

Warm- und kaltgewalztes Stahlfeinblech - Stahlsorten, Oberflächenbeschichtungen und Weiterverarbeitung



Inhalt

1	Stahlsorten	1
1.1	Warmgewalztes Band und Blech.....	1
1.1.1	Allgemein	1
1.1.2	Übersicht der Stahlsorten.....	1
1.1.3	Beschreibung der Stahlsorten	3
1.1.4	Entwicklungstendenzen.....	5
1.2	Kaltgewalztes Band und Blech	6
1.2.1	Allgemein	6
1.2.2	Übersicht der Stahlsorten.....	6
1.2.3	Beschreibung der Stahlsorten	8
1.2.4	Entwicklungstendenzen.....	11
1.2.5	Sonstige	12
2	Oberflächenbeschichtungen mit Bandbehandlungsverfahren	12
2.1	Zweck.....	12
2.1.1	Kurzfassung.....	12
2.2	Elektrolytische Beschichtungen	15
2.2.1	Kurzfassung.....	15
2.2.2	Elektrolytische Bandbeschichtungsanlage	15
2.2.3	Elektrolytisch verzinktes Feinblech (ZE)	16
2.3	Schmelztauchbeschichtungen	17
2.3.1	Kurzfassung.....	17
2.3.2	Schmelztauchbeschichtungsanlage	17
2.4	Feuerverzinktes Feinblech (Z)	19
2.5	Zink-Aluminium-beschichtetes Feinblech Galfan [®] (ZA).....	20
2.6	Aluminium-Zink beschichtetes Feinblech Galvalume [®] (AZ).....	20
2.7	Feuerverzinktes Feinblech Galvannealed (ZF).....	20
2.8	Feueraluminiertes Feinblech (AS)	21
2.9	Hinweise für Anwendung und Verarbeitung metallisch beschichteter Feinbleche	21
2.10	Organische Beschichtung	22
2.10.1	Kurzfassung	22
2.10.2	Bandbeschichtungsanlage.....	23
2.10.3	Organisch beschichtetes Feinblech.....	23
2.11	Entwicklungstendenzen	25

2.11.1	Kurzfassung	25
2.11.2	Detaillierte Betrachtung.....	25
3	Anwendung	27
3.1	Werkstoffauswahl	27
3.2	Weiterverarbeitung.....	32

Warm- und kaltgewalztes Stahlfeinblech - Stahlsorten, Oberflächenbeschichtungen und Weiterverarbeitung

Dr. Ing. Jürgen Fröber, Hattingen
 Dr. Dipl.-Ing. Kurt Kösters, Linz

„Stahlfeinblech“ ist ein Flachprodukt aus warm- oder kaltgewalztem Band und Blech in Dicken zwischen 0,3 und 3,0 mm. Weitere Flachprodukte aus Stahl sind Feinstblech (Dicken kleiner 0,3 mm) und Grobblech (Dicken größer 3,0 mm). Die Flachprodukte sind Halbprodukte, d.h. Vormaterial für die Weiterverarbeitung zu gebrauchsfertigen Produkten. Weitere Halbprodukte sind Langprodukte (Knüppel und Stabstahl) und Draht.

1 Stahlsorten

1.1 Warmgewalztes Band und Blech

1.1.1 Allgemein

Für warmgewalzte Flachprodukte steht eine große Vielzahl von Stahlsorten zur Verfügung. Die Stahlsorten umfassen unlegierte C-Stähle mit Kohlenstoff-Masseanteilen von wenigen Hundertstel bis 1% mit und ohne Legierung, z.T. Mikrolegierung und legierte Einsatz- und Vergütungsstähle. Damit ergeben sich Festigkeiten von 400 bis 1500 MPa. Die Forderung der Verbraucher insbesondere aus der Fahrzeugindustrie nach Stählen einerseits für den Leichtbau, d.h. der Möglichkeit, bei Stählen mit höherer Festigkeit die Bauteildicke ohne Steifigkeitsverlust zu reduzieren, und andererseits immer sicherere Fahrzeuge zu bauen, hat in den letzten 10 Jahren zur Entwicklung höher- und hochfester Stähle geführt, die gleichzeitig noch ein gutes Kaltumformvermögen haben ([Tiefziehen](#)). Das Potenzial in der Entwicklung zu gut umformbaren Stählen mit hoher Festigkeit ist noch nicht vollkommen ausgeschöpft ([Entwicklungstendenzen](#)).

1.1.2 Übersicht der Stahlsorten

Bezeichnung	Name	Norm EN... unbeschichtet [elktrol. besch.] {feuerbesch.}
Weiche Stähle	DD...	10111
Mikrolegierte Stähle	S... MC	10149
	HX ...LAD+Z	{10292}
Dualphasen Stähle	HDT...X	pr 10338 [pr 10336] {pr 10336}
Ferrit-Bainit-Phasen Stähle	HDT...F	pr 10338 [pr 10336] {pr 10336}

Complexphasen Stähle	HDT...C	pr 10338 [pr 10336] {pr 10336}
Martensitphasen Stähle	HDT...C	pr 10338 [pr 10336] {pr 10336}
Mangan-Bor Stahl zum Warmumformen	22MnB5-Typ (s. Hersteller)	s. Hersteller
Legierte und unlegierte Edelbaustähle	diverse	diverse

Eine Übersicht der mechanischen Eigenschaften zeigt das folgende Bild:

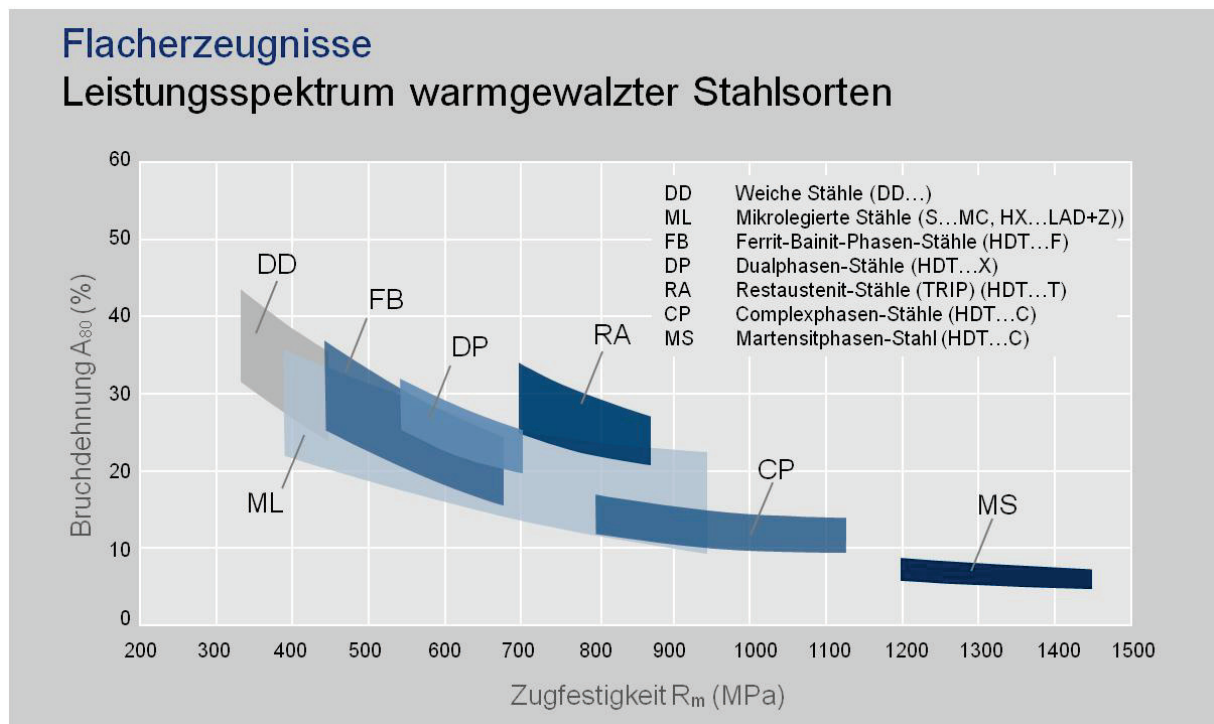


Bild 1 Leistungsspektrum warmgewalzter Stahlsorten

Dabei ist zu beachten, dass es sich bis auf eine Ausnahme um die Stähle handelt, die direkt kalt umgeformt werden und nicht für eine Wärmebehandlung vorgesehen sind. Die mechanischen Eigenschaften beziehen sich auf den Lieferzustand. Für die Gebrauchseigenschaften ist die Festigkeitszunahme durch die Umformung (work hardening) und je nach Stahlsorte durch das Einbrennen der Lackierung (bake hardening) zu beachten.

