 5456 H34

oder andere, walzwerkspezifische Legierungstypen.

Typische Dicken für die Bodenbleche sind wie folgt:

- 6 mm für leichte Transportaufgaben wie Agrarprodukte, Kohle oder Sand
- 8 mm für mittelschwere Transportgüter wie z.B. Rezyklate
- 10 mm für hohe Transportanforderungen wie z.B. bei Kies oder Splitt
- Bis zu 12 mm für extreme Anforderungen

Weitere Informationen können Sie Kapitel VI entnehmen.



IRTE Kipp- Stabilitätstest (STAS)

3.3. Welcher Typ Fahrgestell wird für eine Aluminiummulde benötigt?

Einige Fahrzeugbetreiber befürchten immer noch Probleme mit einem Aluminium- Fahrgestell unter rauen Einsatzbedingungen, doch sie sollten wissen, dass die Stabilität

einer Konstruktion nicht nur materialabhängig ist. In Wirklichkeit sind Festigkeit wie auch Steifigkeit und Lebensdauer eine Frage guten Designs. Erfahrene Hersteller

sind in der Lage, Aluminium- Fahrgestelle zu bauen, die dieselbe Performance, aber ein deutlich geringeres Gewicht als herkömmliche Stahlmodelle aufweisen.

3.4. Was ist mit der Kipp- Stabilität?

Es wird oft behauptet, dass es für Aluminium- Kipperfahrgerüste schwierig ist, die IRTE² Class A³ – Kriterien zu erfüllen, einfach dadurch, dass sich ein solches Fahrgestell „zu leicht verdreht“ oder dass der Gewichtsvorteil bei Erreichung einer einem Stahl- Fahrgestell gleichen Steifigkeit praktisch eliminiert sein würde. Tests aus dem Jahr 2002 haben aber

nachgewiesen, dass beide Behauptungen sich als inkorrekt herausgestellt haben.

In der Tat ist es so, dass ein Ganz- Aluminiumfahrzeug, welches signifikant leichter als andere Modelle ist, den IRTE Class A- Test bei einem Gewicht von 44 t bestand, was verdeutlichte, dass ein werkstoffgerechtes Design

sowohl zu Leichtbau wie auch zu torsionaler Stabilität führt.

2. British Institute of Road Transport Engineers

3. Die IRTE Class A – Stabilitätsnorm für das Kippen auf einem unebenen Boden bedeutet, dass ein Auflieger in der Lage sein sollte, seitwärts 7° geneigt bei voller Ladung und voller Aufrichtung ohne Umzkippen stehenbleiben zu können.

4. Aluminium- Tankfahrzeuge

4.1. Wie sollte ein Tank zum Transport gefährlicher Güter (ADR) konstruiert sein?

Tanks für den Transport gefährlicher Güter müssen den Anforderungen der folgenden Regeln und Normen entsprechen:

- ADR: Agreement for the Transport of Dangerous Goods by Road⁴
 - EN 13094 « Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter – Metalltanks mit einem Betriebsdruck von höchstens 0,5 bar – Auslegung und Bau »
 - EN 14025 „ Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter – Drucktanks aus Metall – Auslegung und Bau“
- Nähtere Hinweise hierzu finden Sie unter Kapitel VI

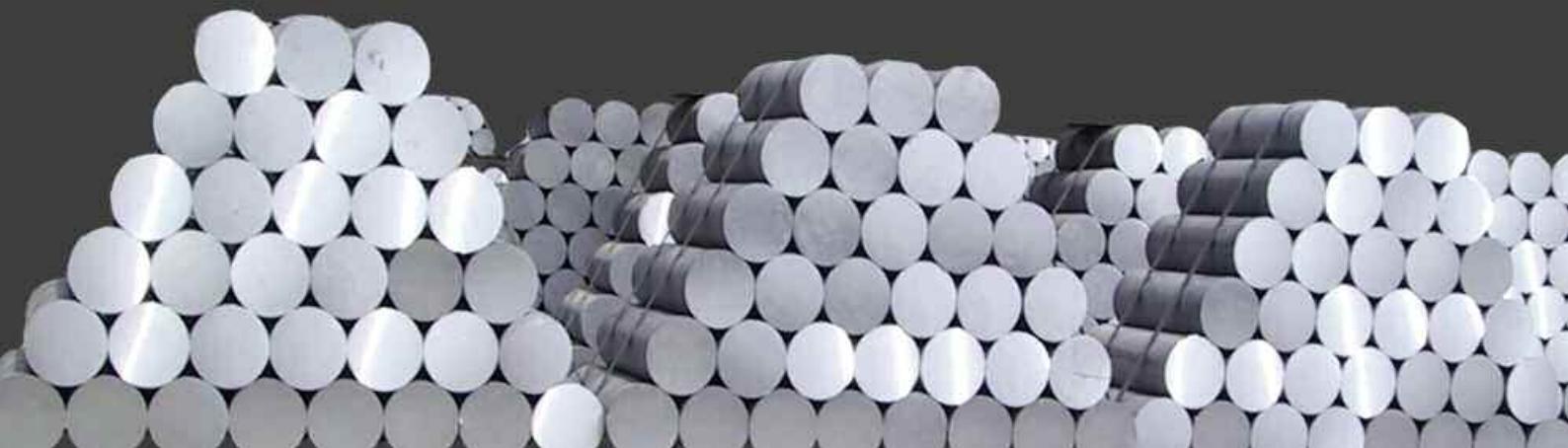
4.2. Welche Legierungen sind für ADR Tanks geeignet?

Geeignete Aluminiumlegierungen für diese Anwendung sind in der Norm EN 14286 „Aluminium und Aluminiumlegierungen – Schweißbare Walzprodukte für Tanks für die Lagerung und Transport gefährlicher Güter“ und auch in Kapitel V enthalten. Hersteller dieser Legierungen sind unter dem „Link“- Abschnitt der Website www.alutransport.eu zu finden.

4. Siehe ADR, Anhang A, Teil 6, Kapitel 6.8:
<http://www.unece.org/trans/danger/danger.htm>

Aluminium- Tankfahrzeug (Schrader)





Kapitel V

ALUMINIUMLEGIERUNGEN FÜR DEN NUTZFAHRZEUGBAU

1.	VORWORT	40
2.	INTERNATIONALE KENNZEICHNUNGSSYSTEME	41
3.	GRUNDLEGENDE ZUSTANDSBEZEICHNUNGEN	42
4.	UNTERTEILUNGEN DER H- ZUSTANDSBEZEICHNUNGEN	42
5.	UNTERTEILUNGEN DER T- ZUSTANDSBEZEICHNUNGEN	43
6.	TYPISCHE LEGIERUNGEN FÜR DEN NUTZFAHRZEUGBAU	44
6.1.	Walzprodukte	45
6.2.	Extrusionsprodukte (Schmiedprodukte)	46
6.3.	Gusslegierungen	48
6.4.	Auswahlhilfen für die unterschiedlichen Legierungen (indikativ)	49
7.	EINFLUSS DER TEMPERATUR AUF DIE MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN	50
7.1.	Erhöhte Temperatur	51
7.2.	Niedrige und sehr niedrige Temperaturen	51
8.	EINFLUSS DER VERARBEITUNGSMETHODEN AUF DIE EIGENSCHAFTEN DER LEGIERUNGEN	52
8.1.	Die Kaltverfestigung von naturharten Legierungen	52
8.2.	Die Entfestigung und Erholung durch Wärmebehandlung	52
8.3.	Aushärtbare Legierungen	53
8.4.	Gusslegierungen	54
9.	VERZEICHNIS DER NORMEN	55

1. Vorwort

Aluminium in seiner reinen Form ist ein sehr weiches Metall und deshalb nicht für strukturelle Bauteile geeignet. Dank der Zugabe von Legierungselementen wie Kupfer, Mangan, Magnesium, Zink usw. und dank entsprechender Verarbeitungsprozesse können die physikali-

schen und mechanischen Eigenschaften in einem großen Bereich variiert werden, was es ermöglicht, geeignete Legierungen für nahezu alle Anwendungen zu finden.

Da die Aluminiumindustrie eine globale Industrie ist, wurde ein weltweit gültiges standardisiertes

System zur Produktbezeichnung entwickelt. Hersteller- spezifische Markenbezeichnungen werden oft durch die entsprechenden Norm- Bezeichnungen ergänzt.

Ein Verzeichnis aller relevanten Normen finden Sie am Ende dieses Kapitels.

Aluminium- Walzwerk



2. Internationale Produktkennzeichnung

Um die einzelnen Legierungen unterscheiden zu können, wurden vierstellige Nummernkreise für Knetlegierungen (siehe EN 573) und fünfstellige Nummernkreise für Gusslegierungen eingeführt. Eine Liste aller registrierten Knetlegierungen und deren chemische Zusammensetzung kann für Europa in der EN 573-3 gefunden werden und weltweit

in den sogenannten „Teal Sheets¹“.

Eine Liste aller europäisch genormten Gusslegierungen enthält die Norm EN 1706. Eine Auswahl von Legierungen für den Einsatz in Nutzfahrzeugen wird in Abschnitt 6 dargestellt. Die erste Stelle der Legierungsbezeichnung kennzeichnet das wesentliche Legierungselement;

die verbleibenden Stellen dienen nur zu Identifikationszwecken (Tabelle V.1). Nur im Falle von reinem Aluminium bedeuten die letzten 2 Ziffern der 4-stelligen Nummer den Grad der Reinheit über 99,0%. So bezeichnet z.B. 1070 ein Aluminium mit mindestens 99,70% Aluminiumanteil oder, in anderen Worten, mit weniger als 0,30% Verunreinigungen.

TABELLE V.1

KATEGORIEN VON ALUMINIUMLEGIERUNGEN

Haupt-Legierungselement	Knetlegierung	Gusslegierung
Kein („Reinaluminium“)	1xxx	
Kupfer	2xxx	2xxxx
Mangan	3xxx	
Silizium	4xxx	4xxxx
Magnesium	5xxx	5xxxx
Magnesium und Silizium	6xxx	
Zink und Magnesium (mit oder ohne Kupfer)	7xxx	7xxxx
Andere Elemente (z.B. Eisen oder Lithium)	8xxx	

Aus diesen 8 Kategorien der Knetlegierungen werden 3 Familien als naturharte Legierungen (1xxx, 3xxx und 5xxx) bezeichnet und 4 als aushärtbare Legierungen (2xxx, 4xxx, 6xxx, 7xxx). Die 8xxx-Familie kann nicht eindeutig einer der beiden Gruppen zugeordnet werden. Die Legierung kann durch ein voranstehendes X als Versuchslegierung gekennzeichnet werden,

oder durch ein nachfolgendes A, welches eine nationale Variante einer Basislegierung kennzeichnet. Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften dieser Legierungen hängen nicht nur von deren chemischer Zusammensetzung, sondern insbesondere auch vom Herstellungsprozess im Aluminiumwalzwerk und von den Verarbeitungsprozessen vom

Halbzeug zum Endprodukt ab. Diese Prozesse sind durch die sogenannten „Zustandsbezeichnungen“, welche die Legierungsbezeichnungen ergänzen, charakterisiert. Wenn Legierungs- und Zustandsbezeichnung vorliegen, dann ist das Material eindeutig gekennzeichnet und seine Eigenschaften sind definiert.

1. Die aktuelle Ausgabe der „Teal Sheets“ steht zum kostenlosen Download auf der EAA Website <http://www.eaa.et/en/about-aluminium/standards/international-registration/> zur Verfügung

3. Grundlegende Zustandsbezeichnungen

- **F – wie gefertigt:** Dieser Zustand bezeichnet Produkte, die durch plastische Verformung ohne besondere Kontrolle der Ver- oder Entfestigung durch Verformung oder Wärmebehandlung hergestellt worden sind und für die keine mechanischen Eigenschaften festgelegt sind.
 - **0 – weichgeglüht:** Dieser Zustand ist der weichste und wird durch weichglühen ohne nachfolgende Kaltverfestigung oder durch warmwalzen bei Temperaturen oberhalb der Rekristallisations temperatur erreicht.
 - **H – kaltverfestigt und ggf. zustandsgeglüht:** Dieser Zustand bezieht sich auf kaltverfestigte Produkte mit und ohne nachfolgende Wärmebehandlung zur Einstellung eines teilrekristallisierten Gefüges.
 - **T – wärmebehandelt:** Die Wärmebehandlung kann bei austärbaren Legierungen durch einige oder alle der nachfolgenden Prozesse erfolgen: Lösungsglühen, abschrecken, kaltauslagern, warmauslagern, kaltverfestigen.
- Weitere Details können Sie der EN 515 entnehmen.

4. Unterteilungen der H- Zustandsbezeichnungen

Die erste Ziffer nach dem H kennzeichnet die Kombination grundlegender Fertigungsschritte:

- **H1X: Nur kaltverfestigt.** Diese Bezeichnungen kennzeichnen Produkte, die zur Erreichung bestimmter mechanischer Eigenschaften ohne nachfolgende Wärmebehandlung nur kaltverfestigt wurden.

- **H2X: Kaltverfestigt und rückgeglüht.** Diese Bezeichnungen gelten für Produkte, die mehr als zur Erzielung der finalen Festigkeit kalt verfestigt wurden und bei denen die Festigkeit auf den gewünschten Wert durch Wärmebehandlung reduziert wurde.

H3X: Kaltverfestigt und stabilisiert. Diese Bezeichnungen gelten für Produkte, die kaltverfestigt wurden und bei denen die mechanischen Werte entweder durch Wärmebehandlung bei niedrigen Temperaturen oder durch Wärmeeinfluss während der Verarbeitung stabilisiert wurden.

Weitere Details können der EN 515 entnommen werden.

Die zweite Ziffer nach dem Buchstaben H zeigt den Grad der Kaltverfestigung in Bezug auf den Minimalwert der Zugfestigkeit an.

- 8 stellt den härtesten normalerweise produzierten Zustand dar.

Zustände zwischen 0 (weichgeglüht) und HX8 sind durch die Ziffern 1 bis 7 gekennzeichnet.

- **HX4** kennzeichnet Zustände, bei denen die Zugfestigkeit ungefähr in der Mitte zwischen dem 0-Zustand und dem HX8-Zustand liegt.
- **HX2** kennzeichnet Zustände, bei denen die Zugfestigkeit ungefähr in der Mitte zwischen dem 0-Zustand und dem HX4-Zustand liegt.

HX6 kennzeichnet Zustände, bei denen die Zugfestigkeit ungefähr in der Mitte zwischen dem HX4- und dem HX8-Zustand liegt.

- **HX1, HX3, HX5 und HX7** bezeichnen Zustände, bei denen



die Festigkeit zwischen den o.g. Zuständen liegt. Diese Zustände sind nicht Teil der Norm EN 515. Die mechanischen Eigenschaften dieser Zustände sollten zwischen dem Hersteller und dem Kunden vereinbart werden.

Die dritte Ziffer, falls verwendet, beschreibt eine Variante der 2-ziffrigen Zustände.

- **HX11** steht für Produkte, die nach dem schlussglühen eine geringe Kaltverfestigung erhalten

haben, so dass sie nicht als gegläht, aber auch nicht also so verfestigt wie HX1-Zustände gelten können.

- **H112** steht für Produkte, deren Ver- oder Entfestigung nicht definiert ist, für die es aber keine obere Festigkeitsgrenze gibt, sondern für die nur die Minimalwerte definiert sind.
- **H116** gilt für Produkte aus der 5xxx-Legierungsgruppe mit einem Magnesiumgehalt von mehr als nominal 3%. Diese Pro-

dukte wurden als letzter Verarbeitungsschritt kaltverfestigt und/oder wärmebehandelt, um damit bestimmte Festigkeitsgrenzen und festgelegte Korrosionsbeständigkeiten in einem beschleunigten Korrosionstest zu erreichen. Dieser Korrosionstests beinhaltet interkristalline und Schichtkorrosion. Der Zustand H116 ist verwendbar für einen dauerhaften Einsatz bei Temperaturen von maximal 65°C.

5. Unterteilungen der T- Zustandsbezeichnungen

Die erste Ziffer nach dem Buchstaben T wird benutzt, um die Abfolge bestimmter Fertigungsschritte zu beschreiben. Die Zahlen 1 bis 10 wurden wie folgt zugeordnet:

- **T1**: Abgekühlt aus Warmumformtemperatur, kaltausgelagert bis zu einem stabilen Zustand
- **T2**: Abgekühlt aus Warmumformtemperatur, kaltverfestigt und kaltausgelagert bis zu einem stabilen Zustand

- **T3**: Lösungsgeglüht, abgeschreckt, kaltverfestigt und kaltausgelagert bis zu einem stabilen Zustand

- **T4**: Lösungsgeglüht, abgeschreckt und kaltausgelagert bis zu einem stabilen Zustand

- **T5**: Abgekühlt aus Warmumformtemperatur und warmausgelagert

- **T6**: Lösungsgeglüht, abgeschreckt und warmausgelagert

- **T7**: Lösungsgeglüht, abge-

schreckt und stabilisiert

- **T8**: Lösungsgeglüht, abgeschreckt, kaltverfestigt und warmausgelagert

- **T9**: Lösungsgeglüht, abgeschreckt, warmausgelagert und kaltverfestigt

- **T10**: Abgekühlt aus Warmumformtemperatur, kaltverfestigt und warmausgelagert.

Weitere Details können der EN 515 entnommen werden.

6. Typische Legierungen für den Nutzfahrzeugbau

Aus einer Vielzahl unterschiedlicher bekannter Legierungen aus der Norm EN 573-3 bzw. den Teal Sheets sind nur einige für den Bau von Nutzfahrzeugen von Bedeutung.

Auswahlkriterien sind die folgenden:

- Verfügbarkeit des Halbzeuges
- Mechanische Eigenschaften
- Physikalische Eigenschaften
- Eignung für bestimmte Verarbeitungsprozesse
- Schweißbarkeit
- Korrosionsbeständigkeit

In den folgenden Tabellen werden die gebräuchlichsten Legierungen für den Nutzfahrzeugbau aufgelistet.

Aluminiumbänder



Aluminium- Walzbarren



6.1. Flachwalzprodukte

In Nutzfahrzeugen werden normalerweise folgende Legierungen eingesetzt: 3003, 5005, 5059, 5083, 5086, 5088, 5182, 5186, 8383, 5454, 5456, 5754, 6061 und 6082.

Die mechanischen Eigenschaften dieser Legierungen können den Normen aus der Tabelle V.2 entnommen werden. Die Tabelle V.3 gibt Hinweise auf die Verarbeitungseigenschaften.

TABELLE V.2

REFERENZ- NORMEN FÜR DIE MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN
VON KNETLEGIERUNGEN – FLACHWALZ- PRODUKTE

Legierung	Normen ²
3003	EN 485-2
5005	EN 485-2
5059	EN 485-2 und EN14286
5083	EN 485-2 und EN14286
5086	EN 485-2 und EN14286
5088	EN 485-2 und EN14286
5182	EN 485-2 und EN14286
5186	EN14286
5383	EN 485-2 und EN14286
5454	EN 485-2 und EN14286
5754	EN 485-2 und EN14286
6061	EN 485-2
6082	EN 485-2

2. Siehe hierzu die Normenbezeichnungen am Ende dieses Kapitels, Abschnitt 9.

TABELLE V.3
VERARBEITUNGSEIGENSCHAFTEN FÜR DEN NUTZFAHRZEUGBAU
FLACHWALZPRODUKTE

Legierung	Zustand	Formen	Schweißen	Anodisieren	Korrosionsbeständigkeit
3003	H14,H24,H16	B	A	A	A
5005	H14,H24	B	A	A	A
5059	O, H111	B	A	A	A
5083	O,H111 H116,H22,H24, H34	A C	A A	A A	A A
5086	O,H111 H116,H22,H24	A C	A A	A A	A A
5088	O, H111	A	A	A	A
5182	O, H111	A	A	A	A
5186	O, H111	A	A	A	A
5383	H22, H32	B	A	A	A
5454	O,H111 H22,H24	A B	A A	A A	A A
5456	H34	C	A	A	A
5754	O,H111 H22,H24	A B	A A	A A	A A
6061	T4 T6	C D	A A	A A	A A
6082	T4 T6	C D	A A	A A	A A

A = sehr gut; B = gut; C = ausreichend ; D = gering, zu vermeiden

Aluminium- Rundbarren



6.2. Strangpressprodukte und Schmiedeteile

Im Nutzfahrzeugbau sind die am häufigsten verwendeten Legierungen 6060, 6005A, 6008, 6106, 6082, 6061 und 7020.

Die mechanischen Eigenschaften dieser Legierungen können der Norm EN 755-2 entnommen werden. Die Tabelle V.4 gibt die Verarbeitungseigenschaften dieser Legierungen wieder.

TABELLE V.4
VERARBEITUNGSEIGENSCHAFTEN – STRANGPRESSPRODUKTE –
UND SCHMIEDEPRODUKTE

Legierung	Zustand	Schweißen	Anodisieren	Korrosionsbeständigkeit
6060	alle	A	A	A
6005A	alle	A	A	A
6008	alle	A	A	A
6106	alle	A	A	A
6082	alle	A	A	A
6061	alle	A	A	A
7020	T6	A	A	C
7003	T6/T7	A	A	B
7108	T6/T7	A	A	B

A = sehr gut; B = gut; C = ausreichend; D = gering, zu vermeiden



Längsträger eines Auflieger-Fahrgestells, bestehend aus 2 stranggepressten Flanschen und einem Blech als Steg



Extrusions-Schiene für die Aufhängung der Seitenplane

6.3. Gussteile

In Nutzfahrzeugen werden zumeist die Legierungen 21100, 42000, 42100, 43000 und 44000 eingesetzt.

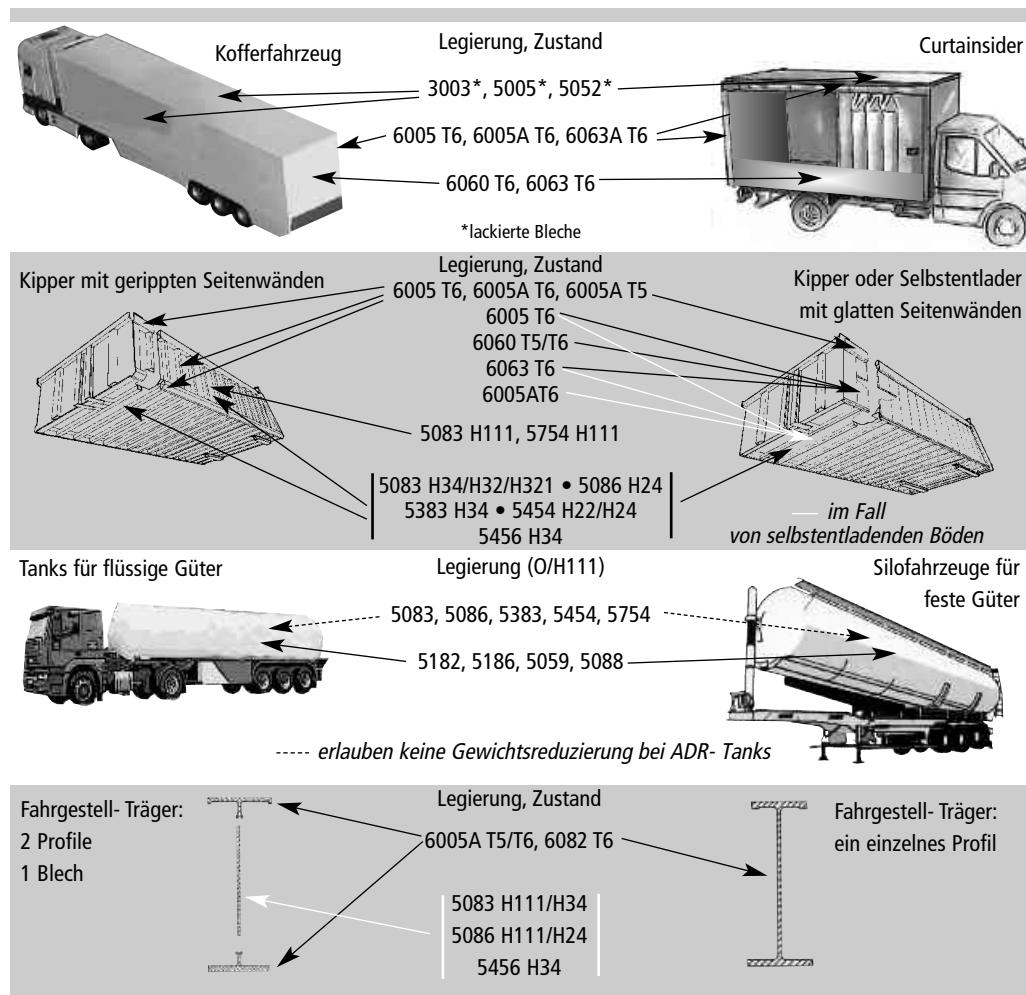
Die chemische Zusammensetzung dieser Legierungen und die mechanischen Eigenschaften können der EN 1706 entnommen werden. Tabelle V.5 zeigt die Gießeigenschaften dieser Legierungen.

TABELLE V.5
GIEßEIGENSCHAFTEN

Legierung	Fließ-vermögen	Heißriss-verhalten	Druck-stabilität	Zerspanbarkeit	Korrosions-beständigkeit
21100	C	D	D	A	D
42000	B	A	B	B	B/C
42100	B	A	B	B	B
43000	A	A	B	B	B
44000	A	A	A	C	B

A = sehr gut; B = gut; C = ausreichend; D = gering; zu vermeiden

6.4. Leitfaden für die Auswahl der Legierung (indikativ)



ANDERE ANWENDUNGEN

Räder	6061, 6082	Stoßfänger, Crashboxen, Überrollsitzschutz	7003, 7108
Kraftstofftank	5052, 5754	Aufhängungsteile	21100
Hubplattform	6005A	Strukturauteile, Scharniere, Halterungen	42000, 42100
Böden	6082, 5086, 5754	Komplexe Formen mittlerer Festigkeit	43000
Rahmen für Busse	6060, 6005A	Sehr komplexe Formteile ohne tragende	
Seitenwände + Dächer	3003, 5005	Funktion	44000
Crash Module	6008		

Neben diesen bekannten Legierungen ist es möglich, mit dem

Hersteller des Aluminiumhalbzeuges spezielle, auf die Anwen-

dungserfordernisse zugeschnittene Produkte zu entwickeln.

7. Einfluss der Temperatur auf die mechanischen Eigenschaften

Aluminiumlegierungen können ihre mechanischen Eigenschaften und ihre Korrosionsbeständigkeit verändern, wenn sie anderen Temperaturen als der Raumtemperatur ausgesetzt werden. Die Tabellen V.6 & V.7 zeigen die Beziehung zwischen Einsatztemperatur und den mechanischen Eigenschaften. Das Bild V.1 zeigt dies für eine Legierung graphisch.

TABELLE V.6
ÄNDERUNG DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON 5086 0
NACH 10.000 H HALTEN BEI FOLGENDER TEMPERATUR

Temperatur °C	Mechanische Eigenschaften (*)		
	Rm (MPa)	Rp _{0,2} (MPa)	A%
-196	390	140	34
-80	280	120	26
-28	270	120	24
+20	270	120	22
+100	270	120	26
+150	210	110	35
+200	155	105	45

TABELLE V.7
ÄNDERUNG DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN VON 6082 T6
NACH 10.000 H HALTEN BEI FOLGENDER TEMPERATUR

Temperatur °C	Mechanische Eigenschaften (*)		
	Rm (MPa)	Rp _{0,2} (MPa)	A%
-196	380	330	16
-80	330	295	13
-28	330	285	12
+20	320	285	12
+100	300	265	15
+150	240	220	18
+200	130	105	28

(*) Mittelwerte. Diese Eigenschaften wurden bei Test- Temperaturen ermittelt.

7.1. Erhöhte Temperaturen

Der Verlust an Festigkeit bei höheren Temperaturen als Raumtemperatur ist bis zu 100°C (Kurzzeitbelastung) bzw. 80°C (Dauerbelastung) unbedeutend.

Wird Aluminium höheren Temperaturen ausgesetzt, dann ist der Verlust an mechanischer Festigkeit moderat für naturharte Legierungen im O/H111-Zustand und für aushärtbare Legierungen im T1/ T4- Zustand.

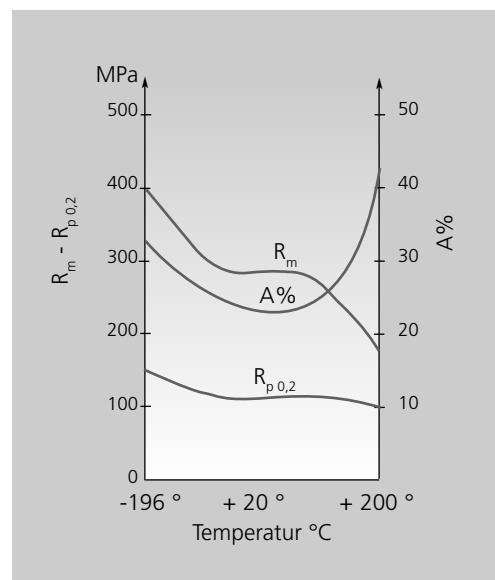
Der Abfall der mechanischen Werte bei Temperaturen über 100°C ist sehr ausgeprägt für naturharte Legierungen in den H1X- Zuständen und für aushärtbare Legierungen im T5/ T6-Zustand.

7.2. Niedrige und sehr niedrige Temperaturen

Im Gegensatz zu den meisten anderen maschinenbaulichen Metallen verbessern sich die mechanischen Eigenschaften und insbesondere die Dehnung von Aluminium bei niedrigen Temperaturen, was es das ideale Metall für rauhe Winterbedingungen und insbesondere kryogene Anwendungen macht (siehe Bild V.1).

Weitere Beispiele können der Norm EN 12392 „Aluminium und Aluminiumlegierungen - Kneterzeugnisse - Besondere Anforderungen an Erzeugnisse für die Fertigung von Druckgeräten“ entnommen werden.

BILD V.1
ÄNDERUNG DER MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN ALS EINE FUNKTION DER TEMPERATUR FÜR 5086 O



8. Einfluss der Verarbeitungsbedingungen auf die Eigenschaften der Legierungen

8.1. Die Kaltverfestigung von naturharten Legierungen

Die Steigerung der Härte wird durch Kaltverfestigung, d.h. Umformung ohne Wärmeeinfluss erreicht. Dies verbessert die physikalischen Eigenschaften und die Härte des Materials. Es reduziert zur gleichen Zeit aber die Fähigkeit des Metalls zur Verformung und seine Dehnbarkeit (Bild V.2). Je größer die Rate der Umformung bzw. der Kaltverfestigung, desto ausgeprägter ist dieser Effekt. Er ist ebenfalls durch die Zusammensetzung der Legierung bestimmt.

Die Legierung 5083 zum Beispiel, die zwischen 4 und 4,9% Magnesium enthält, erreicht dadurch eine hohe Festigkeit, die Umformfähigkeit ist dabei aber geringer als die der Legierung 5754 mit 2,6 bis 3,6 % Mg.

Die Kaltverfestigung ist generell eine Erscheinung, welche bei jeder Umformmethode auftritt: Walzen, Tiefziehen, Falten, Hämmern, Biegen, Pressen etc. Dies bedeutet, dass sie auch bei der Bearbeitung in der Fertigungsstätte auftritt.

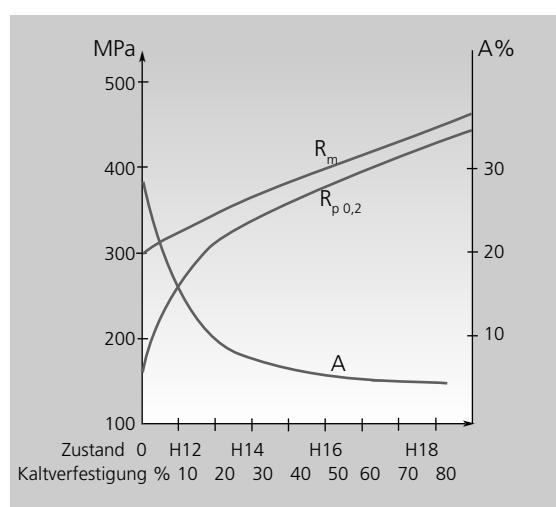
8.2. Entfestigung durch Erholung und Wärmebehandlung (Glühen)

Es ist möglich, die Umformbarkeit des kaltverfestigten Materials wieder herzustellen, indem man es einer Wärmebehandlung, dem sogenannten Glühen (Anlassglühen oder Weichglühen) unterzieht. In diesem Prozeß, der bei Temperaturen zwischen 150°C und 350°C stattfindet, beginnen sich die Härte und die mechanischen Eigenschaften langsam zu verringern: Dies ist die Erholungsphase (A-B) (Bild V.3). Bei niedrigeren Glühtemperaturen führt dies zu mittelfesten mechanischen Eigenschaften. Diese sinken dann rasch bei höheren Temperaturen über 280°C während der Rekristallisation (B-C) und erreichen schließlich einen Tiefpunkt, der den mechanischen Eigenschaften des weichgeglühten Metalls entspricht (C-D).

Erholung und Rekristallisation werden durch eine Änderung der Mikrostruktur und der Korngöße begleitet und können bei 50-facher Vergrößerung im Mikroskop beobachtet werden. Die Mikro-

struktur verändert sich von einer faserigen Struktur in eine völlig rekristallisierte Struktur (Bild V.3). Die Körner können in ihrer Größe während der Erholung und Rekristallisation wachsen. Dieses gröbere Korngefüge kann bei nachfolgenden Bearbeitungsschritten, z.B. Abkanten als sogenannte „Orangenhaut“ auf der Oberfläche beobachtet werden. Ein Kornwachstum um 100 µm reduziert die Umformbarkeit naturharter Legierungen.

BILD V.2
KALTVERFESTIGUNGSKURVE DER LEGIERUNG 5083



Die folgenden Bedingungen sind notwendig, um eine feinkörnige geglähte Mikrostruktur von Aluminiumlegierungen zu erreichen:

- Das Metall muss eine ausreichend hohe Kaltumformung von mindestens 15% erfahren haben. Dies ist die „kritische Kaltverfestigung“ bzw. „Mindest-Kaltverfestigung“. Wenn diese Bedingung nicht erreicht wird, muss die Wärmebehandlung auf die Erholung ohne Rekristallisation beschränkt werden.

- Ein Temperaturgradient von 20°C bis 60°C pro Stunde muss erreicht werden
- Temperaturen über 350°C – 380°C sollte vermieden werden
- Die Haltezeit sollte auf max. 2 h begrenzt werden

Bei 5000er-Legierungen wird die Weichglühung normalerweise zwischen 320°C und 380°C bei 30 bis 120 min Haltezeit durchgeführt.

Bemerkung: Naturharte Legierungen im weichgeglühten Zustand (O, H111) können nur durch Kaltverfestigung auf ein höheres Festigkeitsniveau gebracht werden

BILD V.3
FESTIGKEITSVERLAUF WÄHREND DER GLÜHUNG

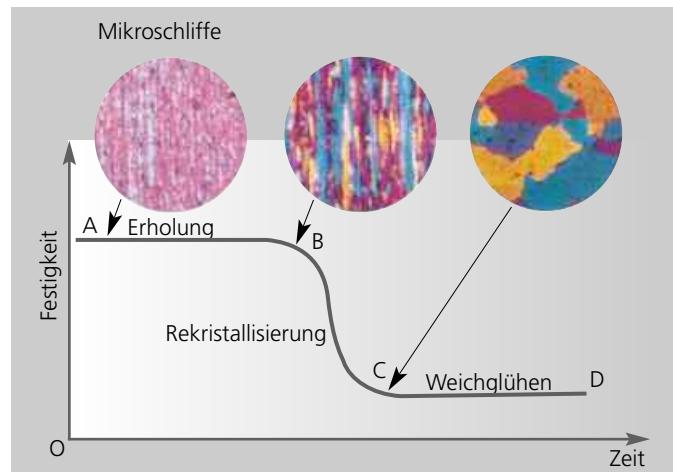


TABELLE V.8
6000-ER SERIE WARMAUSLAGERUNG

Legierung	Ausgangszustand	Warmauslagern	Endzustand*
6060	T1 - T4	6 h bei 185°C or 8 h bei 175°C	T5 - T6
6005	T1 - T4	8 h bei 175°C	T5 - T6
6106	T1 - T4	8 h bei 175°C	T5 - T6
6061	T4	8 h bei 175°C	T6
6082	T1 - T4	16 h bei 165°C oder 10 h bei 170°C oder 8 h bei 175°C	T5 - T6

* T5, für einen Ausgangszustand T1; T6 für einen Ausgangszustand von T4.

8.3. Aushärtbare Legierungen

Wenn bei Produkten aus aushärtbaren Legierungen noch eine plastische Umformung stattfinden soll, dann sollte diese auf Material im Zustand T4 erfolgen. Zum einen ist der mögliche Grad an Kaltumformung höher als bei

T6-Material, zum anderen gibt es nur einen geringen keinen Effekt von Kaltverfestigung. Wenn z.B. für ein Biegeprofil eine 6000er-Legierung in Zustand T6 benötigt wird, dann kann hierfür eine Warmumformung durchgeführt werden. Die Tabelle V.8 zeigt an, wie bei einem typischen Heißluftofen zu verfahren ist.

Schwungradgehäuse eines LKW- Motors
(Brabant Alucast)



8.4. Gusslegierungen

Gießen ist der kürzeste Weg vom flüssigen Metall zum fertigen Produkt. Es wird für komplexe geometrische Formen eingesetzt. Es ist von Vorteil, die Gießerei von Beginn der Konzeptphase bis zum Design mit einzubinden. Die Experten der Gießerei können insbesondere während der Designphase aufgrund ihrer Kenntnisse des Gießereiequipments, des Prozesses der Gussformherstellung, des Abkühlens und Schrumpfens des Gussteils etc. von großer Hilfe sein. Wenn das Design eines Gussteils im Hinblick auf die Prozessoptimierung angepaßt wird, ist es in den meisten Fällen möglich, weit bessere mechanische Eigenschaften als die in der EN 1706 festgelegten zu garantieren.

Die Tabelle V.5 (siehe Abschnitt 6.3) zeigt einige Eigenschaften von Gusslegierungen.

Die Legierung 21100 benötigt ein besonders aufmerksames Design der Gussteile in Bezug auf den Gießprozess und der Schmelzebehandlung in der Giesserei. Insbesondere muß hier auf das Entgasen des flüssigen Metalls geachtet werden, um Mikro-Porositäten zu vermeiden. Der Index B oder C in der Spalte „Zerspanbarkeit“ ergibt sich aus der starken Abnutzung der

Schneidwerkzeuge aufgrund des hohen Siliziumanteils dieser Legierungen.

Die Korrosionsbeständigkeit von Gußteilen mit der originalen Gußoberfläche ist aufgrund der weitaus dickeren Oxidschicht besser als die der bearbeiteten Oberfläche.

DESIGN VON GUSSTEILEN

Generell gesehen ist es notwendig, sich bei der Auswahl der Legierung und des Gießverfahrens sowie beim Design des Gussteiles der Herstellungsmöglichkeiten und Prozessbeschränkungen von Beginn der Entwicklungsphase eines neuen Bauteils an bewußt zu sein. Es gibt eine Anzahl grundlegender Regeln, die ein Konstrukteur berücksichtigen sollte:

- Querschnitte sollten gleich groß dimensioniert sein und Dickenübergänge sollten sanft gestaltet werden, um einen Aufbau von Metall an Knotenpunkten und damit das Risiko von Schrumpf-Porosität während der Abkühlung zu vermeiden.

- Aus dem gleichen Grund sollten vereinzelte Stege vermieden werden und die Wandstärken sollten so ausgelegt sein, daß sich ein guter Metallfluß einstellt.
- An jeder inneren Kante sollte eine Hohlkehle vorgesehen werden, um eine Rissbildung während des Gießens zu vermeiden (dies gilt insbesondere für 21100-Legierungen).

- Das Design der Zulauföffnungen sollte leicht asymmetrisch sein, um eine kontrollierte Erstarrung und eine gleichmäßige Schmelzezufuhr zu gewährleisten.
- Die Anzahl an Knotenpunkten und Kerben sollte auf ein Minimum reduziert sein, da diese das Werkzeug und den Gießprozess aufwändiger machen und so die Kosten erhöhen. Dies gilt auch für Entgratvorgänge.
- Die Festlegung der Dimensions-Toleranzen muß die Gießtechnik und den Einfluss von Wärmebehandlungsverfahren wie Lösungsglühen und Abschrecken berücksichtigen.

9. Verzeichnis der Normen

- EN 485 *Aluminium und Aluminiumlegierungen – Bänder, Bleche und Platten*
 - Teil 1: Technische Lieferbedingungen
 - Teil 2: Mechanische Eigenschaften
 - Teil 3: Grenzabmaße und Formtoleranzen für warmgewalzte Erzeugnisse
 - Teil 4: Grenzabmaße und Formtoleranzen für kaltgewalzte Erzeugnisse
- EN 515 *Aluminium und Aluminiumlegierungen – Halbzeug – Bezeichnungen der Werkstoffzustände*
- EN 573 *Aluminium und Aluminiumlegierungen - Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug*
 - Teil 1: Numerisches Bezeichnungssystem
 - Teil 2: Bezeichnungssystem mit chemischen Symbolen
 - Teil 3: Chemische Zusammensetzung
 - Teil 4: Erzeugnisformen
- EN 755 *Aluminium und Aluminiumlegierungen –Stranggepresste Stangen, Profile und Rohre*
 - Teil 1: Technische Lieferbedingung
 - Teil 2: Mechanische Eigenschaften
 - Teil 3: Rundstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen
 - Teil 4: Vierkantstangen, Grenzabmaße und Formtoleranzen
- EN 1706 *Aluminium und Aluminiumlegierungen – Gußstücke – Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften*
- EN 12392 *Aluminium und Aluminiumlegierungen - Knet- und Gusswerkstoffe - Besondere Anforderungen an Werkstoffe für die Fertigung von Druckgeräten*
- EN 14286 *Aluminium und Aluminiumlegierungen - Schweißbare Walzerzeugnisse für Tanks für Lagerung und Transport von Gefahrgut*

Das Verzeichnis *TEAL SHEETS: "International alloy designations and chemical composition limits for wrought aluminium and wrought aluminium alloys"* ist zum kostenlosen download auf der EAA Web-site verfügbar unter: <http://www.eaa.net/en/about-aluminium/Standards/international-registration/>



KAPITEL VI

KONSTRUKTION UND BERECHNUNG

1. EINFÜHRUNG	57
2. MÖGLICHKEITEN MIT ALUMINIUM	58
3. SYMBOLE	58
4. ALUMINIUM VS. STAHL	58
5. GRENZZUSTANDSBERECHNUNG	62
5.1. Philosophie	62
5.2. Was ist der Grenzzustand der Tragsicherheit?	62
5.3. Was ist der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit?	62
6. GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT	63
7. GRENZZUSTAND DER TRAGSICHERHEIT	64
7.1. Klassifizierung von Querschnitten	64
7.2. Tragwiderstand	64
7.3. Schweißverbindungen	69
7.4. Schraubverbindungen	73
8. ERMÜDUNG	76
8.1. Theorie	76
8.2. Praxis: Vergleich zwischen guten und schlechten Fahrgestell- Lösungen	82
9. SPEZIELLE KONSTRUKTIONSFRAGEN	86
9.1. Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter	86
9.2. Muldenkipper	87
10. Referenzen	89

1. Einführung

Die neue europäische Richtlinie für die Auslegung von Aluminiumtragwerken ist die Grundlage für dieses Kapitel.

Der Name dieser Norm ist: EN 1999 Eurocode 9. „Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke“

Teil 1-1 Allgemeine Bemessungsregeln

Teil 1-2 Tragwerksbemessung für den Brandfall

Teil 1-3 Ermüdungsanfällige Tragwerke

Teil 1-4 Kaltgeformte Profiltafeln

Teil 1-5 Schalen

Der Teil 1-1 wird für alle statischen Berechnungen und Teil 1-4 für alle Ermüdungsberechnungen in diesem Kapitel eingesetzt.

Eine neue europäische Norm für die Ausführung von Aluminiumtragwerken befindet sich in der Entwicklung und wird demnächst erscheinen. Es wird empfohlen, die relevanten Teile dieser Norm für die Auslegung von Bauteilen für Nutzfahrzeuge einzusetzen.

Die Bezeichnung der Norm ist:

DIN EN 1090-3, *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken*

2. Möglichkeiten mit Aluminium

Die Vorteile einer Konstruktion mit Aluminium sind:

- Hohes Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht
- Die Möglichkeit individueller Querschnittsgestaltung mit dem Extrusionsprozess
- Gute Korrosionsbeständigkeit
- Langes Fahrzeugleben
- Einfach zu verarbeiten
- Einfach zu reparieren

Besonders für die Konstruktion komplexer Bauteile ist die Nutzung von Sonderprofilen ein großer Vorteil von Aluminium verglichen mit anderen Metallen. Bei der Auslegung eines Profils kann das Material dort platziert werden, wo der Festigkeitseffekt des Materials am notwendigsten ist. Details können so ausgeführt werden, dass sie die Verarbeitung und die Montage vereinfachen.

Häufig verwendete Symbole in diesem Kapitel sind:

f_o charakteristischer Wert der 0.2 % Dehngrenze

f_u charakteristischer Wert der Zugfestigkeit

f_{ub} charakteristische Zugfestigkeit einer Schraubverbindung

E Elastizitätsmodul

d Schraubendurchmesser

d_o Lochdurchmesser

t Wanddicke

A Querschnittsfläche

W Widerstandsmoment

γ_M Sicherheitsfaktor für die Festigkeitsberechnung (siehe Definition in 5.2) aus der EN 1999-1-1.

Der Index $_{Ed}$ wird für berechnete Belastungseffekte verwendet. Dies gilt für axiale Kräfte (N_{Ed}), Biegemomente (M_{Ed}), Schubkräfte (V_{Ed}), Torsion (T_{Ed}) und Kräfte in Verbindung mit Schraubverbindungen ($F_{v,Ed}$ für Scherkraft und $F_{t,Ed}$ für Zugkraft).

3. Symbole

4. Aluminium vs. Stahl

Sowohl Stahl wie auch Aluminium sind Metalle mit relativ hoher Festigkeit. Beide Materialien sind nicht brennbar und tragen nicht zur Ausbreitung eines Feuers bei. Für Tragwerksanwendungen sind die größten Unterschiede:

Elastizität: Der Elastizitätsmodul (E- Modul) von Aluminium ist 1/3 des E- Moduls von Stahl. Dies bedeutet, dass ein Aluminiumträger mit demselben Querschnitt und bei derselben Belastung wie ein Stahlträger eine 3 x höhere Durchbiegung als ein Stahlträger hat.

Gewicht: Die Dichte von Aluminium beträgt 1/3 der Dichte von Stahl. Dies bedeutet, daß ein Stahlträger 3 x schwerer ist als ein Aluminiumträger gleichen Querschnitts.

Schweißen: Beim Schweißen verfestigter Aluminiumlegierungen geht der Verfestigungseffekt teilweise oder ganz verloren. Die Festigkeit in der Wärmeeinflusszone (WEZ) reduziert sich. Diese Reduzierung hängt im Wesentlichen von der Legierung, dem Zustand, der Art des Produktes und dem Schweißverfahren ab. Normaler Stahl hat keinen Festigkeitsverlust durch das Schweißen.

Thermische Ausdehnung: Der Wärmeausdehnungskoeffizient

von Aluminium ist doppelt so hoch wie der von Stahl. Dies bedeutet, dass ein Aluminiumbauteil gegenüber einem Stahlbauteil eine doppelt so hohe thermische Ausdehnung bei gleichem Temperaturanstieg erreicht. Da der E- Modul von Aluminium aber gleichzeitig aber nur 1/3 des E- Moduls von Stahl beträgt, sind die Spannungen in einem fixierten Aluminiumbauteil nur 2/3 der Spannungen in einem Stahlbauteil.

Die meisten Aluminiumlegierungen für tragende Anwendungen haben ein hohes Festigkeit zu E- Modul- Verhältnis. Dieser Effekt gilt insbesondere für kaltverfestigte oder wärmebehandelte Aluminiumlegierungen. Aluminiumlegierungen für tragende Anwendungen haben ein ungefähr doppelt so hohes „Festigkeit- zu E- Modul- Verhältnis“ wie Standardstähle.

Wenn man Aluminiumlegierungen für tragende Anwendungen mit hochfestem Stahl vergleicht, ergibt sich ein etwa gleiches „Festigkeit zu E- Modul- Verhältnis“. Es sollte aber bemerkt werden, dass der E- Modul einer Legierung von deren Basismetall

abhängt. Mit anderen Worten haben alle Aluminiumlegierungen den etwa gleichen E- Modul, was aber auch für alle Stahllegierungen gilt. Daraus folgend haben alle sogenannten „hochfesten Stähle“ keine besseren elastischen Eigenschaften als Baustahl.

Stahlkonstrukteure verwenden oft die Festigkeit als bestimmendes Kriterium bei der Auslegung einer Stahlkonstruktion und prüfen danach, ob die Durchbiegung innerhalb der Anforderungen liegt. Bei der Auslegung von Aluminiumkonstruktionen ist es häufig das Durchbiegungskriterium die bestimmende Kenngröße. Aus diesem Grund wird die Auslegung mit dem Durchbiegungskriterium beginnen und es wird nachfolgend geprüft, ob die Spannungen oder die Festigkeit innerhalb der Grenzen liegen.

Die Durchbiegung von Bauteilen unter Biegekräften hängt vom E- Modul (E) und dem Trägheitsmodul (I) in Verhältnis zur Belastung und der Stützweite ab. Bei gleicher Spannung und Stützlänge bestimmt das Produkt E x I die Durchbiegung.

Um dieselbe Durchbiegung wie ein Stahlträger zu erreichen,

muss ein Aluminiumträger ein 3 x so hohes Trägheitsmoment aufweisen. Wenn die Erhöhung des Trägheitsmomentes nur durch einen dickeren Steg und dickere Flansche erfolgt, wird der Aluminiumträger dasselbe Gewicht wie der Stahlträger aufweisen. Um Gewicht zu sparen, müssen Aluminiumträger unter Biegebelastung höher sein. Ein Beispiel zeigt dies:

Ein Aluminiumträger soll dieselbe Durchbiegung wie ein Standard IPE 240- Stahlträger erreichen. Das Trägheitsmoment und das Gewicht des Stahlträgers sind:

$$I = 38.9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Gewicht} = 30.7 \text{ kg/m}$$

Der Aluminiumträger muss ein Trägheitsmoment von

$$I = 116.7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

aufweisen, um dieselbe Durchbiegung zu erreichen. Wenn die Höhe des Aluminiumträgers 240 mm sein soll, dann wird dies mit einem Doppel-T-Träger von 240 x 240 x 12 x 18,3 erreicht, der folgendes Trägheitsmoment und Gewicht hat:

$$I = 116.6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Gewicht} = 30.3 \text{ kg/m}$$

Wenn die Höhe des Aluminiumträgers 300 mm betragen kann, dann wird das Durchbiegungskriterium mit einem Doppel-T-Träger von 300 x 200 x 6 x 12,9 erreicht mit folgendem

Trägheitsmoment und Gewicht:

$$I = 116.7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Gewicht} = 18.4 \text{ kg/m}$$

Dies bedeutet eine Gewichtersparnis von 40%.

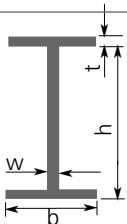
Ein Doppel-T-Träger mit 330 x 200 x 6 x 10 hätte ein Trägheitsmoment von

$$I = 117.3 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

und ein Gewicht von 15,8 kg/m, was eine Gewichtersparnis von 49% bedeutet.

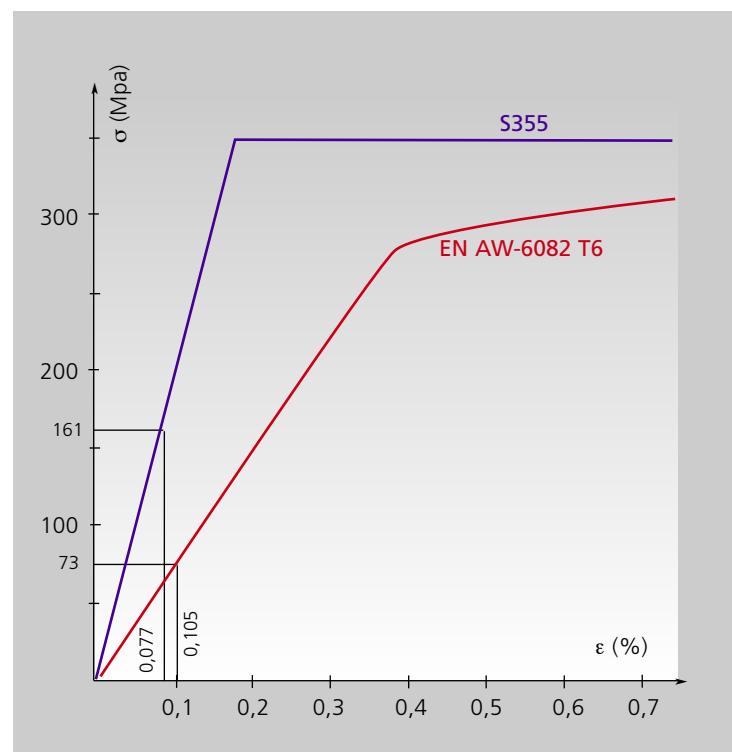
Diese 3 verschiedenen Aluminiumträger ergeben eine gleiche Durchbiegung wie ein IPE 240- Stahlträger. Die Form und die Stabilität des Trägers legen das Gewicht des Trägers fest. Die Tabelle VI.1 zeigt die Träger und die Gewichtersparnis:

TABELLE VI.1

	Stahl	Aluminium	Aluminium	Aluminium
				
Trägheitsmoment in mm ⁴	38.9 10 ⁶	116.6 10 ⁶	116.7 10 ⁶	117.3 10 ⁶
E x I (N/mm ²)	8.17 10 ¹²	8.16 10 ¹²	8.17 10 ¹²	8.21 10 ¹²
h (mm)	240	240	300	330
b(mm)	120	240	200	200
w (mm)	6.2	12	6	6
t (mm)	9.8	18.3	12.9	10
Gewicht (kg/m)	30.7	30.3	18.4	15.8
Gewicht in % des Stahlträgers	100 %	99 %	60 %	51 %

Die Spannung in einem Aluminiumbauteil, welches nach dem Durchbiegungskriterium ausgelegt wurde, ist oftmals gering. Im Folgenden wird ein Stahlträger IPE 240 mit einem Aluminiumträger von 330 x 200 x 6 x 10 verglichen (beide Träger sind in Tabelle VI.1 dargestellt). Die Durchbiegung darf höchstens 1/250 der Stützweite betragen (24 mm); die Stützweite beträgt 6000 mm und die Last liegt bei 11,6 kN/m. In Bild VI.1 sind die Spannungs-/ Dehnungskurven für Stahl S355 und Aluminium EN AW 6082 T6 dargestellt. Die Spannung und die Dehnung für den Stahl- und den Aluminiumträger sind ebenfalls dargestellt. Bei der gleichen Durchbiegung, der gleichen Last und der gleichen Stützweite hat der Stahlträger eine Biegespannung von 161 MPa, während der Aluminiumträger eine Biegespannung von 73 MPa aufweist. Dies ist die maximale Biegespannung bei 24 mm Durchbiegung beider Träger.

BILD VI.1
SPANNUNGSVERGLEICH ZWISCHEN ALUMINIUM- UND STAHLTRÄGERN



Zusätzliche Vergleiche von gewichtsoptimierten Trägern sind auch in Kapitel III, Abschnitt 2.1 zu finden.

5. Grenzzustandsberechnung

5.1. Philosophie

Grenzzustandsberechnungen und partieller Sicherheitsfaktor

sind Methoden, auf denen die neuen Konstruktionsnormen basieren. In Europa sind die EN 19xx – Normen die Basis dieser

Methode für alle Tragwerkskonstruktionen in Bauwerksberechnungen. Für Aluminium sind die aktuellen Normen:

EN 1990 – Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung

EN 1991 – Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke. Alle Teile.

EN 1999 – Eurocode 9 – Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken

Die EN 1990 legt partielle Sicherheitsfaktoren für Lasten und Regeln für die Kombination von Lasten für die Einwirkungen auf Tragwerke fest.

Die EN 1991 gibt charakteristische Lasten für Tragwerke und Gebäude wie Eigengewicht, Nutzlasten, Windlasten, Schneelasten, Verkehrslasten etc. wieder.

Die EN 1999 legt die Berechnungsgrundlagen für Aluminiumtragwerke fest

5.2. Was ist der Grenzzustand der Tragsicherheit?

Der Grenzzustand die Tragsicherheit ist der Zustand, für den die Sicherheit des Tragwerkes ausgelegt wird. Ein Tragwerk darf nicht kollabieren und die Auslegung nach dem Grenzzustand der Tragsicherheit muss ein strukturelles Versagen verhindern.

Der Teilsicherheitsfaktor des Widerstandes (γ_M) muß die Streu-

ung der Festigkeitseigenschaften und der Querschnittsgeometrie berücksichtigen. Für Verbindungen muß der Sicherheitsfaktor zusätzlich noch die Qualität der Schweißverbindungen und der Schraubverbindungen und Schraubenkonfiguration berücksichtigen. Der Teilsicherheitsfaktor für die betrachtete Einwirkung (γ_F) soll die Abweichung der Einwirkungen, die Möglichkeit der ungenauen Modellierung der Einwirkungen, Unsicherheiten in der Ermittlung der Schnittgrößen sowie Unsi-

cherheiten bei der Annahme des bestreffenden Grenzzustandes berücksichtigen. Der Teilsicherheitsfaktor ist unterschiedlich für unterschiedliche Lasttypen, deren Bestimmtheit und wie sie kombiniert sind. Eigengewichte von Tragwerken haben einen geringen Teilsicherheitsfaktor, während Betriebslasten (dies sind alle Kräfte, die während der Nutzung variabel sind, wie z.B. das Nutzlastgewicht, Strassenvibrationen etc.) einen hohen Teilsicherheitsfaktor haben.

Die zu erfüllende Bedingung lautet:

$$\frac{R_k}{\gamma_M} \geq \gamma_F \cdot E_k$$

wobei

R_k der typische Wert des Widerstandes ist; sei es axialer Zug oder Druck, Biegemoment, Scherung oder eine kombinierte Belastung.
 E_k ist der charakteristische Wert der Lasteffekte; sei es axialer Zug oder Druck, Biegemoment, Scherung oder eine kombinierte Belastung auf einen Querschnitt oder eine Verbindung.

γ_M ist der Teilsicherheitsfaktor des Widerstandes, oft als Materialfaktor bezeichnet.

γ_F ist der Teilsicherheitsfaktor der Lasteinwirkungen, oft als Lastfaktor bezeichnet.

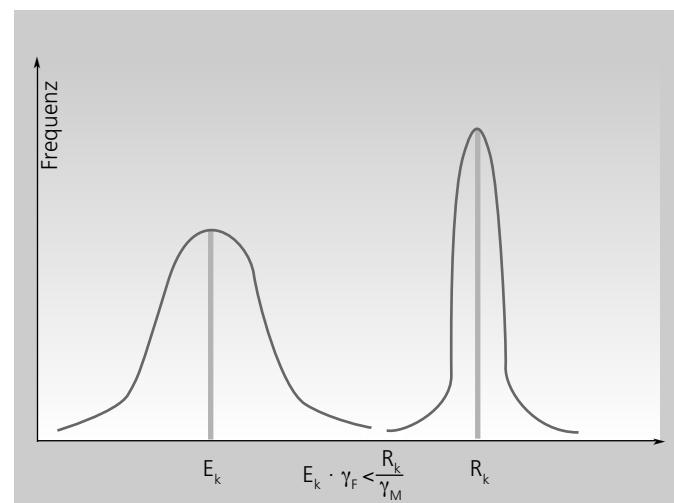
Diese Beziehung wird in Bild VI.2 dargestellt.

Typische Werte für den Teilsicherheitsfaktor des Widerstandes sind 1.10 (γ_{M1}) für Bauteile und 1.25 (γ_{M2} und γ_{Mw}) für Schraub-, Niet- und Schweißverbindungen. Dies sind die Materialfaktoren für Gebäude und Hochbauten, die auch für alle anderen Tragwerksberechnungen verwendet werden können, da das Material, die geometrischen Dimensionen und die Ausführung von Verbindungen in allen Aluminiumtragwerken nahezu gleich sind.

Typische Werte für die Lasteffekte in Gebäuden und im Hochbau sind 1.2 für Eigengewichte und 1.5 für Verkehrslasten. Für die Auslegung von Bauteilen für

Nutzfahrzeuge sollten folgende Faktoren eingesetzt werden:
Eigengewicht: 1.1
Verkehrslasten: 1.5

BILD VI.2



5.3. Was ist der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit?

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist der Zustand, bei dem die Kriterien für die Gebrauchstauglichkeit erfüllt werden müssen. Die häufigsten Gebrauchsmerkmale sind:

- Verformungen und Durchbiegungen in alle Richtungen
- Dynamische Effekte wie Schwingungen

In Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit werden Teilsicherheitsfaktoren des Widerstandes γ_M und der Lasteinwirkungen γ_F von 1.0 verwendet.

6. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Alle Berechnungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind elastische Berechnungen. Die berechneten elastischen Verformungen werden mit den Grenzen für die Durchbiegung verglichen. Die Größe der Schwingungen muss auf dieselbe Weise berechnet werden. Wenn die Schwingungen eine hohe Anzahl an Zyklen haben, müssen die Bauteile und die Verbindungsstellen auf Ermüdung geprüft werden. Normalerweise basieren die Berechnungen der elastischen Durchbiegung auf dem Trägheitsmoment des Brutto-Querschnitts des Bauteils. Für Bauteile in der Querschnittsklasse 4 (siehe Abschnitt 7.2.4 in EN 1999-1-1) ist es notwendig, das Trägheitsmoment zu reduzieren, wenn die Spannungen in dem druckbelasteten Teil des Querschnittes höher als die Spannungen sind, bei denen lokale Beulungsverformungen auftreten.

Das Trägheitsmoment für die Berechnung der Durchbiegung für Bauteile der Querschnittsklasse 4 ist:

$$I_{ser} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{f_o} (I_{gr} - I_{eff})$$

σ_{gr} ist die maximale Druckspannung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, basierend auf den Brutto-Querschnitts-Eigenschaften
 I_{gr} ist das Trägheitsmoment des Brutto-Querschnitts
 I_{eff} ist das Trägheitsmoment des effektiven Querschnitts im Grenzzustand der Tragsicherheit, bei Zulässigkeit lokaler Beulungsverformungen.

7. Grenzzustand der Tragsicherheit

7.1. Querschnittsklassen

Querschnitte werden in 4 Klassen eingeteilt. In Tabelle VI.2 beschreiben die verschiedenen Klassen, wie sich die Querschnitte unter Druck und Biegebelastung verhalten. Dies ist direkt mit dem Widerstand (Lastaufnahmevermögen) des Querschnitts verbunden.

Dünne Teile eines Querschnitts können bei geringen Spannungen Beulungsverformungen unterliegen, wobei dies den Widerstand des Querschnitts reduziert. Dies wird durch die Regeln der Querschnittsklassifizierung berücksichtigt.

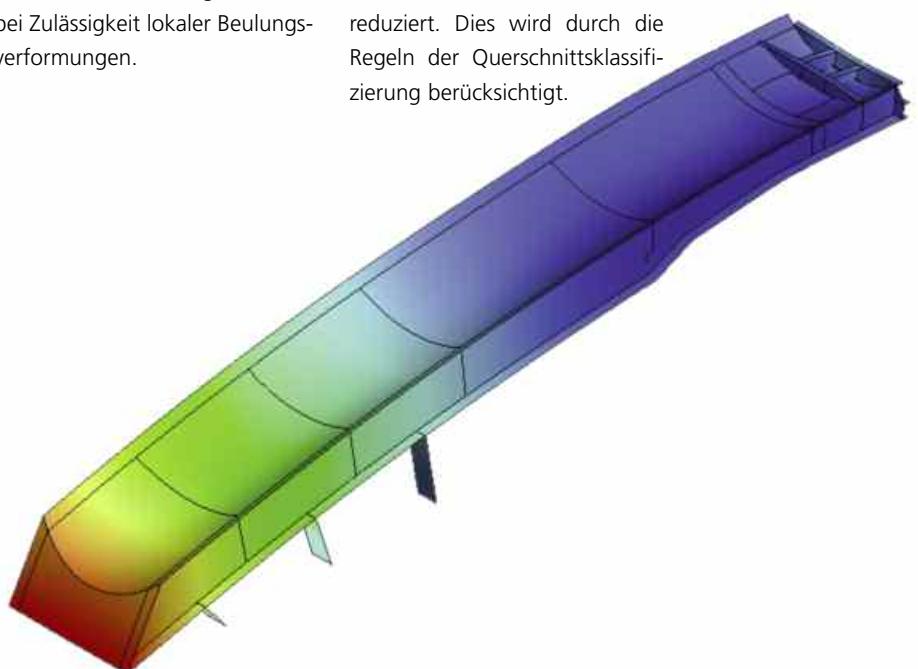


TABELLE VI.2

Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4
Querschnitte, die eine plastische Drehachse bilden können mit einem Rotationsvermögen, welches bei einer plastischen Berechnung von Tragwerken benötigt wird.	Querschnitte, die eine plastische Drehachse entwickeln können, aber nur eine eingeschränktes Rotationsvermögen haben.	Querschnitte, bei denen die berechneten Spannungen in den meist beanspruchten Fasern die Dehngrenze erreichen können.	Querschnitte, bei denen lokales Beulen vor Erreichung der Dehngrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftreten kann.
Der Widerstand kann auf der Basis des plastischen Verhaltens unter Berücksichtigung der Materialverfestigung berechnet werden. Regeln hierfür sind in EN 1999-1-1, Anhang F enthalten.	Der Widerstand kann auf der Basis perfekten plastischen Verformungsverhaltens des Materials unter Verwendung des normalen elastischen Limits als Grenzwert berechnet werden. Regeln hierzu enthält die EN 1999-1-1, Anhang F.	Der Widerstand wird auf der Basis der elastischen Auslegung berechnet.	Der Widerstand wird auf der Basis der effektiven Querschnittsfläche berechnet. Regeln zur Berechnung der effektiven Querschnittsfläche sind in EN 1999-1-1, 6.1.5 festgelegt.

Die EN 1999-1-1, 6.1.4 legt mit:

Regeln für die Klassifizierung jedes Querschnitts fest. Ein β -Wert (das Verhältnis von Dicke zu Breite) wird berechnet als:

$$\beta = \eta \cdot \frac{b}{t}$$

b = Breite in einem Teil des Querschnitts

t = die dazugehörige Dicke

η = ein Wert, der von der Spannungssituation und davon abhängt, ob es sich um ein äußeres oder inneres Teil handelt.

Die meisten Aluminiumstrukturen in Nutzfahrzeugen werden gewichtsoptimiert ausgelegt werden. Die Querschnittsklassen 1 und 2 werden deshalb selten verwendet werden. Das elastische Design der Querschnittsklassen 3 und 4 wird daher die normale Situation darstellen.

7.2. Tragwiderstand

Der Tragwiderstand muss immer höher als die berechneten Lastef-

fekte sein. Die EN 1999-1-1 legt Regeln für die Berechnung des Tragwiderstandes für unterschiedliche Bauteile unter unter-

schiedlichen Lasten fest. Die Tabelle VI.3 listet einige dieser Regeln auf und zeigt Referenzen.

TABELLE VI.3

Situation	Ref. EN 1999-1-1	Widerstand
Spannung	6.2.3	<p>Der kleinere Wert von:</p> $N_{o,Rd} = \frac{A_g \cdot f_o}{\gamma_{M1}}, \quad N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad \text{oder} \quad N_{u,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$ <p>$N_{o,Rd}$ ist der Auslegungswiderstand gegen generelles Fliessen. $N_{u,Rd}$ ist der Auslegungswiderstand gegen axiale Kräfte des Netto-Querschnitts an Bohrungen für Halterungen oder der effektive Querschnitt an Schweißnähten.</p> <p>A_g ist die Bruttofläche. • A_{net} Netto- Querschnittsfläche. A_{eff} ist die effektive Querschnittsfläche unter Berücksichtigung der WEZ- Effekte</p>
Druck (ohne Ausbeulen)	6.2.4	<p>Der kleinere Wert von:</p> $N_{u,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}, \quad N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_o}{\gamma_{M1}}$ <p>$N_{u,Rd}$ ist der Auslegungswiderstand gegen axiale Kräfte des Netto-Querschnitts an Löchern für Halterungen oder der effektive Querschnitt an Schweißnähten. • $N_{c,Rd}$ ist der Auslegungswiderstand gegen axiale Kräfte an jedem Querschnitt. • A_{net} ist der Netto- Querschnitt unter Abzug von Bohrungen und ggf. des Einflusses der WEZ-Effekte am Querschnitt mit Bohrungen • A_{eff} ist die effektive Querschnittsfläche, basierend auf der reduzierten Dicke, die lokale Beulen erlaubt.</p>
Biegemoment	6.2.5	<p>Biegemomenten- Widerstand einer Fläche:</p> $M_{u,Rd} = \frac{W_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$ <p>Biegemomenten- Widerstand in jedem Querschnitt:</p> $M_{c,Rd} = \frac{\alpha \cdot W_{el} \cdot f_o}{\gamma_{M1}}$ <p>W_{net} ist der E- Modul des Netto- Querschnitts unter Berücksichtigung von Bohrungen und WEZ- Entfestigung. W_{el} ist der E- Modul des Brutto- Querschnitts. α ist der Formfaktor aus 6.4 in der EN 1999-1-1, 6.2.5.</p>
Scherung	6.2.6	<p>Berechnungswert des Scherwiderstandes:</p> $V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_o}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$ <p>A_v ist die Scherfläche.</p>
	6.7.4 6.7.5 6.7.6	<p>Für schlanke Stege und verstärkte Stege müssen die Regeln für Blechstegträger verwendet werden (Blechausbeulung)</p>

Situations	Ref. EN 1999-1-1	Resistance
Torsion	6.2.7 6.2.7.2 6.2.7.3	<p>Das berechnete St. Venants- Torsionsmoment ohne Verwindung ist:</p> $T_{Rd} = \frac{W_{T,pl} \cdot f_o}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$ <p>$W_{T,pl}$ ist der plastische T- Modul</p> <p>Bei Torsion mit Verwindung ist die Kapazität die Summe beider interner Effekte. Bei kombinierter Scher- und Torsionsbelastung ist der Widerstand durch eine geringere Scherfestigkeit gekennzeichnet.</p>
Biegen und Scheren	6.2.8	Die Scherkräfte reduzieren den Biegemomentenwiderstand, Wenn die Scherspannung halb so groß wie die Scherfestigkeit ist, ist der Einfluss des Biegemomenten- Widerstandes so gering, dass er vernachlässigt werden kann.
Biegen und axiale Kräfte	6.2.9 6.2.9.1 6.2.9.2 6.2.9.3	<p>Es gibt Formeln für die kombinierte Wirkung axialer Kräfte und Biegemomente für 1 oder 2 Achsen für:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Offene Querschnitte • Hohle Querschnitte und feste Querschnitte • Bauteile mit lokalen Schweißnähten
Biegen, Scheren und axiale Kräfte	6.2.10	Die Scherspannungen reduzieren den Widerstand gegen axiale Kräfte und Biegemomente. Sind die Scherkräfte halb so groß wie die Scherfestigkeit, ist der Einfluss der kombinierten axialen und Biegekräfte vernachlässigbar.
Stegbelastung	6.2.11	Gilt für die Belastung von Stegen unter Kräften durch konzentrierte lokale Lasten oder verteilte Lasten, die über den Flansch eingeleitet werden.
Druck (Beulwiderstand)	6.3	<p>Tragwerke unter axialer Druckbeanspruchung fallen in einen der 3 folgenden Belastungsfälle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Versagen durch Biegung • Versagen durch Torsion • Versagen durch lokales Fließen <p>Der berechnete Beulwiderstand eines Tragwerkes unter Druckbelastung ist:</p> $N_{b,Rd} = \frac{\kappa \cdot \chi \cdot A_{eff} \cdot f_o}{\gamma_{M1}}$ <p>κ ist ein Faktor zur Berücksichtigung der WEZ</p> <p>χ ist der Minderungsfaktor für den relevanten Beulmodus</p> <p>A_{eff} ist die effektive Querschnittsfläche. (für die Querschnittsklassen 1, 2 und 3 ist dies der Bruttoquerschnitt, für die Querschnittsklasse 4 wird diese Fläche wegen lokale Beulens reduziert)</p>

Situations	Ref. EN 1999-1-1	Resistance
Tragwerke unter axialer Druck- und Biegebeanspruchung	<p>6.3.3</p> <p>6.3.3.1</p> <p>6.3.3.2</p> <p>6.3.3.3</p> <p>6.3.3.4</p> <p>6.3.3.5</p>	<p>Bauteile unter Biege- und axialer Druckbelastung können auf einem dieser beiden Wege versagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Biegeknicken • Biegendrillknicken <p>Für den Fall des Biegeknickens gibt es für folgende Querschnitte Berechnungsformeln:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Offene, doppelsymmetrische Querschnitte • Vollquerschnitte • Hohlquerschnitte und Rohre • offene einfache-symmetrische Querschnitte <p>Biegendrillknicken: Für Stützen mit Druck und Biegung mit I-Querschnitt oder ähnlichen Querschnittsformen sind entsprechende Nachweise zu führen.</p> <p>Berechnungsformeln gibt es für folgende Fälle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bauteile mit örtlichen Schweißnähten • Bauteile mit örtlicher Schwächung des Querschnitts • Ungleiche Stabendmomente und / oder Querlasten
Blechträger	<p>6.7</p> <p>6.7.2 & 6.7.3</p> <p>6.7.4 & 6.8</p> <p>6.7.6</p> <p>6.7.5</p> <p>6.7.7</p> <p>6.1.5</p> <p>6.3.2</p>	<p>Ein schlanker Vollwandträger besteht aus einem Zugflansch, einem Druckflansch und einem hohen Stegblech. Der Steg ist normalerweise schlank und kann durch Längs- oder Querversteifungen verstärkt sein. Stegbeulen tritt bereits unter relativ niedriger Schubbeanspruchung auf, der Steg kann aber aufgrund der Ausbildung als Zugfeld im Nachbeulbereich erhebliche Steigerungen der Tragfähigkeit entwickeln. Schlanke Vollwandträger sind manchmal mit einem wellenförmigen oder trapezförmigen Steg oder mit einem Steg mit engliegenden Quersteifen ausgebildet.</p> <p>Schlanke Vollwandträger können durch kombinierte Beanspruchungen aus Biegemoment, Querkraft und Längskraft und zusätzlich durch lokale Querlasten auf den Flanschen beansprucht werden. Aufgrund der schlanken Ausführung können sie auf Biegendrillknicken versagen, wenn sie nicht entlang ihrer Längsrichtung ausreichend seitlich gehalten werden.</p> <p>Folgende Versagensfälle können auftreten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beulen des Stegs durch Druckspannungen • Beulen des Stegs unter Schubbeanspruchungen • Gleichzeitige Beanspruchung durch Querkraft und Biegemoment • Lokales Beulen des Stegs durch Lasten auf den Flanschen • Stegbeulen bei gekrümmten Stäben • Flanschversagen auf Torsion • Biegrillknicken

7.3. Schweißverbindungen

7.3.1. Allgemeines

Die Regeln in EN 1999-1-1, Abschnitt 8.6, gelten für MIG oder WIG- geschweißte Bauteile mit einer Schweißnahtqualität in Übereinstimmung mit EN 1090-3. Es wird empfohlen, dies durch zertifizierte Schweißer durchführen zu lassen. Empfohlene Schweißzusatzwerkstoffe können in:

- Kapitel VIII, Abschnitt 3.8
- EN 1999-1-1, Abschnitt 3.3.4
- EN 1011-4

gefunden werden.

Beim Schweißen kaltverfestigter Aluminiumlegierungen wird ein Teil des Verfestigungseffektes zerstört. In einer Schweißverbindung kann es 3 verschiedene Festigkeiten geben:

- Die Festigkeit des Grundwerkstoffes (nicht wärmebeeinflusst) (f_g)
- Die Festigkeit in der WEZ ($f_{o,WEZ}$)
- Die Festigkeit des Schweißwerkstoffes (f_w)

Normalerweise ist es notwendig, die Spannungen in der WEZ und in den Schweißnähten zu prüfen. Die Festigkeit in der WEZ hängt von der Legierung, dem Zustand, der Art des Produktes und dem Schweißverfahren ab. Werte hierzu sind in Tabelle 3.2 in der EN 1999-1-1 enthalten.

Die Festigkeit in der Schweißnaht hängt vom Zusatzwerkstoff und den geschweißten Legierungen ab. Werte hierzu sind in Tabelle 8.8 in der EN 1999-1-1 zu finden. Einseitige Stumpfnähte ohne Rückenstütze sind praktisch beim Aluminiumschweißen unmöglich. Wenn einseitige Stumpfnähte unvermeidbar sind, muss die effektive Nahtstärke betrachtet werden als:

- Die Tiefe der Nahtvorbereitung für J und U- Nähte
- Die Tiefe der Schweißnahtvorbereitung minus 3 mm oder 25%, (der kleinere beider Werte) für V -Nähte

Zusätzlich zu einer Stumpfnaht kann eine Kehlnaht eingesetzt werden, um die geringe Eindringtiefe der Stumpfnaht zu kompensieren.

Bei der Auslegung von Schweißverbindungen sollten einige praktische Vorsichtsmaßnahmen berücksichtigt werden:

- Guten Zugang zur Schweißstelle ermöglichen. Der Kopf der Schweißmaschine zum Schweißen von Aluminium ist relativ groß, so dass ausreichend Freiraum um die Schweißnaht herum vorhanden sein muss.
- Ein guter Zugang wird ebenfalls für die Prüfung der Nahtqualität benötigt. Alle Nähte sollten

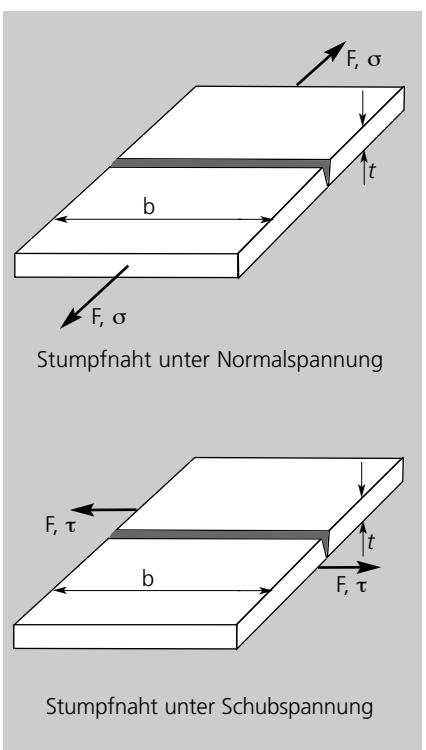
100 % visuell geprüft werden zusammen mit einigen nicht-zerstörenden Prüfungen (NZT).

- Voll durchgehende einseitige Stumpfnähte können nicht ohne Rückenstütze geschweißt werden.
- Wenn möglich, sollten Schweißnähte im Bereich der niedrigsten Spannungen platziert werden.

7.3.2. Stumpfnähte

Bauteile unter großer Belastung sollten mit Stumpfnähten mit voller Durchschweibung ver-

BILD VI.3



schweißt werden. Die effektive Dicke einer voll durchgeschweißten Stumpfnaht sollte wie die Dicke des dünnsten Verbindungsteils kalkuliert werden. Die effektive Länge kann wie die gesamte geschweißte Länge berechnet werden, wenn Anlauf- und Auslaufbleche verwendet wurden. Ist dies nicht der Fall, muss die gesamte Länge um den doppelten Wert der Dicke reduziert werden.