Die lieferbaren Abmessungen und gegebenenfalls Oberflächenbeschichtungen sind Hersteller abhängig und deshalb bei den Herstellern zu erfragen

Die Beschreibung der Stahlsorten richtet sich nach den entsprechenden Europäischen Normen (EN). Zusätzlich zu den dort definierten Stahlsorten bieten die Hersteller Werkssondergüten an, die ebenfalls bei Bedarf zu erfragen sind. Die Prüfrichtung der mechanischen Eigenschaften ist in den jeweiligen Normen festgelegt und überwiegend quer zur Walzrichtung.

Die Links zu den einzelnen Herstellern in Deutschland und Österreich zu Fragen zu den Stahlsorten und zur Anwendungstechnik sind unter www.stahldaten.de abrufbar.

1.1.3 Beschreibung der Stahlsorten

Weiche Stähle:

Es handelt sich um unlegierte Stähle mit Kohlenstoff-Masseanteilen von max. 0,12 %, die üblicherweise in Dickenbereichen von 1,5 bis 8 mm hergestellt werden. Ihr [Gefüge](#) besteht aus i.W. [Ferrit](#) und feinen Karbiden. Mit Mindestdehnungen von bis zu 31 % bei geringen maximalen Werten der [Streckgrenze](#) von bis zu 290 MPa sind hohe Umformgrade erreichbar. Die vier genormten Sorten DD 11, DD12, DD13, DD14 sind nach abnehmender Festigkeit bzw. zunehmendem Umformvermögen abgestuft:

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
DD11	170-360	≤ 440	≥23
↓	↓	↓	↓
DD14	170-310	≤ 380	≥31

Mikrolegierte Stähle:

Es handelt sich um Stähle mit Titan- und/oder Niob-Legierung von max. 0,22 %, plus ggf. bis zu 0,1 % Vanadin. Die definierten Mindestwerte für [Streckgrenze](#) und [Festigkeit](#) werden erreicht durch [Ausscheidungshärtung](#) und [Kornfeinung](#). Die Stähle werden bevorzugt für sicherheitsrelevante Teile eingesetzt und mit Mindest-[Streckgrenzen](#) von 315/355/420/460/500/600/650/700 erzeugt (Sortenbezeichnung: z.B. S315MC):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
S315MC	≥315	390-510	≥20
↓	↓	↓	↓
S700MC	≥700	750-950	≥10

Mikrolegierte Stähle mit Cold Performance:

Hinsichtlich des Stahltypes gelten grundsätzlich die gleichen Aussagen wie bei den mikrolegierten Stählen. Jedoch zeichnet sich diese Gruppe sowohl durch geringere Streubänder der mechanischen Eigenschaften aus als auch dadurch, dass sie nur im [feuerverzinkten](#) Zustand lieferbar sind. Sie sind mit Mindest-[Streckgrenzen](#) von 260/300/340/380/420/460 MPa lieferbar (Sortenbezeichnung: z.B. HX260LAD+Z):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
HX260 LAD+Z	260-330	350-430	≥26
↓	↓	↓	↓
HX460 LAD+Z	460-560	500-620	≥15

Dualphasen Stähle:

Bei diesen Stählen liegen aufeinander abgestimmte Gefügebestandteile von [Ferrit](#) und [Martensit](#) vor, wodurch sich eine besondere Eigenschaftskombination von hoher [Festigkeit](#), niedrigem Streckgrenzenverhältnis und guter [Kaltumformbarkeit](#) ergibt. Sie eignen sich daher bevorzugt für Kaltumformungen mit höheren [Streckziehanteilen](#). Das hohe [Verfestigungsvermögen](#) einerseits und ein großes Bake-Hardening-Potenzial andererseits führen zu hohen Bauteilfestigkeiten. Dualphasen Stähle werden erzeugt mit Mindest-Festigkeit von 580 MPa (Stahlsortenbezeichnung: HDT580X):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	n	BH ₂ (MPa)
HDT580X	330-460	≥580	≥19	≥0,13	≥30

Ferrit-Bainit-Phasen Stähle:

Grundsätzlich sind auch diese Stähle Mehrphasenstähle. Sie können leicht mit Chrom und/oder Niob bzw. Titan leicht legiert sein und werden thermomechanisch gewalzt. Sie haben ein gutes Schwingfestigkeitsverhalten und werden mit Mindest-[Streckgrenzen](#) von 450 und 560 MPa erzeugt (Stahlsortenbezeichnung: z.B. HDT450F):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	BH ₂ (MPa)
HDT450F	320-420	≥450	≥23	≥30
HDT560F	460-560	≥560	≥16	≥30

Complex-Phasen Stähle:

Die Kombination von chemischer Zusammensetzung und den besonderen Warmwalzbedingungen ergibt ein sehr feines Gefüge mit abgestimmten Anteilen von [Ferrit](#), [Bainit](#), [Martensit](#) in Verbindung mit [Ausscheidungshärtung](#). Die Stähle sind trotz hoher [Festigkeit](#) gut umformbar und weisen zudem ein hohes Bake-Hardening-Potenzial auf. Sie werden mit Mindestwerten für die Festigkeiten von 750/780/950 MPa erzeugt (Stahlsortenbezeichnung: z.B. HDT750C):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	BH ₂ (MPa)
HDT750C	620-760	≥750	≥10	≥30
↓	↓	↓	↓	↓
HDT950C	720-920	≥950	≥9	≥30

Martensitphasen Stähle:

Es handelt sich um hochfeste Stähle mit einem definierten Gefügeanteil [Martensit](#), die trotz der hohen [Festigkeiten](#) noch vergleichsweise gut umformbar sind. Bevorzugt werden sie eingesetzt für crash-relevante Teile im Fahrzeugbau und für Verschleiß beanspruchte Teile. Auch diese Stähle weisen einen hohen Bake-Hardening-Effekt auf, wodurch die Bauteilfestigkeit noch einmal deutlich angehoben wird. Martensitphasen Stahl gibt es mit einer Mindest-Festigkeit von 1200 MPa (Stahlsortenbezeichnung: HDT1200M):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	BH ₂ (MPa)
HDT1200M	900-1150	≥1200	≥5	≥30

Mangan-Bor Stahl zum Warmumformen:

Dieser Stahl wird im Gegensatz zu den anderen hier beschriebenen Stählen nicht kalt umgeformt sondern warm aus dem Austenitgebiet (ca. 900°C). Dabei wird bei hohen Umformgraden eine Kaltverformung vorangestellt. Durch geregelte beschleunigte Abkühlung (Härtung) wird ein Gefüge mit hohem Martensitanteil eingestellt und damit eine Festigkeit von ca. 1600 MPa erreicht. Die Streckgrenze wird durch das Lackeinbrennen noch einmal um ca. 100 MPa aufgrund des Bake-Hardening-Potenzials gesteigert. Mit diesem Stahl können auch Bauteile mit höchsten Festigkeiten hergestellt werden, die wegen ihres hohen Umformgrades durch Kaltumformung nicht darstellbar sind. Im Anlieferungszustand liegen Festigkeiten von ca. 560 MPa bei Dehnungen von größer 10 % vor (Stahlsortenbezeichnung: nicht in EN/DIN genormt, nur als Werkssondergüte der jeweiligen Hersteller):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
22MnB5-Typ (Werksname)	≥320	≥500	≥10

Unlegierte und legierte Edelbaustähle:

Hier werden alle die sonst noch erzeugten Stähle zusammengefasst, i.W. [Einsatzstähle](#) und [Vergütungsstähle](#): z.B. Chrom-Molybdän-Stahl für Hochdruckgasflaschen (34CrMo4), Chrom-Vanadin-Stahl für den Kupplungsbau (50CrV4), Kohlenstoffstähle für Sägen (C75) und viele weitere Anwendungen. Es empfiehlt sich, bei entsprechendem Bedarf die Stahlhersteller anzusprechen.