Berechnungsregeln für Stumpfnähte (siehe Bild VI.3):

Normalspannung, Zug oder Druck, quer zur Schweißachse:

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

Schubspannung:

$$\tau \leq 0,6 \cdot \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

Kombinierte Schub- und Normalspannung:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

7.3.3. Kehlnaht

Eine Kehlnaht ist definiert durch die Dicke der Nahtkehle "a" in mm. Das Bild VI.4 zeigt, wie der Wert "a" berechnet wird.

Die effektive Länge kann als Gesamtlänge der Schweißnaht gerechnet werden, wenn:

BILD VI.4

KEHLNAHT

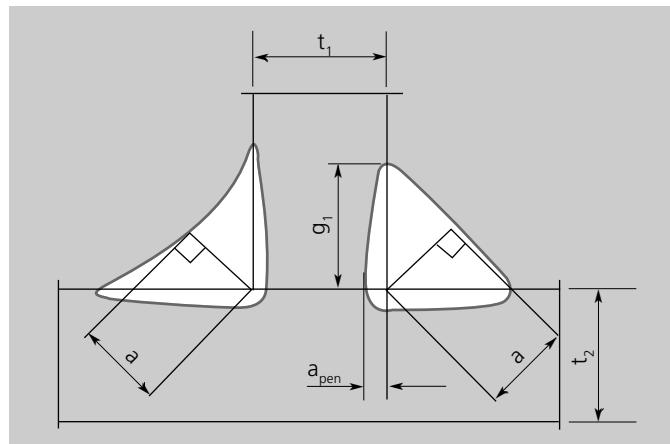


BILD VI.5

BEISPIEL KONSTANTER SPANNUNGSVERTEILUNG

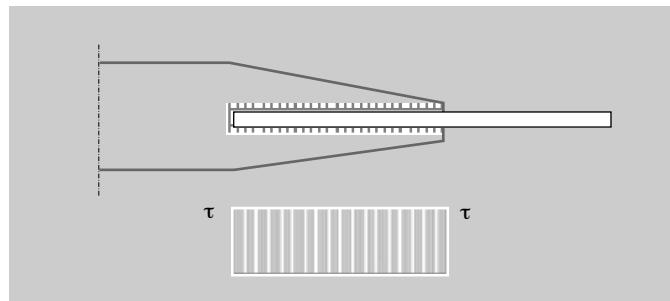
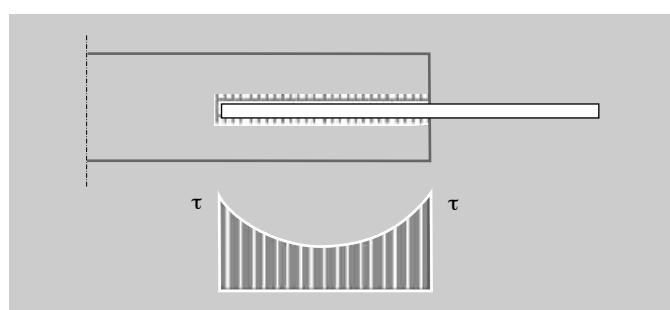


BILD VI.6

BEISPIEL UNGLEICHMÄßIGER SPANNUNGSVERTEILUNG



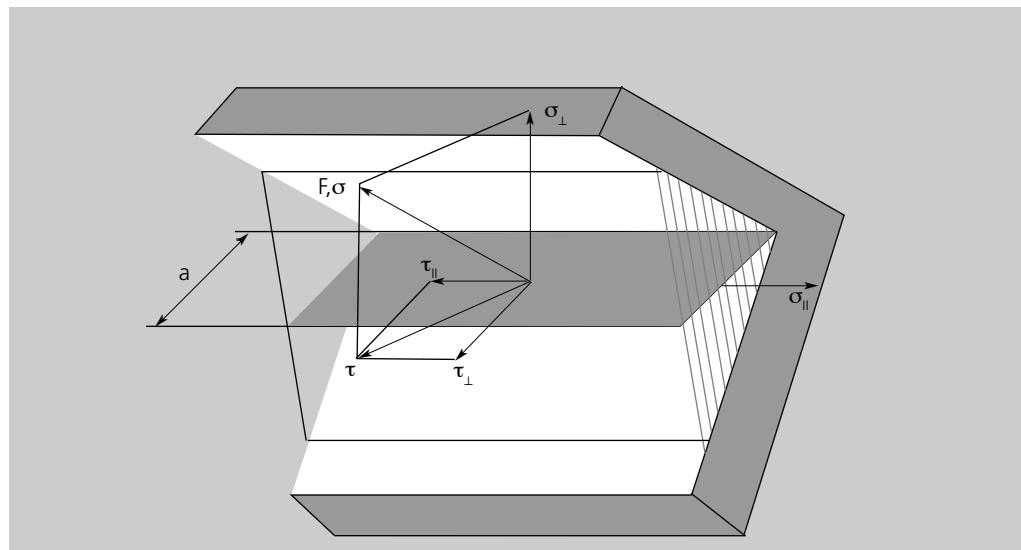
- Die Länge der Naht mindestens $8 \times$ so hoch wie die Kehldicke ist
- Die Nahtlänge nicht länger als $100 \times$ die Kehldicke ist bei ungleicher Spannungsverteilung (Bild VI.6)
- Die Spannungsverteilung über die Länge der Naht konstant ist (Bild VI.5).

Die auf eine Kehlnaht einwirkenden Kräfte sollten in Spannungskomponenten in Bezug auf den Kehlquerschnitt zerlegt werden:
 Diese Bestandteile sind:

- τ_{\perp} : Schubspannung auf den Kehlquerschnitt quer zur Schweißachse
- τ_{\parallel} : Schubspannung auf den Kehlquerschnitt parallel zur Schweißachse
- σ_{\perp} : Normalspannung quer zum Kehlquerschnitt
- σ_{\parallel} : Normalspannung quer zur Schweißnahtrichtung

BILD VI.7

AUF EINE KEHLNAHT WIRKENDE KRÄFTE



Berechnungsformel für
 Kehlnähte:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

7.3.4. Wärmeeinflusszone (WEZ)

Die Spannungen in der Wärmeeinflusszone müssen geprüft werden. Die Spannungen für die kleinste

Versagensebene werden sowohl für Stumpf- wie auch für Kehlnähte berechnet. Die Bilder (siehe BS 8118) zeigen die Versagensebene für einige Schweißnähte (Bilder VI.8, VI.9, VI.10, VI.11):

W: Schweißwerkstoff, Prüfung der Naht

F: WEZ, Prüfung der Aufschmelzgrenze

T: WEZ, Prüfung des Querschnitts

BILD VI.8
STUMPFNAHT

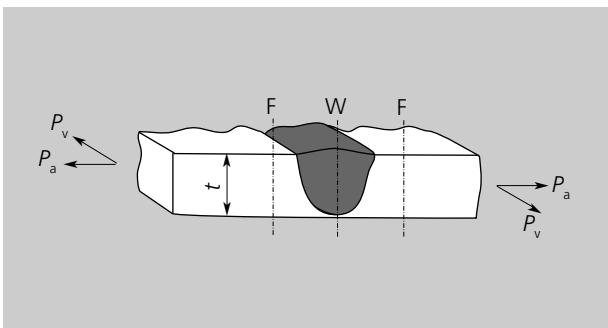


BILD VI.9
KEHLSCHWEISSEN

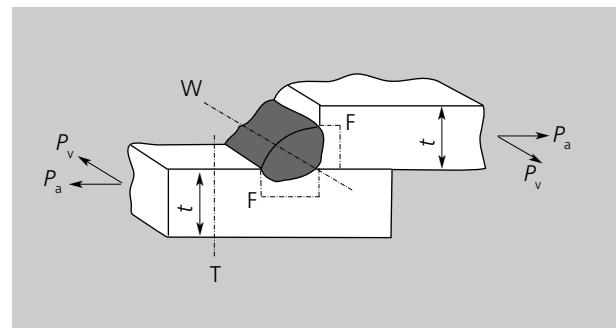


BILD VI.10
T STUMPFNAHT

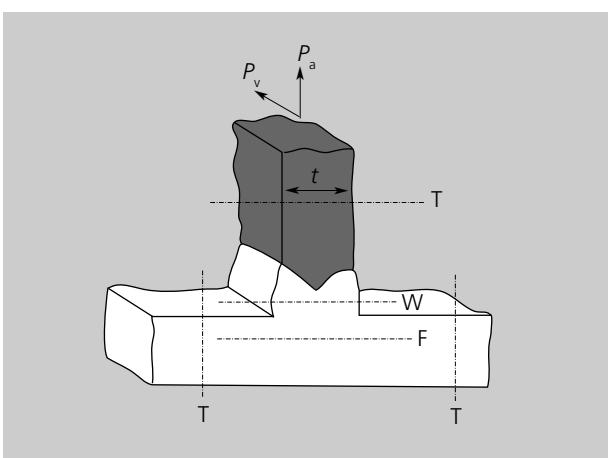
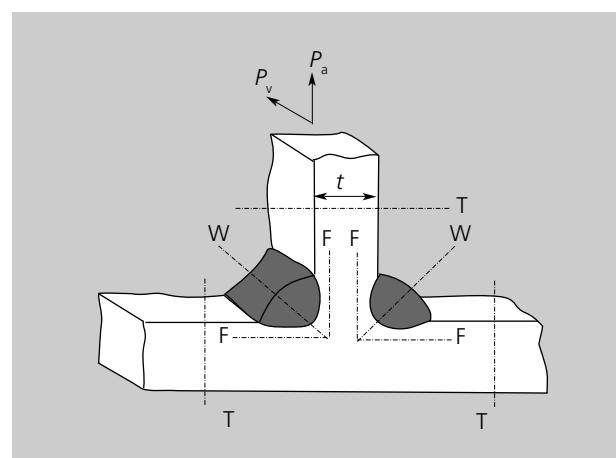


BILD VI.11
T KEHLSCHWEISSEN

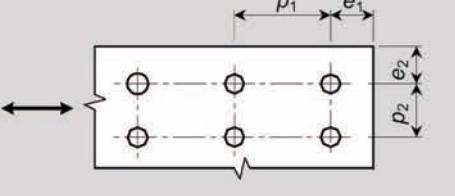
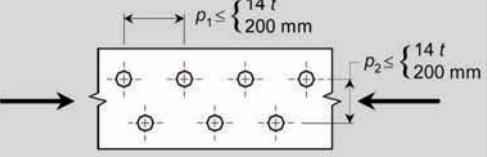
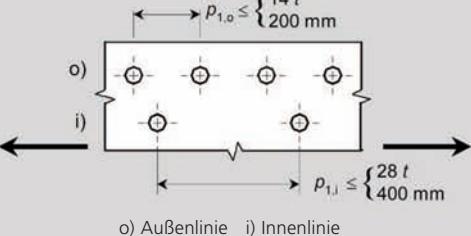


7.4. Schraubverbindungen

Die Regeln für Schraubverbindungen sind in der EN 1999-1-1, Abschnitt 8.5. enthalten.

Die minimalen, normalen und maximalen Abstände und die Abstände zu Enden und Kanten sind in Tabelle VI.4 dargestellt.

TABELLE VI.4

	Minimum	Normal	Maximum
	$e_1 = 1.2 \cdot d_0$ $e_2 = 1.2 \cdot d_0$ $p_1 = 2.2 \cdot d_0$ $p_2 = 2.2 \cdot d_0$	$e_1 = 2.0 \cdot d_0$ $e_2 = 1.5 \cdot d_0$ $p_1 = 2.5 \cdot d_0$ $p_2 = 3.0 \cdot d_0$	$e_1 = 4 \cdot t + 40\text{mm}$ $e_2 = 4 \cdot t + 40\text{mm}$ $p_1 \leq \begin{cases} 14 \cdot t \\ 200\text{mm} \end{cases}$ $p_2 \leq \begin{cases} 14 \cdot t \\ 200\text{mm} \end{cases}$
		$p_1 = 2.2 \cdot d_0$ $p_2 = 2.4 \cdot d_0$	$p_1 \leq \begin{cases} 14 \cdot t \\ 200\text{mm} \end{cases}$ $p_2 \leq \begin{cases} 14 \cdot t \\ 200\text{mm} \end{cases}$
 o) Außenlinie i) Innenlinie		$p_1 = 2.2 \cdot d_0$ $p_1 = 2.5 \cdot d_0$	Außenlinien: $p_1 \leq \begin{cases} 14 \cdot t \\ 200\text{mm} \end{cases}$ Innenlinien: $p_1 \leq \begin{cases} 28 \cdot t \\ 400\text{mm} \end{cases}$

d_0 ist der Lochdurchmesser und t = Dicke des Bleches

Der maximale Abstand für Passschrauben beträgt 0.3 mm und für Normalschrauben 1.0 mm. Versagensfälle für Schraubverbindungen können folgende Fälle sein:

- "Block- Abscherversagen" einer Schraubenlochgruppe eines Trägersteges und Zugspannungsversagen entlang der Zugspannungsrichtung der Schraubengruppe
- Schubversagen in der Schraube
- Lochleibungskraftversagen des Schraublochs
- Zugversagen der Schraube
- Durchstanzkraft entlang des Schraubenkopfes oder der Mutter
- kombiniertes Schub- und Zugversagen

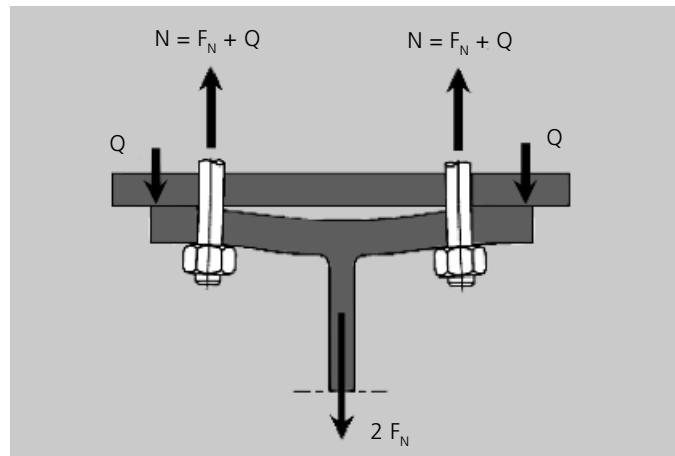
TABELLE VI.5

Versagensfall	Formel	Parameters
Schubwiderstand je Schubebene	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$	$\alpha_v = 0.6$ für Stahlschrauben, 4.6, 5.6 und 8.8 $\alpha_v = 0.5$ für Stahlschrauben, 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9 $\alpha_v = 0.5$ für Edelstahl- und Aluminiumschrauben A ist der Schraubenquerschnitt an der Schubebene
Lochleibungskraft	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$	$k_1 = \text{der kleinere Wert von}$ $\begin{cases} 2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7 & \text{Schrauben} \\ 2.5 & \text{an den Kanten} \end{cases}$ $k_1 = \text{der kleinere Wert von}$ $\begin{cases} 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7 & \text{inneren Schrauben} \\ 2.5 & \end{cases}$ $\alpha_b = \text{der kleinere Wert von}$ $\begin{cases} \alpha_d \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1.0 \end{cases}$ $\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0}$ bei Endschrauben $\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$ bei Innenschrauben
Zugspannung	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$	$k_2 = 0.9$ für Stahlschrauben $k_2 = 0.5$ für Aluminiumschrauben $k_2 = 0.63$ für Stahl-Senkschrauben A_s Zugspannungsfläche der Schraube
Durchstanzkraft	$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$	d_m Mittelwert aus Eckenmaß und Schlüsselweite des Schraubenkopfes oder der Mutter, der kleinere Wert ist maßgebend t_p Blechdicke unter dem Schraubenkopf oder der Mutter
Kombinierte Schub- und Zugspannung	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1.0$	$F_{v,Ed}$ ist der Lasteffekt des Schubs $F_{t,Ed}$ ist der Lasteffekt der Spannung

Bei Verbindungsstellen unter Zugspannungen, und bei denen die Zugspannungen nicht direkt durch die Schraube gehen, müssen zusätzliche Belastungen der Schraube mit eingerechnet werden. Diese Kräfte werden Kontaktkräfte genannt und können nennenswerte Beträge annehmen (siehe Bild VI.12).

BILD VI.12

KONTAKTKRÄSTE



LKW- Aufbau für den Getränketransport

8. Ermüdung / Dauerfestigkeit

8.1. Theorie

Bauteile mit wiederkehrenden Belastungen können anfällig gegen Ermüdung werden, wenn die Anzahl an Lastwechseln hoch ist, selbst wenn die Lasten nur geringe Spannungen in dem Bauteil hervorrufen. Ermüdungsversagen beginnt mit der Entstehung

eines Risses an einem Punkt mit Spannungskonzentrationen. Bei kontinuierlich wiederkehrenden Lasten wächst dieser Riss; dies wird sich als eine Riefe an der Fehleroberfläche bei jedem Lastwechsel bemerkbar machen. Der Abstand zwischen den einzelnen Riefen hängt vom Spannungsbereich ab und der sich daraus ergebenden Wachstumsgeschwindigkeit. Der Spannungsbereich ist definiert als die algebraische Differenz zwischen der Spannungsspitze und dem Spannungstal in einem Spannungsszyklus. Bei geringen Spannungsbereichen wachsen die Risse langsam, bei hohen Spannungsbereichen dagegen schnell. (Bild VI.13)

Auflieger - Ermüdungsversuch im Labor (Benalu)

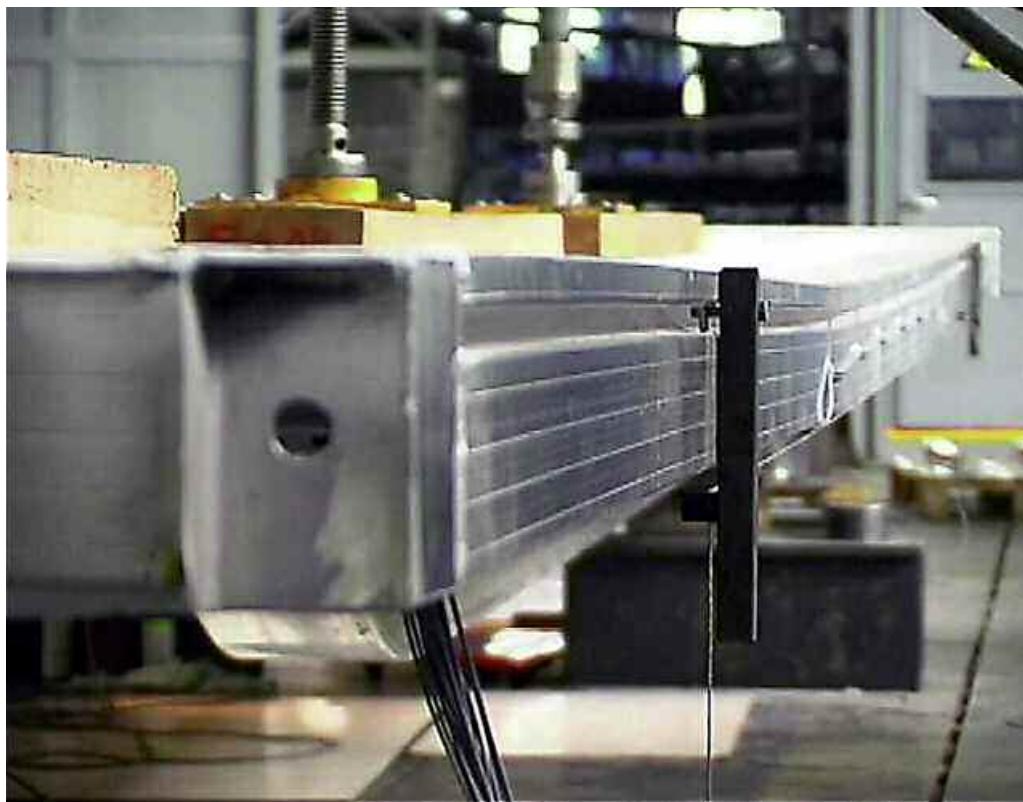
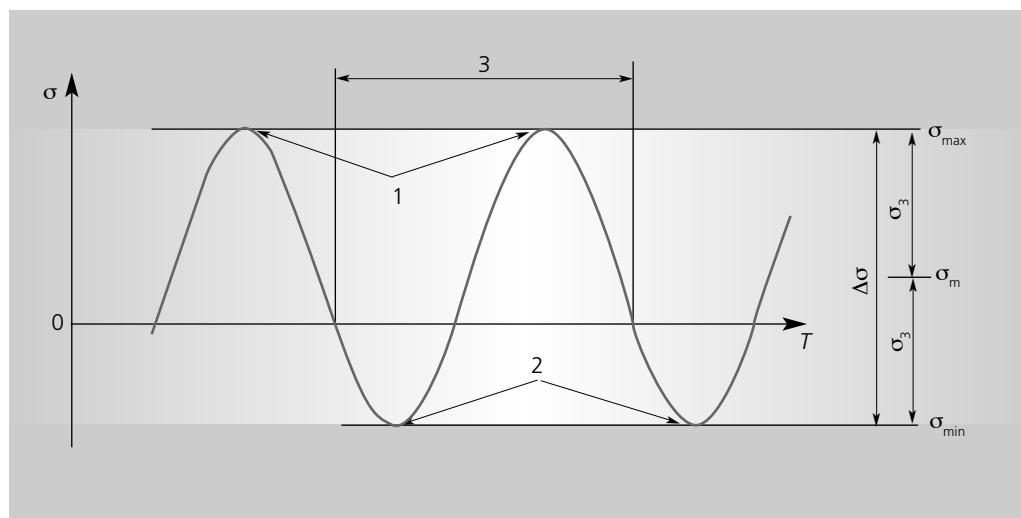


BILD VI.13



1. Spannungsspitze
2. Spannungstal
3. Spannungszyklus

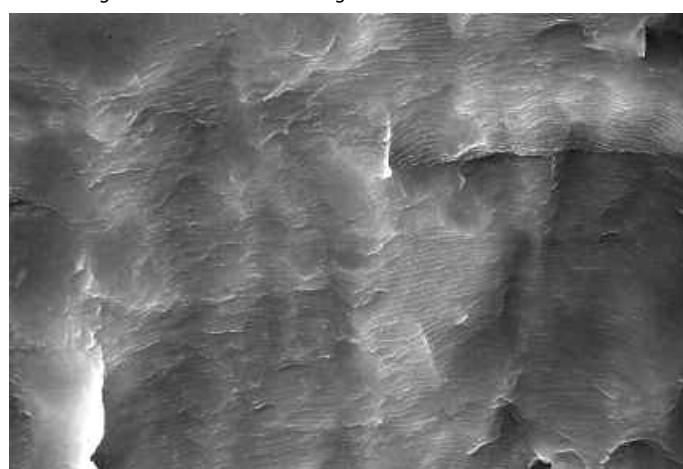
$\Delta\sigma$ Spannungsbereich
 σ_3 Spannungsamplitude

Regeln für die Ermüdungsauslegung sind in EN 1999-1-3 festgelegt. Diese Regeln basieren auf Qualitätsniveaus, welche in EN 1999-1-3 und EN 1090-3 definiert sind.

Die Dauerfestigkeit (Widerstand gegen Ermüdung) hängt ab von:

- Art des Konstruktionsdetails
- Spannungsamplitude
- Anzahl Lastwechsel
- Spannungsverhältnis
- Verarbeitungsqualität

Das Bild zeigt die Riefen in einer Ermüdungsfehler- Oberfläche eines Aluminiumrohres

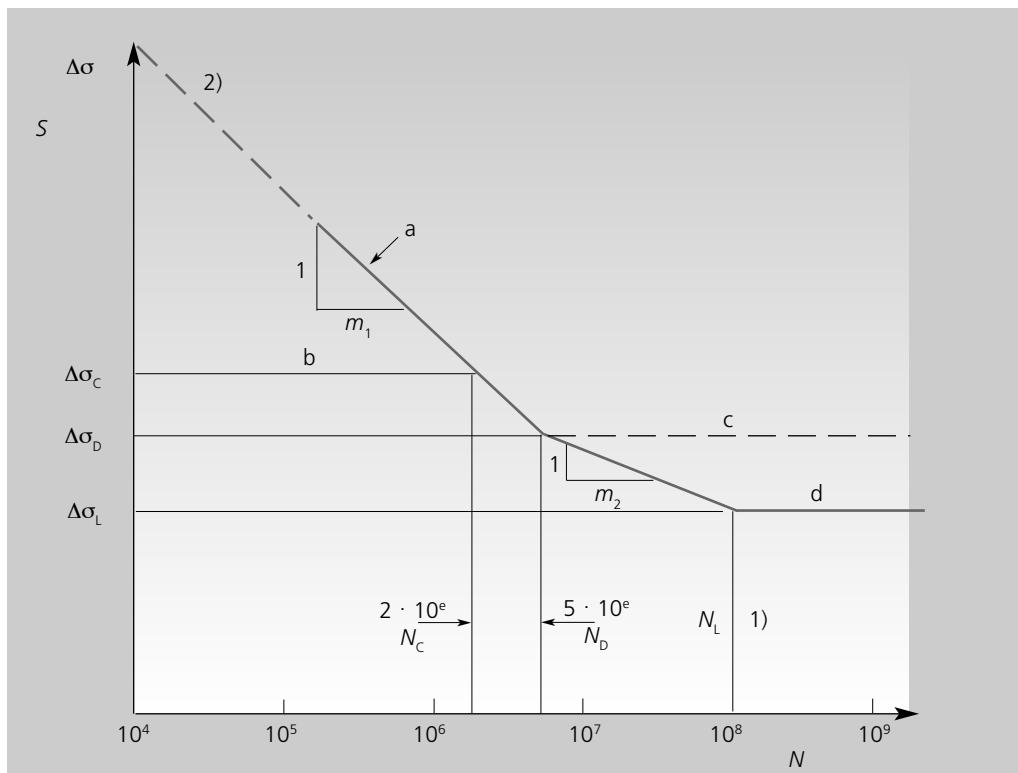


Die Eigenschaften des Grundmetalls haben einen sehr geringen Einfluss auf die Dauerfestigkeit von Bauteilen und Komponenten. An Verbindungsstellen haben die Eigenschaften des Grundmetalls überhaupt keinen

Einfluss. Bei einer Platte oder einem Strangpressprofil ohne weitere Bearbeitung oder nur mit Löchern oder Aussparungen unterscheidet die Norm zwischen AW 7020 und allen anderen Konstruktionslegierungen. Die Dau-

erfestigkeit wird als SN- Kurve für verschiedene Details dargestellt. Alle Detailkategorien sind in EN 1999-1-3 definiert und haben ihre eigenen SN- Kurven. Eine typische SN- Kurve ist in Bild VI.14 dargestellt.

BILD VI.14



a. Dauerfestigkeitskurve b. Referenz- Dauerfestigkeit c. Dauer-Amplituden Limit d. Grenz- Limit

- 1) Anzahl Lastwechsel (10^8), bei dem der Grenzpunkt erreicht ist
- 2) Für geringe Lastwechselfestigkeit mag dieser Teil der Kurve nicht gelten; hier sind andere

Berechnungsmethoden empfohlen (Anhang F der EN 1999-1-3). Es muss geprüft werden, dass der maximale Berechnungsspannungsbereich nicht in einer Zugs-

spannung resultiert, die höher ist als in Grenzzustand der Tragsicherheit.

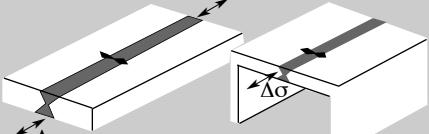
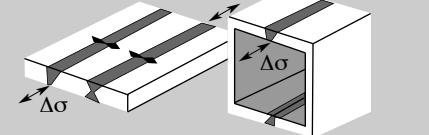
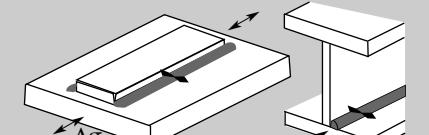
Das Spannungsverhältnis R ist die Minimalspannung geteilt durch die maximale Spannung bei gleichbleibender Amplitude oder bei einem Lastwechsel, der von einer variablen Amplitude herverufen wurde. Ein vorteilhaftes Spannungsverhältnis wird die Dauerfestigkeit verglichen mit den Werten aus der Norm in einigen Fällen erhöhen. Für die Ausgangspunkte von Rissen im Grundmetall entfernt von Verbindungsstellen wird sich eine Erhöhung der Dauerfestigkeit bei $R < +0.5$ ergeben.

Für Ausgangspunkte von Rissen bei geschweißten oder mechanisch fixierten Verbindungen in einfachen Bauteilen, in denen eine Restspannung verblieben ist, wird sich die Dauerfestigkeit unter Berücksichtigung möglicher Teilbewegungen oder Mangel an Passgenauigkeit bei $R < -0.25$ erhöhen.

Einige typische Detailkategorien sind in Tabelle VI.6 gezeigt. Die erste Spalte in der Tabelle zeigt die Detailnummer an, die zweite Spalte gibt die Detailkategorie

an, die dritte Spalte zeigt eine Zeichnung des Einzelteils und zeigt die Ausgangspunkte von Rissen und die Richtung der Spannung an; die vierte Spalte beschreibt das Schweißverfahren, die fünfte zeigt die Spannungsparameter, die sechste zeigt die Schweißcharakteristiken, die siebte das Qualitätsniveau für die internen Fehlstellen und die achte das Qualitätsniveau für die Oberflächen- und geometrischen Fehlstellen.

BILD VI.6

Detailnummer	Detailkategorie	Zeichnung	Spannung an Entstehungsstellen	Schweißverfahren	Qualitätsniveau	
					B	C
5.1	63-4,3		durchgehende Stoßnaht Wurzel geschliffen	kontinuierliches automatisches Schweißen	B	C
5.2	56-4,3	An Schweißnahtunterbrechungen			C	C
5.3	45-4,3		durchgehende Stoßnaht	kontinuierliche Rückenstütze	C	D
5.4	45-4,3				B	C
5.5	40-4,3	An Schweißnahtunterbrechungen	durchgehende Kehlnaht	Nomiale Spannung an Entstehungsstellen	C	D

Die Anforderungen für die Qualitätsniveaus können der EN ISO 10042 entnommen werden; zusätzliche Anforderungen enthält die EN 1090-3.

Die Details 5.4 und 5.5 sind Beispiele, wo die gleiche Problematik zu unterschiedlicher Dauerfestigkeit in Abhängigkeit von der Qualität der Naht führt.

Die zu diesen Detailkategorien gehörenden SN- Kurven sind in Bild VI.15 dargestellt. Die numerischen Werte für die gleichen Kurven sind in Tabelle VI.7 zu finden.

BILD VI.15
EINFLUSS DER SCHWEIßNAHTQUALITÄT AUF DIE DAUERFESTIGKEIT

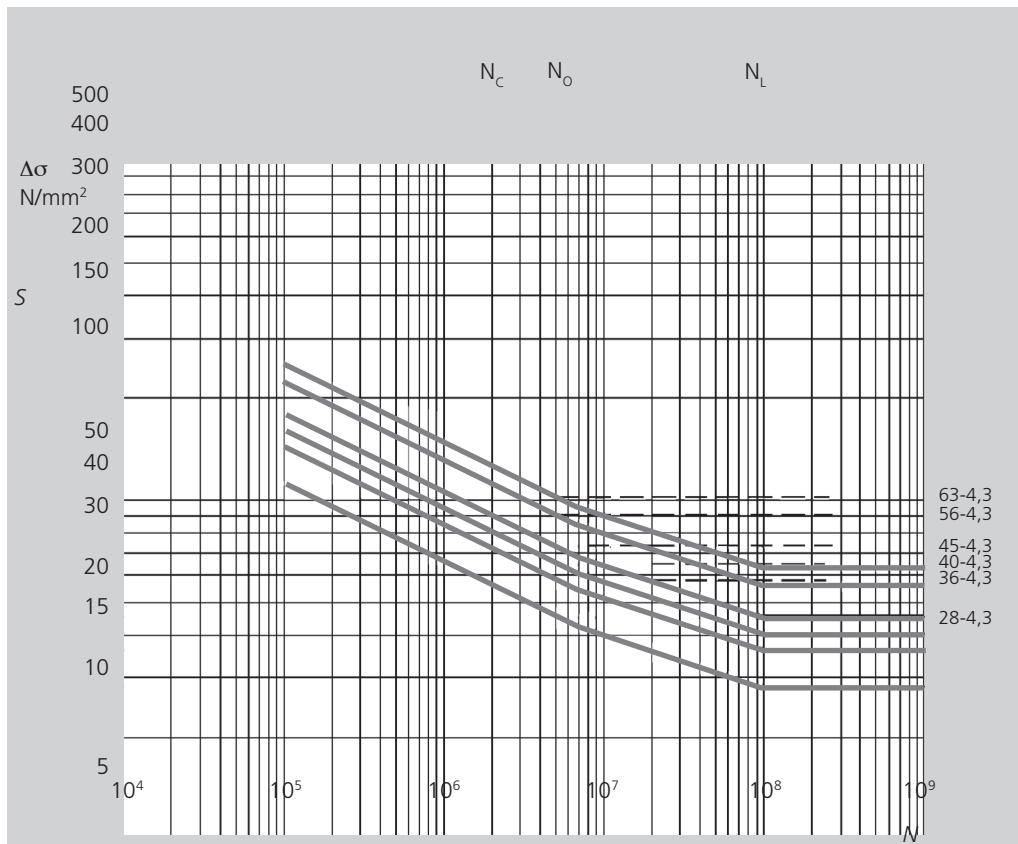


TABELLE VI.7

STEIGUNG		ANZAHL LASTWECHSEL N						
m_1	m_2	1E+05	1E-06	2E+06	5E+06	1E+07	1E+08	1E+09
4.3	6.3	126.4	74.0	63.0	50.9	45.6	31.6	31.6
4.3	6.3	112.4	65.8	56.0	45.3	40.5	28.1	28.1
4.3	6.3	90.3	52.9	45.0	36.4	32.6	22.6	22.6
4.3	6.3	80.3	47.0	40.0	32.3	29.0	20.1	20.1
4.3	6.3	72.3	42.3	36.0	29.1	26.1	18.1	18.1
4.3	6.3	56.2	32.9	28.0	22.6	20.3	14.1	14.1

Ermüdungs- Praxistest (Benalu)



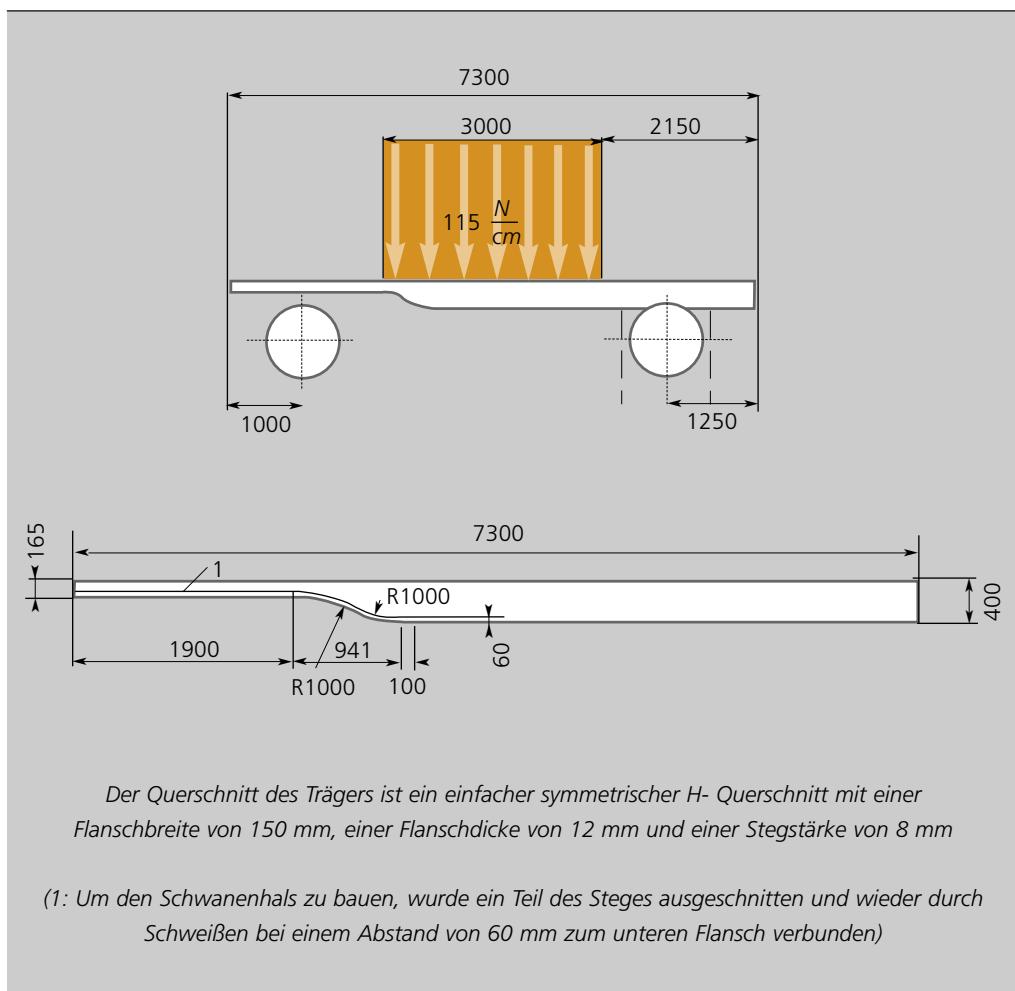
8.2. Praxis: Vergleich zwischen guter und schlechter Fahrgestellkonstruktion

Die folgenden Abschnitte zeigen gute und schlechte Konstruktionslösungen für Aluminiumau-

flieger- Fahrgestelle. Sie beziehen sich alle auf den Lastfall in Bild VI.16.

BILD VI.16

GRENZBEDINGUNGEN UND TRÄGERGEOMETRIE ALS BASIS DER FINITE ELEMENTE ANALYSE



8.2.1. Schwanenhals

Der Schwanenhalsbereich des Fahrgestellträgers ist der größten Belastung ausgesetzt und muss zur Vermeidung von Problemen äußerst sorgfältig behandelt werden. Im Allgemeinen sind folgende Vorsichtsmaßnahmen anzuraten:

- Schweißen oder Hitzeeinwirkung an bzw. nahe den Flanschen ist unter allen Umständen zu vermeiden.
- An bzw. nahe den Flanschen in diesem Bereich dürfen sich keine angeschweißten oder angeschraubten Bauteile befinden.
- Die Träger dürfen in diesem Bereich keine Verbindungen und/oder Verstärkungen aufweisen.
- Dicke bzw. Eigenschaften des Metalls dürfen sich in diesem Bereich nicht abrupt ändern.

Während des gesamten Produktionsprozesses sind die Konstruktionszeichnungen sowie Montagezeichnungen, Schweißvorgaben, Qualitätssicherungsvorgaben und Anweisungen des Konstrukteurs unbedingt zu befolgen.

Die Bilder VI.17, VI.18 und VI.19 Beispiele zur Lebensdauer in Abhängigkeit von der Geometrie des Schwanenhalses (d.h. Krümmungsradius).

Man kann erkennen, dass sich eine Spannungszunahme um

BILD VI.17

EINFACHER FAHRGESTELLTRÄGER, R = 1000 mm ($\sigma_{\max} = 43 \text{ MPa}$, $\delta = 5.3 \text{ mm}$)

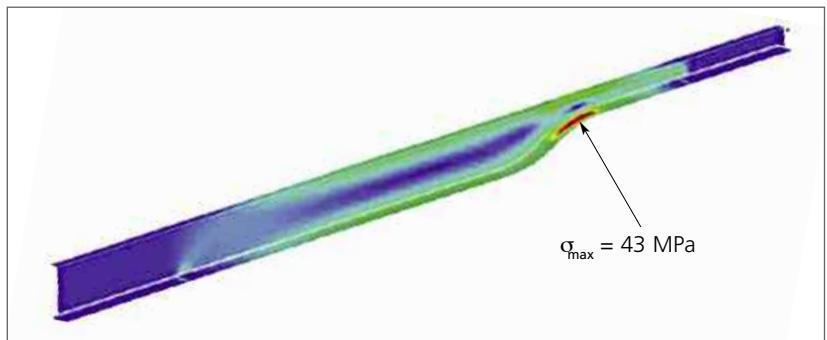


BILD VI.18

EINFACHER FAHRGESTELLTRÄGER, R = 450 mm ($\sigma_{\max} = 73 \text{ MPa}$, $\delta = 6.9 \text{ mm}$)

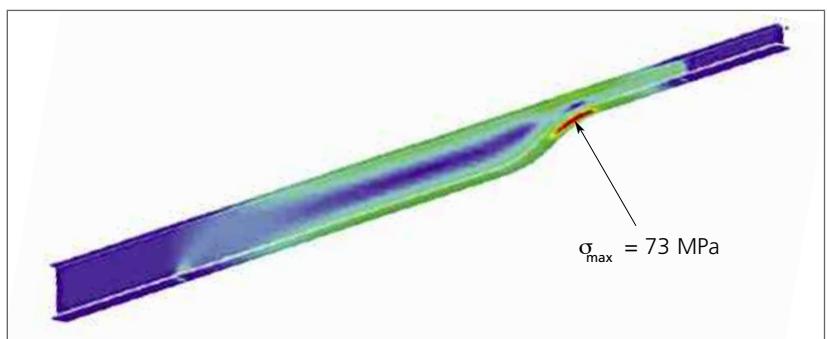
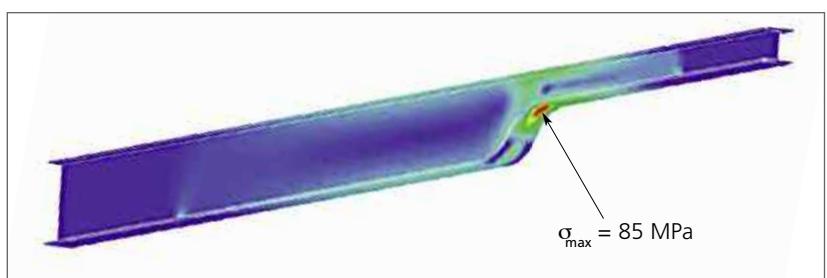


BILD VI.19

EINFACHER FAHRGESTELLTRÄGER, R = 300 mm ($\sigma_{\max} = 85 \text{ MPa}$, $\delta = 7.5 \text{ mm}$)



etwa 70% und eine Zunahme der Durchbiegung um etwa 23% ergibt.

Hieraus ergibt sich eine relative verringerte Lebensdauer vom normalen Radius von 450 mm zu

350 mm um 50%. Wie bereits veranschaulicht, bietet ein auf 1000 mm erhöhter Radius äußerst geringe Spannungswerte und unterstreicht die Bedeutung sanfter Übergänge.

8.2.2. Stützbeinhalterungen (Perforierungen)

Die Halterung der Stützbeine des Fahrgestellträgers befindet sich normalerweise in dem am stärksten belasteten Bereich des Fahrgestellträgers, d.h. im Schwanenhalsbereich.

Infolgedessen sind eine Lochung oder Bohrung des Unterflansches sowie Schweißnähte auf oder nahe den Flanschen zu vermeiden. Das Bilder VI.20 und VI.21 zeigen, wie sich eine Perforierung des Flansches im Vergleich zum Steg in diesem Bereich auswirkt.

Auf Grund der Spannungskonzentration im perforierten Bereich des Flansches beträgt die Reduzierung der relativen Lebensdauer über 80%. Verläuft die Perforierung dagegen durch den Steg, wirkt sich dies nicht auf die Lebensdauer aus. Beide Beispiele zeigen, wie wichtig es ist, dass sich diese Stelle in ausreichender Entfernung zu dem am stärksten belasteten Bereich des Trägers befindet. Ist eine Perforierung des Flansches unvermeidbar, sollte sich diese Stelle so nahe wie möglich an der Kante des Flansches befinden (und so weit vom Steg weg wie möglich). Es ist darauf hinzuweisen, dass der erforderliche Mindestabstand von der

BILD VI.20
LOCH IN EINEM FAHRGESTELLTRÄGERFLANSCH, ($\varnothing = 20$ mm): $\sigma_{\max} = 102$ MPa

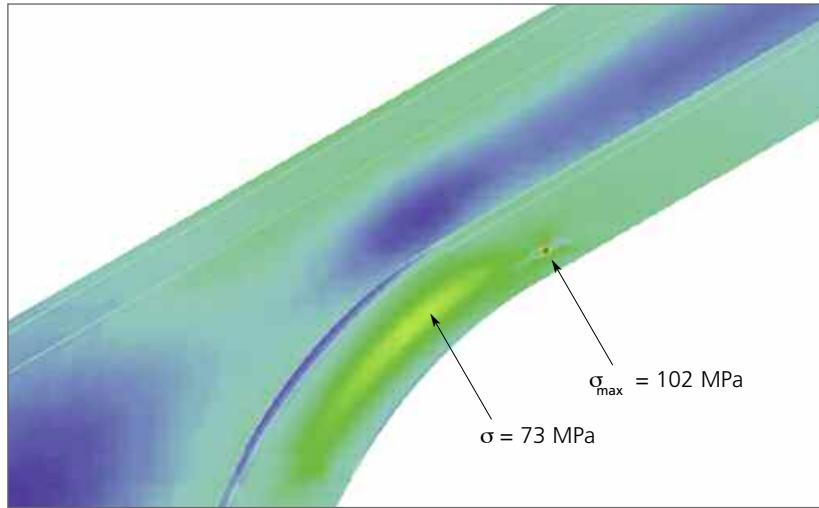
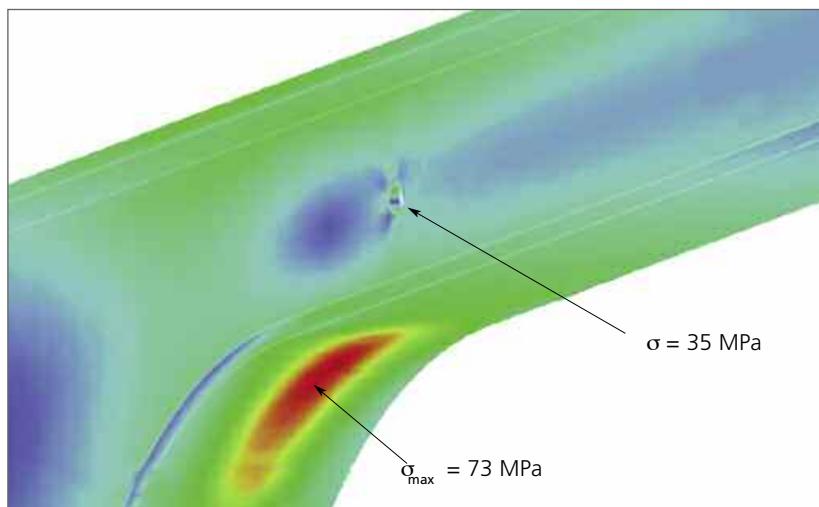


BILD VI.21
LOCH IN EINEM FAHRGESTELLTRÄGERFLANSCH, ($\varnothing = 20$ mm): $\sigma_{\max} = 73$ MPa
(am Flansch)



Kante den aktuellen Normen entsprechen sollte, d.h. in der Regel $1,5\varnothing - 2,0\varnothing$ - je nach Richtung der Belastung usw. Ebenso ist das lokale Biegevermögen des Flan-

sches unter Berücksichtigung der jeweiligen Stelle zu überprüfen.

8.2.3 Schweißverbindungen

Alternativ zu einer Verschraubung wird eine Haltevorrichtung im Stegbereich des Trägers häufig durch Schweißen befestigt; dies stellt kein Problem dar, solange das Schweißen am bzw. nahe dem Flansch vermieden wird (d.h. in dem Bereich mit der höchsten Belastung). Die Bilder VI.22 und VI.23 zeigen, wie sich Schweißen auf dem Flansch und auf dem Steg auswirkt.

Auf Grund der Spannungskonzentration im geschweißten Bereich des Flansches und der durch Erwärmung schlechter gewordenen Materialeigenschaften beträgt die Reduzierung der Lebensdauer über 90%. Dagegen wirkt sich ein Schweißen im Stegbereich nicht auf die Lebensdauer aus. In beiden Fällen wird jedoch eine geometrisch perfekte Schweißnaht vorausgesetzt. Da es im alltäglichen Leben immer wieder zu Fehlstellen kommen kann, sind eine gute handwerkliche Verarbeitung und eine Nachbehandlung von Schweißnähten unbedingt erforderlich

BILD VI.22

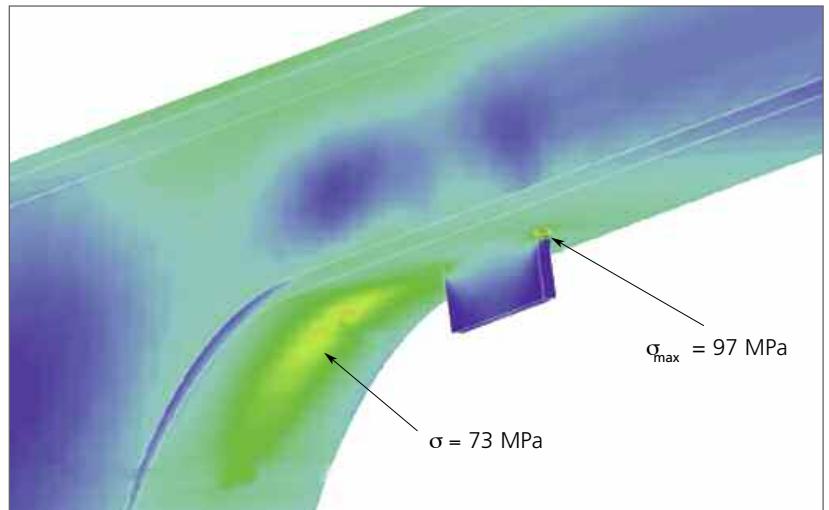
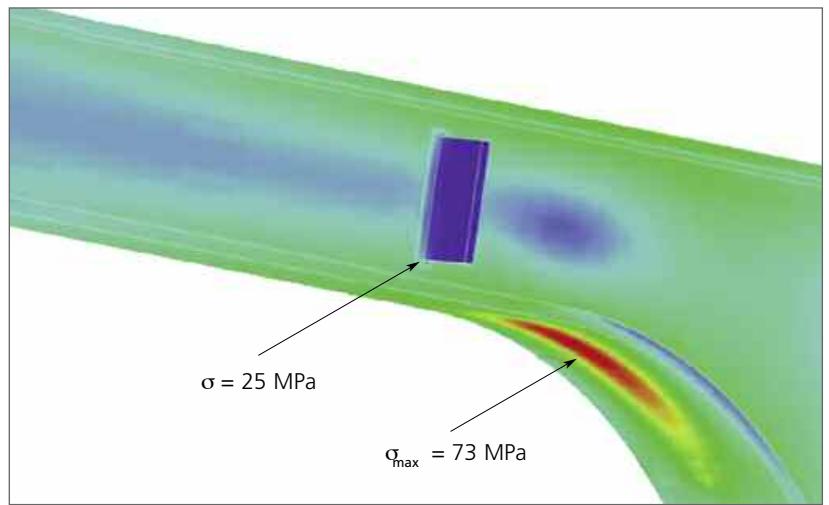
AN DEN FLANSCH GESCHWEIßTE HALTERUNG: $\sigma_{\max} = 97 \text{ MPa}$ 

FIGURE VI.23

AN DEN STEG GESCHWEIßTE HALTERUNG: $\sigma_{\max} = 73 \text{ MPa}$ (am Flansch)



Aluminiumtankfahrzeuge (Schrader)

9. Spezielle Konstruktionsprobleme

9.1. Tanks für den Transport gefährlicher Güter - ADR

Tanks für den Transport gefährlicher Güter müssen entsprechend den Richtlinien der folgenden Normen bzw. Regelwerke gebaut werden:

- ADR: Agreement on the Transport of Dangerous Goods by Road¹
- EN 13094 "Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter - Metalltanks mit einem Betriebsdruck von höchstens 0,5 bar - Auslegung und Bau"
- EN 14025 "Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter - Drucktanks aus Metall - Auslegung und Bau"

Im Besonderen ist die Wanddicke des Behälters durch die folgende Äquivalenz- Formel festgelegt,

wobei e_0 die minimale Wanddicke für Baustahl und R_m und A die Zugfestigkeit und die Dehnung des ausgewählten Metalls sind:

$$e = \frac{e_0 \times 464}{\sqrt[3]{(R_m \times A)^2}}$$

Weiterhin ist die absolute Mindestwanddicke festgelegt in Abhängigkeit von der Bauart des Tanks, der Behälterdimension und des verwendeten Materials.

- Für Tanks, die gegen Beschädigungen geschützt sind::
- Tanks mit rundem Querschnitt ≤ 1.80 m:
 $e_0 = 3$ mm
 e darf bei Aluminiumlegierungen nicht kleiner als 4,00 mm sein²
 - Tanks mit rundem Querschnitt > 1.80 m
 $e_0 = 4$ mm
 e darf bei Aluminiumlegierungen nicht kleiner als 5,00 mm sein

Andere Tanks:

$$\begin{aligned} e_0 &= 5 \text{ mm für Tanks mit einem runden Querschnitt } \leq 1.80 \text{ m} \\ e_0 &= 6 \text{ mm für Tanks mit einem runden Querschnitt } > 1.80 \text{ m} \end{aligned}$$

1. Siehe ADR- Anhang A- Teil 6 – Kapitel 6.8:
<http://www.unece.org/trans/danger/danger.html>

2. Was auch immer das Ergebnis der Äquivalenz- Formel ist.

Geeignete Aluminiumlegierungen für diese Anwendung findet man in EN 14286 „Aluminium und Aluminiumlegierungen - Schweißbare Walzerzeugnisse für Tanks für Lagerung und Transport von Gefahrgut. Siehe hierzu auch Kapitel V, Abschnitt 6.4 in diesem Handbuch. Für Tanks, die gegen Beschädigung geschützt sind, erlauben die Legierungen aus der EN 14286 eine Wanddicke von $e = 5,3 \text{ mm}$ (bei einem Produkt von $R_m \times A = 6600$) bzw. sogar $e = 5,0 \text{ mm}$ (bei einem Produkt von $R_m \times A \geq 7152$),

9.2. Muldenkipper

9.2.1. Konstruktion

Muldenkipper können auf 2 verschiedenen Weisen gebaut werden:

- Kombination aus Blechen und Profilen (häufiger verwendeter Typ)
- Profil- intensive Konstruktion, bei der alle Seitenwände des Aufliegens aus verschnappten und / oder geschweißten Extrusionsprofilen bestehen

Eine andere Bauart, die in den letzten Jahren entwickelt wurde, ist eine Hybrid- Konstruktion aus einem Stahl- Bodenblech mit

Aluminiumseitenwänden (an das Stahlblech angeschraubt).

Zwei grundsätzliche Kippertypen können unterschieden werden:

- Rechteckmulde
- Halbrundmulde

Unabhängig vom Typ des Kippers werden alle Profil- Querschnitte und die Dicke der Bleche in Bezug auf:

- Reale Normalbelastung (Druck, Zug)
- Biegemomente (statisch und während der Kippvorganges)
- Andere Kräfte wie Schubspannungen, Knicken, Beulen berechnet.

Aluminium-Muldenaufbau (Stas)





Herstellung einer Aluminium-Mulde (Schmitz)

Zusätzlich muss insbesondere die Art des Transportgutes für die Auslegung des Kippers berücksichtigt werden. Dies hat damit zu tun, dass das Ladegut entweder nur sehr lokal und auf wenige Flächen konzentriert sein kann oder auf die gesamte Bodenfläche des Kippers relativ gleichmäßig verteilt sein kann.

9.2.2. Verschleißfestigkeit

Abrasions- oder Verschleißwiderstand ist das am häufigsten diskutierte Thema, wenn es um die Auslegung und Materialauswahl eines Aluminiumkippers geht. Eine Vielzahl von Unsicherheiten bezüglich des Abrasionswiderstands wie auch die völlig unterschiedlichen Typen an Ladegut macht es nahezu unmöglich, die perfekte Lösung für jedes Transportproblem zu finden.

Die Abrasion wird nicht nur für die Berechnung der Blech- oder Profilstärke, insbesondere der des Bodenbleches, berücksichtigt, sondern auch für die Auswahl

der Legierungs- und Zustandskombination.

9.2.2.1. Definition von Abrasion

Der Mechanismus der Abrasion ist sehr komplex. Abrasion entsteht gewöhnlicherweise, wenn eine Oberfläche (normalerweise härter als die andere) aus der anderen Oberfläche Material herauslöst. Die Kontaktfläche zwischen beiden Oberflächen ist dabei sehr gering und auf lokale Erhöhungen beschränkt. Die Scherkräfte werden dabei durch diese Punkte übertragen und können deshalb sehr hoch sein. Abrasionsmaterialien wirken dabei wie in einem Schleifprozess, bei dem das abrasive Medium relativ zu einer Oberfläche fixiert ist, oder wie in einem Polierprozess, wo das abrasive Medium taumelt und dabei eine Vielzahl an Einbuchtungen produziert.

9.2.2.2. Abrasionsbeeinflussende Faktoren

Die Abrasionsbedingungen können von einem Ladegut zum anderen sehr stark schwanken.

Deshalb ist es nicht immer möglich, die Oberflächenhärte einer Legierung in Zusammenhang mit der Abrasionsbeständigkeit zu bringen³. Es wurde dabei herausgefunden, dass der Typ des Ladegutes den wesentlich größeren Einfluss hat. Weiche Ladegüter wie Kartoffeln, Früchte, Zuckerrüben oder andere Agrarprodukte haben wesentlich geringere abrasive Effekte als mineralische Güter. Im Fall mineralischer Güter wie Steine, Puder, Zement, Kalk oder ähnlichem sind die abrasionsbestimmenden Faktoren die Größe, Form (Schärfe) und Härte der einzelnen Körner (in Labortests hat schon der Austausch eines Sandtyps gegen einen anderen den Abrieb um 35% erhöht).

3. Abrasive wear of aluminium alloys rubbed against sand, K. Elleuch, S. Mezlini, N. Guermazi, Ph. Kapsa, Wear 261 (2006), 1316 – 1321

Auch die Abrasionsprodukte selber können als zusätzliche Quelle für Abrasionsbelastung wirken.

Ebenso muss die Anzahl an Abkipplungen berücksichtigt werden. Je öfter die Mulde abgekippt wird, desto häufiger rollt das Ladegut insbesondere auf dem Bodenblech ab und desto häufiger tritt deswegen abrasive Belastung auf. Die Anzahl an Kippzyklen hat daher eine lineare Funktion zum Massenverlust eines Aluminiumbleches.

Sehr häufig werden Kipper von den Fahrzeugbetreibern für andere als die ursprünglichen Transportzwecke eingesetzt oder auf dem Gebrauchtfahrzeugmarkt für andere Anwendungszwecke weiterverkauft, so dass eine Lebensdauer eines Alumini-

um- Bodenbleches nie genau voraus berechnet werden kann.

9.2.3. Materialauswahl

Die Auswahl eines geeigneten Aluminiumwerkstoffes insbesondere für das Bodenblech von Muldenkippern ist heutzutage oft eine Frage spezifischer Erfahrungen der Fahrzeugherrsteller, der Materialverfügbarkeit und der besonderen Verarbeitungsmethoden der Hersteller.

Typische Bodenblech-Legierungen sind

- 5083 H32, H321, H34
- 5086 H24
- 5353 H34
- 5454 H22, H24
- 5456 H34
- Andere, herstellerspezifische Legierungen.

10. Referenzen

- EN 1999-1-1 Eurocode 9 Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken – Allgemeine Bemessungsregeln
- EN 1999-1-3 Eurocode 9 Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken – Ermüdungsbeanspruchte Tragwerke
- EN 1090-3 Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken
- EN ISO 10042 Lichtbogen-schweißverbindungen an Aluminium und seinen Legierungen - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten
- BS 8118 Verwendung von Aluminium in Baustrukturen - Spezifikation für Material, Arbeitsqualität und Schutz
- ADR – Agreement for the transport of Dangerous Goods by Road
- EN 13094 Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter - Metalltanks mit einem Betriebsdruck von höchstens 0,5 bar - Auslegung und Bau
- EN 14025 Tanks für die Beförderung gefährlicher Güter - Drucktanks aus Metall - Auslegung und Bau
- EN 14286 Aluminium und Aluminiumlegierungen - Schweißbare Walzerzeugnisse für Tanks für Lagerung und Transport von Gefahrgut

Geladener Aluminium-Muldenkipper (Menci)





KAPITEL VII

VERARBEITUNG

1.	EINFÜHRUNG	92
1.1.	5000er –Serie Legierungen	92
1.2.	6000er –Serie Legierungen	92
1.3.	7000er –Serie Legierungen	93
2.	VERARBEITUNG VON BLECHPRODUKTEN	93
2.1.	Lagerung	93
2.2.	Markieren	94
2.3.	Schneiden	94
2.4.	Kantenrollen	97
2.5.	Biegen	97
2.6.	Umformen	97
3.	VERARBEITUNG VON EXTRUSIONSPRODUKTEN	98
3.1.	Lagerung	98
3.2.	Schneiden	98
3.3.	Biegen	98
4.	BOHREN	102
4.1.	Spiralbohrer	102
4.2.	Geradegenuteter Bohrer	102
4.3.	Tieflochbohrer (Kanonenbohrer)	102
4.4.	Halbrunder oder dreiviertelrunder Bohrer	102
5.	GEWINDESCHNEIDEN	103
5.1.	Spanendes Gewindeschneiden	103
5.2.	Spanloses Gewindeschneiden	104
5.3.	Gewindeeinsatz	104
6.	TIEFZIEHEN	104
7.	ROTATIONSUMFORMEN	105
7.1.	Vorteile der Rotationsumformung	105
7.2.	Durchmesser von Rotationsrohlingen	105

1. Einführung

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Formgebungsverfahren im Nutzfahrzeugbau. Der Hersteller schneidet, faltet, walzt und biegt Walzhalzeuge und Profile, um ein Fahrzeug oder ein Zubehörteil zu produzieren.

Diese Verfahren, von denen einige wie das Schneiden und Bohren programmiert und damit automatisiert werden können, werden nach Regeln durchgeführt, die in diesem Kapitel beschrieben sind. In bestimmten Fällen und in einigen Ländern sind diese Verfahren genormt, in diesem Fall wird hier auf die relevanten Normen hingewiesen.

In jedem Fall ist es notwendig, aluminium- geeignete Maschinen, Anlagen und Werkzeuge einzusetzen. Dies am häufigsten im Nutzfahrzeugbau verwendeten Legierungen gehören zur Familie der Aluminium- Magnesium (5000er-) Legierungen im Fall von Walzprodukten oder Aluminium- Silizium- Magnesium-Legierungen im Fall von Extrusionsprodukten.

1.1. 5000er-Serie Legierungen

Im weichen Zustand haben die 5000er Legierungen ein hervorragendes Umformvermögen, das sich durch die große Differenz zwischen der Dehngrenze und der Zugfestigkeit und den hohen Dehnungswerten auszeichnet¹.

Da Metalle durch Kaltverformung verfestigt werden, kann es notwendig sein, die Dehnbarkeit zu verbessern, um eine weitere Verformung zu ermöglichen. Dies geschieht durch Glühen²; ein Prozess, der leicht in einen Glühofen oder mit einer Schweißpistole durchgeführt werden kann unter Zuhilfenahme eines Temperaturindikators aus Talg, der sich bei ca. 340°C leicht braun verfärbt. Wärmeindikatorstifte oder auch ein Stechpyrometer können ebenfalls benutzt werden.

Falls notwendig, kann das Zwischenglühen zwischen den einzelnen Formgebungsoperationen wiederholt werden. Hier gilt eine Faustregel: Das Material sollte nur geglüht werden, wenn das Metall nur noch schwer umgeformt werden kann, in anderen Worten wenn der Grad der Kaltverfestigung größer oder gleich der sogenannten kritischen Kaltverfestigungsrate ist.

1.2. 6000er- Serie Legierungen

Diese Legierungen werden hauptsächlich für Extrusionsprofile eingesetzt. Die Haupt- Legierungsbestandteile sind Magnesium und Silizium. Diese aushärtbaren Legierungen werden im T6 oder T5-, zu geringem Anteil auch im T4 oder T1- Zustand³ geliefert. Im Allgemeinen sind die Formgebungseigenschaften dieser Legierungsfamilie im voll ausgehärteten Zustand begrenzt. Nichtsdestotrotz kann das Formgeben unter kalten Bedingungen stattfinden, da ein Aufheizen die mechanischen Eigenschaften deutlich reduzieren kann (ca. 40%).

Komplexere Formgebungen von Profilen können im T1 oder T4-Zustand durchgeführt werden vor dem Auslagern in den T5 oder T6-Zustand. In diesem Fall ist es sinnvoll, die Formgebung in einem engen Zeitfenster von einigen

1. Nimmt Bezug auf EN 485-2.

2. Bei 5000er- Legierungen mit einem Mg- Gehalt über 3% muss dies sehr vorsichtig durchgeführt werden, um eine Sensibilisierung gegen interkristalline Korrosion zu vermeiden. Siehe hierzu Kapitel XI, Abschnitt 2.2.6.

3. Siehe hierzu Kapitel V, Abschnitt 5 für die Beschreibung der Zustände.

Tagen nach dem Lösungsglühen in den T4 oder T1- Zustand, d.h. vor dem Härteten durch Kaltauslagern durchzuführen.

Wenn eine sehr große Formgebung durchgeführt werden soll, sollte dies in einer Zeitspanne von einigen Minuten nach dem Abschrecken durchgeführt werden

1.3. 7000er- Serie Legierungen

Diese Extrusionsprofile werden in einigen hochfesten Anwendungen im Transportbereich, im Automobilbau und für Sportausstattung eingesetzt. Die Haupt-Legierungsbestandteile sind Zink und Magnesium.

Die Profile werden im T5, T6 oder T7- Zustand eingesetzt. Das Formgeben kann im Zustand T1 oder T4- Zustand vor dem Warmauslagern stattfinden. Komplexere Formgebungen können im T4- Zustand kurz nach dem Lösungsglühen vor dem Auslagern in den T6 oder T7- Zustand durchgeführt werden. Vor dem Einsatz von 7000er- Legierungen wird es dringend empfohlen, sich mit dem Hersteller des Halbzeugs zu beraten.

2. Verarbeitung von Blechprodukten

Die generellen Verarbeitungsmethoden von Aluminiumlegierungen und die dafür notwendigen Maschinen unterscheiden sich nicht wesentlich von anderen Metallen wie Stahl. Aluminiumlegierungen sind einfach zu verarbeiten.

Es muss jedoch die relative geringe Härte von Aluminium berücksichtigt werden und es ist notwendig, spezielle Werkzeuge einzusetzen, um die Beschädigung von Aluminiumoberflächen zu vermeiden. Das Risiko von Verunreinigungen durch Spuren von Eisen und Kupfermetallen muss vermieden werden, da diese lokale Korrosion verursachen können. Es ist notwendig, in einer Umgebung zu arbeiten, in der dieses Risiko minimiert wird.

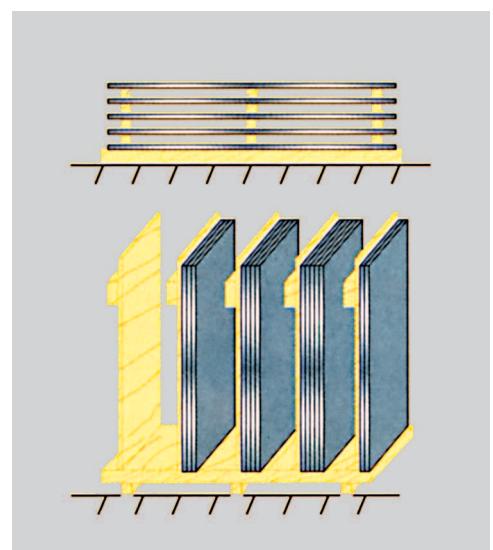
2.1. Lagerung

Aluminiumbleche werden durch Legierungsfamilien gekennzeichnet und sollten bei Dicken >0,8 mm aufrecht stehend gelagert werden (Bild VII.1). Dünne Bleche <0,8 mm sollten liegend gelagert werden.

Aluminiumbleche sollten niemals direkt auf dem Boden gelagert werden, auch wenn dieser betoniert ist, und von Spritzwasser, Kondensation und schädlichen Umgebungsbedingungen fern gehalten werden.

Am besten sind sie unter einer Abdeckung bei guter Belüftung und durch Holzblöcke getrennt zu lagern, um Kondensationsflecken zu vermeiden.

BILD VII.1
LAGERUNG



2.2. Markieren

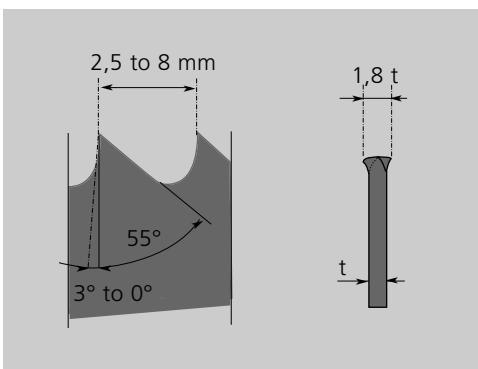
Anreißwerkzeuge sollten nicht verwendet werden, da jede Spur von Oberflächenbeschädigungen auf dem fertigen Bauteil zum Ausgangspunkt eines Risses unter hohen Lasten werden kann.

Diese Vorsichtsmaßnahme ist nicht notwendig, wenn die angebrachte Linie eine Schnittkante markiert.

Als eine generelle Regel gilt die Benutzung eines harten Stiftes (z.B. 5H), der einfacher zu sehen und im Fall eines Fehlers einfacher zu entfernen ist.

BILD VII.2

BANDSÄGE



DIE EIGENSCHAFTEN EINER BANDSÄGE FÜR ALUMINIUMLEGIERUNGEN
SIND WIE FOLGT:

- E (Dicke) = Durchmesser des Schwungrads/1000
- Breite = 10 bis 30 mm
- Zahnneigung = 2,5 bis 8 mm; 2 Zähne müssen immer in Betrieb sein
- Schmiermittel = Talg oder lösliches Öl

2.3. Schneiden

Eine Tafelschere oder eine Hebeleinschere können für gerade Schnitte eingesetzt werden. Die Schnittgeschwindigkeit sollte mehr oder weniger dieselbe wie die für nichtlegierten Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt und gleicher Dicke betragen.

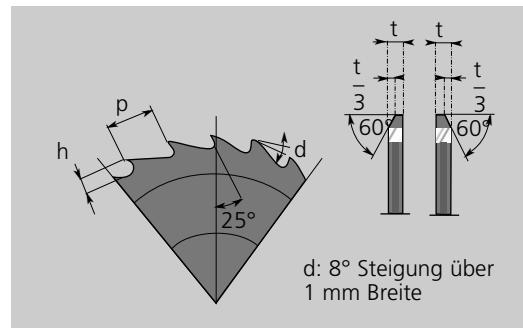
Das Sägen ist ein Standardschneideprozess und ist für Aluminium sehr wirtschaftlich.

2.3.1. Bandsäge

Der meistbenutzte Sägetyp ist die Bandsäge. Dies kann eine normale Holz-Bandsäge mit einem speziellen Sägebandtyp zum Ausbrechen und Auswerfen der Aluminiumspäne aus den Sägezähnen sein.

Dies wird durch ein Alternieren oder Neigen der Sägezähne und bei einem Freiwinkel wie in Bild VII.2 erreicht.

BILD VII.3
KREISSÄGE



2.3.2. Kreissäge

Wie bei einer Bandsäge variiert der Sägezahnhinkel mit der Dicke oder dem zu sägenden Querschnitt; der Prozess des Schneidens ist jedoch eine Funktion der Maschineneigenschaften, was es dem Fräsen ähnlich macht (Bild VII.3)

Mit einer Bandsäge oder Kreissäge können Schnittgeschwindigkeiten für 3000er, 5000er und 6000er-Legierungen erreicht werden von:

- HSS- Blatt: 600 m/min bis 1000 m/min
- Carbid- Blatt: 800 m/min bis 1500 m/min

Die tragbare Kreissäge ist ein Werkzeug, mit dem man gerade Schnitte bis zu einer Dicke von 20 mm bei guten Schnittgeschwindigkeiten durchführen kann.

Bei Dicken von 6 mm oder kleiner kann es empfehlenswert sein, eine Stichsäge einzusetzen. Eine Stichsäge ist leicht zu bewegen und man kann mit ihr komplexe Kurven schneiden.

Wasserstrahlschneiden (SAG)



2.3.3. Wasserstrahlschneiden

Metalle, darunter Aluminiumlegierungen, können durch Wasserstrahlschneiden unter Hinzufügung abrasiver Partikel (PASER-Prozeß) bei hohen Drücken (3000 bar und höher) geschnit-

ten werden. Granulate von Granat, Korund oder andere sehr harte Mineralien werden hierfür als abrasives Medium eingesetzt. Der Vorteil dieses Prozesses liegt darin, dass er die metallurgischen Eigenschaften des Produktes nicht beeinträchtigt und sehr

vielseitig ist. Die Leistungsfähigkeit dieses Prozesses ist exzellent und bei Aluminium können Dicken von 1 bis 100 mm bei Schnittgeschwindigkeiten von 30 mm/min bei hohen Dicken und bis 3500 mm/min bei dünneren Dicken erreicht werden.

2.3.4. Plamaschneiden

Es gibt 2 verschiedene Plamaschneide-Techniken (Bild VII.4):

- Herkömmliches Plamaschneiden mit einem Strömungswinkel von ca. 6°
- Wasser- Vortex- Plasma mit einem sehr kleinen Strömungswinkel in Höhe von 2°.

Verglichen mit herkömmlichen plamaschneiden ermöglichen Vortex-Plasmen stark erhöhte Schnittgeschwindigkeiten bei gleichzeitiger Reduzierung von Störfaktoren wie Rauch, Lärm und Ozonfreisetzung. Der Prozess benötigt jedoch einen signifikant hohen Energieverbrauch.

Das Plasma wird in einem speziellen Gasbrenner erzeugt, indem ein inertes Gas (normalerweise Argon oder Stickstoff) bei hoher Geschwindigkeit einem elektrischen Lichtbogen ausgesetzt wird, um in den Plasmazustand überzugehen.

Dank ihrer hohen Schnittgeschwindigkeit (einige Meter pro Minute), ihrer Qualität und der Präzision des Schnitts kann eine Plamaschneidanlage eine hochprofitable Investition auch bei kurzen Produktionszyklen sein.

BILD VII.4
PLASMATECHNIKEN

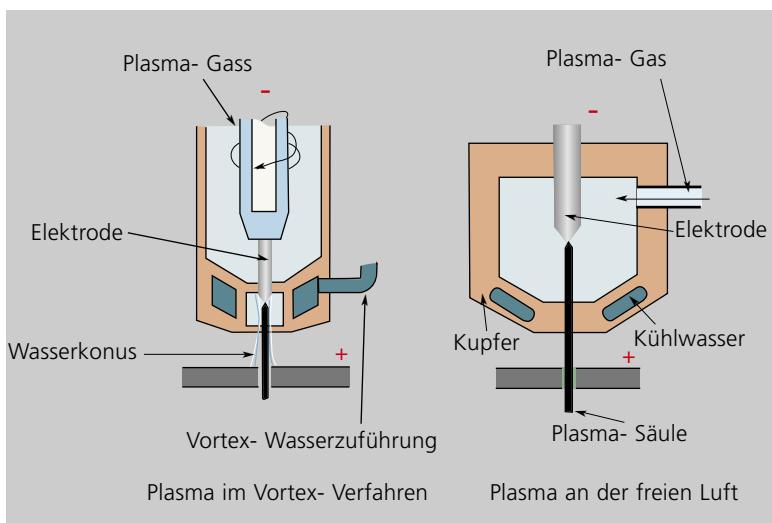
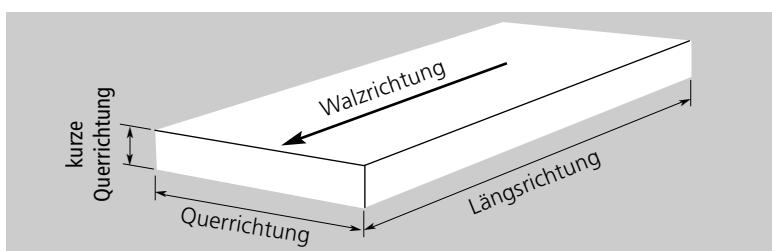


BILD VII.5
FASERORIENTIERUNG



2.3.5. Laserschneiden

Dieser Prozeß wird zumeist in der Automobilindustrie eingesetzt. Weitere Informationen hierzu sind im Aluminium Automotive Manual (www.eaa.net/aam) zu finden.

BEMERKUNG: Die Breite der wärmebeeinflussten Zone ist für alle Legierungen und Dicken kleiner als 1 mm. Manchmal kann in der kurzen Querrichtung eine Rissbildung bis ca. 2 mm Tiefe auftreten (Bild VII.5). Bei jeder Materialdicke kann das Abfräsen von 2 mm Materialstärke die ursprüngliche Qualität wieder herstellen. Dies ist unnötig, wenn die ausgeschnittenen Teile als Schweißrohlinge eingesetzt werden

2.4. Kantenwalzen / Kantenrollen

Dieses Formgebungsverfahren benötigt keine besondere Ausstattung für Aluminium. Die Rollen müssen jedoch sauber sein und eine glatte Oberfläche aufweisen.

2.5. Biegen

Für das mehrfache Abkanten sollten zur Vermeidung von Rissbildung während des Abkantens Löcher benutzt werden, um die Kreuzungspunkte von Abkantlinien zu markieren.

Plasmuschneiden (Benalu)



Aluminium benötigt keine besonderen Biegewerkzeuge; konventionelle Tafelbiegemaschinen oder Pressen sind hierfür perfekt geeignet, sofern die Oberflächen der Kantwerkzeuge selber sauber und ohne Anschärfungen sind.

Die zu beachtenden Biegeradien sind eine Funktion der Materialdicke und der Legierungs-/Zustandskombination und können der EN 485-2 entnommen werden.

2.6. Nicht maschinell bearbeitbare Flächen

Wie beim Biegen müssen alle Riefen von geschnittenen Kanten vor dem Umformen entfernt werden, um die Gefahr einer Rissbildung beim Umformen zu vermeiden.

Das Formgeben findet bei den Legierungen 5754, 5086 und 5083 (und bei den anderen Legierungen derselben Familie) im weichen oder im H111-Zustand statt. In einigen Fällen kann es notwendig sein, das Material zwischenglühnen⁴; dies kann wie bereits beschrieben mit einem Gasbrenner und Talg als Temperaturindikator geschehen.

Das Zwischenglühen kann im Verlauf der Umformung mehrfach durchgeführt werden; es ist jedoch zu beachten, daß zur Vermeidung von Grobkornbildung („Orangenhaut“) nur Material mit ausreichend hoher Umformung geglüht werden sollte.

4. Bei 5000er-Legierungen mit einem Mg-Gehalt von mehr als 3% muß dies zur Vermeidung einer Sensibilisierung gegen interkristalline Korrosion sehr vorsichtig durchgeführt werden. Siehe auch Kapitel XI, Abschnitt 2.2.6.

3. Verarbeitung von Strangpressprodukte

Extrusionsprofile sind normalerweise individuell in Verpackungseinheiten verpackt, um Probleme wie Reibkorrosion zu vermeiden.

3.1. Lagerung

Strangpressprofile werden am besten in ihrer Originalverpackung bis zum Gebrauch belassen. Wie bei Aluminiumblechen auch, sollten sie niemals direkt auf dem Boden gelagert werden,

auch wenn dieser betoniert wurde, und von Spritzwasser, Kondensationsquellen und schädlichen Umwelteinflüssen entfernt gelagert werden.

3.2. Schneiden

Die Schneidprozesse für Aluminiumprofile sind dieselben wie die für Aluminiumbleche und wurden im Abschnitt 2 beschrieben.
.

3.3. Biegen

Das Biegen von Aluminiumprofilen im industriellen Maßstab kann auf verschiedene Weisen und mit unterschiedlichen Werkzeugen durchgeführt werden.