1.1.4 Entwicklungstendenzen

Bereits heute wird ein extrem großer Festigkeitsbereich bei den warmgewalzten Stählen abgedeckt. Die Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich nun vor allem auf die Verbesserung des Verarbeitungsverhaltens. Es wird weiterhin intensiv an der Verbesserung der Umformbarkeit (Dehnung) insbesondere im Festigkeitsbereich oberhalb von 800 MPa gearbeitet. Stähle mit besonderen Eigenschaften, wie z.B. gutem, Lochaufweitungs- oder Abkantverhalten werden entwickelt. Eine Verringerung

der Streuung mechanischer Eigenschaften, die bei den hohen Festigkeiten nicht zu vernachlässigen ist, wird ein wichtiges Thema. Nach wie vor spielt das Schweißverhalten eine wesentliche Rolle, so dass versucht wird das Schweißverhalten vor allem der hochfesten Mehrphasenstähle zu verbessern.

1.2 Kaltgewalztes Band und Blech

1.2.1 Allgemein

Für kaltgewalzte Flachprodukte steht ebenfalls eine große Vielzahl von Stahlsorten zur Verfügung. Die Kohlenstoffgehalte reichen von 30 ppm bis ca. 0,35 % bei Breitband und bis 1 % (bei Schmalband). Die Legierungsanteile bewegen sich zwischen 0 über Mikroanteile bis zu üblichen Anteilen von legierten Edelbaustählen (überwiegend bei Schmalband). Die Forderung der Verbraucher insbesondere aus der Fahrzeugindustrie nach Stählen einerseits für den Leichtbau, d.h. der Möglichkeit, bei Stählen mit höherer Festigkeit die Bauteildicke ohne Steifigkeitsverlust zu reduzieren, und andererseits immer sicherere Fahrzeuge zu bauen, hat in den letzten 10 Jahren zur Entwicklung höher- und hochfester Stähle geführt, die gleichzeitig noch ein gutes Kaltumformvermögen haben ([Tiefziehen](#)) haben. Das Potenzial in der Entwicklung zu gut umformbaren Stählen mit hoher Festigkeit ist noch nicht vollkommen ausgeschöpft ([Entwicklungstendenzen](#)).

1.2.2 Übersicht der Stahlsorten

Bezeichnung	Name	Norm EN.... unbeschichtet [elktrol. besch.] {feuerbesch.}
Weiche Stähle	DC... DX...	pr10130 [10152] {10327}
Höherfeste IF-Stähle	H...Y	10268 [10152] {pr10292}
Bake-Hardening Stähle	H...B	10268 [10152] {pr10292}
Höherfeste Streckzieh-stähle	H...I	10268 [10152]
Mikrolegierte Stähle	H...LA...	10268 [10152] {pr10292}
Work-Hardening Stähle	s. Hersteller	s. Hersteller
Dualphasen Stähle	HCT...X	pr 10338 [pr10336] {pr10336}

TRIP Stähle	HCT...T	pr 10338 [pr10336] {pr10336}
Complexphasen Stähle	HCT...C	pr 10338 [pr10336] {pr10336}
Mangan-Bor Stahl zum Warmumformen	22MnB5-Typ (s. Hersteller)	s. Hersteller

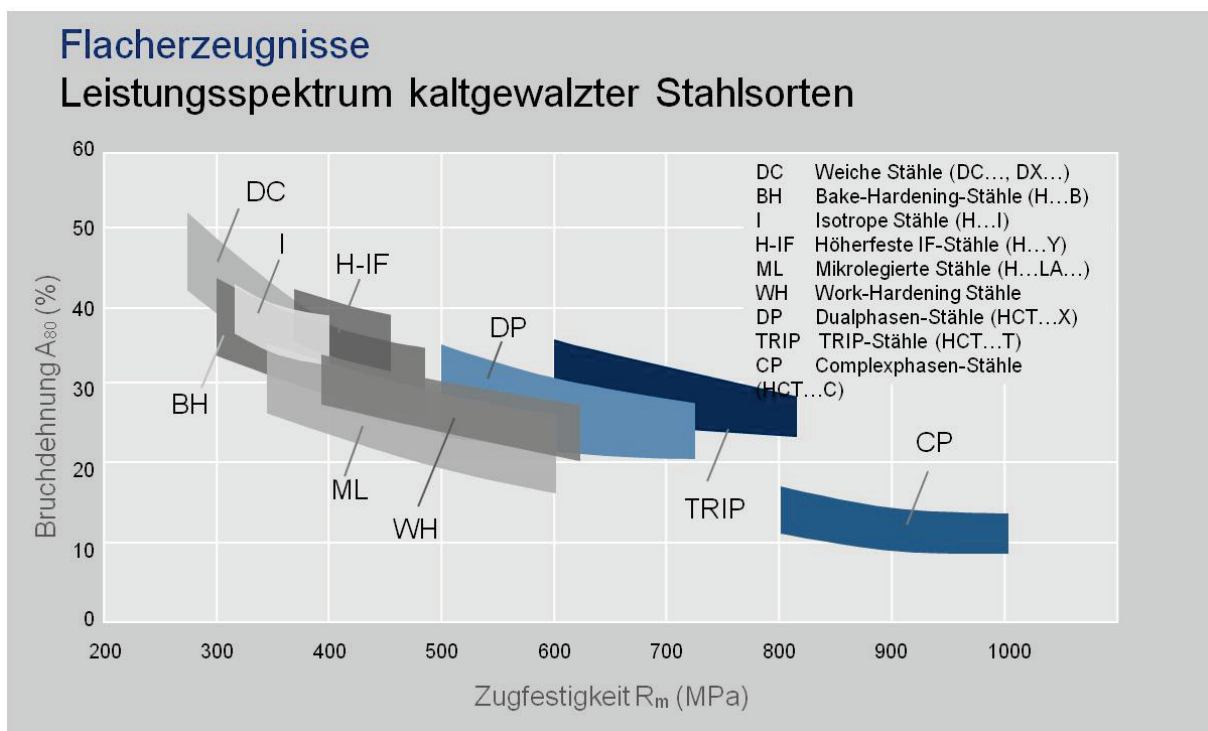


Bild 2 Leistungsspektrum kaltgewalzter Stahlsorten

Dabei ist zu beachten, dass es sich bis auf eine Ausnahme um die Stähle handelt, die direkt kalt umgeformt werden und nicht für eine Wärmebehandlung vorgesehen sind. Die mechanischen Eigenschaften beziehen sich auf den Lieferzustand. Für die Gebrauchseigenschaften ist die Festigkeitszunahme durch die Umformung (\rightarrow work hardening) und je nach Stahlsorte durch das Einbrennen der Lackierung (\rightarrow bake hardening) zu beachten.

Die lieferbaren Abmessungen und gegebenenfalls Oberflächenbeschichtungen sind Hersteller abhängig und deshalb bei den Herstellern zu erfragen.

Die Beschreibung der Stahlsorten richtet sich nach den entsprechenden Europäischen Normen (EN). Dargestellt sind überwiegend die unbeschichteten Stähle, die Eigenschaften der beschichteten Stähle sind für die Stahlsorten den angegebenen jeweiligen Normen zu entnehmen. Zusätzlich zu den dort definierten Stahlsorten bieten die Hersteller Werkssondergüten an, die bei Bedarf zu erfragen sind. Die Prüfrichtung der mechanischen Eigenschaften ist in den jeweiligen Normen festgelegt und überwiegend quer zur Walzrichtung.

Die Links zu den einzelnen Herstellern in Deutschland und Österreich zu Fragen zu den Stahlsorten und zur Anwendungstechnik sind unter www.stahldaten.de abrufbar.

1.2.3 Beschreibung der Stahlsorten

Weiche Stähle:

Diese Stähle sind für hohe und höchste Umformansprüche entwickelt. Die höchstumformbaren Güten bei unbeschichteten und elektrolytisch beschichteten Kaltband sind IF- (Interstitiell Free) Stähle, üblicherweise ebenso die höheren feuerverzinkten Güten. Ihre Streckgrenzen betragen max. 300 bis max. 150 MPa bei Dehnungen bis zu größer 44 %, wodurch höchste Umformansprüche abgedeckt werden können. Die Stähle sind nach abnehmender Festigkeit bzw. zunehmendem Umformvermögen genormt (DC01/03/04/05/06/07 für unbeschichtet und elektrolytisch verzinkt bzw. DX51/53/54/56/57 für feuerverzinkt):

Stahlsorte unbeschichtet	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	n	r
DC01	≤280	270-410	≥28		
↓	↓	↓	↓	↓	↓
DC05	≤180	270-330	≥40	≥0,2	≥1,9
DC06	≤180	270-350	≥38	≥0,22*	≥1,8*
DC07	≤150	250-310	≥44	≥0,23*	≥2,5*

* = Querwerte

Stahlsorte feuerbesch.	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	n	r
DX51D+Z		270-500	≥22		
↓	↓	↓	↓	↓	↓
DX57D+Z	≤170	260-350	≥41	≥0,22	≥2,1

Höherfeste IF-Stähle:

Durch die Abbindung der interstitiell vorliegenden Elemente Kohlenstoff und Stickstoff einerseits und eine eingestellte Mischkristallverfestigung andererseits ergibt sich eine Eigenschaftskombination von sehr guter Umformbarkeit (hohe senkrechte Anisotropie und Verfestigung) bei höheren Festigkeitswerten. Diese Stähle eignen sich besonders für eine kombinierte Streck-Zieh-Beanspruchung und werden mit Mindest-Streckgrenzen von 180/220/260 MPa hergestellt (Stahlsortenbezeichnung: z.B. HC180Y):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	n	r
HC180Y	180-230	340-400	≥36	≥0,19	≥1,7
↓	↓	↓	↓	↓	↓
HC260Y	260-320	380-440	≥32	≥0,17	≥1,4

Bake-Hardening Stähle:

Die Bake-Hardening Stähle weisen günstige Eigenschaftskombination von [Festigkeit](#) und [Umformbarkeit](#) auf, nicht ganz so günstig wie die höherfesten IF-Stähle. Hinzu kommt ein Streckgrenzanstieg von mehr als 35 MPa durch eine kontrollierte Reckalterung beim Einbrennen des Lackes (Bake Hardening). Die Stähle sind über einen längeren Zeitraum [alterungsbeständig](#). Sie werden mit Mindest-Streckgrenzen von 180/220/260/300 hergestellt (Stahlsortenbezeichnung: z.B. HC180B):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	n	r	BH ₂ (MPa)
HC180B	180-230	300-360	≥34	≥0,17	≥1,6	≥35
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
HC300B	300-360	400-480	≥26			≥35

Höherfeste Streckziehstähle:

Mit gezielter Legierung wird das Gefüge so beeinflusst, dass die Eigenschaftsabhängigkeit von der Walzrichtung minimiert ist d.h. sie quasi [isotrop](#) sind. Mit vergleichsweise hohen [Dehnungswerten](#) und dem sehr hohen [Verfestigungsvermögen](#) sind sie besonders für Teile mit hohem Streckziehanteil geeignet. Sie werden mit Mindest-Streckgrenzen von 220 und 260 MPa erzeugt (Stahl-sortenbezeichnung: z.B. H220I).

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	r _{max}	n
HC220I	220-270	300-380	≥34	≤1,4	≥0,18
HC260I	260-310	320-400	≥32	≤1,4	≥0,17

Mikrolegierte Stähle:

Wie bei den warmgewalzten handelt es sich bei den kaltgewalzten mikrolegierten Flachprodukten um Stähle mit geringen Anteilen an Titan und/oder Niob. Die hohen Festigkeiten resultieren aus [Ausscheidungshärtung](#) und [Kornfeinung](#). Sie werden mit Mindest-[Streckgrenzen](#) von 260/300/340/380/420 MPa hergestellt (Stahlsortenbezeichnung: z.B. HC260LA):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
HC260LA	260-330	350-430	≥26
↓	↓	↓	↓
HC420LA	420-520	470-590	≥17

Work-Hardening Stähle:

Durch gezielte Legierung und Fertigung werden niedrige Streckgrenzenverhältnisse bei hohen Festigkeiten erreicht. Sie sind besser umformbar als mikrolegierte Stähle

und weisen bei gleichen Festigkeiten ein geringeres Rückfederungsverhalten auf. Sie werden mit Mindest-Streckgrenzen von 260/300/380 hergestellt (Stahlsortenbezeichnung: nicht in EN/DIN genormt, nur als Werkssondergütern beim jeweiligen Hersteller zu erfragen):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
Jeweiliger Werks- name	260-340 ↓ 380-480	390-490 ↓ 530-630	≥27 ↓ ≥21

Dualphasen Stähle:

Bei diesen Stählen liegen aufeinander abgestimmte Gefügebestandteile von [Ferrit](#) und [Martensit](#) vor, wodurch sich eine besondere Eigenschaftskombination von hoher [Festigkeit](#), niedrigem Streckgrenzenverhältnis und guter [Kaltumformbarkeit](#) ergibt. Sie eignen sich daher bevorzugt für Kaltumformungen mit höheren [Streckziehanteilen](#). Das hohe [Verfestigungsvermögen](#) einerseits und ein großes Bake-Hardening-Potenzial andererseits führen zu hohen Bauteilfestigkeiten. Dualphasen Stähle werden erzeugt mit Mindest-Festigkeiten von 450/500/600/780/980 MPa (Stahlsortenbezeichnung: z.B. HCT450X):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	n	BH ₂ (MPa)
HCT450X ↓ HCT980X	260-340 ↓ 600-750	≥450 ↓ ≥980	≥27 ↓ ≥10	≥0,16 ↓	≥30 ↓ ≥30

TRIP Stähle:

Es handelt sich um Stähle, die durch entsprechende Legierung und Fertigung ein ferritisch-bainitisches Gefüge aufweisen mit Anteilen von metastabilen [Restaustenit](#). Bei der Umformung wandelt der Restaustenit zu [Martensit](#) um und gibt dem Bauteil seine hohe [Festigkeit](#). Die Umwandlung wird im englischen Sprachgebrauch als **Transformation induced Placidity** (TRIP) bezeichnet. Die Festigkeit wird durch den Bake-Hardening-Effekt beim Einbrennlackieren noch einmal deutlich gesteigert. Die Stähle zeichnen sich durch ein hohes [Verfestigungsverhalten](#) und hoher [Dehnung](#) bei gleichzeitig hohen Festigkeiten aus. Sie werden erzeugt mit Mindest-Festigkeiten von 690 und 780 MPa (Stahlsortenbezeichnung: z.B. HCT690T):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	n	BH ₂ (MPa)
HCT690T ↓ HCT780T	430-550 ↓ 470-600	≥690 ↓ ≥780	≥23 ↓ ≥31	≥0,18 ↓ ≥0,16	≥40 ↓ >40

Complexphasen Stähle:

Die Kombination von chemischer Zusammensetzung und den besonderen Fertigungsbedingungen ergibt ein sehr feines Gefüge mit abgestimmten Anteilen von [Ferrit](#), [Bainit](#), [Martensit](#) in Verbindung mit [Ausscheidungshärtung](#). Die Stähle sind trotz hoher [Festigkeit](#) noch gut umformbar und besonders gut geeignet für enge Biegeradien beim [Kanten](#). Sie weisen zudem ein hohes Bake-Hardening-Potenzial auf. Sie werden mit Mindest-Festigkeiten von 600/780/980 MPa erzeugt (Stahlsortenbezeichnung: z.B. HCT600C):

Stahlsorte	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)	BH ₂ (MPa)
HCT600C	350-500	≥600	≥16	≥30
↓	↓	↓	↓	↓
HCT980C	700-900	≥980	≥7	≥30

Mangan-Bor Stahl zum Warmumformen:

Dieser Stahl wird im Gegensatz zu den anderen hier beschriebenen Stählen nicht kalt umgeformt sondern warm aus dem [Austenitgebiet](#) (ca. 900°C). Dabei wird bei hohen Umformgraden eine Kaltverformung vorangestellt. Durch geregelte beschleunigte Abkühlung ([Härtung](#)) wird ein Gefüge mit hohem [Martensitanteil](#) eingestellt und damit eine [Festigkeit](#) von ca. 1600 MPa erreicht, die durch das Bake-Hardening-Potenzial noch einmal um ca. 100 MPa gesteigert wird. Mit diesem Stahl können auch Bauteile mit höchsten Festigkeiten hergestellt werden, die wegen ihres hohen [Umformgrades](#) durch [Kaltumformung](#) nicht darstellbar sind. Im Anlieferungszustand liegen [Festigkeiten](#) von ca. 560 MPa bei [Dehnungen](#) von größer 10 % vor (Stahlsortenbezeichnung: nicht in EN/DIN genormt, nur als Werkssondergüte beim jeweiligen Hersteller zu erfragen):