3- Punkt- Biegemaschine (Benalu)



3.3.1. Biegen durch 3- Punkt Biegepressen

Dies wird durchgeführt, wenn der Biegeradius klein im Vergleich zu Höhe des Profilquerschnittes ist und wenn die Genauigkeit (Rückfederung) der Biegung und die optischen Anforderungen nicht so wichtig sind. Es wird typischerweise mit einem simplem Werkzeug in einer hydraulischen Presse durchgeführt.

3.3.2. Biegen durch 3- Punkt Biegepressen mit rotierenden Werkzeugen

Dieser Prozess wird typischerweise mit einer Presse oder Biegemaschine durchgeführt. Die Biegerollen sollten sanfter zur Profiloberfläche sein als das Werkzeug aus der Methode 3.3.1, damit es zu einer geringeren abrasiven Bewegung zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück kommt.

3.3.3. Biegen durch Druckbiegen

Ein bewegliches Werkzeug bewegt hierbei das Profil an einem zylindrischen Werkzeug vorbei. Das Profil bewegt sich dabei nicht längsseits zu dem Werkzeug.





Biegen mit rotierenden Werkzeugen

3.3.4. Biegen durch Druck- Rollformen

Dieser Prozess ist identisch mit dem in 3.3.3, aber mit einer oder mehreren rotierenden Rollen aus Stahl anstelle des beweglichen Werkzeugs. Es kann eine sehr starke Umformung durchgeführt werden. Die in den Rollformmaschinen eingesetzten Werkzeuge

werden dabei genau auf das jeweilige Profil und den Grad der Umformung ausgelegt.

3.3.5. Biegen durch Rotations- Zugbiegen

Dies wird zumeist auf normalen Rohrbiegemaschinen durchgeführt.

3.3.6. Streckbiegen über ein fixiertes Werkzeug

Die Enden der Profile werden von der Maschine gegriffen, um das Profil über ein fixiertes Werkzeug, welches die Form des fertigen Produktes hat, zu biegen. In den meisten Fällen hat dieses Werkzeug eine Biegekrümmung, die sich aus mehreren einzelnen Biegeradien zusammen setzt. Nahezu die gesamte Profilquerschnittsfläche wird dabei einer Zugspannung oberhalb der Dehngrenze ausgesetzt, und dies über die gesamte Länge des Werkstückes. Dies bedeutet, dass der Rückfederungseffekt insgesamt nur sehr gering, konstant und voraus berechenbar sein wird. Wenn ein geschlossenes Profil auf diese Weise verformt wird, kann die äußere Wand dabei unter Last zusammensinken. Dem kann durch die Verwendung eines Profils mit einer fassförmigen Außenwand oder durch Einsetzen eines geeigneten elastischen Materials (z.B. Gummi) in das Werkzeug entgegengewirkt werden. Der gesamte Prozess kann mit speziellen Werkzeugen in einer Presse oder einer Streckbiegemaschine durchgeführt werden.

3.3.7. Streckbiegen durch rotierende Werkzeuge (Rotations- Streckbiegen)

Bei dieser Methode wird das Profil an seinen beiden Enden gegriffen und über ein oder zwei rotierende Werkzeuge mit einer Kontur des fertigen Produktes gebogen. Der Streckeffekt ist dabei ein Resultat der Rotation und kann durch die Anordnung der Rotationswerkzeuge beeinflusst werden. Im Gegensatz zum konventionellen Streckbiegen (3.3.6), beginnt der Biegeprozess an einem Ende des Profils und bewegt sich dann zur Mitte hin. Das primäre Biegemoment wird durch die rotierenden Werkzeuge erzeugt und ist normalerweise konstant über die Länge des Werkstückes. Dieser Prozess ist durch die geringen Quer- (Schub-) Kräfte und damit geringen Kontaktkräfte zwischen dem Profil und dem Werkzeug gekennzeichnet.

Rotations- Streckbiegen kann in speziellen Preßwerkzeugen oder in stand- alone Biegemaschinen durchgeführt werden.

3.3.8. 3- dimensionales Streckbiegen

Das Profil wird an seinen beiden Enden von der Maschine gegriffen und über fixierte oder rotierende Werkzeuge (Leisten) dreidimensional („aus der Fläche heraus“) verformt. Dies kann mit Werkzeugen erfolgen, bei denen die Bewegungen mechanisch definiert sind oder mit programmierbaren Werkzeugen oder Maschinen.

3.3.9. Änderung des Querschnitts

Dies wird normalerweise durch Eindrücken oder Einpressen eines geeigneten Werkzeuges in ein Profil innerhalb einer Presse durchgeführt.

3.3.10. Mechanische Kalibrierung von Teilen eines Profils

Dies wird normalerweise durch Verwendung eines geeigneten Formwerkzeugs in einer Presse im Druck- oder Zugstreckverfahren durchgeführt.

3.3.11. Erreichbare Biegeradien

Der bei gebogenen Profilen erreichbare Biegeradius ist stark von der jeweiligen Profilgeometrie abhängig und schwer vorauszuberechnen. Daher ist es ratsam, Versuche an Probestücken im Vorfeld durchzuführen. Die Tabelle VII.1 zeigt Regel für das Biegen hohler Rohre auf. Wenn geringere Radien benötigt werden, kann man die Rohre vor dem Biegen mit Sand befüllen.

TABELLE VII.1

BIEGEN HOHLER ROHRE ($D \leq 90$ MM): BIEGERADIUS ALS EINE FUNKTION DES VERHÄLTNISSES D/t

Legierung	Zustand	Verhältnis D/t					
		5	10	15	20	25	30
5754	H111	1 bis 1.5 D	2.5 bis 3 D	3.5 bis 4 D	4.5 bis 5 D	6 bis 7 D	8 bis 9 D
6060	O	1 bis 1.5 D	2.5 bis 3 D	3.5 bis 4 D	4.5 bis 5 D	5 bis 6 D	7 bis 9 D
	T5	2 bis 2.5 D	3 bis 4 D	4 bis 5 D	6 bis 7 D	8 bis 10 D	12 bis 15 D

D : Aussendurchmesser

t : Dicke

4. Bohren

Das Bohren von Aluminium ist ein einfacher Vorgang, der jedoch wegen der relativ geringen Härte der Aluminiumlegierungen des Nutzfahrzeugbaus ein vorsichtiges Schärfen und Polieren des Bohrers erfordert. Bei ungeeigneter Schärfung kann das Biegen oder Pendeln des Bohrers zum Abreißen des Metalls an den Kanten des bereits gebohrten Loches führen.

Die folgenden Arten von Bohrern können für Aluminiumlegierungen eingesetzt werden⁵:

- Standard – Spiralbohrer – der am häufigsten verwendete Bohrertyp
- Geradegenuteter Bohrer
- Tieflochbohrer
- Halbrunder oder dreiviertelrunder Bohrer

4.1. Spiralbohrer

Um einen hohen Schärfegradienten zu erreichen, muß der Wendel-Winkel 40° betragen, wobei der Spitzenwinkel hier zwischen 120° und 140° , abhängig von der Form der Bohrspitze, liegt. Die anderen Eigenschaften des Spiralbohrers sind die folgenden:

- Schnittgeschwindigkeit 30 bis 80 m/min, abhängig von der benötigten Lochqualität – bei besonders hohen Anforderungen liegt die ideale Geschwindigkeit bei 30 m/min.

- Die Eindringgeschwindigkeit ist durch den Bohrdurchmesser bestimmt: 0,05 mm/Umdrehung bei einem Bohrer mit 2 mm Durchmesser bis 0,3 mm/Umdrehung bei einem 30 mm Durchmesser-Bohrer.
- Kühlung und Schmierung mit Öl
- Spitzenhöhe: Diese muß die Dicke des zu bohrenden Materials überschreiten

4.2. Geradegenuteter Bohrer

Dieser Bohrertyp ermöglicht einen raschen Späneabtransport und ist bei Aluminiumlegierungen

mittlerer Härte effizienter als ein Spiralbohrer. Die 4 zylindrischen Kegel helfen zudem eine Triangulierung des Loches zu vermeiden und ermöglichen eine gute Bohrführung.

4.3. Tieflochbohrer

Dieser Bohrertyp ist hervorragend für Bohrungen mit einem Durchmesser von 20 mm und größer und auch für das Bohren gestapelter Bleche geeignet. Die Bohrbedingungen sind dieselben wie beim normalen Spiralbohren.

4.4. Halbrunder oder dreiviertelrunder Bohrer

Diese Bohrer werden hauptsächlich für das Ausbohren eingesetzt. Die Genauigkeit des Ausbohrdurchmessers, die man mit diesen Werkzeugen erreicht, liegt bei 0,02 mm. Die Schnittgeschwindigkeiten liegen zwischen 10 und 15 m/min, die Eindringgeschwindigkeit bei 0,05 mm/Umdrehung; zur Kühlung wird Schneidöl eingesetzt.

5. Stahl- Spiralbohrer können für kleinere Bohrungen mit vorwiegend manuellen Werkzeugen eingesetzt werden..

5. Gewindeschneiden

Gewinde werden in Aluminium geschnitten, wenn keine andere Verbindungstechnik eingesetzt werden kann⁶. Wenn Gewinde in Aluminium geschnitten werden

sollen, muss sichergestellt sein, daß der Gewindeschneidtief genug für diesen Zweck ist. Die Gewindelänge sollte zwischen 1 und 2 x dem Hauptdurchmesser

des Gewindes betragen und ist von der Anwendung, der Legierung und dem Zustand des Materials abhängig. So liegt zum Beispiel die notwendige Gewindelänge einer hochfesten 6000er-Legierung im Zustand T6 bei dem 1,2-fachen des Gewindedurchmessers. Umgekehrt benötigen weichere Legierungen tiefere Gewindelängen. Es gibt 2 Methoden des Gewindeschneidens:

- Spanend
- Spanlos (umformend)

6. Bei einer Verbindung, bei der kontinuierliche Verbindungsmethoden wie Schweißen oder Kleben eingesetzt werden, sollten keine zusätzlichen Verbindungsmitte eingesetzt werden.

Gewindelöcher in Aluminium sollten nur eingesetzt werden, wenn andere Verbindungsmethoden nicht möglich sind und wo die Dehngrenze des Metalls 200 MPa überschreitet. Die tragende Gewindelänge der Schraube muß 1,5 x dem Durchmesser der Schraube entsprechen. Wenn die Schrauben wiederholt gelöst und wieder angezogen werden müssen, sollten Einsätze wie z.B. Helicoils verwendet werden.

TABELLE VII.2

DURCHMESSER DER VORBOHRUNG FÜR DAS GEWINDESCHNEIDEN

\varnothing nominal	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20
Steigung	0.70	0.80	1	1.25	1.50	1.75	2	2	2.5	2.5
Durchmesser	3.2	4.2	4.9	6.6	8.3	10	11.7	13.7	15	17

5.1. Spanendes Gewindeschneiden

Es sollten nur Gewindebohrer für zylindrische Gewindeverbindungen verwendet werden, um das Anhaften des Metalls an den Flanken zu vermeiden. Die Tabelle VII.2 zeigt die Durchmesser der

Vorbohrungen für die 5000er und 6000er Legierungen. Vorbohrlöcher für diese Legierungen im weichgeglühten Zustand müssen ca. 3-5% größer und für Gussstücke mit mehr als 12% Siliziumgehalt ca. 2% kleiner als in Tabelle VII.2 sein. Die Schnittgeschwindigkeit variiert von 10 bis 50 m/min in Abhängigkeit von der Maschine und der Spannmethode des Gewindebohrers (entweder frei oder in einem Spannfutter). Das Kühlung wird mit Schneidöl vorgenommen.

6. Tiefziehen

5.2. Spanloses Gewindeschneiden

Das Gewinde wird durch plastische Deformation des Metalls unter Verwendung eines Gewindebohrers mit abgerundetem polygonalen Querschnitt ohne Schneidspalt hergestellt.

Der Durchmesser des Vorbohrloches hängt von der erforderlichen Gewindetiefe ab und muss akkurat gebohrt werden. Die Geschwindigkeiten des spanlosen Gewindeschneidens können 50 m/min erreichen, wobei die Kühlung mit Schneidöl vorgenommen wird.

Spanloses Gewindeschneiden bietet eine Vielzahl an Vorteilen bei Aluminiumlegierungen:

- Das Gewinde hat eine lange Lebensdauer
- Es verstärkt die Härte des Gewindes, seinen Anhaftwiderstand und die Dauerfestigkeit
- Es entstehen keine Späne

5.3. Gewindeeinsätze

Es ist üblich, Gewindeeinsätze – die es in den Durchmessern M2 bis M68 gibt – einzusetzen, wenn geschraubte Aluminiumverbindungen häufig auseinanderge-

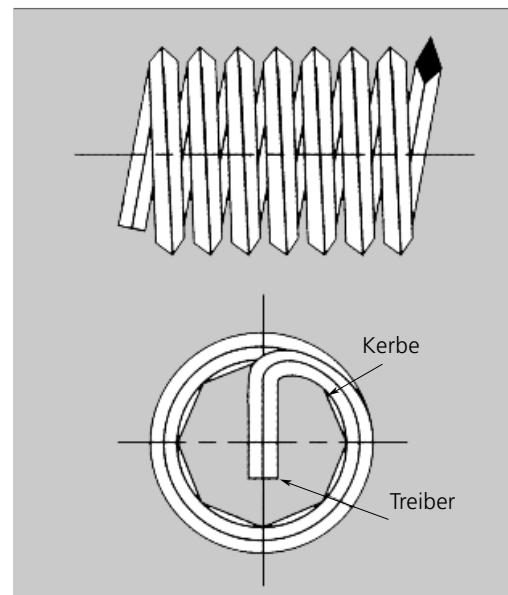
baut werden müssen. Die Einsätze haben die Form einer Feder aus gerolltem Draht oder sind aus rautenförmigen Edelstahl. Unverlierbare Einsätze können ebenfalls eingesetzt werden. Diese haben ein oder zwei Schraubengänge, die die Flanken des Schraubgewindes greifen und damit den Löseeffekten der dynamischen Spannungen oder des thermischen Schocks entgegenwirken.

Das Vorbohren wird mit einem herkömmlichen Spiralbohrer vorgenommen, wobei das Gewindeschneiden mit speziellen Gewindebohrern geschieht. Alle Späne und die Schneidflüssigkeit müssen aus der Vorbohrung vor dem Einpassen des Einsatzes entfernt werden.

Gewindeeinsätze werden mit pneumatischen Handwerkzeugen eingepasst, die diese an einem Treiber am oberen Ende des Gewindes halten. Diese Köpfe können nach dem Einpassen abgebrochen werden.

Das Tiefziehen wird meistens in der Automobilindustrie eingesetzt. Weitere Informationen über diese Technik können Sie dem *Aluminium Automotive Manual* www.eaa.net/aam/ entnehmen

BILD VII.9
HELICOIL GEWINDEEINSATZ



Drücken eines Tankfahrzeugbodens
(König)

7. Rotationsumformen (Drücken)

Drücken ist eine Umformtechnik, die im Nutzfahrzeugbau verwendet wird, um beispielsweise solche Bauteile wie Böden für Tankfahrzeuge herzustellen.

7.1. Vorteile des Drückens

Die beim Drücken eingesetzten Werkzeuge sind sehr einfach und sind im Prinzip die innere Form des benötigten Bauteils. Die Produktionszeiten können bis zu 20 x länger als die beim Tiefziehen sein.

Berechnungen, die die Werkzeugkosten und die Herstellungskosten kombinieren zeigen aber, dass dieses Verfahren für Kleinserien wettbewerbsfähig ist.



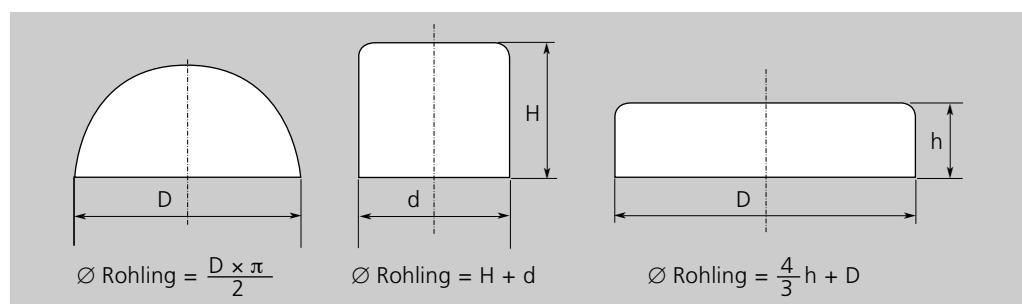
7.2. Durchmesser der Drück- Rohlinge

Drei Formeln werden benutzt, um schnell den Durchmesser von Rohlingen der am häufigsten verwendeten Formen (Bild VII.10) zu berechnen. Im Drückprozess ist

der Durchmesser der Rohlinge nicht so wichtig für das Ergebnis des Prozesses wie beim Tiefziehen, und es sind nur die Materialkosten, die eine Formoptimierung bestimmen. Eine simple Berechnung reicht für Prototypen aus.

BILD VII.10

DURCHMESSER VON DRÜCK- ROHLINGEN





KAPITEL VIII

SCHWEIßEN

1. SCHWEIßEN	108
2. WIG SCHWEIßEN (WOLFRAM INERT GAS)	109
2.1. Manuelles WIG Schweißen	110
2.2. Automatisches WIG Schweißen	110
2.3. WIG Schweißen mit Wechselspannung	111
2.4. WIG Schweißen mit Gleichspannung, umgekehrte Polarität	111
2.5. Kantenvorbereitung für das WIG Schweißen	111
2.6. Auswahl des Schweißdrahtes	111
2.7. Auswahl des Schweißprozesses	111
3. MIG SCHWEIßEN (METALL INERT GAS)	112
3.1. Manuelles MIG Schweißen	112
3.2. Automatisches MIG Schweißen	113
3.3. MIG Schweißen mit geglätteter Spannung	113
3.4. MIG Schweißen mit impulsförmigen Gleichstrom	114
3.5. Drahtpulsierung	114
3.6. CMT – Cold Metal Transfer	114
3.7. Kantenvorbereitung für das MIG Schweißen	115
3.8. Auswahl des Schweißdrahtes	117
3.9. Auswahl des Schweißprozesses	119
4. PLASMA MIG SCHWEIßEN	118
5. LASERSCHWEIßEN	118
6. LASER MIG SCHWEIßEN	119
7. WIDERSTANDSSCHWEIßEN	120
8. FSW – FRICTION STIR WELDING (REIB-RÜHR-SCHWEIßEN)	120
9. OBERFLÄCHENVORBEREITUNG VOR DEM SCHWEIßEN	122
10. QUALITÄTSKONTROLLE	123
10.1. Freigabeprozedur	123
10.2. Prüfen der Schweißverbindungen	123
10.3. Schweißfehler & Freigabekriterien	124
11. AUSLEGUNG UND VERHINDERUNG VON DEFORMATIONEN	126
11.1. Ursachen für Deformationen	126
11.2. Lösungsmöglichkeiten	126



Schweißer (STAS)

1. Vorwort

Schweißen ist die am häufigsten verwendete Fügemethode in der Herstellung von Nutzfahrzeugen und deren Aufbauten, wie zum Beispiel Tanks, Mulden, etc.

Die unterschiedlichen physikalischen, chemischen und mechanischen Eigenschaften von Aluminium verglichen mit Stahl führen zu dem speziellen Verhalten des Aluminiums während des Schweißens. In einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre bildet sich auf dem Aluminium eine gut verankerte Oxidschicht. Diese Schicht hat einen Schmelzpunkt von ca. 2000 °C im Gegensatz zum Schmelzintervall von 630 – 660 °C für das darunterliegende

Metall. Für qualitativ hochwertige Schweißnähte muss diese Schicht entfernt oder zumindest aufgebrochen werden. Trotz der Tatsache, dass das Schmelzintervall von Aluminium weitaus geringer als das von Stahl ist, führen die hohe thermische Leitfähigkeit und die hohe Schmelzenergie beim Lichtbogenschweißen dazu, dass Aluminium denselben Energieverbrauch wie Stahl hat.

Die thermische Ausdehnung von Aluminium ist doppelt so groß wie die von Stahl und der Verlust an Volumen im Schweißbad während der Erstarrung ist wichtig, da dies eine Verwerfung der Schweißnaht hervorruft, wenn

keine Gegenmaßnahmen unternommen werden. Eine Maßnahme zur Minimierung von Verformungen der Schweißnaht ist die Auswahl eines Prozesses mit geringem Energieeintrag.

Das WIG- und MIG Schweißen sind die am häufigsten verwendeten Verfahren im Nutzfahrzeugbau. Der technische Fortschritt anderer Verfahren wie Plasma-, Laser-, Widerstands- oder Reib-Rühr-Schweißen und die ständig wachsende Vielfalt an Halbzeugen wird die Anwendung solcher Schweißmethoden, die bis jetzt relativ selten im Nutzfahrzeugbau eingesetzt wurden, in Zukunft verstärken.

2. WIG- (Wolfram Inert Gas-) Schweißen

In diesem Prozess wird ein elektrischer Lichtbogen zwischen der Schweißelektrode aus Wolfram und dem Werkstück erzeugt, während eine Isolierung aus inertem Gas (normalerweise Argon) die Elektrode abschirmt und das Schweißbad gegen Oxidation schützt. Das WIG- Verfahren nutzt eine hochfrequenz- stabilisierte Wechselstromquelle. Die Oxidschicht wird dabei während der negativen Phase entfernt,

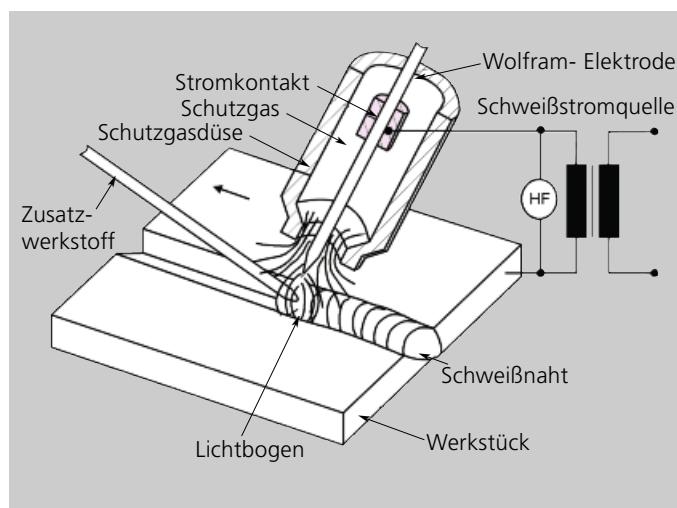
wohingegen während der positiven Phase das Eindringen und Kühlen der Elektrode erfolgt. Das WIG- Schweißverfahren eignet sich für Materialstärken von 1 bis 6 mm.

Zusätzlich dazu gibt es eine WIG- Version, bei der Helium als Schutzgas verwendet wird. Dieses hilft zur Erzielung hoher Temperaturen im Lichtbogen, erfordert aber eine Gleichspannungs-

quelle mit geradliniger Polarität. Der Effekt der Entfernung der Oxidschicht ist hier geringer, dafür ist aber die Schweißenergie höher und dadurch können Produkte mit einer Dicke von 10 bis 12 mm in einem einzigen Durchgang verschweißt werden. Allerdings ist dieses Verfahren wegen der Anforderung eines konstant kontrollierten Abstands von 0,5 mm nur in automatischen Anlagen einsetzbar.

BILD VIII.1

PRINZIP DES WIG- SCHWEIßENS





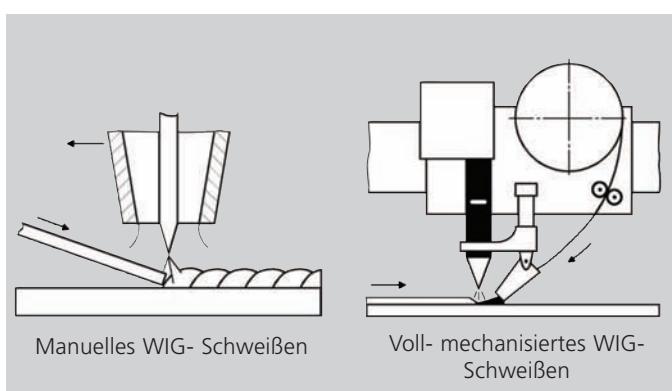
WIG- Schweißen eines Druckluftbehälters (SAG)

2.1. Manuelles WIG-Schweißen

Beim manuellen WIG- Schweißen wird der Zusatzwerkstoff in Drahtform von Hand geführt.

Dieser Prozess wird hauptsächlich für kleine Nähte, runde Nähte, bei schlechtem Zugang zur Schweißnaht und bei relativ dünnen Komponenten durchgeführt.

BILD VIII. 2
MANUELLES UND MECHANISIERTES WIG- SCHWEIßEN



2.2. Automatisches WIG-Schweißen

Hier wird der Schweißkopf automatisch geführt und der Zusatzwerkstoff über ein Spulensystem automatisch zugeführt.

Das automatische WIG- Schweißen ist eine attraktive Möglichkeit für die Fertigung hoher Stückzahlen, insbesondere wenn es keinen Zugang zur Rückseite der Schweißnaht gibt. Die Herstellung von Druckluftbehältern ist ein gutes Beispiel für den Einsatz des automatisierten WIG- Schweißens. Diese Behälter bestehen aus einem gerollten und geschweißten Blech, welches die zylindrische Mittelsektion bildet, und an das die beiden tiefgezogenen Endstücke angeschweißt werden. Wenn diese Endstücke stumpf an das Mittelteil ohne Rückenstütze zur Vermeidung von Feuchtigkeitsstauung geschweißt werden sollen, kann das automatische WIG- Schweißen zur Herstellung einer einfachen Verbindung genutzt werden. Es ist auch möglich, das Schweißbad durch Einleiten des Schutzgases in das Innere des Behälters zu unterstützen.

2.3. WIG- Schweißen mit Wechselstrom

Dieses Verfahren ist speziell für das Stumpfnaht- und Ecken-schweißen von Werkstücken mit einer Dicke von 1 bis 6 mm geeignet. Es können Durch-schweißungen ohne Rückenstütze durchgeführt werden. Heft-nähte müssen vor dem endgültigen Verschweißen nicht entfernt werden. Wechsel in der Schweiß-richtung können mit dem Schweißbrenner einfach gefolgt werden und benötigen keine Nachbearbeitung. Das Verfahren kann auch zum Glätten der Oberfläche einer MIG- Naht ein- gesetzt werden.

Die Schweißgeschwindigkeit ist geringer als bei einer MIG- Naht und bei einer Werkstückdicke von mehr als 6 mm ist eine Vor-wärzung notwendig. Die gerin-ge Schweißgeschwindigkeit ist auch für eine breite Wärmeein-flusszone und das größere Ver-ziehen der geschweißten Kom-ponenten verantwortlich. Bei Kehlnähten ist besondere Vorsicht geboten, um eine volle Durchschweißung ohne einen Mangel an Schmelzverbindung an der Wurzel zu erreichen.

In der Herstellung von Tanks und Silos führt doppelseitiges WIG-

Schweißen von Stumpfnähten in vertikal aufrechter Richtung zu hervorragenden Ergebnissen, vorausgesetzt, dass die zwei Schweißer den Prozess unter guter Kontrolle haben.

2.4. WIG- Schweißen mit Gleichstrom, umgekehrte Polarität

In diesem Prozess liegt die Licht-bogenlänge unter 1 mm, idealer-weise bei 0,5 mm, was bedeutet, dass sich dieses Verfahren haupt-sächlich für das maschinelle Schweißen eignet. Mit manuel-len Schweißungen können in der Praxis nur kurze Schweißnähte dargestellt werden. Eine dieser Anwendungen ist das Heft-schweißen von Bauteilen vor dem eigentlichen Schweißen der Naht. Der geringe Querschnitt der Heftstellen bedeutet, dass diese während des ersten MIG-Schweißganges komplett aufge-schmolzen werden und nicht vor dem Schweißen manuell abge-schliffen werden müssen.

Die Entfernung der Oxidschicht ist bei diesem Prozess schwächer, so dass es notwendig ist, die gesamte Oxidschicht vor dem Schweißen mechanisch zu ver-kleinern.

2.5. Kantenvorbereitung vor dem WIG- Schweißen

In der EN ISO 9692-3 sind hierzu ausführliche Informationen ent-halten, so dass hier nur einige Bei-spiele für typische Verbindungen im Fahrzeugbau aufgezeigt wer-den (Tabelle VIII.1, Seite 115).

Um scharfe Kerben insbesondere an der Nahtwurzel zu vermeiden, müssen alle Kanten vor dem Schweißen entgratet werden. Anstelle von Schleifscheiben soll-ten Fräswerkzeuge verwendet werden, da Rückstände der Schleifscheibe auf der Alumini-umoberfläche zu Porenbildung führen können.

2.6. Auswahl des Zusatzwerkstoffes

Siehe Abschnitt 3.8

2.7. Auswahl des Schweißverfahrens

Siehe Abschnitt 3.9

3. MIG- (Metall Inert Gas-) Schweißen

Beim MIG- Schweißen ist der Aluminiumlegierungsdrat gleichzeitig Elektrode wie auch Schweißzusatzwerkstoff. Er wird von einer Spule je nach Verbrauchs geschwindigkeit automatisch Schweißpistole zugeführt. Die Schweißenergie wird durch eine Gleichstromquelle (geglättete Spannung) zur Verfügung gestellt. Die elektrische Verbindung erfolgt mit umgekehrter Polarität (d.h. mit der Minus- Seite zum Werkstück), um eine effektive Entfernung der Oxidschicht zu

gewährleisten und gleichzeitig die Aufschmelzung der Draht elektrode zu ermöglichen. Es gibt eine Vielzahl von MIG-Verfahren....

3.1. Manuelles MIG-Schweißen

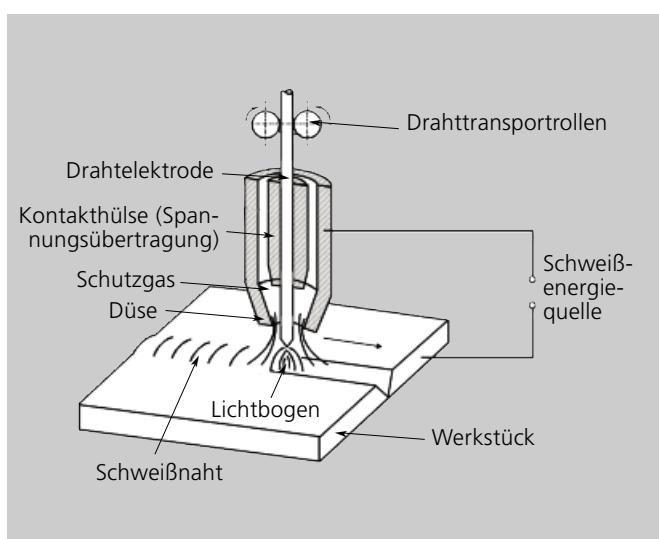
In seiner manuellen Version ist das MIG- Schweißen sicherlich der am häufigsten eingesetzte Schweißprozess in dem Bau von Nutzfahrzeugen, da es qualitativ hochwertige Schweißverbindungen zu

einem attraktiven Qualitäts- / Kosten- Verhältnis ermöglicht.

Da der Schweißzusatzdraht (die abschmelzende Elektrode) immer automatisch von einer Spule zugeführt wird, ist das manuelle MIG- Schweißen auch als „halbautomatisches MIG- Schweißen“ bekannt.

Das manuelle MIG- Schweißen wird für alle Schweißungen komplexer Natur verwendet, bei denen die Abmessungen und Dicken der Produkte zum MIG- Prozess passen und wo eine voll- automatische Schweißung als nicht rentabel betrachtet wird.

BILD VIII.3
PRINZIP DES MIG- SCHWEIßVERFAHRENS



Wenn man das Beispiel des Tanks aus einem gerollten und geschweißten Blech zur Herstellung der zylindrischen Sektionen betrachtet, kann man erkennen, dass die Längsnähte durch automatisches Schweißen verbunden werden können, während die Rundnähte zum Verbinden der einzelnen Sektionen normalerweise manuell in einer Drehvorrichtung in zwei gegenläufigen Schweißlagen durchgeführt werden. Die Wahl zwischen dem manuellen und automatischen MIG- Prozess hängt vor allem von der Zugänglichkeit zur Naht ab.

Schweißen von Seitenpaneelen von Muldenkipfern (Menci)



3.2. Automatisches MIG-Schweißen

Hier wird der Schweißbrennerkopf automatisch geführt. Das Verfahren wird normalerweise für sehr lange Nähte angewendet, wo sich ein automatisches System lohnt. Ein gutes Beispiel ist die Herstellung eines Fahrgestell-Langträgers, der aus zwei „T“-Profilen besteht, von denen jeweils ein Flansch an die Kanten eines Bleches angeschweißt wird und so den Steg formt. Die zwei Schweißnähte werden normalerweise automatisch und gleichzeitig geschweißt, um eventuellen Deformierungen vorzubeugen.

Das automatische Schweißen wird auch bevorzugt, wenn ein sauberer Erscheinungsbild gefragt ist, zum Beispiel bei dem Verstärkungsprofil, welches an die Seitenpaneele eines Aufliegers geschweißt wird. Hier kann durch eine gute Reproduzierbarkeit der Größe und Qualität der Schweißnaht ein sehr gutes optisches Erscheinungsbild erreicht werden.

Schließlich ermöglicht das automatische Schweißen – sowohl WIG wie MIG- eine wiederholbare Qualität unter der Voraussetzung, dass die Parameter vollständig festgelegt sind.

3.3. MIG-Schweißen mit geglättetem Strom

Dieser schnelle und wirtschaftliche Prozess erlaubt das Ablagern großer Mengen an Zusatzwerkstoff pro Zeiteinheit. Der Energieeintrag ist so, dass Stumpfnähte nur unter Verwendung einer Rückenstütze, entweder integriert in die Form des Profils oder als temporäre, wieder entfernbare Stütze aus Stahl, Kupfer oder auch Aluminium, hergestellt werden können. Durch die relative hohe Schweißgeschwindigkeit ist die Wärmeeinflusszone¹ schmäler als beim WIG-Schweißen und dadurch verringert sich gleichzeitig das Verziehen der verschweißten Bauteile.

Dünnes Material mit einer Dicke unter 3 mm ist wegen der hohen Energie des Lichtbogens mit die-

sem Verfahren schwer zu schweißen. Wenn keine andere Ausrüstung verfügbar ist, kann ein Fülldraht mit einem kleinen Durchmesser bei reduzierter Energieeintragung verwendet werden, was aber durch die Geschwindigkeit der Drahtzuführung zu Instabilitäten des Prozesses führen kann, selbst wenn ein „push-pull“-Equipment eingesetzt wird.

Wenn die Vormontage von Bau- teilen mit Heftstellen im MIG-Verfahren durchgeführt wird, dann müssen diese Stellen denselben Querschnitt wie die erste Schweißlage haben und ca. 100 mm lang sein, um einwandfrei verarbeitet werden zu können. Vor dem eigentlichen Schweißen müssen diese Heftstellen mit mechanischen Bearbeitungsme- thoden (keine Schleifscheibe) abgeschliffen werden, so dass sie im Schweißdurchgang vollständig aufgeschmolzen werden und keine Fehlstellen hinterlassen.

1. Die Größe der wärmebeeinflussten Zone und die Festigkeit dieser Zone sind in EN 1999-1-1 dargestellt.



Schweißen einer LKW - Tür

3.4. MIG- Schweißen mit impulsförmigen Gleichstrom

Eine Verbesserung des MIG Verfahrens wurde durch die Überlagerung des Hauptstroms mit einem impulsförmigen Strom erreicht (mit dem Ziel ein geringes Stromstärkeniveau zu erreichen ohne die Lichtbogenstabilität damit zu beeinträchtigen). Der Zusatzwerkstoff wird dem Schweißbad jedes Mal dann zugeführt, wenn die Stromstärke hoch ist (das heißt ein Tropfen Metall pro Impuls). Die „kalten Zeiten“ bei denen die Stromstärke niedrig ist, stellen die Lichtbogenstabilität sicher. Es gibt drei Modi:

- **Synergetischer Modus:** Nur die Abwickelgeschwindigkeit des Drahtes muss reguliert werden. Die Spannung und Frequenz werden elektronisch geregelt;
- **Manueller Modus:** Alle Schweißparameter sind einstellbar;
- **Programm Modus:** Jeder Parameter kann bezüglich der

Anforderungen an die Produktion gespeichert werden;

Das MIG Verfahren mit impulsförmigen Gleichstrom ist beschränkt auf dünne Produkte von 2 – 5mm und auf vertikale Kehlnähte. Dieser Prozess macht es möglich, dünnes Material mit Standard-Zusatzwerkstoffen zu schweißen. Da das Schweißbad besser kontrolliert werden kann, können Stumpfnähte bis 5mm Dicke ohne Rückenstütze ausgeführt werden. Weiterhin ist dieses Verfahren sehr hilfreich für das Schweißen in vertikaler oder Über-Kopf Richtung. Die optimale Maschineneinstellung ist schwieriger zu finden als beim normalen MIG -Schweißen, weil viel mehr Parameter festgelegt werden müssen. Die Breite der wärmebeeinflussten Zone ist analog zu der von Standard – MIG – Schweißungen, was auch für den Grad des Verziehens der Werkstücke gilt. Für das Überschweißen von Heftstellen gelten die Bemerkungen unter 3.3.

3.5. Drahtpulsierung

Bei Dicken zwischen ein und drei Millimeter kann die zusätzliche Option „Drahtpulsierung“ dem vorher beschriebenen impulsförmigen Strom hinzugefügt werden um die Lichtbogenstabilität zu verbessern. Diese „Drahtpulsierung“ induziert eine doppelte Pulsierung zum Stromsignal und daraus folgende zum Wärmeeintrag. Für die T – Verbindung unterschiedlicher Dicken ist die Verteilung des Wärmeeintrages nur schwierig konstant zu halten mit dem klassischen impulsförmigen Gleichstrom. Diese doppelte Pulsierung des Stromes stellt die Konzentration des Wärmeeintrages auf den exakten Ort der Schweißverbindung sicher.

3.6. CMT – Cold Metal Transfer

Für das MIG Schweißen geringerer Dicken als 1 mm kann der CMT – Cold Metal Transfer Prozess eingesetzt werden. Beim Feststellen eines Kurzschlusses zieht dieser Prozess den Draht zurück und hilft so, den Metalltropfen zu lösen. Der thermische Eintrag wird so sofort reduziert und der Kurzschlussstrom gering gehalten.

3.7. Kantenvorbereitung für das MIG-Schweißen

Nur die häufigsten Beispiele werden in Tabelle VIII.1 dargestellt. Weitere Informationen können der EN ISO 9692-3 entnommen werden.