Stahlsorte	Oberfläche	R _p (MPa)	R _m (MPa)	A ₈₀ (%)
22MnB5-Typ (Werkname)	unbesch.	≈ 380	≈ 520	≈ 22
	Al feuerbesch.	≈ 410	≈ 500	≈ 20
	Zn feuerbesch.	≈ 410	≈ 520	≈ 12

1.2.4 Entwicklungstendenzen

Das Angebot hochfester kaltgewalzter Stähle insbesondere in beschichteter Form wird kontinuierlich ausgebaut werden. Heute sind feuerverzinkte Stähle in Entwicklung, die im Festigkeitsbereich von 800 – 1200 MPa ein deutlich verbessertes Umformverhalten als bisher bekannt bieten. Völlig neue Perspektiven werden die noch ganz am Anfang stehenden hoch Mangan haltigen austenitischen Stähle ([TWIP – Twinning induced plasticity](#)) mit Dehnungswerten von mehr als 40% bei Festigkeiten im Bereich von 800 – 1200 MPa bieten. Auch über die Reduzierung des spezifischen Gewichtes von Stahl wird bereits intensiv nachgedacht. Wie bei den warmgewalzten Stählen wird natürlich auch bei den kaltgewalzten Stählen an der Verbesserung des Verarbeitungsverhaltens mit den bereits genannten Zielen gearbeitet.

1.2.5 Sonstige

Als Sandwichblech wird der Verbund von zwei kaltgewalzten Blechen (je 0,4 bis 1,2 mm) mit einer organischen Zwischenschicht (25 bis 50 µm) verstanden. Schallwellen verursachen in der viskoelastischen Zwischenschicht in innere Reibung, so dass die Schwingungsenergie in mechanische Energie und damit letztendlich als Wärme „umwandelt“. Dadurch ergibt sich eine Körperschalldämpfung von bis zu 20 Dezibel. Dementsprechend wird dieses Produkt eingesetzt z.B. im Fahrzeugbau (z.B. Ölwannen, Stirnwände) oder in anderen Bereichen des Lärmschutzes (z.B. Container für Glasrecycling). Für die Deckbleche können die o.a. Stahlsorten eingesetzt werden, auch in Kombination. Zusätzlich sind Oberflächenbeschichtungen möglich.

2 Oberflächenbeschichtungen mit Bandbehandlungsverfahren

2.1 Zweck

2.1.1 Kurzfassung

Aufgrund seiner Affinität zum Sauerstoff muss Stahl gegen [Oxidation](#) (Rost) aus funktionalen und ästhetischen Gründen geschützt werden. Dieser Schutz erfolgt durch Aufbringung von metallischen und/oder organischen Beschichtungen, die als Barriere den Zutritt von Sauerstoff und korrosiven Medien unterbinden. Zusätzlich wird durch die metallischen Überzüge mit unedleren Metallen als Eisen aber auch ein kathodischer [Korrosionsschutz](#) an Verletzungen oder Fehlstellen des Überzuges erzielt. Die Beschichtungen werden großtechnisch in kontinuierlichen Beschichtungsanlagen beim Stahlhersteller aufgetragen und haben je nach Anwendung Dicken von einigen bis 50 µm. Sie bestehen entweder aus

- einem Metall, das unedler ([elektrochemische Spannungsreihe](#)) als der Stahl ist, z.B. Zink, Zinn (kathodischer Schutz und Barrierewirkung) oder edler als Stahl, z.B. Chrom, Nickel (Barrierewirkung und Ästhetik). Der Auftrag erfolgt durch [elektrolytische Metallabscheidung](#) ([elektrolytische Beschichtung](#)) ([Galvanotechnik](#)) oder durch Tauchen des Stahls in das geschmolzene Auftragsmetall ([Schmelztauchbeschichtung](#)).
- Lack, der mit Auftragsrollen (Roll-Coater) ([Coil Coating](#)) aufgebracht wird.
- aus der Kombination von Metall und Lack.

Die Überzüge aus Metall sind schweißgeeignet ([Schweißen](#)) z.T. auch die dünnen Lackschichten und umformbar, beides bei Anpassung der Parameter an die Oberfläche.

- In der Natur vorkommendes Eisen ist nur in Form von Oxiden, Sulfiden oder Karbonaten [thermodynamisch](#) stabil. Unter atmosphärischen Bedingungen haben dementsprechend Eisen und auch Stahl das Bestreben, sich wieder in ihre oxidische Form umzuwandeln, ein Vorgang, der als [Rosten](#) oder generell als [Korrosion](#) bekannt ist. Rost kann sowohl eine optische (kosmetische), als auch eine funktionelle Beeinträchtigung (z.B. Durchrosten am Auto) darstellen.

Ziel großtechnisch aufgetragener Oberflächenbeschichtungen ist das wichtigste Konstruktionsmaterial Stahl vor Rost zu schützen oder das Rosten zumindest auf ein technisch vertretbares Ausmaß zu reduzieren. Diese können aufgetragene Barrierschichten (Überzüge aus korrosionsresistenten Metallen oder Lackfilmen) sein, die den Kontakt der Stahloberfläche mit den korrosionsverursachenden Medien

unterbinden bzw. reduzieren. Bauteile weisen jedoch Schnittkanten, Bohrungen oder Stanzlöcher auf, an denen Barrierschichten nur einen unzureichenden Korrosionsschutz bieten. Gleiches gilt für Fehler in der Barrierschicht wie z.B. Risse oder punktförmige Defekte. Hier muss man Überzüge einsetzen, die neben der Barrierewirkung auch eine sogenannte kathodische Schutzwirkung (Korrosionsschutz) ermöglichen. Elektrochemisch unedlere Metalle als Eisen, wie Zink- oder Zinklegierungen bieten diesen kathodischen Schutz durch die Ausbildung eines galvanischen Elements.

Die schematische Darstellung in Bild 1 zeigt, dass bei ungeschützter, nicht verzinkter Oberfläche in Gegenwart eines wässrigen Elektrolyten an der Eisen-Kathode die Sauerstoffreduktion (Oxidation) stattfindet und daneben das Eisen als Anode aufgelöst wird (korrodiert). Anders ist die Situation, wenn eine metallische Schutzschicht aus Zink vorhanden ist. Die Stahloberfläche stellt dann die Kathode und der gegenüber Eisen unedlere Zinküberzug die Anode dar. In Gegenwart eines Elektrolyten findet an einer Fehlstelle in der Zinkschicht am Stahlblech die Sauerstoffreduktion und an der Zinkanode die Zinkauflösung statt. An diesen Fehlstellen der Zinkschicht wie an Bohrungen, Schnittkanten oder Verletzungen wird bevorzugt der Zinküberzug in der Umgebung der Fehlstelle unter Bildung von Zinkionen aufgelöst (korrodiert). Die freie Stahloberfläche ist geschützt, solange in der Umgebung der Fehlstelle ausreichend Zink verfügbar ist. Zink stellt in dem galvanischen Element Zink/Eisen die Opferanode dar, d.h. das unedlere Zink wird zugunsten des Eisens aufgelöst, geopfert. Man spricht in diesem Fall von einem kathodischen Schutz der Eisen- bzw. Stahloberfläche durch Zink.