TABELLE VIII.1
KANTENVORBEREITUNG

Verfahren	Schweißposition	Schweißnaht	Dicke	Vorbereitung	Bemerkung
WIG	Alle Positionen	Nur einseitig	$0.8 < t < 1.5$		Eine durch die Kanten geformte kleine Spitze beschränkt Deformationen
WIG	Horizontal	Nur einseitig	$0.8 < t < 5$		Angeschrägte Kanten, Stahlabstützung, geklemmte Naht
WIG	Alle Positionen	Nur einseitig Gegenschweißung möglich	$1.5 < t < 5$		Geheftete saubere Kanten
WIG	Alle Positionen	Nur einseitig	$4 < t < 6$		Geheftete saubere Kanten. Winkel nach dem gleichen Prinzip, aber mit versetzter Fase
MIG	Alle Positionen	Einseitig mit Gegenschweißung	$2.5 < t < 6$		Gegenschweißung notwendig nach dem Abschleifen auf die Basis der 1. Schweißlage
MIG	Alle Positionen	Nur einseitig	$2.5 < t < 6$		Edelstahlabstützung
MIG	Alle Positionen	Nur einseitig	$2.5 < t < 6$		
MIG	Horizontal und Überkopf*	Einseitig mit Gegenschweißung	$6 < t < 25$		Gegenschweißung notwendig nach dem Abschleifen auf die Basis der 1. Schweißlage. Freiraum max. 1,5 mm
MIG	Horizontal und vertikal*	Nur einseitig	$4 < t < 25$		Gerippte Edelstahlabstützung

* X-förmige Anfassungen werden für Komponentendicken von $6 < t < 25$ mm bevorzugt zur Begrenzung von Deformationen durch das Schweißen

TABELLE VIII.2
AUSWAHL DES ZUSATZWERKSTOFFES ALS FUNKTION DER LEGIERUNGSKOMBINATION

Jede Kombination hat 3 mögliche Lösungen – dargestellt an den Kreuzungspunkten der Linien, abhängig vom gewählten Kriterium: Optimale mechanische Eigenschaften: obere Linie – Optimale Korrosionsbeständigkeit: Mittlere Linie – Optimale Schweißeigenschaften: Untere Linie • Der Zusatzwerkstoff wird dargestellt durch: 4: 4000er-Serie -> 4043A, 4045, 4047A – 5: 5000er- Serie -> 5356, 5183, 5556A

Legierung A					
Knetlegierung 5000er- Serie Mg < 3%	5 5 (a) 4 - 5 (b)				
Knetlegierung 5000er- Serie Mg > 3% (a)	5 5 5	5 5 5			
Knetlegierung 6000er- Serie	5 - 4 5 4	5 - 4 5 4	5 - 4 5 4		
Knetlegierung 7000er- Serie ohne Kupfer	5 - 4 5 4	5 - 4 5 4	5 - 4 5 4	5 - 4	
Gusslegierung Si > 7% (c)	4 (e) 4 4	5 - 4 (e) 5 4	4 4 4	4	4 (d) 4 4
Legierung B	Knetlegierung 5000er- Serie Mg < 3%	Knetlegierung 5000er- Serie Mg > 3%	Knetlegierung 6000er- Serie	Knetlegierung 7000er- Serie ohne Kupfer	Gusslegierung Si > 7% (c)

- (a) 5000er- Serie Legierungen mit mehr als 3,5% Mg sind sensiv gegenüber interkristalliner Korrosion bei Temperaturen über 65°C und einer bestimmten aggressiven Umgebung (siehe Anschnitt 2.2.6 in Kapitel XI).
- (b) 5000er- Serie Legierungen mit weniger als 3% Mg und 3000er- Serie Legierungen, die Mg enthalten, können sensiv auf Heißrissigkeit sein
- (c) Die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht hängen von der inneren Fehlerfreiheit des Gussteils ab. Gasbehandelte Materialien und Spritzgussteile gelten als nicht schweißbar.
- (d) Der Prozentsatz an Silizium im Zusatzwerkstoff muss so nahe wie möglich an dem des Gussteils liegen.
- (e) Das Verschweißen von Aluminium- Silizium- Gussteilen (4000er- Serie) mit 5000er- Serie- Legierungen sollte so weit wie möglich vermieden werden, da sich Mg₂Si- Ausscheidungen in der Naht bilden und die Verbindung schwächen.

3.8. Auswahl des Zusatzwerkstoffes

Die meisten der in Kapitel V aufgelisteten Legierungen sind schweißbar und auch Kombinationen dieser Legierungen sind schweißbar. Schweißzusatzwerkstoffe sind nicht immer in exakt derselben chemischen Zusammensetzung erhältlich wie der zu schweißende Grundwerkstoff. Es gibt Drähte und Elektroden in den 4000er- und 5000er-Legierungen auf dem Markt; im Einzelnen sind dies 4043A, 4045, 4047A, 5183, 5356 und 5556A

(siehe auch ISO 18273). In der Tabelle VII.2 wird der beste Zusatzwerkstoff unter den Kriterien unterschiedlicher Anforderungen wie optimale Festigkeit, gute Korrosionsbeständigkeit und gute Schweißeigenschaften empfohlen. Eine Auswahl muss nach der relativen Wichtigkeit der einzelnen Anforderungen getroffen werden. Die Zusatzwerkstoffe sollten in ihrer versiegelten Verpackung bis zum Gebrauch gelagert werden.

Wenn ein Paket geöffnet wurde, sollte es in einer trockenen Umgebung gelagert werden, da Feuchtigkeit auf der Oberfläche des Drahtes zu einer Porosität der Schweißnaht führen kann. Wenn offene Drahtspulen den umgebenden Umweltbedingungen für eine längere Zeit (Monate) ausgesetzt sind, dann wird empfohlen, diese in einer Wärmebox bei ca. 80°C für eine Nacht vor der Verwendung zu trocknen.

3.9. Auswahl des Schweißverfahrens

TABELLE VIII.3
AUSWAHL DES SCHWEIßVERFAHRENS

Verfahren	TIG		MIG			
	Inert	Nicht abbrennbar	Abbrand			
Atmosphäre						Inert
Elektrode	Wechselstrom	Gleichstrom	Geglättet	Pulsiert	Pulsiert	Pulsiert
Besonderheit					Drahtpulsierung	Cold Metal Transfer
Eignung						
Dickenbereich	$0.8 \leq t \leq 5$	$0.2 \leq t \leq 10$	$3 \leq t$	$2 \leq t$	$1 \leq t \leq 5$	$t \leq 1$
Manuell	Ja	Nein	Ja	Ja	Schwierig	Nein
Automatisch	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Industrieroboter	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja

4. Plasma MIG- Schweißen

Dieses Verfahren kombiniert die hohe Schmelzleistung des MIG-Verfahrens mit der nahezu idealen Form des Plasma- Bogens und seines sehr guten Schutzgasschirms für das Schweißbad. Das Resultat ist eine extrem gute Qualität der Schweißnähte, insbesondere die Abwesenheit von Poren. Der Plasma- Bogen wird

zwischen der Plasmaringedüse des Schweißkopfes und dem Werkstück aufrechterhalten, während der MIG- Lichtbogen in der Mitte des Plasma- Bogens liegt. Beide Bögen haben die gleiche Polarität, wobei die hohe kinetische Energie des Plasmas die Oxidschicht auf dem Werkstück zerstört. Auf die mechanische Ent-

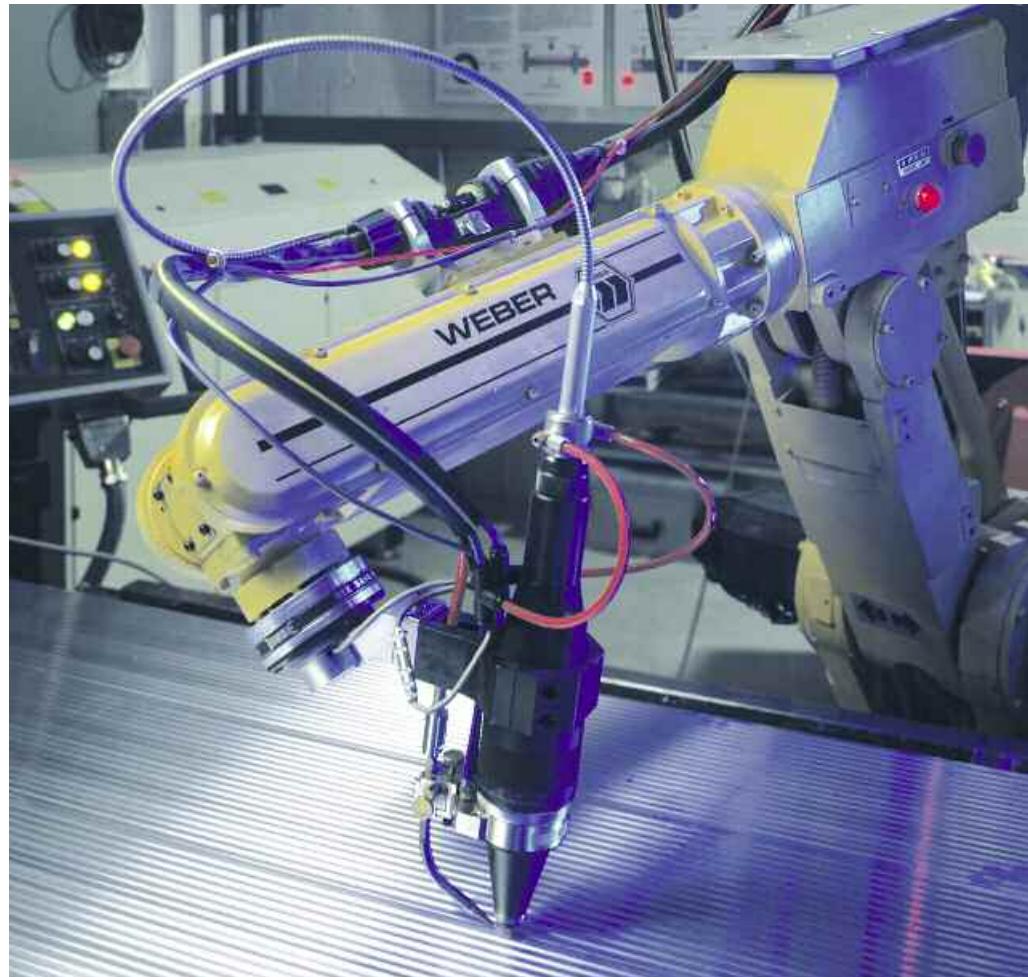
fernung der Oxidschicht kann somit verzichtet werden. Der Prozess ist hervorragend für Anwendungen, die hohe Anforderungen an die Dichtigkeit und Oberflächenqualität stellen. Es ist hiermit möglich, Stumpfnähte mit einer V- förmigen Kantenvorbereitung bis zu 10 mm Dicke in einem Durchgang zu schweißen.

5. Laserschweißen

Das Laserschweißen von Aluminiumlegierungen entwickelt sich mit zunehmender Geschwindigkeit parallel mit der Entwicklung immer leistungsfähigerer Laserquellen. Auf der einen Seite gibt es CO₂- Laser von bis zu 20 kW und mehr und auf der anderen Seite Nd:YAG- Laser von 6 kW und mehr. Beim CO₂- Laser ist die Faserorientierung limitiert, wohingegen es die optischen Fasern des Nd:YAG- Lasers erlauben, den Laserstrahl direkt in die Schweißzone zu leiten. Dieses ermöglicht eine hohe Flexibilität insbesondere für das Roboterschweißen.

Die hohe Reflexion des Aluminiums macht es hierbei notwendig, das Laserequipment in einem separaten Raum zu installieren, zu dem während des Betriebes niemand ohne entsprechenden Augenschutz Zutritt hat. Der Sensor, der das Signal für die Bewegungskontrolle des Laserstrahls aussendet, muss sehr effektiv reagieren, ohne durch die Reflexionen gestört zu werden. Das Laserschweißen wird hauptsächlich für dünnes Material (1 bis 4 mm Dicke) eingesetzt und die zu verbindenden Teile müssen exakt passen, wie es zum Beispiel in der Automobilindustrie beim Fügen von tailored blanks der Fall ist.

Die erreichbare Schweißgeschwindigkeit liegt bei bis zu 12 m/min bei Dicken von ca. 1 mm und immer noch 1- 3 m/min bei Dicken von 1,5 bis 3 mm. Verglichen mit dem Standard- Lichtbogenschweißen erlaubt das Laserschweißen die Herstellung von Bauteilen mit geringem Verzug und geringen verbleibenden Spannungen, zusammen mit einer kleineren wärmebeeinflussten Zone, welches eine direkte Folge der hohen Arbeitgeschwindigkeit und der daraus resultierenden geringen Wärmeeintragung ist. Das Laserschweißen wird bei Aluminiumlegierungen bevorzugt mit einem Zusatzwerkstoff durchgeführt.



Laserschweißen

6. Laser MIG- Schweißen

Die Kombination eines Standard-Lichtbogenverfahrens mit dem Laserschweißverfahren ermöglicht es, von den Vorteilen beider Verfahren wie guter Prozessstabilität, hoher Schweißgeschwindigkeit und verstärkter Spaltüberbrückungskapazität zu profitieren.

Der Laserstrahl läuft vor dem MIG-Lichtbogen, beide Strahlen aber fokussieren auf denselben Punkt der Metalloberfläche. Das Schutzgas wird durch den MIG-Kopf bereitgestellt und besteht vorzugsweise aus einer Mischung aus Helium (70%) und Argon (30%). Das Verfahren ist ideal für das kontinuierliche

automatische Schweißen bis zu 10 mm Materialdicke in einem Durchgang, wobei die Anforderungen an den Schweißspalt geringer streng als die beim reinen Laserschweißen sind. Es gelten hierbei dieselben Sicherheitsmaßnahmen wie beim Laserschweißen.

7. Widerstandsschweißen

Diese Technik ist in der Automobilindustrie weit verbreitet und im Nutzfahrzeugbau nicht so häufig anzutreffen. Aus diesem

Grund wird hier nicht auf weitere Details eingegangen. Interessierte Leser können weitere Informationen aus dem Alumini-

um Automotive Manual beziehen: www.eaa.net/aam.

8. FSW – Friction Stir Welding (Reibrührschweißen)



Friction Stir Welding

Dies ist ein innovativer Prozess, der vom TWI Ltd. (The Welding Institute) erfunden wurde und international durch Patente in Europa, den USA und Australien geschützt ist. Jeder, der dieses Verfahren anwendet, benötigt vom TWI eine entsprechende Lizenz.

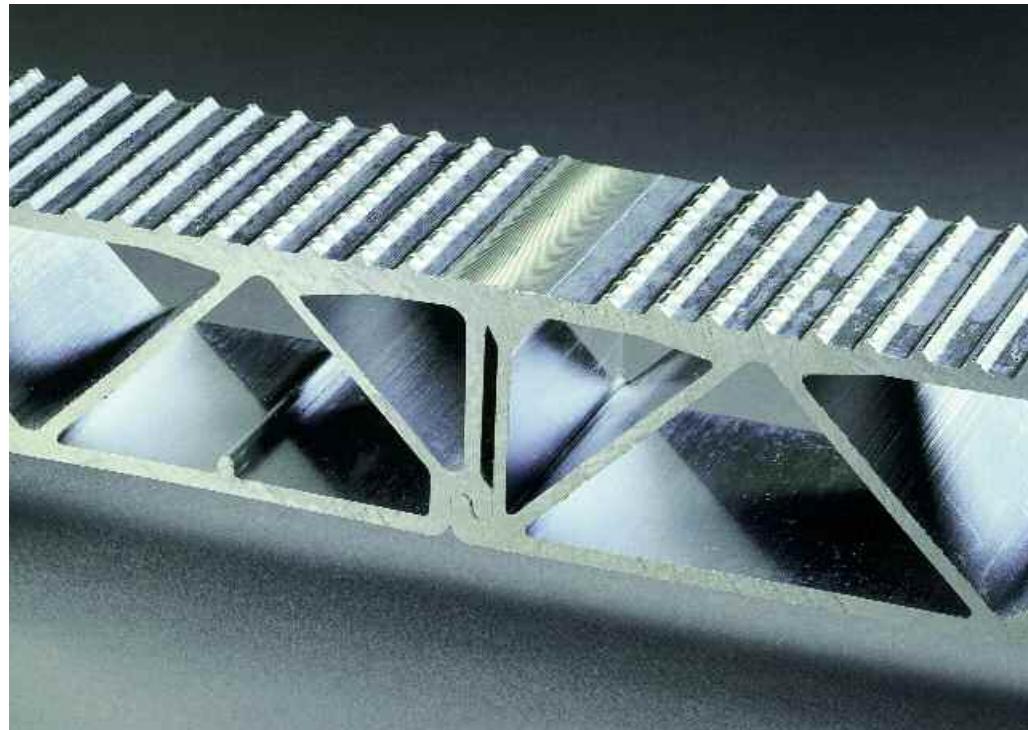
Das Verfahren arbeitet in der festen Phase des Metalls unterhalb des Schmelzpunktes der Legie-

rung. Ein Werkzeug in der Form eines Fingers mit einer Schulter wird in Rotation versetzt und in das Metall mit einer definierten Rotationsgeschwindigkeit entlang der Kontaktlinie der zu fügenden Teile gefahren. Die Reibung des Werkzeuges in dem Metall liefert die notwendige Energie, um das Metall lokal auf die notwendige Temperatur zu erhitzten. Durch die Rotation und die Bewegung des Werkzeuges wird das Metall in einen teigigen Zustand versetzt und plastisch deformiert, was zur Ausbildung der Schweißnaht führt. Das Verfahren kann für Stumpfnähte, Überlappnähte, T-Querschnitte und Eckenschweißungen eingesetzt werden. Für jede dieser Verbindungsgeometrien ist ein besonderes Werkzeugdesign notwendig. Das Verfahren kann in allen Schweißpositionen (hori-

zontal, vertikal, über Kopf und orbital) eingesetzt werden.

Das FSW-Schweißen kann bis zu Dicken von 50 mm (einseitiges Schweißen) bzw. 100 mm (beidseitiges Schweißen) eingesetzt werden und bietet folgende Vorteile:

- Hohe Produktivität, d.h. hohes Kostenersparnispotential
- Geringen Verzug der Bauteile, auch bei langen Nähten
- Exzellente mechanische Eigenschaften, bewiesen durch Dauerfestigkeits-, Zugfestigkeits- und Biegetests
- Keine Rauchentwicklung
- Keine Porositäten
- Keine Spritzer
- Geringe Schrumpfung
- Kann in allen Positionen eingesetzt werden



Reibrührgeschweißtes Hecklift- Profil

- Kein Verbrauchsmaterial (ein Werkzeug kann für bei zu 1000 m Schweißnaht bei 6000er-Legierungen verwendet werden)
- Kein Zusatzwerkstoff notwendig
- Keine Schweißer- Zertifizierung notwendig
- Läßt einige Vorbereitungsfehler zu (dünne Oxidfilme können akzeptiert werden)
- Kein Schleifen, bürsten oder beizen in der Massenfertigung notwendig

Die Grenzen des FSW- Verfahrens werden durch intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeiten kontinuierlich erweitert. Die grundlegenden Grenzen des Verfahrens zurzeit sind:

- Die relativ hohen Investitionen benötigen einen hohen Grad an Wiederholbarkeit, um das Kosten einsparpotential zu realisieren.
- Die Werkstücke müssen sehr stark miteinander verspannt werden, damit der Werkzeugkopf durch den Schweißspalt fahren kann, ohne diesen zu öffnen.

- Es wird eine Rückenstütze benötigt (außer bei selbsttätigen Werkzeugen oder direkt gegeneinander arbeitenden Werkzeugen)
- Es können keine Nähte hergestellt werden, die ein Abscheiden von Metall verlangen (z.B. Kehlnähte)
- Es gibt ein Loch am Ende jeder Naht

Das größte bis heute eingesetzte FSW- Equipment kann Werkstücke bis zu 20 m Länge bearbeiten.

9. Oberflächenvorbereitung vor dem Schweißen

Für qualitativ hochwertige Schweißverbindungen wird empfohlen, die Schweißkanten von Blechen nach dem Wasserstrahl-, Plasma- oder Laserschneiden abzufräsen (siehe Abschnitt 3.7), um diese raue Oberfläche mit einer dicken Oxidschicht und Mikrorissen zu entfernen und damit Schweißfehlern wie Rissen oder Oxideinschlüssen vorzubeugen. Das selbe sollte bei Platten mit einer Dicke über 10 mm, die auf Tafelscheren geschnitten wurden, durchgeführt werden, da es dort ein hohes Risiko für Risse in der kurzen Querrichtung gibt, selbst wenn eine Schicht von 2 mm Material abgetragen wird.

Das zu schweißende Metall muss trocken sein und darf keine Spuren von Verunreinigungen wie Öle, Fette oder sonstige Stoffe, die unter dem Lichtbogeneinfluss verdampfen, aufweisen. Um diese saubere Oberfläche zu erreichen, sollten die zu schweißenden Werksstücke 2 Tage vor der Verarbeitung in die Werkshallen gebracht werden. Dieses erlaubt das Trocknen möglicher Kondensationsflecken, die durch eine Temperaturdifferenz zwischen Lagerort und Werkshalle entstehen können.

Unmittelbar vor dem Schweißen sollten die Kanten und die direkte Schweißumgebung sorgfältig

unter Verwendung solcher Lösungsmittel wie Aceton oder Industrialkohol entfettet werden. Trichlorethylen sollte wegen der Bildung des giftigen Gases Phosgen unter dem Lichtbogeneinfluss und seiner Umweltbelastung nicht eingesetzt werden. Wenn das Lösungsmittel von der Oberfläche verdampft ist, empfiehlt sich eine weitere Reinigung mit einer Edelstahlbürste (manuell oder rotierend).

Das Schweißen unter freiem Himmel ist nicht zu empfehlen. Wenn es aber trotzdem nicht vermieden werden kann, muss die Schweißumgebung gut abgeschirmt werden.

Schweißen eines Muldenkippers (Schmitz)



10. Qualitätskontrolle

Die Qualitätskontrolle ermöglicht es den Herstellern, die Qualität ihrer Produkte zu beurteilen und insbesondere die Qualität der Schweißnähte in Relation zu einem Freigabenniveau von bestimmten Fehlern zu setzen.

Das Niveau akzeptabler Fehler ist bestimmt durch:

- Die Arten und Richtungen der Kräfte (statisch und dynamisch)
- Die Höhe und Variation der Spannungen

- Mögliche Gefährdungen von Personal
- Die technischen und finanziellen Folgen des Versagens einer geschweißten Struktur
- Die Möglichkeit routinemäßiger Inspektionen und Kontrollen

10.1. Freigabeprozeduren

Diese Prozeduren sind entweder zwischen dem Kunden und dem Hersteller vertraglich festgelegt, durch entsprechende Normen oder technische Regelwerke bestimmt oder durch den Hersteller selbst geregelt. Die Schweißer müssen in Übereinstimmung mit EN ISO 9606-2 zertifiziert sein. Die Schweißverfahrens-Spezifikationen müssen mit EN ISO 15609-1, EN ISO 15612, EN ISO 15613 und EN ISO 15614-2 übereinstimmen.

Probestücke müssen im Zugfestigkeits- und Biegetest geprüft werden. Die Biegetests sind wichtig, weil sie:

- Eine Bindung erfassen, die nur schwer mit anderen nicht- zerstörenden Prüfmethoden zu identifizieren ist
- Hilft, eine gute Balance von Parametern in Hinsicht auf die

Vermeidung solcher Fehler zu entwickeln.

Es kann ebenso umsichtig sein, einige zerstörende Prüfungen an Referenzmustern durchzuführen.

10.2. Inspektion geschweißter Verbindungen

Die Art von Prüfungen an geschweißten Verbindungen hängt logischerweise von der Belastung der Schweißnähte ab. In der Fertigungshalle ist es möglich, folgende nicht- zerstörende Prüfungen zusätzlich zur visuellen Begutachtung durchzuführen:

- Das Farbeeindringverfahren ermöglicht die Feststellung von Lecks und aufkommenden Rissen
- Prüfung der geschweißten Form (geometrische Form)
- Röntgenprüfung, um interne Fehlstellen wie Poren, Risse, Einschlüsse in Stumpfnähten zu erfassen
- Ultraschallprüfung

Ein Prüfplan muss folgende Dinge enthalten:

- Art und Umfang der Prüfungen vor dem Schweißen
- Art und Umfang der Prüfungen und nicht- zerstörenden Testmethoden
- Festlegung der nicht- zerstörenden Testmethoden
- Freigabekriterien (Qualitätsniveau) in Übereinstimmung mit EN ISO 10042

10.3. Schweißfehler und Freigabekriterien

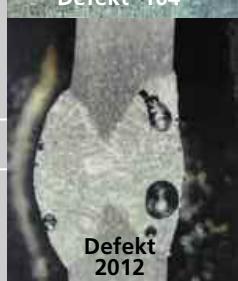
Die Schweißfehler und Qualitäts-level sind in EN ISO 10042 beschrieben. Richtlinien für die Wahl der Qualitätslevel gibt die EN 1090-3. Eine internationale Nomenklatur von Fehlern hat

sich etabliert und ist in EN ISO 6520-1 in einer Liste von 6 Gruppen von Fehlern beschrieben:

- Gruppe 100: Risse
- Gruppe 200: Löcher und Poren
- Gruppe 300: Feste Einschlüsse

- Gruppe 400: Mangel an Bindung und Durchschweißung
- Gruppe 500: Geometrische Fehler
- Gruppe 600: Mehrere Defekte

TABELLE VIII.4
HÄUFIGE SCHWEIßFEHLER UND DEREN URSACHE

Nr	Fehler	Mögliche Ursache	Illustration
101	Risse	Ungeeigneter Grundwerkstoff Ungeeigneter Zusatzwerkstoff Falsche Schweißsequenz Zu starke Einspannung Starke Abkühlung	 Defekt 101
104	Kraterrisse	Plötzliches Abschalten des Lichtbogens am Nahtende	 Defekt 104
2012	Verteilte Poren	Schlechte Entfettung des Werkstückes Werkstück und/oder Zusatzwerkstoff schmutzig oder feucht Unzureichender Schutz des Bades durch das Schutzgas (geringer Gasfluss oder Leckage im System) Schweißansatz auf einem kalten Bauteil Zu hohe Lichtbogenspannung Zu schnelle Abkühlung der Schweißnaht	 Defekt 2012
2014	Geradlinige Poren	Mangelnde Durchschweißung (bei mehreren Lagen) Zu hoher Temperaturunterschied zwischen dem Werkstück und der Badstütze Zu großer Spalt zwischen den Schweißkanten	
300	Feste Einschlüsse	Verschmutztes Metall (Oxide, Bürstenhaare etc.)	
303	Oxideinschlüsse	Schlechte Schutzgasabschirmung des Schweißbettes Lagerung des Metalls in unsauberer Umgebung	

Nr	Fehler	Mögliche Ursache	Illustration
3041	Wolframeinschlüsse	Elektrodendurchmesser zu klein Schlechte Qualität der Wolframelektrode Zu hohe Stromdichte Schlechtes Handling durch den Schweißer	 Defekt 300
402	Unzureichende Durchschweißung	Unzureichende Reinigung (Anwesenheit von Oxiden) Falsche Kantenanschrägung bei dickem Material (zu enge Abschrägung) Schweißspalt zu klein (oder ungleichmäßig) Zu geringe Stromstärke, besonders am Beginn der Naht Schweißgeschwindigkeit zu hoch Zu hohe Lichtbogenspannung	 Defekt 402
4011	Mangelnde Bindung an den an den Kanten	Zu hohe Lichtbogenspannung Zu geringe Stromstärke, besonders am Beginn der Naht Zu kaltes Werkstück	 Defekt 402
502	Zu bauchige Naht	Schlechte Spannungssteuerung (U/I- Verhältnis) Schweißgeschwindigkeit zu niedrig Unzureichende Kantenvorbereitung bei dicken Werkstücken Unzureichende Anfangs- Stromstärke	 Defekt 402
507	Nahtversatz	Unzureichende Positionierung des Werkstückes Falsche Schweißsequenz	 Defekt 507
508	Winkelfehler	Zu hohe Schweißenergie Falsche Schweißsequenz	 Defekt 502
509	Kerben	Drahtgeschwindigkeit zu hoch Schweißbrenner zu langsam oder ungleichmäßig geführt	 Defekt 507
602	Spritzer	Falsche Lichtbogenkontrolle Probleme mit der elektrischen Erdung	

11. Auslegung und Vermeidung von Verformungen

11.1. Ursachen für Verformungen

Bei maschinell geschweißten Konstruktionen können Verformungen folgende Ursachen haben:

11.1.1. Schweißrichtung

Es ist eine bekannte Tatsache, daß eine Schweißnaht an ihrem Ende am meisten schrumpft. Aus diesem Grund sind die Verformungen in diesem Bereich am größten. Es ist daher notwendig, die Schweißrichtung so zu gestalten, daß die Naht im Außenbereich des Werkstückes ausläuft, um so den größtmöglichen Teil der Spannungen freizusetzen. Im gegenteiligen Fall, d.h. bei nach innen gerichteter Naht, werden die Schrumpfspannungen „eingeschlossen“, was stärkerer Verformungen zur Folge hat. Das Schweißnahtende muß mechanisch nachbearbeitet werden, um eine Rissbildung am Endkrater zu vermeiden.

11.1.2. Durchdrückeffekt

Dies ist normalerweise auf einen Konstruktionsfehler zurück zu führen. Bei einer Tanktrennwand zum Beispiel ist es unbedingt notwendig, dass die Trennwand, die entweder tiefgezogen oder gedrückt wurde, einen überstehenden Kragen hat, der flach gegen die Tankwand drückt und an dem die Trennwand verschweißt wird. Dies soll das Problem des Durchdrückens durch die Schweißnahtschrumpfung vermeiden und so Verformungen minimieren (Bild VIII.4).

Ähnlich ist es in dem Fall, bei dem ein Tankkörper verstärkt werden soll. Hier ist es notwendig, eine Zwischenplatte zwischen dem Versteifungselement und dem Tankkörper anzubringen, um so den Durchdrückeffekt durch die Schweißnahtschrumpfung und die daraus resultierenden Verformungen zu vermeiden (Bild VIII.5). Ohne eine solche Zwischenplatte würde sich der Tank unter den Folgen späterer dynamischer Spannungen verformen.

11.2. Lösungsmöglichkeiten

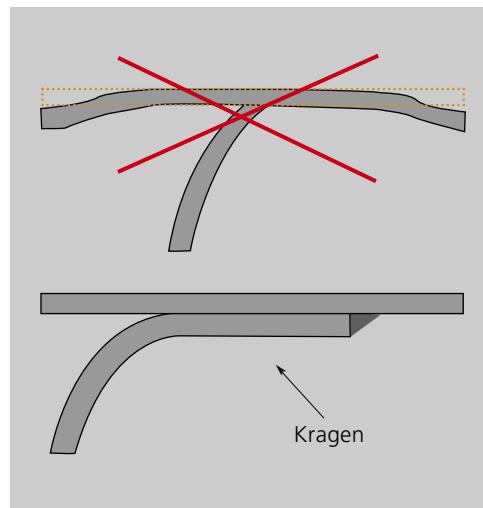
Es gibt mehrere Lösungen für die o.g. Probleme:

11.2.1. Verwendung von Profilen

Die Verwendung von Profilen ist bei der Herstellung eines Fahrgerüsts sinnvoll, da:

- Verbindungen in die Bereiche der geringsten Spannungen gelegt werden können
- Schweißnähte so ausgeführt werden können, dass Verformungen vermieden werden können.

BILD VIII.4
SCHWEIßEN MIT ÜBERSTEHENDEM KRAGEN



Fahrgestell-Längsträger zum Beispiel werden normalerweise aus zwei Profilen, die die Flansche bilden, und einem Blech als Steg hergestellt. Die in Bild VIII.6 gezeigte Verbindung kann durch automatisches MIG-Schweißen mit zwei simultan arbeitenden Schweißköpfen hergestellt werden. Hierbei sind beide Methoden der Schweißpositionierung möglich, d.h. mit vertikal oder horizontal positionierten Fahrgestellträgern. Die Wahl der Position hängt dabei im Wesentlichen von der Konstruktion der Schweißbank ab. Wenn der Träger in horizontaler Lage liegt, muß eine Stütze vorgesehen

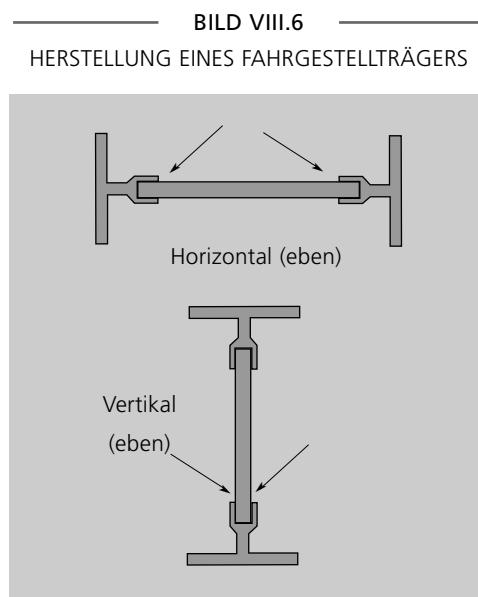
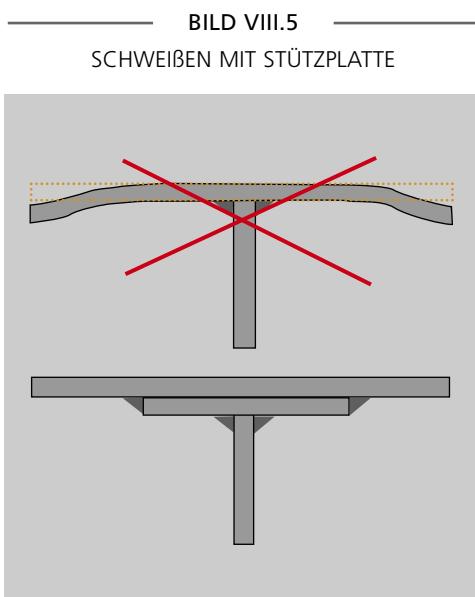
werden, um die Durchbiegung auszugleichen. Bei vertikaler Position ist dies durch die Eigenstabilität des Trägers nicht notwendig.

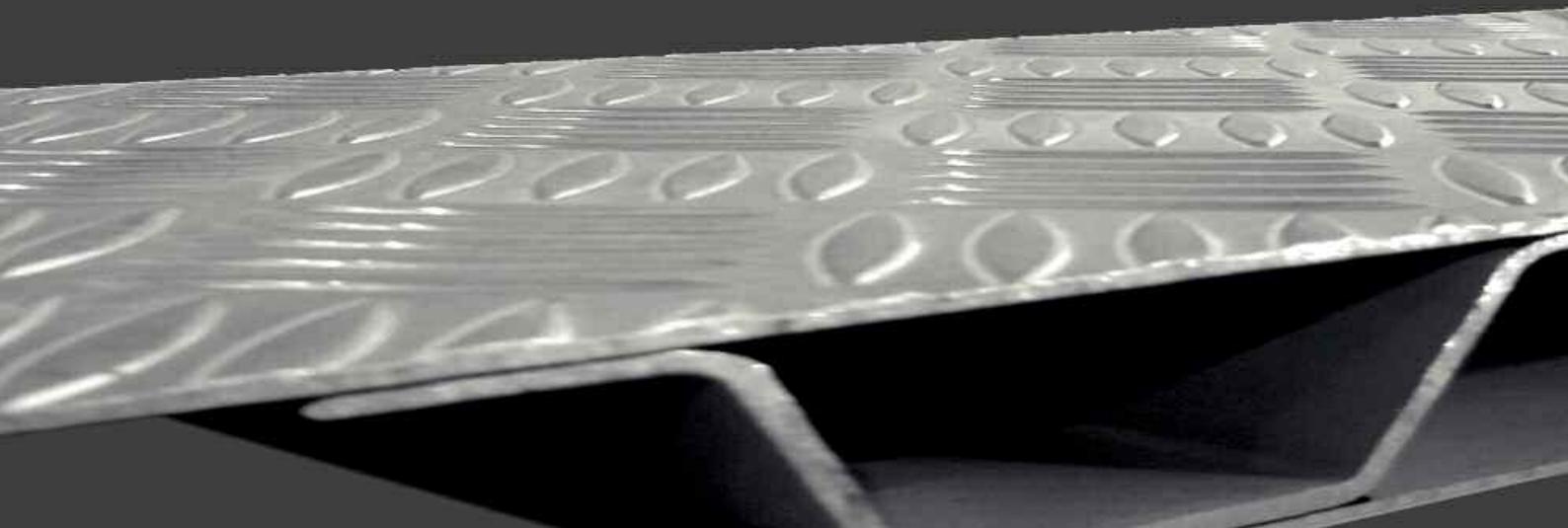
11.2.2. Gegenlager

Diese müssen so ausgelegt sein, daß sie eine freie Ausdehnung der Bauteile während des Schweißens ermöglichen. Das „Zusammenpressen“ einer Naht, d.h. das Verhindern einer Ausdehnung, führt zu einer erheblichen Verstärkung der Schrumpfung und der daraus folgenden Spannungen.

11.2.3. Vorverformung

Zum Ausgleich einiger schweißbedingter Verformungen können die zu schweißenden Teile so vorverformt werden, daß sie nach dem Schweißen keine Verformung mehr aufweisen. Wenn das Metall nur im elastischen Bereich z.B. durch Verspannen, vorverformt wird, sind die Ergebnisse mehr zufällig als vorhersehbar. Es ist daher besser, das Metall durch Biegen plastisch vorzuverformen, was die Ergebnisse besser vorausberechenbar und wiederholbar macht.





KAPITEL IX

ANDERE FÜGEMETHODEN

1.	KLEBEN	.....	130
1.1.	Definition	.....	130
1.2.	Vorteile und Nachteile	.....	131
1.3.	Arten von Klebstoffen	.....	131
1.4.	Einsatz von Klebstoffen	.....	132
1.5.	Kriechen und Altern	.....	133
2.	SCHRAUB- UND BOLZENVERBINDUNGEN	.....	133
3.	NIETEN	.....	133
4.	SCHNAPP- UND CLIPVERBINDUNGEN	.....	135

1. Kleben

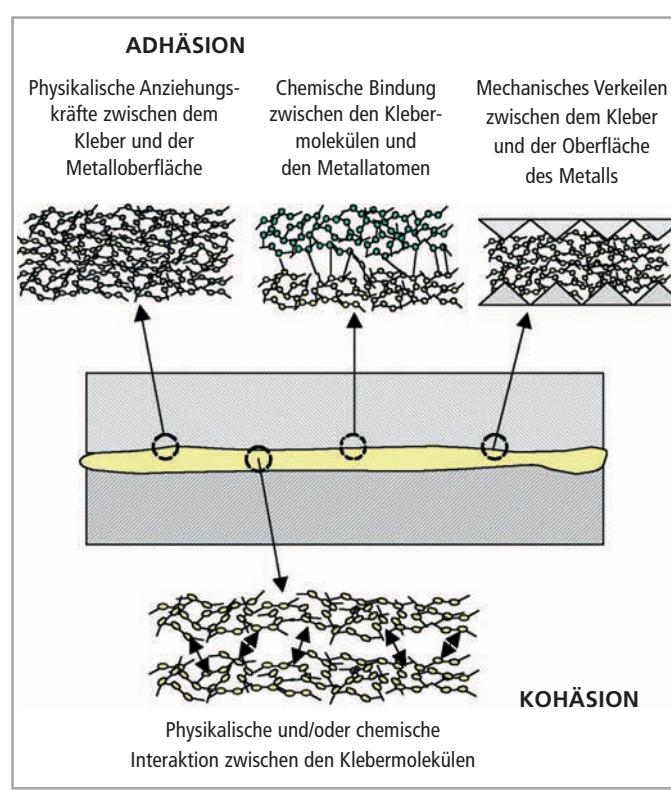
1.1. Definition

Das Kleben ist definiert als ein Verbindungsprozess unter Verwendung einer nichtmetallischen Substanz (Kleber), welche einer physikalischen oder chemischen Aushärtung unterliegt und dadurch zu einer Verbindung der Bauteile durch Oberflächenkräfte (Adhäsion) oder innere Kräfte (Kohäsion) führt.

Das Kleben kann entweder eine physikalische Anziehung zwischen dem Kleber und der Metallocberfläche, eine richtige chemische Bindung zwischen den Klebemolekülen und den Metallatomen oder eine mechanische Verkeilung zwischen dem Kleber und der Oberflächenrauhigkeit des Metalls sein. Die Kohäsion ist die innere Festigkeit des Klebers selbst als ein Resultat von physikalischen und/oder chemischen Kräften zwischen den Bestandteilen des Klebers.