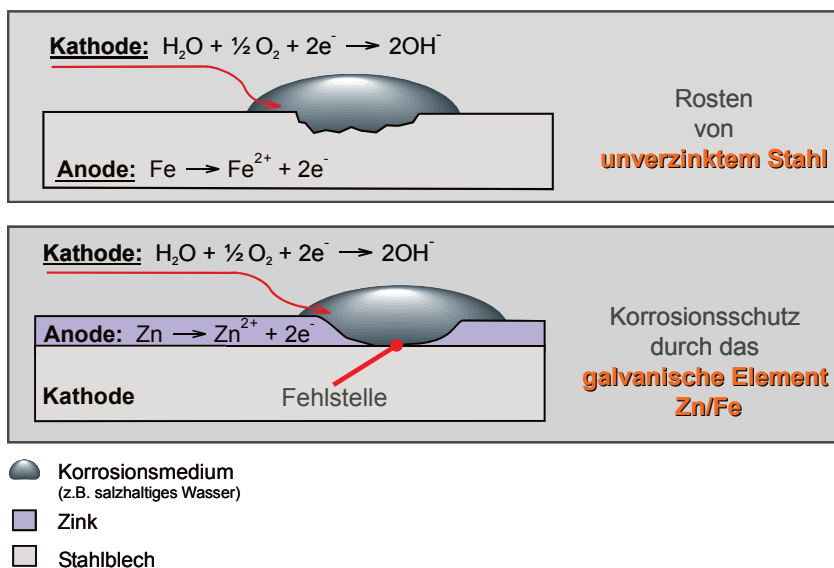


Bild 3 Kathodische Schutzwirkung von Zink:

Eine nochmalige Erhöhung des Korrosionsschutzes von Zink- oder Zinklegierungsschichten kann durch zusätzliche Aufbringung eines so genannten Korrosionsschutzprimers (KSP) erreicht werden. Damit liegt ein dreistufiges Schutzsystem vor: Barrierewirkung des Zinks gegenüber Stahl, Barrierewirkung des nur einige μm (tausendstel Millimeter) dicken Korrosionsschutzprimers gegenüber Zink und kathodische Schutzwirkung des Zinks gegenüber Stahl. Das ist besonders in den Bereichen von Vorteil, in denen konstruktiv bedingt der Lack bei der

kathodischen Tauchlackierung nicht oder nur unzureichend abgeschlossen wird. Vor allem gefährdet sind Dauerfeuchtbereiche mit schlechter Belüftung, wie in Flanschen oder in anderen Hohlräumen, da dort auf der Zinkschicht die Ausbildung der gut schützenden Deckschicht (Korrosionsschutz) (basische Zinkkarbonate) durch CO_2 der Luft erschwert oder verhindert wird. Mit Korrosionsschutzprimern wird nicht nur eine markante Erhöhung des Korrosionsschutzes in Flanschen, Bördelungen oder Hohlräumen erreicht, sondern auch durch den geringeren Korrosionsabtrag der Zinkschicht die kathodische Schutzwirkung an Schnittkanten, Bohrungen oder mechanischen Verletzungen der Zinkschicht (Steinschlag, Kratzer) erhöht (Bild 2).

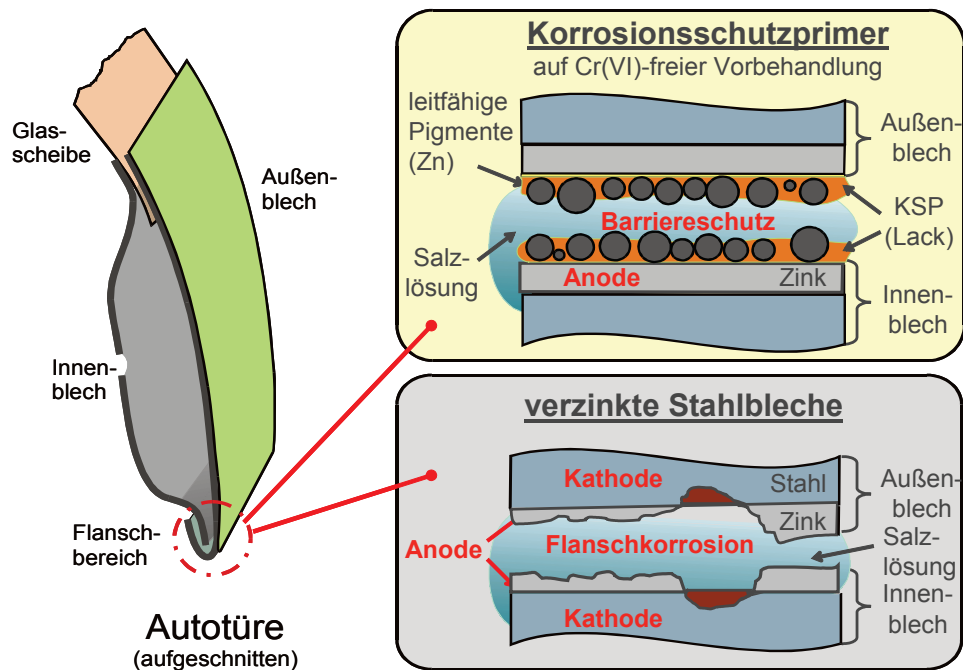


Bild 4 Vergleich der Korrosionsschutzwirkung von verzinkten Stahlblechen mit und ohne Korrosionsschutzprimer (KSP) in Flanschbereichen:

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass für diese - in kontinuierlichen Beschichtungsanlagen im Hüttenwerk aufgetragenen - Oberflächenbeschichtungen auch der Begriff „Oberflächenveredelung“ verwendet wird, obwohl er für die Zinkschichtüberzüge elektrochemisch gesehen eigentlich falsch ist, da Zink unedler als Eisen ist. Der Begriff ist aus der Analogie zu Passivschichten z.B. auf hochlegierten CrNi-Stählen abgeleitet, die das elektrochemische Potential (Elektromotorische Kraft) der Stahloberfläche gegenüber reinem Eisen erhöhen, also veredeln.

Der aktive (kathodische) und der passive (Barriere) Korrosionsschutz von Stahl ist aus Sicht der Bauteilfunktion und Ökonomie das primäre Ziel der Oberflächenveredelung. Darüber hinaus ermöglichen weiterentwickelte, moderne Beschichtungstechnologien auch Oberflächen mit dekorativer, funktioneller und ästhetischer Wirkung herzustellen. Darunter versteht man das optische Erscheinungsbild der Oberfläche durch Oberflächenstrukturen, Rauheit oder Glanz und vor allem Farbe zu gestalten. Letzteres wird durch sogenanntes Bandlackieren von unverzinkten oder meist mit Zink oder Zinklegierungen beschichteten Stahlbändern in Bandbeschichtungsanlagen erzielt. Diese Oberflächen stellen für viele Anwendungen in der Bau- und Hausgeräteindustrie den Endzustand dar.

(Motto: „Finish first – fabricate later“). Durch die Oberflächenveredelung werden aber auch weitere funktionelle Eigenschaften erreicht. Etwa solche wie selbstreinigende Oberflächen, antibakterielle Eigenschaften oder ein niedriger [Reibwert](#) zur Unterstützung des [Umformvorganges](#) beim Verarbeiter, durch dünnste anorganische (z.B. Zinkphosphatschichten) oder organische Filme. Beide Beschichtungen sind als Haftsichten für einen weiteren Lacküberzug geeignet.

Die wichtigsten Absatzmärkte für oberflächenveredelte [Feinbleche](#) sind die Hausgeräte-, Bau- und Automobilindustrie, wobei letztere die Haupttriebfeder für den technologischen Fortschritt in den letzten 25 Jahren war. Die starken Korrosionsbelastungen am Fahrzeug durch verstärkten Einsatz von Streusalz haben dazu geführt, dass der Korrosionsschutz der Stahlbleche durch Beschichtung mit Zink- oder Zinklegierungsüberzügen und organischen Korrosionsschutzprimern laufend verbessert werden musste.

Damit konnten die Korrosionsschutzgarantien der Automobilhersteller trotz forciertem Stahlleichtbau (reduzierte Blechdicken) laufend auf die heute bei den meisten Herstellern gewährten Korrosionsschutzgarantien von weit über 10 Jahren gesteigert werden.

Dementsprechend ist der Anteil oberflächenveredelter Stahlbänder für den Einsatz im Karosseriebau auf durchschnittlich über 80% - bei manchem Hersteller auch auf 100% - angestiegen.

Es gibt eine Reihe von industriellen Verfahren zur Beschichtung bzw. Oberflächenveredelung von Stahlbändern. Die [elektrolytische Verzinkung](#) und die Schmelztauchverzinkung – auch [Feuerverzinkung](#) (→Kontinuierliche Bandverzinkung) genannt – gehören zu den metallischen Beschichtungsverfahren. Daneben gibt es die organische Bandbeschichtung (→Beschichten), auch Bandlackierung (→Lack) bzw. [Coil Coating](#) genannt.

2.2 Elektrolytische Beschichtungen

2.2.1 Kurzfassung

Diese Beschichtung wird in einem vollkontinuierlichem Prozess mit Schichtdicken von typischerweise 5; 7,5 und 10 µm Zink aufgetragen, wobei sie wahlweise ein- oder beidseitig – mit gleicher oder unterschiedlicher Schichtdicke - erfolgen kann (z.B. ZE 75/75: beidseitig verzinkt mit Nennaufgaben von je Seite 7,5µm). Die Beschichtung ist festhaftend, gut umformbar, schweißgeeignet und erfüllt die höchsten Oberflächenansprüche der Automobil- und Hausgeräteindustrie. Das Feinblech ist zur Vermeidung von Weißrostbildung üblicherweise geölt, auf Wunsch zur Steigerung der Umformeignung mit Spezialölen. Auch eine [Vorphosphatierung](#) ist möglich, die ebenfalls die [Weißrost](#)bildung reduziert und die Umformeignung erhöht.