BILD IX.1

PRINZIP DES KLEBENS



1.2. Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
<ol style="list-style-type: none"> 1. Gleichmäßige Verteilung der Kräfte im rechten Winkel zur Kraftrichtung 2. Die Mikrostruktur bleibt unverändert 3. Verziehungsfreies Fügeverfahren 4. Es können unterschiedliche Materialien gefügt werden 5. Es können sehr dünne Teile gefügt werden 6. Es wird eine Gewichtserspartnis erreicht 7. Wärmeempfindliche Materialien können miteinander verbunden werden 8. Metalle mit unterschiedlichem elektrochemischen Potential können verbunden werden (Isolationseffekt des Klebers) 9. Hochfeste Verbindung zusammen mit anderen Fügemethoden (Schrauben, Schweißen...) 10. Hohe Dauerfestigkeit und gute Vibrationsdämpfung 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Einfluss der Zeit auf die Prozesseigenschaften 2. Vorbehandlung der zu fügenden Flächen notwendig 3. Begrenzte Formstabilität 4. Prozessparameter müssen in engen Grenzen gehalten werden 5. Änderung der Eigenschaften über die Zeit (Altern des Klebers) 6. Aufwändige Prozesskontrolle notwendig 7. Geringer Abschälungswiderstand 8. Die geringe Festigkeit der Klebstoffsicht erfordert große Fügef lächen 9. Begrenzte Reparaturmöglichkeiten 10. Schwierige Festigkeitsberechnung

Quelle: TALAT Lektionen

1.3. Arten von Klebstoffen

Die Kombination von Kleben und mechanischen Fügeverfahren (z.B. Nieten oder Schrauben) kann die o.g. Nachteile vermeiden.

Klebstoffe können in Abhängigkeit von ihrer Verformungsreaktion und Polymerstruktur in 3 Untergruppen eingeteilt werden:

- Polymerisation: Ein exothermer Prozess, bei dem Monomere sich zu Makromolekülen (Polymere) verbinden. Thermoplaste wie Methylacrylate, Polyvinylchloride, Polyvinylacetate und Gummipolymeren gehören zu dieser Gruppe.
- Polykondensation: Als Reaktionsprodukt der chemischen

Reaktion wird Wasser erzeugt. Thermoplaste wie Polyamide und Polysulfone wie auch Phenolformaldehydharze, Harnstoffharze und Polymide werden durch Polykondensation hergestellt.

- Polyaddition: Während dieses Prozesses werden Wasserstoffatome neu geordnet. Häufig verwendete Klebstoffe für das Metallkleben wie Epoxyharze und Polyurethane werden durch Polyaddition hergestellt.

Prototyp-Bodensektion aus geklebten Blechen und Verstärkungsprofile



Patentiert durch Alcan

1.4. Die Anwendung von Klebstoffen

Da das Kleben durch Oberflächenkräfte wirkt, sind folgende Voraussetzungen für eine gut funktionierende Klebeverbindung notwendig:

- a) Die Auswahl eines für die zu fügenden Materialien geeigneten Klebstoffes
- b) Das Vorhandensein einer geeigneten Materialoberfläche

Eine geeignete Oberfläche bedeutet, dass die Mikro-Oberfläche groß genug sein muss, um die angewandten Kräfte zu übertragen und dass sie eine gute Bindung ermöglicht. Dies kann durch geeignete Vorbehandlungsmethoden erreicht werden. Jegliche Verunreinigungen wie Feuchtigkeit, Öle, Staub etc. müssen vor dem Aufbringen des Klebstoffes entfernt werden. Dieses kann entweder durch chemische Methoden wie die Verwendung von Reinigungs- Entfettungs- oder Beizmitteln oder mechanische Methoden wie das Schleifen geschehen. In jedem Fall muss die Oberfläche vor dem Kleben absolut sauber sein. Es kann vorteilhaft sein, einen Primer aufzubringen, um eine bessere Benetzbarkeit der Metaloberfläche durch den Klebstoff zu ermöglichen.

Die Konstruktion der Verbindung sollte zu dem Klebeprozess und seinen Anforderungen an eine große Verbindungsfläche passen. Abschäl- oder Abscherkräfte müssen vermieden werden; Biegekräfte sollten auf ein Minimum reduziert werden.

Der Klebstoff kann entweder manuell aufgebracht werden (z.B. unter Verwendung von Kartuschen) oder bei größeren Flächen durch automatische Maschinen. Das Kleben sollte in einem trockenen, gut belüfteten und staubfreien Raum durchgeführt werden. Die Arbeiten müssen strikt nach den Vorschriften des Klebstoffherstellers vorgenommen werden. Die Verfahrensparameter wie das Verhältnis von Harz zu Härter, Dauer des Aushärtens und Druck der Bauteile zueinander während des Aushärtens, die Aushärtetemperatur etc. müssen genau kontrolliert werden.

1.5. Kriechen und Alterung

Die Lebensdauer von Klebeverbindungen hängt von solchen Faktoren wie dem Vorbehandlungsverfahren, der chemischen Zusammensetzung des Klebstoffes und den Einsatzbedingungen wie Kräften, Temperatur, Feuchtigkeit und dem Einfluss ultravioletter Strahlung (Polymere sind gegenüber dieser Strahlung empfindlich und verlieren dabei ihre mechanischen Eigenschaften) ab.

Das Altern von klebefügten Verbindungen kann durch Kriechen unter Spannungen hervorgerufen werden. Das Kriechen kann man dabei als zeitabhängige Ausdehnung der Länge von visco-elastischen Substanzen unter konstanter Zugspannung definieren. Klebeverbindungen sollten deshalb regelmäßig geprüft werden, um Schäden vorzubeugen und eine Reparatur vor dem möglichen Eintritt des Versagensfalles zu ermöglichen.

2. Schraub- und Bolzenverbindungen

Das Schrauben stellt eine Verbindung dar, die so häufig wie nötig geöffnet und wieder geschlossen werden kann. Es ist neben dem Schweißen das am meisten verwendete Verbindungsverfahren für Metalle. Im Gegensatz zum Schweißen können unterschiedliche Metalle miteinander verbunden werden. Im Nutzfahrzeugbau

ist das am häufigsten die Verbindung zwischen Stahl und Aluminium (z.B. die Verbindung vom Fahrgestell zum Tank- oder Kippauflieger). Besondere Maßnahmen sollten dabei zur Vermeidung galvanischer Korrosion (siehe Kapitel XI) getroffen werden.

Die Wahl der Verbindungsgeometrie ist das Ergebnis der

Berechnung der auftretenden Spannungen. Bei der Kombination von Stahlschrauben mit Aluminiumblechen oder -profilen muss die Gefahr galvanischer Korrosion berücksichtigt werden: Isolierende Dichtungen sollten entlang der Kontaktfläche zwischen beiden Metallen angebracht werden.

3. Nieten

Das Nieten ist heutzutage eine weit verbreitete Verbindungs-technik in vielen industriellen Bereichen einschließlich des Nutzfahrzeugbaus. Das es eine sehr sichere und einfach anzuwendende Technik ist, wurde das Nieten zu einer häufig eingesetzten Verbindungstechnik z.B. bei Kühlkofferaufbauten. Das maschinelle Nieten hat eine Vielzahl von Vorteilen:

- Hohe Geschwindigkeit: Das maschinelle Nieten erlaubt unter Verwendung von pneumatischen oder hydraulischen Werkzeugen schnelle Arbeitsvorgänge
- Einfache Kontrolle: Die Klemmkraft der Verbindung ist durch das System immer sichergestellt, da sie kleiner als die zum Abbrechen des Nietkopfes notwendige Kraft ist.

- Optische Erscheinung: Maschinelle Nietverbindungen können mit dem Anbringen einer Kunststoffkappe auf der Niete kombiniert werden.

- Es werden keine ausgebildeten Fachkräfte benötigt.
- Verbindungen unterschiedlicher Werkstoffe sind möglich: Unterschiedliche Metalle, Kunststoffe, Sandwich- oder Wabenpaneele. Nieten können in 2 Unterkategorien unterteilt werden: Selbstschneidende Nieten und konventionelle Nieten, die das Bohren eines Loches vor dem Nieten benötigen.

Konventionelle Nieten können in 3 Familien unterteilt werden:

- Nietbolzen sehen aus wie konventionelle Schrauben, doch im Gegensatz zu diesen lösen sie

sich während des Einsatzes, auch bei extremen Vibrationen, nicht. Sie können nur eingesetzt werden, wenn beide Seiten der Verbindung zugänglich sind. Nietbolzen bestehen aus einem Stift, der in das Loch eingesetzt wird, und einer Hülse, die auf dem Stift am gegenüberliegenden Ende aufgesetzt wird. Das Werkzeug wird auf dieser Seite aufgesetzt und aktiviert. Dabei wird der Stiftkopf gegen das Material gedrückt und die Hülse wird gegen das zu verbindende Bau teil geklemmt. Dies ist die erste Stufe der Klemmung. Im weiteren Verlauf wird die Hülse dann auf den Stift genietet und der überstehende Teil des Stiftes wird abgebrochen. Damit ist die Verbindung kraftschlüssig (Bild IX.2).

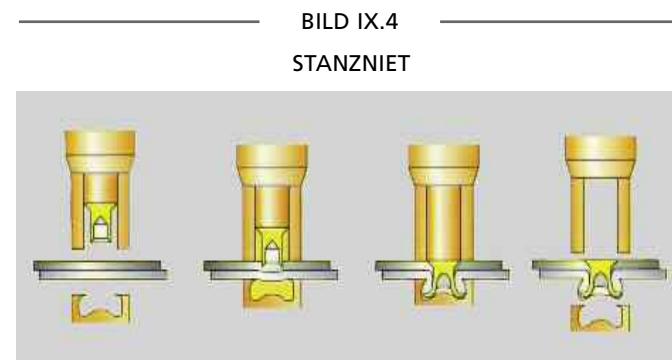
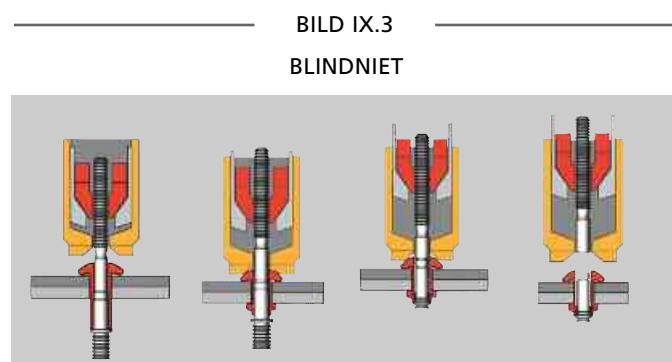
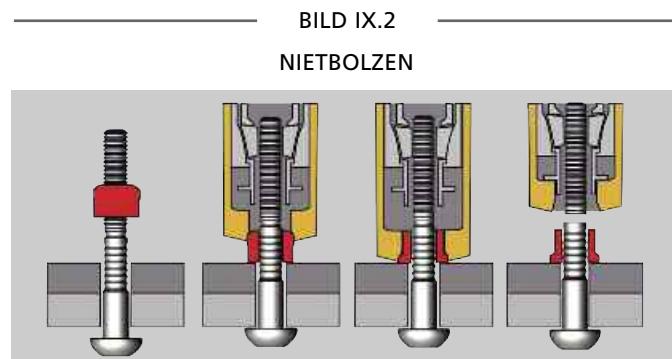
Festigkeitseigenschaften von Nietbolzen

Klemmkraft oder Vorkraft:

Während des Montageprozesses, wenn das Werkzeug in Betrieb geht und an dem Stiftende zieht, wird die Verbindung schon zusammengezogen, bevor die konische Vertiefung der Werkzeugnase auf die Hülse presst und sie mehr und mehr mit den Gewindegängen des härteren Stiftes vernietet. Der Stift und die vernietete Hülse bilden das installierte Verbindungselement. Der Quetschvorgang reduziert den Durchmesser der Hülse und vergrößert ihre Länge, was gleichzeitig zu einer Verlängerung des Stiftes und damit zu einer Klemmkraft der Verbindung führt.

Die **Schubfestigkeit** von Nietbolzen variiert mit der Materialfestigkeit und dem minimalen Durchmesser des Verbindungsmediums. Durch Vergrößerung des Durchmessers oder der Grundfestigkeit des Materials kann die Gesamtfestigkeit des Systems erhöht werden. Die **Zugfestigkeit** von Nietbolzen hängt von der Abscherfestigkeit des Hülsenmaterials und der Anzahl an verriegelten Gewindegängen ab.

- **Blindnieten**, werden eingesetzt, wenn nur eine Seite der



Verbindung zugänglich ist. Blindnieten sind durch das Abbrechen des Nietenzugdorns nach dem Verriegeln der Verbindung durch Verformung der Niete gekennzeichnet (sie werden deshalb auch oft als „Blindniet mit Abreisszugdorn“ bezeichnet). Siehe Bild IX.3

- **Stanznieten** benötigen kein Vorbohren des Loches. Der Niet-

teil des Bolzens wird dabei durch das Metall gestanzt; die weitere Schließbewegung des Werkzeuges zusammen mit dem speziell geformten Werkzeuggegenseite verursacht die Verformung des Nietkopfes dahingehend, daß das gestanzte Blechteil in der Nietumgebung durch den Nietkopf bedeckt ist (Bild IX.4).

4. Schnapp- und Clipverbindungen

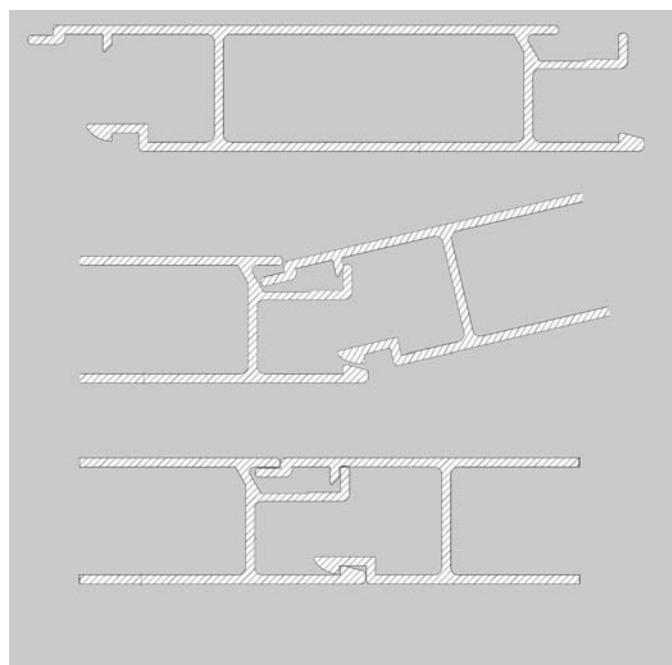
Schnappverriegelungen sind Konstruktionen, die gezahnte Bauteile nutzen und so eine einfache und schnelle Verbindung ermöglichen.

Die Konstruktion mit Schnappverriegelungen ermöglicht das Einrasten und Verriegeln von Anschläßen ohne das Anbringen von Schrauben oder Nieten.

Die Spannungen werden dabei gleichmäßig über die gesamte Länge des Profils verteilt und konzentrieren sich nicht nur lokal auf mechanische Fixierungspunkte.

BILD IX.5

VERRIEGELUNGSPRINZIP („NUT UND FEDER“)



Kühlfahrzeuboden
mit geklebten
Verbindungen
(Schmitz)





KAPITEL X

OBERFLÄCHENBEHANDLUNG

1. VORWORT	138
2. MÖGLICHKEITEN MIT ALUMINIUM	138
3. MECHANISCHE ENDBEHANDLUNG	139
3.1. Bürsten	139
3.2. Polieren	139
4. CHEMISCHE ENDBEHANDLUNG	141
4.1. Anodisierung	141
4.2. Lackieren	141

1. Vorwort

Obwohl Aluminium ohne jegliche Oberflächenbehandlung verwendet werden kann und seine natürliche Schönheit über das ganze Fahrzeugleben behält, werden oft

verschiedene Methoden der Optimierung der metallischen Oberfläche eingesetzt, um das optische Erscheinungsbild des Fahrzeuges zu verbessern, es vor

rauen Umweltbedingungen zu schützen und zudem Raum für Firmenlogos oder Werbeslogans zu schaffen.



Aluminium- Tankfahrzeug (Traillor)

2. Möglichkeiten mit Aluminium

Es gibt eine Vielzahl von Methoden zur Oberflächenbehandlung und Dekoration von Aluminiumoberflächen. Obwohl alle Methoden, die für andere Werkstoffe eingesetzt werden, auch bei Aluminium eingesetzt werden können, muss den besonderen Eigenschaften von Aluminium besonde-

re Aufmerksamkeit gewidmet werden. In jedem Fall müssen insbesondere die geringe Härte der Oberfläche und die natürliche Oxidschicht beachtet werden.

Es gibt 2 Hauptmethoden zur Oberflächenbehandlung:

- Mechanische Endbehandlung

- Bürsten
 - Polieren
 - Chemische Endbehandlung
 - Anodisieren („Eloxieren“)
 - Lackieren
- Heutzutage ist das Lackieren die am häufigsten verwendete Methode zur Dekoration von Zugmaschinen und Aufliegern.

3. Mechanische Endbehandlung

3.1. Bürsten

Das Bürsten ist eine sehr selten eingesetzte Methode der Oberflächenbehandlung von Aluminiumfahrzeugen. Es wird zumeist bei Tankfahrzeugen für den Transport flüssiger Güter eingesetzt. Wie das Polieren basiert das Bürsten auf Abrasionseffekten zwischen der Bürstenoberfläche und der Aluminiumoberfläche. Da die Bürste hierbei die härtere Oberfläche darstellt, werden Teile des Aluminiums durch Abrasion aus der Oberfläche herausgelöst. Das Bürsten wird mit rotierenden Bürstwerkzeugen oder Bürstmaschinen durchgeführt. Es ist darauf zu achten, dass nur Bürsten eingesetzt werden, die keine Eisen- oder Stahlbestandteile enthalten. Normalerweise werden hierbei keine Zusatzstoffe wie Bürstpasten oder chemische Zusätze verwendet. Wie bei jeder anderen Oberflächenbehandlung von Aluminium, müssen die zu bürstenden Bereiche der Oberfläche gereinigt und entfettet werden, bevor mit dem Prozess begonnen werden kann. Die Reinigung wird vorgenommen, um Staub, Schmutz, Öl, Emulsion oder andere Rückstände aus dem Walzprozess oder ande-

ren vorhergehenden Bearbeitungsschritten zu entfernen und so das Einpressen von Partikeln in die Oberfläche während des Bürstens zu vermeiden. Um ein gleichmäßiges Erscheinungsbild der Oberfläche zu gewährleisten, ist es von großem Vorteil, das Bürsten in einem automatischen Prozess mit mehreren Bürsten in einer Station, die gleichzeitig gesteuert werden, durchzuführen.

3.2. Polieren

Das Polieren („buffing“) ist in Nordamerika eine sehr gängige Methode zur Erreichung einer dekorativen metallisch glänzenden Oberfläche unter Verzicht auf eine Lackierung. 3 Methoden können hierbei eingesetzt werden:

- Verwendung von hochglänzenden Aluminiumblechen aus dem Walzprozess
- Polieren der mill - finish Blechoberfläche bis zur gewünschten Oberflächenqualität
- Manuelles Polieren einzelner Bauteile

Die Verwendung hochglänzender Aluminiumbleche oder bereits polierter Bleche hat den Vorteil, dass die Arbeit vor Ort auf das

Polieren der Schweißnähte oder Stellen, die bei der Verarbeitung beschädigt wurden, reduziert werden kann. Beim Handling oder der Bearbeitung dieser Bleche muss mit größtmöglicher Vorsicht gearbeitet werden, da jede kleinste mechanische Fehlstelle manuell nachpoliert werden muss.

Hochglänzende Bleche werden im Walzwerk in einem speziellen Arbeitsprozess unter Verwendung von Arbeitswalzen, die nahezu keine Oberflächenrauhigkeit besitzen, hergestellt. Dieses macht es zu einem besonders herausfordernden Prozess, der hohe Anforderungen an die Kontrolle der Prozessparameter stellt, um eine zuverlässige und konstante Qualität garantieren zu können.

Das Polieren großer Bleche erfolgt auf automatischen Linien, in denen rotierende Polierköpfe das Blech über die gesamte Breite gleichzeitig polieren. Die rotierenden Polierköpfe haben spezielle Tücher auf ihrer Oberfläche, die die Aluminiumoberfläche mit Hilfe von Polierpasten polieren. Die Polierpaste wirkt dabei als Mikro- Abrasionsmedium und entfernt die oberste Schicht der Aluminiumoberfläche in der



Aluminium- Tankfahrzeug (LAG)



Aluminium- Muldenkipper (Benalu)

Größenordnung der Rauigkeit, d.h. im Mikrometerbereich. Da das Ergebnis des Polierens sehr von der Legierung und dem Zustand, dem Typ der Polierpaste und der Maschineneinstellung (Rotationsgeschwindigkeit, Anpressdruck und Art der Tücher etc.) abhängig ist, handelt es sich hierbei um einen Prozess, bei dem durch „trial and error“ die richtigen Parameter je Materialtyp entwickelt werden müssen.

In jedem Fall müssen die Aluminiumbleche vor dem Polieren entfettet und gereinigt werden, um jede

Art von Staub und Schmutz zu entfernen, da es sonst zum Einarbeiten solcher Partikel in die Aluminiumoberfläche kommen kann.

Dieselben Regeln gelten für das manuelle Polieren. Dieser Prozess ist sehr schwierig in der Anwendung und es ist eine große Erfahrung nötig, um ein gleichmäßiges und reproduzierbares Ergebnis zu erzielen. Nach der Entfernung von Schmutz oder Öl beginnt der manuelle Prozess mit rotierenden Poliermaschinen unter Verwendung einer groben Polierpaste. Das dabei eingesetzte Tuch sollte

Wollbestandteile enthalten. Die Geschwindigkeit der Poliermaschine sollte begrenzt bleiben, um das Verbrennen der Polierpaste zu verhindern. Die Poliermaschine sollte vorwärts und rückwärts bewegt werden, um eine gleichmäßige Abtragung der Aluminiumoberfläche zu erreichen. Da das Tuch sich sofort durch die Polierrückstände schwarz verfärbt, muss es regelmäßig gesäubert oder ausgetauscht werden. Nach der ersten Grobpolierung muss die Polierpaste gegen eine mit feinerer Körnung ausgetauscht werden. Vor dem letzten Polierdurchgang ist es sinnvoll, die Oberfläche noch einmal zu reinigen, um die schwarzen Rückstände, die sich in die Oberfläche einarbeiten könnten, zu entfernen. Das endgültige Ergebnis des manuellen Polierens sollte eine spiegelblank, gleichmäßige, streifenfreie, fleckenfreie und glänzende Oberfläche sein. Um die Oberfläche über einen langen Zeitraum spiegelblank zu erhalten, ist es sinnvoll, einen Klarlack aufzubringen, da sich eine unbeschichtete Oberfläche unter normalen atmosphärischen Bedingungen im Laufe der Zeit matt verfärbt.

4. Chemische Endbehandlung

4.1. Anodisieren

Das Anodisieren ist ein elektrochemischer Prozess zur Verstärkung der natürlichen Oxidschicht der Aluminiumoberfläche.

Das Anodisieren erfolgt in einer schwefeligen Lösung bei einer bestimmten Stromstärke. Dabei bildet sich der natürliche Oxidfilm neu

und der Prozess kann so gesteuert werden, dass sich eine bestimmte Dicke der Oxidschicht (im Bereich des 1000-fachen der natürlichen Schichtdicke) einstellen lässt. Das Anodisieren erzeugt nicht nur eine silber-matte (abhängig von der Legierung) Oberfläche, sondern erhöht auch die Härte, den Abrasionswiderstand und die Korrosions-beständigkeit. Dieses Verfahren kann entweder diskontinuierlich für Gussteile, Extrusionsprofile oder Blech wie auch kontinuierlich für Bänder angewendet werden.

4.2. Lackieren

4.2.1. Einführung

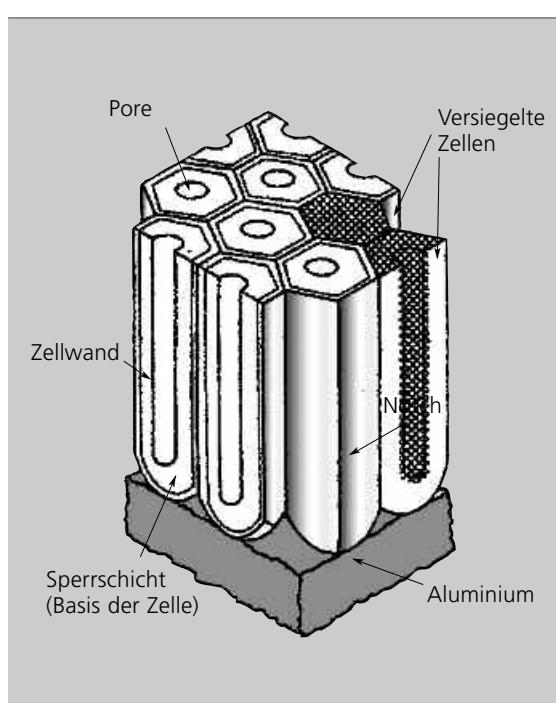
Das Lackieren ist die am häufigsten verwendete Methode zur Oberflächenbehandlung von Nutzfahrzeugen. Wegen der natürlichen Oxidschicht auf der Aluminiumoberfläche ist es von entscheidender Bedeutung für eine gut haftende und langlebige Lackierung, dass eine effiziente Vorbehandlung vor dem lackieren durchgeführt wird.

Es ist daher nicht ausreichend, die blanke Aluminiumoberfläche zu reinigen und vor dem Lackieren zu entfetten. Vielmehr muss die Oxidschicht effektiv entfernt werden, um eine Haftung des Lackes zu ermöglichen.

Dies kann auf 2 Wegen geschehen:
Chemische Vorbehandlung durch Beizen (nach dem Entfetten oder durch einen kombinierten Entfettungs- und Beizprozess)

Das Entfetten einer Aluminiumoberfläche kann mit flüssigen Entfettungsmitteln erfolgen, die z.B. von den Lackherstellern geliefert werden. Das Ziel des Reinigens und Entfettens ist:

BILD X.1
STRUKTUR DER ANODISIERSCHICHT





Reinigung vor dem Lackieren (LAG)

- Jede Art von ölichen oder fetigen Rückständen und Spuren von Staub und Schmutz von der Oberfläche zu entfernen
- Elektrostatische Aufladung zu verhindern.

Um das Entfettungsmittel korrekt aufzutragen, ist es notwendig, die Oberfläche vorher mit einem frischen feuchten Tuch abzuwischen und danach mit einem neuen, frischen und trockenen Tuch zu säubern. Aluminium hat amphotere Eigenschaften, d.h. es löst sich sowohl in einer sauren wie auch in einer alkalischen Umgebung. Das Beizen eines Nutzfahrzeugs erfolgt normalerweise durch das Einsprühen des Fahrzeuges mit dem Beizmittel. Alkalische Beizen basieren auf Natronlauge mit Anteilen von Silikaten, Phosphaten und Karbonaten. Die Konzentration der Natronlauge und die Temperatur des Beizmittels haben einen großen Einfluss auf den Grad und die Geschwindigkeit des Beizprozesses. Das Beizen kann auch auf der Basis saurer Lösungen mit Phos-

phorsäure oder Salzsäure erfolgen. Es hinterlässt eine raue und sehr feuchtigkeitsempfindliche Oberfläche. Es ist daher notwendig, die Oberfläche nach dem Beizen vorsichtig ca. 20 min. mit frischem Wasser abzuspülen.

Mechanische Vorbehandlung durch Schleifen oder Strahlen
Das Schleifen muss auf einer sauberen und entfetteten Oberfläche erfolgen, da es sonst zum Einschluss öriger oder fester Partikel in die Oberfläche kommen kann, was zu Haftungsproblemen des Lackes führen kann. Die Körnung der Schleifscheibe sollte in einem Bereich von 120 – 180 liegen.

Das Strahlen ermöglicht eine gleichmäßige Behandlung des Fahrzeugs und erreicht Stellen, die durch manuelles Schleifen nicht erreicht werden können. Es ist hierbei notwendig, eisenfreie Strahlmittel wie z.B. nicht recyceltes Korund zu verwenden, da Eisen zu Korrosionsproblemen führen kann¹. Der Grad der Oberflächenabtragung beim Strahlen

Ist sehr gering und liegt unterhalb von 0,1 mm und damit im Bereich des Beizens.

Nach dem Schleifen (welches man auch zum Einebnen von Schweißnähten und zum Ausschleifen von Kratzern durchführt) oder Strahlen ist es notwendig, Spuren des Abrasionsmediums durch Druckluft zu beseitigen und die Oberfläche erneut zu reinigen.

4.2.2. Anwendung des Primers

Der Primer sollte unmittelbar nach der Vorbehandlung der Oberfläche aufgebracht werden, um die Neubildung der Oxidschicht zu verhindern und das Anziehen von Staub- und Schmutzpartikeln während langerer Wartezeiten zu verhindern. Primer (auch „wash primer“ genannt) werden als Verbindungsmittel eingesetzt, die die notwendigen Bindungskräfte zwischen dem Substrat (der Aluminiumoberfläche) und dem Lacksystem zur Verfügung stellen. Sie wirken gleichzeitig als Korrosionsinhibitoren, da sie die Wasserdampfdiffusion durch das Lacksystem in Richtung der Alu-

1. Der Einschluss von Eisenpartikeln in die Aluminiumoberfläche ist eine Quelle galvanischer Korrosion, was in Gegenwart von Feuchtigkeit zu Lochfraß führen kann.

minimoberfläche verhindern. Primer aus Epoxidharzen sind für die Vorbehandlung von Aluminium gut geeignet, benötigen jedoch eine intensive Reinigung und Entfettung der blanken Metalloberfläche. Der Primer wird normalerweise mit Sprühpistolen aufgebracht; die Schichtdicke des Primers liegt dabei bei ca. 10 µm.

4.2.3. Endlackierung

Das Aufbringen des Decklacksystems kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, unterscheidet sich grundsätzlich bei Aluminium aber nicht von anderen Werkstoffen. In jedem Fall ist es von entscheidender Bedeutung, ein Lacksystem mit aufeinander abgestimmten Eigenschaften zu verwenden. Die technischen Gebrauchsvorschriften des Lacklieferanten müssen dabei strikt befolgt werden.

Das Decklacksystem kann in 2- oder 3-Schichtsysteme unter Verwendung von Füllern und/oder Grundlacken unterschieden werden. Füller bzw. Spachtelmasse werden eingesetzt, um Unebenheiten auszugleichen und / oder die Schichtdicke des Lacksystems zu erhöhen.

Zur Oberflächenvorbereitung muss die Primerschicht mit einer

feinen Schleifscheibe (Körnung 300 – 400) angeschliffen werden. Mögliche Füller müssen ebenfalls vor dem Aufbringen des Decklacksystems angeschliffen werden. Der Lack wird normalerweise mit Sprühpistolen aufgebracht. Die nötigen Trockenzeiten und Temperaturen müssen überwacht werden. Es kann notwendig sein, die einzelnen Lackschichten ebenfalls anzuschleifen.

Eine typische Lackierprozedur für ein Silofahrzeug kann wie folgt aussehen²:

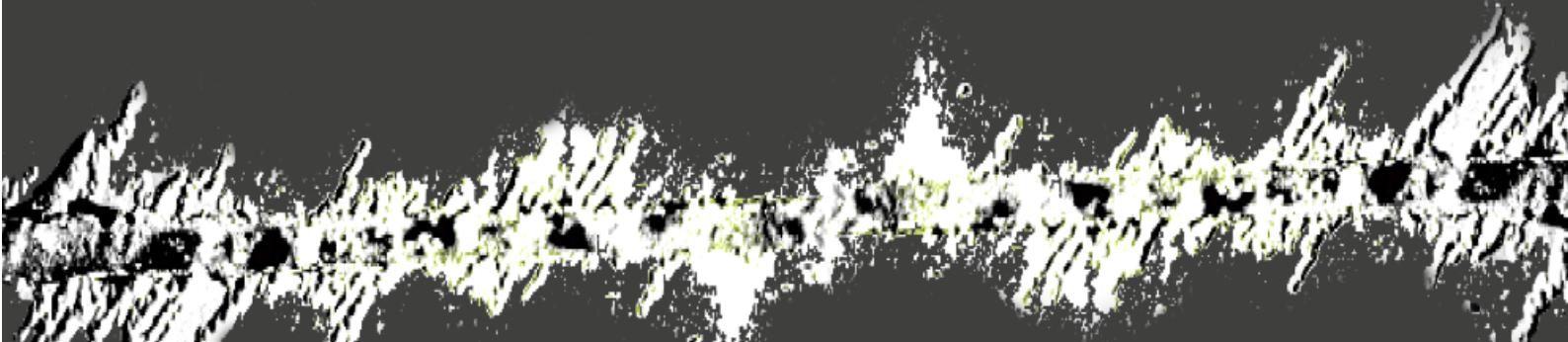
- Beizen / Entfetten der Behälterinnen- und -außenseite durch Aufsprühen eines Beizmittels auf der Basis von Phosphorsäure
- Spülen mit frischen Wasser für 20 min
- Endmontage des Fahrzeugs
- Schleifen der Behälteroberfläche mit einer manuellen Schleifmaschine zur Entfernung kleiner Oberflächenbeschädigungen
- Reinigung und Entfettung mit Entfettungsmitteln oder Silikonentfernern
- Aufbringen des Primers auf die Behälteroberfläche. Schichtdicke 8-10µm.
- Trocknen des Behälters bei Raumtemperatur (20°C) oder bei höheren Temperaturen bis 80°C.
- Ausgleichen von Unebenheiten mit einem Füller (SpatTEL); Schleifen der Füllschicht

- Entfernung von Staub und Schmutz durch Abwischen mit einem feuchten Tuch
- Aufbringen der 1. Lackschicht (Grundlack oder Nass-in Nass Füller) in 2 Durchgängen mit einer Gesamtdicke von 60-70 µm. Besondere Aufmerksamkeit sollte der Steinschlagschicht gewidmet werden.

- Aufbringen des Decklacks (Klarlacks) in der gewünschten Farbe nach maximal 2 Stunden. Deckschichtdicke 50 – 60 µm.
- Trocknen der Deckschicht

Extrusionsprofilsysteme z.B. in Kipperaufbauten können auf 2 Wegen lackiert werden: Entweder kann das Fahrzeug als Ganzes lackiert werden oder die Profile können einzeln lackiert und dann zusammen gebaut werden. Die o.g. generellen Regeln für das Lackieren gelten auch für diese Bauweise. In jedem Fall ist es zur Erzielung einer hochwertigen und langlebigen Lackoberfläche notwendig, eine sorgfältige Vorbehandlung der Oberfläche vorzunehmen. Probleme mit der Lackschicht hängen oft nicht mit dem Lacksystem oder dem Aluminium, sondern mit einer unzureichenden Vorbehandlung zusammen.

2. Koewius, Gross, Angehrn Aluminiumkonstruktionen des Nutzfahrzeugbaus, Aluminium Verlag, Düsseldorf, 1990



KAPITEL XI

KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT

1.	DEFINITION VON KORROSION	146
2.	DIE KORROSION VON ALUMINIUM	146
2.1.	Die natürliche Oxidschicht	146
2.2.	Arten von Aluminiumkorrosion bei Nutzfahrzeugen	147
2.3.	Weitere Hinweise	151

1. Definition von Korrosion

Korrosion ist eine elektrochemische Wechselwirkung zwischen einem Metall und seiner Umgebung, die zu einer Veränderung der Eigenschaften des Metalls

führt und die zu erheblichen Beeinträchtigungen der Funktion des Metalls, der Umgebung oder des technischen Systems, von dem dieses einen Teil bildet,

führen kann (Definition gemäß ISO 8044). Korrosion kann lokal auftreten (z. B. Lochfraß) oder kann zu einer großflächigen Schädigung der Oberfläche führen.

2. Die Korrosion von Aluminium

2.1. Die natürliche Oxidschicht

Eine reine Aluminiumoberfläche ist sehr reaktiv und reagiert spontan mit Luft oder Wasser unter Bildung von Aluminiumoxid. Dieses Oxid bildet eine natürliche Schutzschicht mit einer Dicke von 1 – 10 nm auf jeder Aluminiumoberfläche aus. Die Oxidschicht ist chemisch sehr stabil und hat eine gute Haftung auf der Metalloberfläche, repariert sich selbst bei Beschädigungen und schützt das Aluminium vor Korrosion (Bild XI.1).

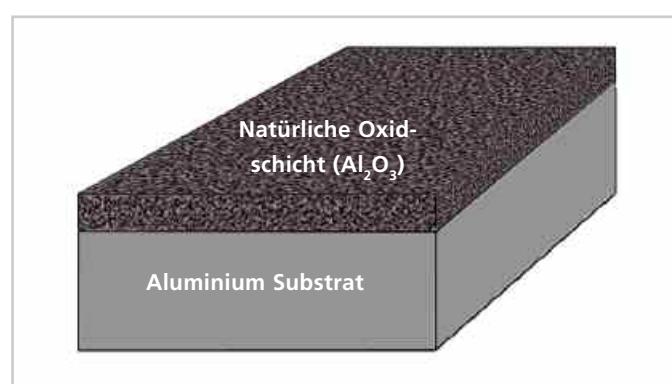
Die Oxidschicht kann in einer stark sauren oder stark alkalischen Umgebung oder bei Anwesenheit von aggressiven Ionen zerstört werden. Aggressive Ionen können diese Schutzschicht zerstören und zu lokalem Korrosionsangriff („Lochfraß“)

führen. Ein typisches Beispiel hierfür ist der Kontakt zwischen Aluminium und Chlorid-Ionen, die sich in Meerwasser oder Streusalz befinden.

Einige Legierungselemente können die Korrosionsbeständigkeit der Oxidschicht erhöhen, während andere sie vermindern können.

Nutzfahrzeugebetreiber sollten vor Betrieb des Fahrzeuges unter kritischen Arbeitsbedingungen wie z.B. erhöhten Temperaturen oder möglicherweise aggressiven Ladegütern den Aluminiumhersteller um Ratschläge bitten.

BILD XI.1



Galvanische Korrosion



2.2. Arten von Korrosion im Nutzfahrzeugbau

Obwohl Aluminium durch seine natürliche Oxidschicht sehr korrosionsbeständig ist, können die folgenden Arten von Korrosion beim Bau oder Betrieb eines Nutzfahrzeugs auftreten:

- Galvanische Korrosion
- Spaltkorrosion
- Lochfraßkorrosion
- Filiformkorrosion

2.2.1. Galvanische Korrosion

Galvanische oder bimetallische Korrosion kann auftreten, wenn zwei unterschiedliche Metalle (oder elektrisch leitende nichtmetallische Werkstoffe) von einem Elektrolyten benetzt sind oder in diesen eintauchen und in metallischem Kontakt zueinander stehen. Der Grund für diese Art der Korrosion liegt in dem Unterschied des elektrochemischen Potentials der beiden Metalle. Aluminium ist ein sehr elektronegatives Metall und daher muss

besondere Vorsicht geboten sein, wenn Aluminium in Gegenwart eines Elektrolyten (z.B. Wasser) in Kombination mit anderen Metallen verbaut wird. In einer elektrochemischen Reaktion wirkt das Aluminium als Anode und löst sich auf, während das andere Metall unberührt bleibt. In diesem Fall reagieren die Aluminium – Ionen mit dem Sauerstoff des Wassers zu Aluminiumoxid (Al_2O_3), welches sich als weißes Pulver auf der Aluminiumoberfläche niederschlägt.

Es gibt 3 Voraussetzungen für die galvanische Korrosion:

- 2 verschiedene Metalle mit unterschiedlichem elektrochemischen Potential
- Gegenwart eines Elektrolyten
- Direkter oder indirekter Kontakt zwischen den Metallen

Der Elektrolyt ermöglicht den Fluss von Ionen zwischen den beiden Metallen. Dies kann nur geschehen, wenn die beiden Metalle durch den Elektrolyten (z.B. salzhaltiges Wasser) benetzt sind oder in den Elektrolyten eintauchen. Bei Nutzfahrzeugen kann diese Art von Korrosion auftreten, wo Aluminium und Stahl miteinander verschraubt oder vernietet sind und wo Regenwasser oder Spritzwasser in Kontakt mit den beiden Metallen kommen kann (Bild XI.2).

Um den direkten Kontakt zwischen diesen beiden Metallen zu verhindern und den Einschluss von Wasser zu vermeiden, ist es notwendig, mit isolierenden Materialien (wie z.B. Neopren oder andere Elastomere) zwischen den Metallen zu arbeiten und Versiegelungsmassen zum Schließen konstruktiver Lücken einzusetzen (Bild XI.3).