2.2.2 Elektrolytische Bandbeschichtungsanlage

Die elektrolytische Bandbeschichtung erfolgt in einem vollkontinuierlichen Prozess. Dazu werden die fertig hergestellten [kaltgewalzten Stahlbänder](#) im Bandeinlauf der Anlage zu einem Endlosband zusammen geschweißt und nach Durchlaufen einer chemischen Vorbehandlung ([chemisches Reinigen](#), [Beizen](#)) in hintereinander geschalteten vertikalen oder horizontalen elektrolytischen Beschichtungszellen bei Bandgeschwindigkeiten von 0,5 bis 2,5 m/s beschichtet. Dies erfolgt durch Anlegen

einer Spannung zwischen dem über Stromrollen als Kathode geschaltetem Stahlband und den zumeist unlöslichen, edelmetallbeschichteten Titananoden. Aus den üblicherweise verwendeten Reinzinkelektrolyten scheidet sich das Zink je Zelle lagenweise auf dem Stahlband ab, während sich an der Titananode Sauerstoff entwickelt. Bei Verwendung löslicher Zinkanoden ist die Anodenreaktion die Zinkauflösung. Diese liefert direkt die erforderlichen Zinkionen in den Elektrolyten nach, während sie bei unlöslichen Anoden in einer separaten Zinklösestation unter Verbrauch der während der Zinkabscheidung entstandenen Schwefelsäure erfolgt. Die Stromdichten für die elektrolytische Abscheidung liegen in der Größenordnung von 100 A/dm^2 , die erforderliche elektrische Anschlussleistung einer modernen Verzinkungsanlage liegt über 10 MW. Durch Variation der Stromdichte und der Bandgeschwindigkeit wird die Beschichtungsdicke typischerweise zwischen $2,5$ und $10 \mu\text{m}$ – ein- oder beidseitig beschichtet – eingestellt. Die Zinkschicht bildet das durch Dressieren am Stahlband eingestellte Rauheitsprofil weitgehend ab. Verzinkungsleistungen von ca. 50 t Stahlband pro Stunde (350.000 – 400.000 jato), entsprechend ca. 20.000 m² beschichteter Oberfläche, sind heute Stand der Technik. Neben den gebräuchlichen Reinzinküberzügen (Bezeichnung ZE) sind für Spezialfälle auch noch Zink-Nickel (ZN) und gelegentlich Zink-Eisen-Legierungsüberzüge im Einsatz.

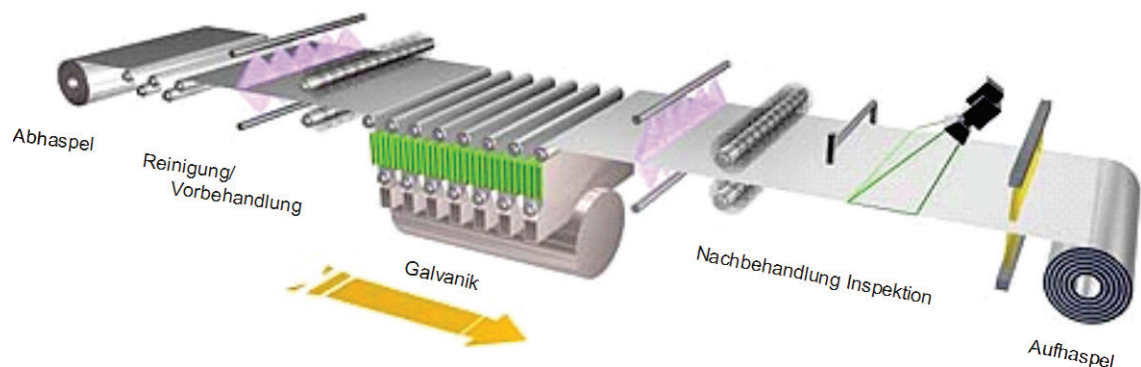


Bild 5 Anlagenschema Elektrolytische Bandbeschichtung

2.2.3 Elektrolytisch verzinktes Feinblech (ZE)

ist ein hochwertiges Feinblech mit einem festhaftenden Reinzinküberzug. Es zeichnet sich durch seine über Bandbreite und –länge gleichmäßigen hervorragenden Oberflächeneigenschaften aus und ist damit für den Korrosionsschutz bei hohen Oberflächenanforderungen wie an Sichtflächen z.B. bei Automobilaußenteilen, Hausgeräten, oder in der Elektroindustrie besonders gut geeignet.

Die mechanischen Eigenschaften sowie die Oberflächenrauheit werden im Kaltwalzwerk vor dem elektrolytischen Beschichten beim rekristallisierendem Glühen und anschließendem Nachwalzen (Dressieren) eingestellt und während des Beschichtens nicht mehr wesentlich verändert. Ein besonderer Vorteil für höchste Oberflächenansprüche ist dadurch gegeben, dass das kaltgewalzte Band vor dem Beschichten vorinspiziert und vorselektiert werden kann. Elektrolytisch verzinktes Feinblech ist in fast allen Stahlsorten von den weichen, gut umformbaren bis zu den höher- und hochfesten Stählen und darüber hinaus nach Vereinbarung mit den Stahlherstellern lieferbar.

Gemäß DIN EN 10152 wird die Nennauflage gewöhnlich mit $10 \mu\text{m}$ je Seite angegeben, z.B. bezeichnet ZE 50/50 beidseitig elektrolytisch verzinktes Feinblech mit je $5,0 \mu\text{m}$ Zinkschichtdicke pro Seite, wobei $1 \mu\text{m}$ Schichtdicke einer Auflagenmasse von $7,14 \text{ g Zink je m}^2$ entspricht. Neben den Nennzinkauflagen sind in DIN EN 10152 ebenso die lieferbaren Oberflächenarten A (früher 03), bevorzugt für nicht sichtbare Flächen, und B (früher 05), für Sichtflächen, beschrieben.

Zur Optimierung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften sind verschiedene Oberflächenbehandlungen nach DIN EN 10152 erhältlich. So bringt z.B. eine dünne Phosphatschicht von ca. $1,5 \text{ g/m}^2$ - neben einer Verbesserung des temporären Korrosionsschutzes gegen Weißrost - eine verbesserte Umformbarkeit durch Reduzierung des Reibwertes sowie eine ausgezeichnete direkte Lackierbarkeit (ohne weitere Vorbehandlungsmaßnahmen vor dem Lackieren). Zur Reduzierung des Reibwertes und der Verbesserung des Umformvermögens sind neben der normalen Beölung mit Korrosionsschutzölen vor allem spezielle wachshaltige Öle wie Prelubes oder Hotmelts im Einsatz. Die Abmessungs- und Formtoleranzen sind DIN EN 10131 und den speziellen Lieferbedingungen der Stahlhersteller zu entnehmen. Ebenso sind die Hinweise und Fragen für Verarbeitung und Anwendung sowie über Spezialbeschichtungen und Nachbehandlungen den Links der einzelnen Hersteller in Deutschland und Österreich zu entnehmen (www.stahldat.de).

2.3 Schmelztauchbeschichtungen

2.3.1 Kurzfassung

Auch dieser Prozess ist vollkontinuierlich. Im Gegensatz zum elektrolytischen Verfahren handelt es sich hier um eine Kombination mehrerer Herstellungsschritte (rekristallisierendes Glühen, Beschichten und Dressieren) in einer Anlage. Die Beschichtung erfolgt dadurch, dass das gewalzte Band in einem Durchlaufofen rekristallisierend gegläht und anschließend durch das schmelzflüssige Beschichtungsbad geführt wird. Die individuell einstellbaren Schichtdicken liegen typischerweise zwischen 7 und $20 \mu\text{m}$ (z.B. Z100, Gesamtauflagegewicht 100 g/m^2 entsprechend ca. $7 \mu\text{m}$ je Seite), eine einseitige Beschichtung wie beim elektrolytischen Verzinken ist nicht möglich, jedoch in Grenzen unterschiedliche Dicken je Seite.