BILD XI.2

PRINZIP DER GALVANISCHEN ZELLE MIT ALUMINIUM ALS ANODE

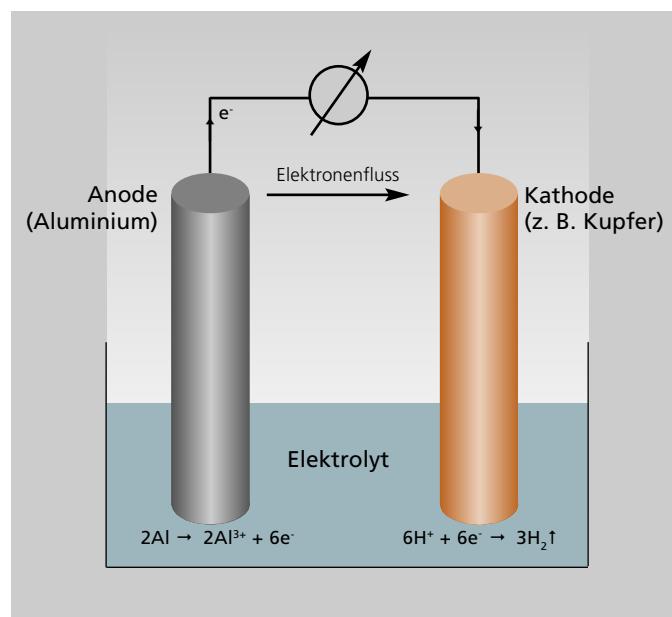
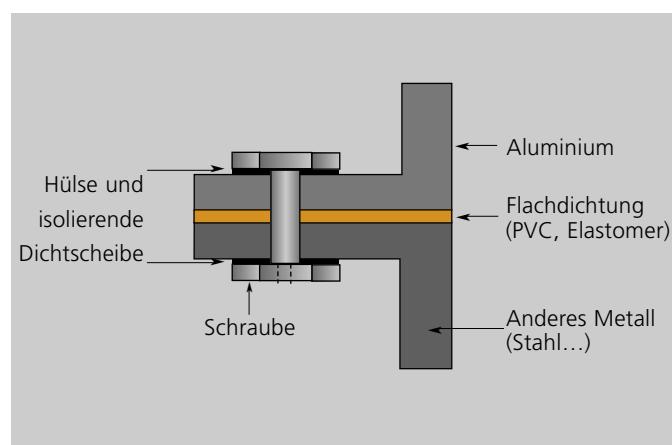


BILD XI.3

VERMEIDUNG GALVANISCHER KORROSION



2.2.2. Spaltkorrosion

Spaltkorrosion kann in kleinen konstruktiven Vertiefungen entstehen. In einem Spalt besteht die Möglichkeit der Ansammlung von Wasser oder Feuchtigkeit aufgrund von kapillaren Kräften oder Ablagerungen von aggressiven Medien. Deshalb sollten konstruktive Spalten insbesondere im Bereich des Spritzwassers von Straßen so weit wie möglich verschlossen werden, da das eindringende Wasser aggressive Ionen (wie z.B. Chloride aus dem Streusalz) enthalten kann. Die Korrosionsgeschwindigkeit ist normalerweise wegen des Korrosionsproduktes – Aluminiumoxid, welches ein sehr stabiles Produkt ist und den Spalt selbst verschließt gering (Bild XI.4).

2.2.3. Lochkorrosion

Lochfraß ist die häufigste Korrosionsform von Aluminium. Sie ist durch die Entstehung kleiner Löcher in der Aluminiumoberfläche gekennzeichnet. Der Durchmesser und die Tiefe dieser Löcher variiert und hängt von verschiedenen Parametern in Bezug auf das Aluminium selbst (Art der Legierung, Grad der Kaltverfestigung, Wärmebehandlung) oder seiner Umgebung (Anwesenheit aggressiver Ionen) ab.

BILD XI.4
SPALTEN UND WIE MAN SIE VERMEIDEN KANN

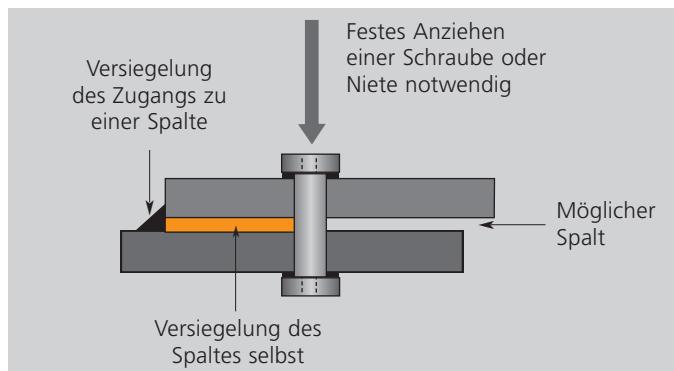
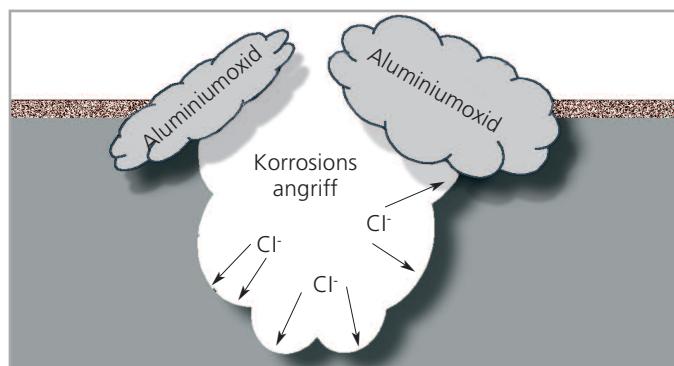


BILD XI.5
LOCHKORROSION



Lochfraßkorrosion kann an Stellen auftreten, wo der natürliche Oxidfilm aufgrund diverser Ursachen wie fertigungsbedingter Umstände (geschliffene Oberflächen, Schweißnahtunterbrechungen etc.) beschädigt oder unvollkommen ausgeprägt ist. Die Löcher werden durch einen schnellen Anstieg in ihrer Tiefe kurz nach ihrer Entstehung mit anschließender Verlangsamung des Wachstums geformt. Dies hängt mit dem Korrosionsprodukt – Aluminiumoxid – zusammen, welches in Wasser unlöslich ist und damit den direkten Kontakt zwischen der Aluminiumoberfläche

und dem korrosiven Medium unterbindet und damit den Prozess deutlich verlangsamt (Bild XI.5). Diese Verlangsamung in der Lochfraßgeschwindigkeit erklärt die Tatsache, dass Bauteile aus Aluminium über viele Jahrzehnte unter bestimmten Umweltbedingungen (Seeluft, Meerwasser, Industrieabluft) ohne jeglichen Schutz eingesetzt werden können.

Mit anderen Worten, ist die Lochfraßkorrosion durchaus ein „normaler“ Vorgang und führt in der Regel zu keiner Funktionsbeeinträchtigung eines Bauteils.

2.2.4. Konstruktive Maßnahmen zur Verhinderung von Korrosion

Es sollten einige generelle Regeln zu Verhinderung von Korrosion befolgt werden (in den meisten Fällen handelt es sich dabei um Maßnahmen zur Vermeidung von Wassereinschlüssen oder von Bereichen, in den Kondensation auftreten kann):

BILD XI.6

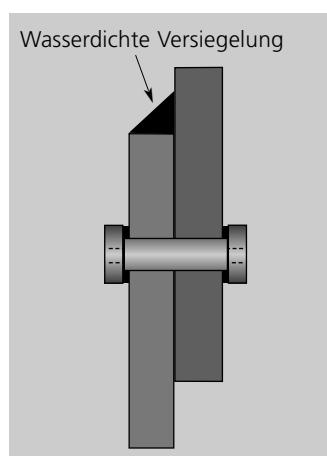


BILD XI.8

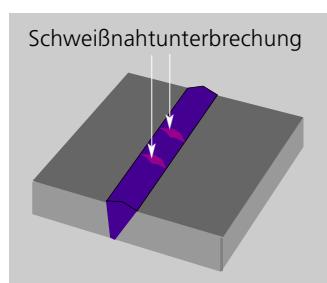
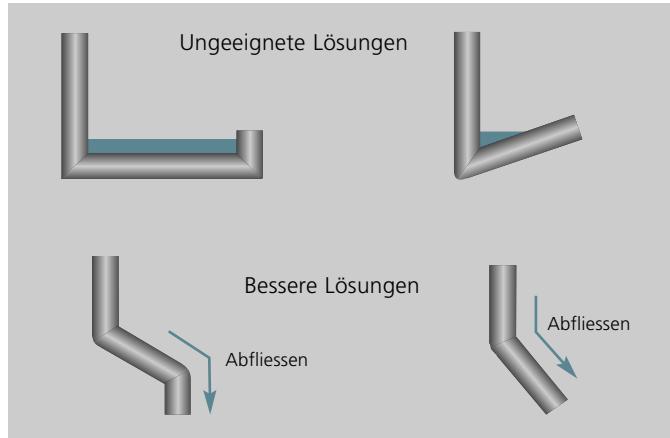


BILD XI.7



- Konstruktive Lücken sollten vermieden oder – falls nicht möglich – versiegelt werden (Bild XI.6)
- Konstruktionen mit Bereichen, an denen sich Wasser ansammeln kann, sollten vermieden werden. Bauteile sollten mit der offenen Seite nach unten konstruiert werden (Bild XI.7).
- Schweißnahtunterbrechungen sollten weitgehend, auch in Bezug auf Spannungen, Ermüdung etc., absolut vermieden werden (Bild XI.8).
- Werkstoffe mit unterschiedlichem elektrochemischen Potential müssen beschichtet oder durch isolierende Materialien voneinander getrennt werden.

2.2.5. Filiformkorrosion

Filiformkorrosion (auch als „fadenförmige Korrosion“ bekannt) tritt unter Lack- oder Emailbeschichtungen auf. Sie hängt zumeist von den Umweltbedingungen und der Qualität der Oberflä-

chenbehandlung vor dem Lackieren ab. Die Korrosionsfäden haben ein wurmartiges Erscheinungsbild und sind leicht zu erkennen.

Der Korrosionsmodus ist dem Lochfraß sehr ähnlich; der Korrosionsangriff wird durch Feuchtigkeit unterstützt, die die Oberflächenschicht durchdringt und zu sauerstoffangereicherten Bereichen führt, welche als Anode fungieren. Die Filiformkorrosion ist hauptsächlich ein ästhetischer Effekt, kann aber bei bestimmten Bauteilen zur Schichtentrennung des Oberflächensystems führen. Zur Vermeidung dieses Korrosionstyps ist es von entscheidender Bedeutung, den Verwendungshinweisen des Lackherstellers strikt zu folgen, insbesondere in Bezug auf eine einwandfreie Vorbehandlung unter Verwendung geeigneter Primersysteme.



Filiformkorrosion ausgehend von der Beschädigung der Beschichtung

2.2.6. Legierungen der 5000er- Serie bei erhöhten Temperaturen

Wenn Aluminium- Magnesium-Legierungen mit mehr als 3 % Mg- Gehalt lange Zeit erhöhten Temperaturen (zwischen 65°C und 200°C) ausgesetzt werden, erfahren sie einer Änderung ihrer metallurgischen Eigenschaften, was zu interkristalliner Korrosion führen kann, wenn die zwei unten genannten Bedingungen erfüllt sind:

- Ausscheidung eines kontinuierlichen intermetallischen Al_8Mg_5 - Saums entlang der Korngrenzen (Sensibilisierung). Diese Al_8Mg_5 - Ausscheidungen verhalten sich zum Großteil des Gefüges anodisch.
- Anwesenheit eines aggressiven Mediums, z.B. einer salzhaltigen Lösung auf der Metalloberfläche

Dieses Phänomen wurde vielfach insbesondere in Bezug auf den Einfluss der folgenden Parameter für eine Sensibilisierung untersucht:

- Der Magnesiumgehalt und der Produktionsprozess legen die Kinetik der Sensibilisierung von 5000er- Legierungen in großem Maß fest. Geeignete Fertigungs-

abläufe zur Reduzierung dieser Empfindlichkeit sind bei den Aluminiumherstellern etabliert.

- Die Verarbeitungsprozesse wie das Umformen und thermische Fügen (Schweißen) können den Widerstand des fertigen Produktes gegen Sensibilisierung verringern.
- Die thermische Belastung (d.h. das Produkt aus Temperatur und Belastungsdauer) ist wichtiger als die Temperatur alleine. Zum Beispiel wird 65°C oft als Grenze in Katalogen oder Handbüchern angegeben; es braucht jedoch zwei Jahre bei einer 5086- Legierung, um diese bei dieser Temperatur zu sensibilisieren, während bei 100°C nur wenige Monate nötig sind. Die schnellste Sensibilisierung findet zwischen 130°C und 150°C statt.

Aber selbst wenn ein Material sensibilisiert ist, kann eine Korrosion nur in einer aggressiven Umgebung stattfinden, d.h. wenn ein korrosives Medium in Kontakt mit der Metalloberfläche kommt. Dies wird durch einschlägige Erfahrungen bestätigt.

Es gibt Tankfahrzeuge für Schweröl, die seit mehr als 20 Jahren bei einer täglichen Betriebsdauer von 8 bis 10 h, also insgesamt mindestens

50.000 h Betriebszeit bei einer Temperatur von 65°C bis 70°C eingesetzt wurden.

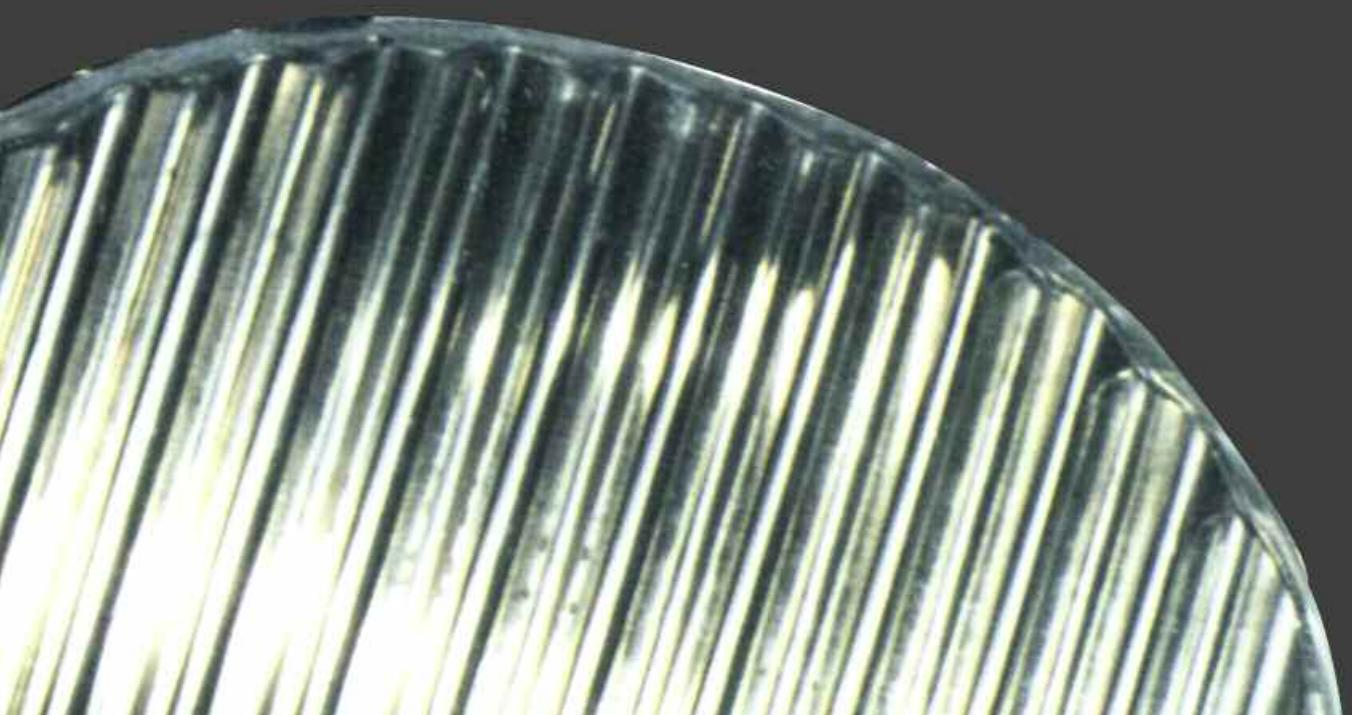
Als generelle Richtlinie gilt, dass Legierungen mit einem Magnesiumgehalt von maximal 3% eingesetzt werden sollen, wenn die Langzeitbelastung bei einer Temperatur von über 75°C liegt. Wenn die Verwendung von 5000er- Legierungen mit einem höheren Mg- Gehalt notwendig ist, dann sollte der Aluminiumhersteller konsultiert werden, um gemeinsam mit dem Fahrzeugbetreiber die Belastung des Fahrzeugs über seine Lebensdauer zu bewerten.

2.2.7. Andere Formen von Korrosion

Es existieren weitere Formen der Korrosion von Aluminium, aber die im Nutzfahrzeugbau normalerweise eingesetzten Legierungen und Zustände sind diesen Formen der Korrosion gegenüber nicht empfindlich.

2.3. Weitere Hinweise

- *Corrosion of aluminium*, C. Vargel, ed. Elsevier
- www.corrosion-aluminium.com



KAPITEL XII

REINIGUNG VON ALUMINIUM- NUTZFAHRZEUGEN

1. EINFÜHRUNG	154
2. DIE URSACHEN VON SCHMUTZFLECKEN	154
3. DIE AUSWAHL DES REINIGUNGSMITTELS	155
4. ANWENDUNG DES REINIGUNGSMITTELS	155



Nutzfahrzeug- Waschstrasse (Interservice Arras)

1. Einführung

Die regelmäßige Reinigung eines Nutzfahrzeugs ist eine wichtige Voraussetzung zum Erreichen einer langen Lebensdauer. Jede Art von Verunreinigung wird dabei entfernt, das optische Erscheinungsbild wird bewahrt und kritische Fahrzeugteile wie Achsen, Bremsen und hydraulische Systeme können visuell inspiert werden. Einer Korrosion wird dabei vorgebeugt, und Schäden durch mechanische Reibung zwischen beweglichen Fahrzeugteilen und Schmutzpartikeln können vermieden werden.

Im Fall von Tankfahrzeugen gibt es oft strikte Regelungen bezüglich des Transportes von Lebensmitteln, oder es existieren Richtlinien für den Transport von Chemikalien, die chemisch kompatibel zu den vorher oder danach transportierten Ladegütern sein müssen. Alle diese Vorschriften erfordern eine intensive Innenreinigung der Tanks. In einigen Fällen kann Aluminium nicht als Baumaterial für solche Tanks eingesetzt werden, da die Reinigungsvorschriften den Einsatz stark saurer oder stark alkalischer Reiniger vorschreiben.

Generell gilt, dass sich das Reinigen von Aluminiumfahrzeugen nicht von dem anderer Fahrzeuge unterscheidet. Es kann in automatischen Waschstrassen oder manuell mit Sprühpistolen, Bürsten und Tüchern durchgeführt werden.

2. Die Ursachen von Schmutzflecken

Verschmutzungen auf Nutzfahrzeuge können die folgenden Ursachen haben:

- Strassen- bedingt: Schmutz, Salze, Schlamm, Spritzwasser, Reifenabrieb
- Treibstoff- bedingt: Diesel-Abgase, Ruß
- Ladungs- bedingt: Zement, Asphalt, Kalk, Rückstände von landwirtschaftlichen Produkten etc.
- Umweltbedingt: Luftverschmutzung, Staub

3. Die Wahl des Reinigungsmittels

Der für das Reinigen eines Aluminiumfahrzeuges verwendete Reiniger muss für Aluminium geeignet sein, d.h. er darf nicht zu aggressiv sein. Im Allgemeinen muss ein Reiniger:

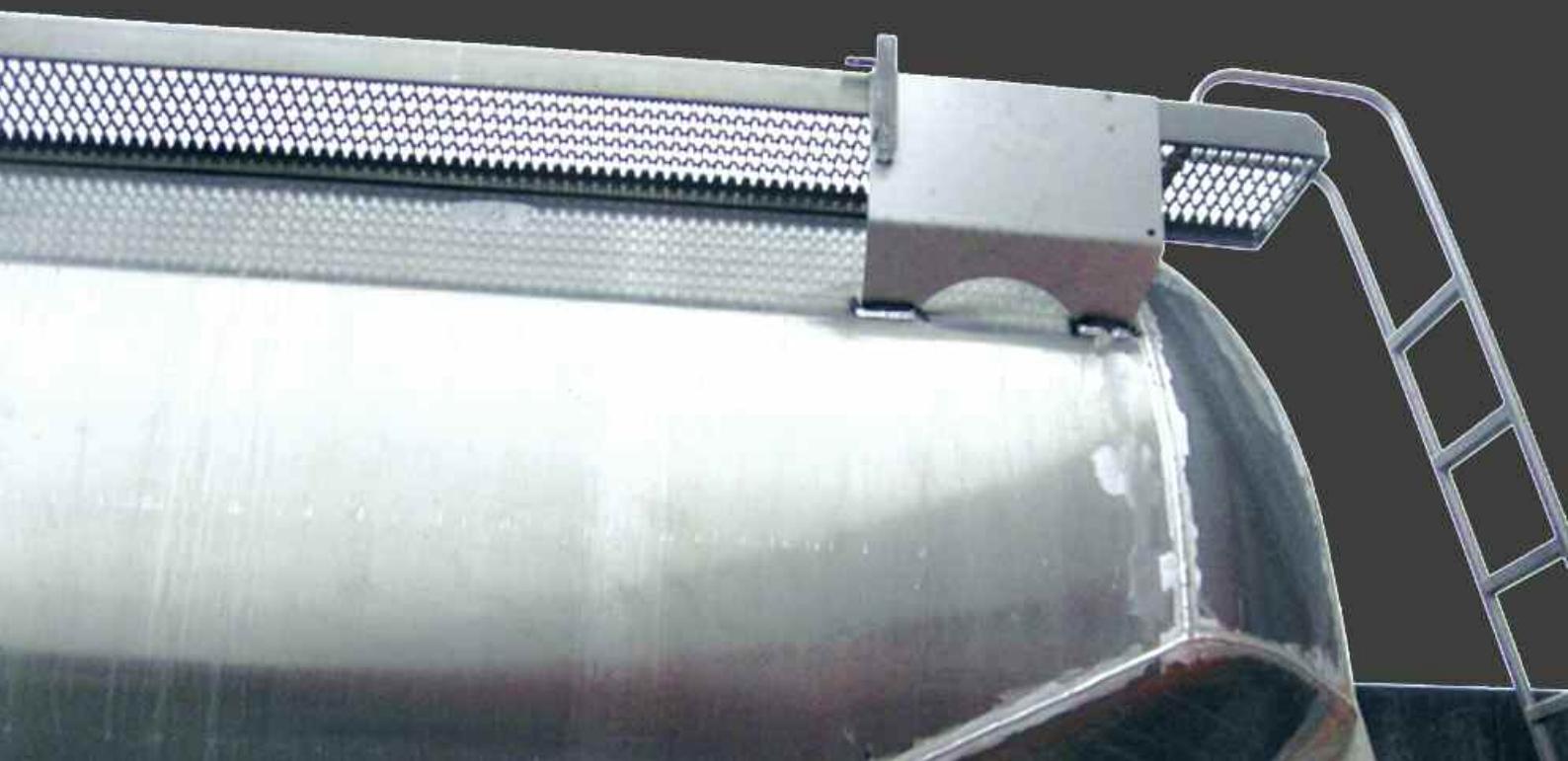
- Eine starke Wirkung auf alle Arten von Schmutz haben
- Eine effektive Entfernung der Verschmutzung ermöglichen

- Eine glänzende Oberfläche hinterlassen
- Eine Schutzschicht auf der obersten Lack- oder Metallschicht bilden
- Mit speziellen Vorschriften übereinstimmen
- Biologisch abbaubar sein
- Gesundheitlich unbedenklich sein
- Chemisch: Einige Elemente des Reinigers lösen die Verschmutzungen oder Mineralsalze ohne Angriff auf die Oberfläche auf
- Physikalisch: Schmutzflecken werden durch Verminderung der Oberflächenspannung entfernt. Deshalb enthalten Reiniger Benetzungsmittel.
- Mechanisch: Schmutzflecken werden durch das Aufsprühen mit hohem Druck oder durch Abrasion bei der Verwendung von Bürsten entfernt.
- Temperatur: Höhere Temperaturen oder auch Wasserdampf verstärken den Reinigungseffekt durch Beschleunigen der chemischen Reaktion zwischen der Verschmutzung und dem Reiniger.

4. Anwendung des Reinigungsmittels

Die Reinigung eines Fahrzeuges sollte nicht in direktem Sonnenlicht erfolgen. Jeder Reiniger sollte vor dem ersten Gebrauch auf einer unbehandelten Aluminiumoberfläche getestet werden. Der Reiniger kann entweder in automatischen Waschanlagen eingesetzt werden oder manuell durch Aufsprühen mit einer Sprühpistole, oder auch durch Bürsten und Tücher aufgebracht werden. Seine wesentlichen Reinigungseffekte sind:

Das Aufsprühen sollte von der Fahrzeugunterseite nach oben erfolgen, um eine Streifenbildung zu verhindern. Die Einwirkdauer sollte ausreichend hoch sein, um die Schmutzflecken aufzulösen. Der Reiniger darf nicht auf der Fahrzeugoberfläche ein trocknen und das Fahrzeug sollte nach dem Reinigen intensiv mit entionisiertem Wasser abgespült werden.



KAPITEL XIII

REPARATUR VON ALUMINIUM- NUTZFAHRZEUGEN

1.	VORWORT	158
2.	AUSFÜHRUNG DER REPARATUR	159
3.	REPARATUR EINES ALUMINIUMFAHRGESTELLS	159
4.	MIG UND WIG- SCHWEIßREPARATUREN	160
4.1.	Wahl der Legierung	160
4.2.	Vorbereitung	160
4.3.	Schweißen	161



Innenansicht eines reparierten Aluminium- Behälters (Feldbinder)

1. Vorwort

Die Reparatur von Nutzfahrzeugen sollte mit derselben Sorgfalt wie beim Neubau eines Fahrzeugs erfolgen. Im Allgemeinen sollten die gleichen Vorschriften, Materialien und Methoden beim Neubau und bei der Reparatur eingesetzt werden.

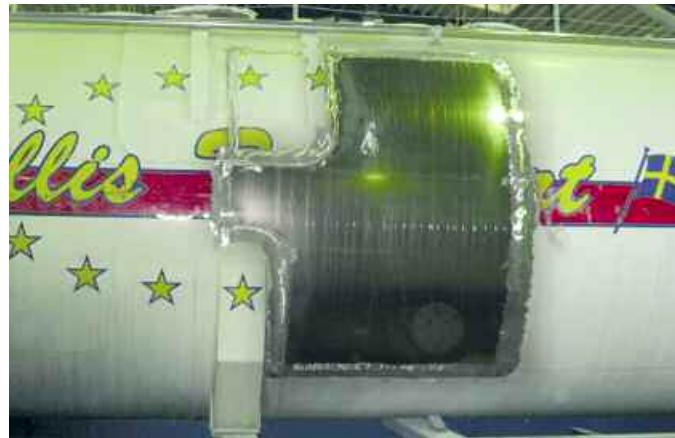
Bei der Reparatur ist es eine Fall-zu-Fall-Entscheidung, ob geringe Schäden ohne Demontage von Fahrzeugteilen repariert werden können, oder ob beschädigte Bauteile (Bleche, Profile etc.) ausgeschnitten und komplett ersetzt werden müssen.

In jedem Fall dürfen Schäden

nicht einfach „überschweißt“ werden. Diese Methode stellt keine seriöse Reparatur eines Schadens dar. Jedes Fahrzeugteil, welches wegen eines Schadens ausgebaut werden muss, darf nur durch ein Bauteil gleicher Legierung ersetzt werden. Dies muss durchgeführt werden, um eine gleichmäßige Spannungsverteilung entlang des Fahrzeugs sicher zu stellen und damit eine Schwächung der Konstruktion zu verhindern. Es muss berücksichtigt werden, dass insbesondere Silofahrzeuge als Druckbehälter nach den

Regeln der Europäischen Druckgeräterichtlinie 97/23/EG gelten. Dies erfordert zusätzliche Prüfungen der Reparatur und eine Überwachung durch zertifizierte Überwachungsstellen wie z.B. dem TÜV.

Die Reparatur sollte deshalb entweder vom Hersteller des Originalfahrzeugs oder von zertifizierten Werkstätten durchgeführt werden: Qualifizierte Schweißer, Arbeitsmethoden nach dem neuesten Stand der Technik, eine geeignete Arbeitsorganisation etc. sind hierzu notwendige Voraussetzung.



Außenansicht eines reparierten Aluminiumbehälters (Feldbinder)

2. Ausführung der Reparatur

Eine gut ausgeführte Reparatur eines Aluminiumfahrzeugs sollte nach den folgenden Prozeduren erfolgen:

- Identifizierung des Schadens
- Feststellen des Umfang des Schadens
- Untersuchung nach weiteren Schäden, die bei der ersten Inspektion nicht entdeckt wurden
- Ausschneiden des beschädigten Teils
- Feststellung des ursprünglich eingesetzten Materials
- Bestellung eines Ersatzmaterials gleicher Güte
- Bestellung eines geeigneten Schweißzusatzwerkstoffes (gemäß den Normen oder speziellen Vorschriften)
- Vor- Ausschneiden des Ersatzteils unter Berücksichtigung der thermischen Schrumpfung während des Schweißens
- Vor- Formen des Ersatzteils (falls nötig).

- Entfernen der Original- Lackschicht in der Reparaturzone
- Befestigen des Ersatzteils am Fahrzeug; falls nötig zusätzliches Anpassen des Ersatzteils an die Kontur der Reparaturfläche, um zu hohe Spannungen während des Schweißens zu vermeiden
- Verbinden des Ersatzteils mit der Fahrzeugstruktur durch geeignete Schweißmethoden
- Visuelle Kontrolle der Schweißnahtqualität
- Falls nötig oder vorgeschriebenen (Druckbehälter), Durchführung nicht- zerstörender Prüfungen (Ultraschall, Röntgen) der Schweißnaht
- Schleifen und Glätten der Schweißnaht
- Reparatur der Lackschicht
- Abschließende Prüfung: Es kann notwendig sein, alle Schritte der Reparatur von einer autorisierten Stelle überwachen zu lassen.

3. Reparatur eines Aluminium-Fahrgestells

Im Falle von Aluminium-Fahrgestellen ist eine besondere Aufmerksamkeit geboten, da eine nicht-professionelle Reparatur zu einer Zerstörung sowohl der statischen Belastbarkeit wie auch der Dauerfestigkeit führen kann.

Zur Vermeidung dieser Art von Problemen lesen Sie bitte Kapitel VI Abschnitt 8 bezüglich der Dauerfestigkeit. Beginnend mit der Ermüdungstheorie illustriert dieses Kapitel, wie gute Praktiken zum Perforieren und Schweißen eine hohe Lebensdauer eines Fahrzeuges sicherstellen können.



Schweißen eines Silobehälters (Feldbinder)

4. MIG- und WIG- Schweißreparaturen

Ein Nutzfahrzeug kann bedingt durch Beschädigungen durch Schweißen erfordern. Die Reparatur eines Nutzfahrzeuges aus Aluminiumlegierungen ist nicht schwieriger als die Reparatur eines Stahlfahrzeugs, sollte jedoch in Übereinstimmung mit strikten Regeln in einer gut ausgestatteten Werkstatt durch Fachkräfte unter Aufsicht einer Überwachungsstelle durchgeführt werden.

Eine Reparatur sollte nicht ohne Kenntnisse des Ladegutes (Flüssigkeiten, Puder, etc.), welches das Fahrzeug normalerweise transportiert hat, und ohne geeignete Sicherheitsmaßnah-

men wie Reinigung, Entgasung, Entlüftung, Entfernung von Staub, etc. begonnen werden.

4.1. Wahl der Legierung

Die Legierung des Halbzeuges für die Reparatur muß dieselbe oder eine ähnliche wie die Originallegierung gemäß dem Herstellerhandbuch sein.

4.2. Vorbereitungen

Dies ist die wichtigste Phase, da hier die Qualität und Festigkeit der Reparatur bestimmt werden:

- Für das Ausschneiden der Ersatzteile sollte das Plasmaschneiden oder das Sägen mit einem Carbid – Blatt einem HSS – Sägeblatt oder einem abrasiven Blatt, welches Einschlüsse in der Schweißnaht hervorrufen könnte, bevorzugt werden.
- Sehr vorsichtiges Schleifen der Schweißzone zur Entfernung aller Spuren von Lacken oder sonstigen Rückständen
- Gründliches Entfetten mit einem geeigneten Mittel

4.3. Schweißen

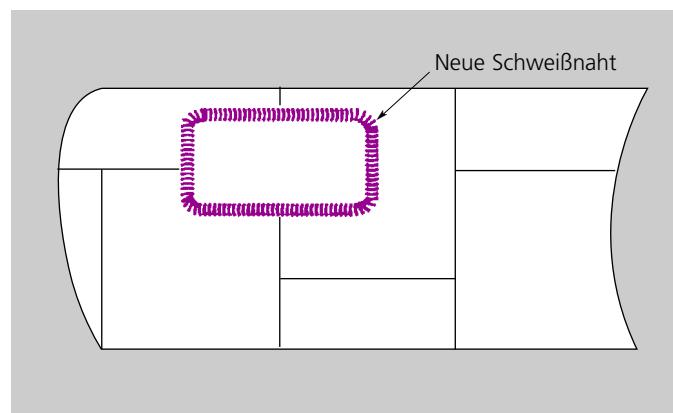
Die Vorschriften für das Reparieren sind grundlegend in Kapitel VII bezüglich des Formens und in diesem bezüglich des Schweißens beschrieben. Bei der Ausführung einer Reparatur ist es zwingend:

- Die Fahrzeugteile z.B. Tank, Fahrgestell, etc. in ihrer Position zu sichern. Klemmen sollten so eingestellt sein, dass sie eine geringe Ausdehnung erlauben, da eine zu feste Einspannung die nachteiligen Effekte eines Schrumpfens verstärken kann. Es ist auch sinnvoll Bereiche der Struktur zu markieren, die einer maximalen Spannung unterliegen (in Bezug auf die Konstruktionsberechnungen des Herstellers).
- Das Ersatzteil zu stützen, um gleichmäßige Abstände zu erreichen.
- Der Schweißnahtrichtung muss besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Der Zweck liegt hierbei in der Begrenzung von Deformationen und der Minimierung des Risikos von Heißrissen. Die Volumenkontraktion in der Schweißnaht beträgt ca. 6% zwischen dem flüssigen und festen Zustand bei Raumtemperatur. Dieses Phänomen verursacht das Risiko von Rissbildungen.

- Dass die Schweißnaht so gelegt wird, dass das Überschweißen einer alten Naht vermieden wird (Bild XIII.1)
- Notwendige Prüfungen wie zum Beispiel Röntgen oder Farbeindringverfahren durchzuführen
- Das richtige Schweißverfahren (MIG oder WIG) auszuwählen. Das WIG Verfahren ist bevorzugterweise für kleine Reparaturen, bei denen der Zugang zur Rückseite nicht möglich ist, einzusetzen, da es einfacher anzuwenden ist und eine bessere Kontrolle der Durchdringung als das MIG-Schweißen ermöglicht.

Kompakte WIG Schweißmaschinen mit einem Gewicht von weniger als 20 Kg, die eine Schweißstromstärke von 160 A ermöglichen, sind heutzutage erhältlich. Diese Maschinen sind leicht zu tragen und ideal für kleinere, lokale Reparaturen. Für kleinere Reparaturen, wie zum Beispiel der Bruch in der Außenhaut eines Tanks, sollte das Füllstück perfekt zur Form des Risses passen, aber geringfügig durch Hämmern vergrößert werden um das Schrumpfen nach dem Schweißen auszugleichen. Ohne diese Vorsichtsmaßnahme können die verbleibenden Spannungen ein neues Reißer hervorrufen. Dieses Phänomen ist stärker je kleiner das Füllstück ist.

BILD XIII.1
REPARATUR DURCH SCHWEIßEN



Danksagung

Hauptverfasser: Jürg Zehnder, Reinhard Pritzlaff, Steinar Lundberg, Bernard Gilmont

Projektteam: Asmund Broli, Roald Pedersen, Benoît Lancrenon, Michele Triboldi, Dietrich Wieser, Ralf Balduck, Klaus Viereggé

Finanzielle Träger: Alcan Engineered Products, Alcoa Europe, Aleris Europe, AMAG, Elval, Hydro Aluminium, Metra, Novelis, Sapa

Das Projektteam dankt insbesondere Alcan Engineered Products für die Autorisierung zur Verwendung einiger Texte, Tabellen und Bilder aus folgenden Veröffentlichungen:

- Aluminium in Commercial Vehicles, Pechiney – Rhenalu
- Aluminium and the Sea, Alcan Aerospace, Transportation and Industry

QUELLENANGABEN:

Seite	Firma oder Marke	Fotograf oder Quelle	Seite	Firma oder Marke	Fotograf oder Quelle
1	Benalu	Benalu	48	Menci	Bernard Gilmont
4	Menci	EAA library	48	Alcoa Europe	Alcoa Europe
6, 8	Airbus	Airbus	54	Brabant Alucast	Bernard Gilmont
9	Hydro Aluminium	Hydro Aluminium	75	Alcoa Europe	Alcoa Europe
9	Babcock	Babcock	76, 81	Benalu	Benalu
10	Alstom, SNCF	Alstom, SNCF	82	Aluminium-Verlag	Aluminium-Verlag
11	Mercedes		86	Schrader	Schrader
11	Hydro Aluminium	Hydro Aluminium	87	Stas	Stas
12	Aluminium-Verlag	Aluminium-Verlag	88	Schmitz	Schmitz
12	Alusuisse	Alcan Engineered Products	89	Menci	Menci
12	Traillor	Traillor	90, 105	König	Ursula Berndsen
16	Benalu	Benalu	95	SAG Alutech	SAG Alutech
17	Tang Fahrzeugbau GmbH	Tang Fahrzeugbau GmbH	97, 98, 99	Benalu	Bernard Gilmont
19	All American Marine	All American Marine	100	Sapa	Sapa
20, 36	Stas	Stas, IRTE	108	Stas	Stas
21	Alcan, Alcoa, Brabant Alucast	Alcan, Alcoa, Bernard Gilmont	110	SAG Alutech	SAG Alutech
23	Alcan Engineered Products	Alcan Engineered Products	112	Menci	Bernard Gilmont
24	Galloo Recycling	Bernard Gilmont	114	Sachsenring	Ursula Berndsen
25	ATM, PVC Transports	Patrick Van Crombrugge	119	Alcan Engineered Products	Alcan Engineered Products
26	Menci	Bernard Gilmont	120	Sapa	Sapa
26	Alcoa Wheel Products Europe	Alcoa Wheel Products Europe	121	Hydro Aluminium	Hydro Aluminium
27	Benalu	Benalu	122	Schmitz	Schmitz
28	Pezzioli	Pezzioli	128, 132	Alcan Engineered Products	Bernard Gilmont
30	Alcoa Europe	Alcoa Europe	135	Alcan Engineered Products	Alcan Rhenalu Issoire
31	Stas	Stas	138	Traillor	Traillor
32	Benalu	Benalu	140	LAG	LAG
33	Leciréna	Leciréna	140	Benalu	Benalu
34	Menci	Menci	142	LAG	LAG
37	Schrader	Schrader	152, 155	Interservice, Arras	Christian Vargel
40, 43	Alcan Engineered Products	Alcan Engineered Products	156, 158, 159, 162	Feldbinder	Feldbinder
44, 45, 47	Various aluminium plants	EAA library			

Dieses Dokument wurde produziert von

European Aluminium Association AISBL

Avenue de Broqueville, 12

BE - 1150 Brussels - Belgium

Telephone: +32 2 775 63 40

Fax: +32 2 775 63 43

www.aluminium.org

Unter der Leitung von Bernard Gilmont

Design: Marc Hernu, Plage

Koordination: Pierre Jouhaud, PLJ édition-communication