Neben dem Reinzinküberzug (Z) gibt es Zink-Eisen- (ZF), Zink-Aluminium- (ZA), Zink-Magnesium-Aluminium- (ZM), Aluminium-Zink- (AZ) und Aluminium-Silizium- (AS) Überzüge. Diese haben jeweils unterschiedliche Eigenschaftskombinationen in Korrosions-, Umform- und Schweißverhalten, so dass gemäß den individuellen Anforderungen für den Verarbeiter eine optimale Werkstoffauswahl möglich ist. Das Feinblech ist zur Vermeidung der Weißrostbildung üblicherweise geölt, auf Wunsch zur Steigerung der Umformbarkeit mit Spezialölen. Auch eine Vorphosphatierung ist möglich, die ebenfalls die Weißrostbildung reduziert und die Umformbarkeit erhöht. Die Anwendungsbereiche sind mannigfaltig und reichen von der Automobil- über die Bau- bis zur Hausgeräteindustrie.

2.3.2 Schmelztauchbeschichtungsanlage

Unter Schmelztauchbeschichtungen versteht man hier in einem kontinuierlichen Prozess auf Stahlband - durch „Durchziehen“ in eine Metallschmelze - aufgetragene Metallüberzüge im Bereich von typischerweise zwischen 7 bis $20 \mu\text{m}$ Schichtdicke. Das heute in den modernen Beschichtungsanlagen ausschließlich verwendete Verfahren ist das Sendzimirverfahren und das wichtigste Beschichtungsmetall ist

Zink, dementsprechend sind auch die Ausdrücke **Sendzimirverzinkung**, **Feuerverzinkung** oder **Bandverzinkung** gebräuchlich.

Im Gegensatz zur elektrolytischen Beschichtung erfolgt die Schmelztauchbeschichtung in einer Kombinationsanlage, in dem die Prozessschritte rekristallisierendes Glühen (Einstellung der Werkstoffeigenschaften), Oberflächenbeschichtung und Dressieren zusammengefasst sind.

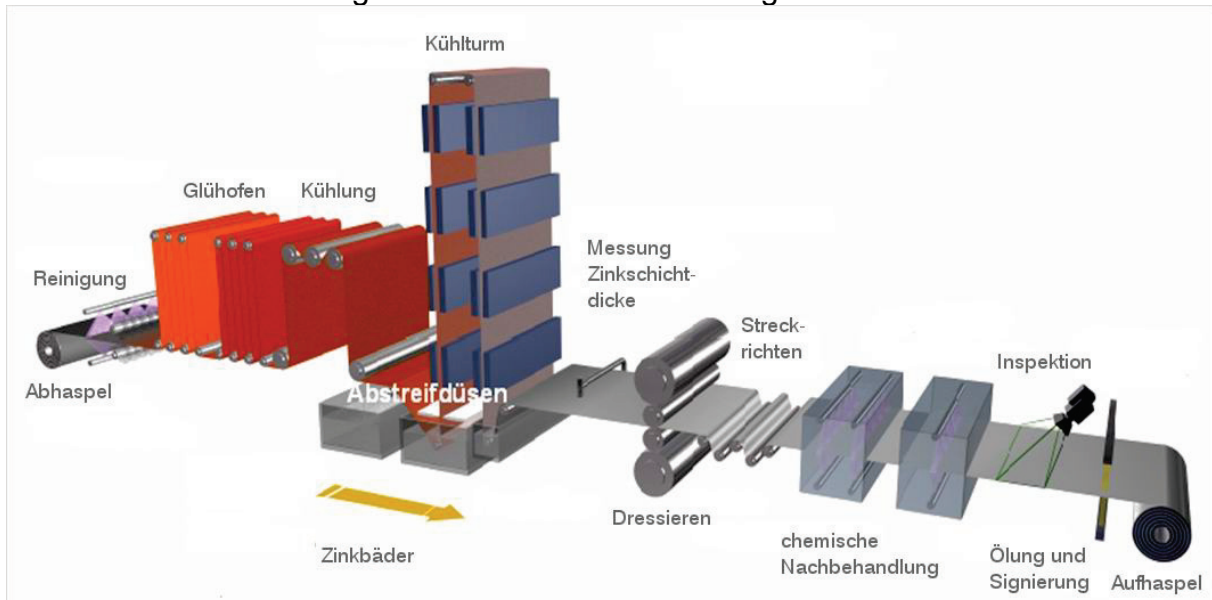


Bild 6 Anlagenschema Schmelztauchbeschichtung

In kontinuierlichen Bandverzinkungsanlagen wird das walzharte Stahlband (wie auch bei der elektrolytischen Beschichtung üblicherweise 0,4 bis 3 mm dick, 400 bis 1800 mm breit und etwa 3 km lang, zu einem Bund mit etwa 1,7 m Durchmesser aufgewickelt) vom Bund abgewickelt und zuerst in Schutzgasatmosphäre (5% Wasserstoff in Stickstoff) kontinuierlich bei etwa 800° C geglüht, damit sich die gewünschten mechanischen Eigenschaften des Stahls durch Rekristallisation einstellen. Nach dem definierten Abkühlen des Bandes mit rückgekühltem Schutzgas auf Badtemperatur (ca. 450 – 470° C) tritt das Stahlband schräg nach unten durch den sogenannten Rüssel in die Zinkbadschmelze ein (immer noch unter Schutzgas), wird im Zinkbad durch eine Rolle nach oben umgelenkt und verlässt nach etwa 3 s senkrecht nach oben das Zinkbad wieder (ab jetzt an Luft). Mit Hilfe spezieller Abblasdüsen (air knives) wird das mitgeschleppte, flüssige Zink mit Luft oder Stickstoff auf die gewünschte Zink-Schichtdicke abgestreift. Danach wird das verzinkte Stahlband durch Jetkühler mit Luft abgekühlt, wobei das noch flüssige Zink auf der Bandoberfläche erstarrt. Das so verzinkte Stahlband wird noch in der Feuerverzinkungsanlage nachgewalzt (dressiert) und eventuell chemisch nachbehandelt (Phosphatiert, Passiviert). Danach wird das Band wieder zu einem Bund (Coil) aufgewickelt.

Die Bandgeschwindigkeiten in kontinuierlichen Feuerverzinkungsanlagen liegen je nach Banddicke bei bis zu 200 m/min., somit erreichen Feuerverzinkungsanlagen eine Tonnenleistung von bis zu 2000 t verzinktem Stahlband pro Tag. Vom Aufheizen des Bandes bis zum Eintauchen des Bandes in das flüssige Zink muss darauf geachtet werden, dass nicht die geringsten Spuren von Sauerstoff auf das Stahlband gelangen, ansonsten benetzt das Zink die Stahloberfläche nicht und ein einwandfreies Verzinken ist nicht mehr möglich (Zink perlt ab). Stahlbänder können in so guter Oberflächenqualität feuerverzinkt werden, dass diese – ähnlich den

elektrolytisch verzinkten Stahlbändern - auch in Automobilen für Aussenhautteile (Dach, Kotflügel,...) und Innenteile eingesetzt werden.

Herkömmliche Zinkbäder für die kontinuierliche Bandverzinkung enthalten (neben dem Zink) noch etwa 0,2% Aluminium. Durch chemische Reaktion zwischen dem Stahl und dem flüssigen Zink entsteht an der Phasengrenze Fe/Zn eine dünne Sperrschicht der intermetallischen Phase Fe_2Al_5 , welche die Ausbildung von ZnFe-Phasen zwischen Stahl und Zinkschicht unterbindet. ZnFe-Phasen sind spröde und würden beim Umformen des verzinkten Blechs zu einem Bauteil brechen, der Zinküberzug würde die Haftung verlieren und sich ablösen.

- Neben den gebräuchlichsten Reinzinküberzügen (Z), mit ca. 0,5% Al in der Schicht (durch Anreicherung), gibt es noch folgende für Spezialanwendungen gebräuchliche Zinklegierungsüberzüge:
 - Zink - 5% Aluminium (ZA), Galfan[®] (Galvanised Fantastique)
 - Zink 92% - Magnesium, Aluminium (ZM)
 - Zink – 55% Aluminium (AZ), Galvalume[®] (Galvanised and Aluminised)
 - Zink – 10% Eisen (ZF), Galvannealed (galvanised u. annealed)

Weiterhin sind großtechnisch auch Aluminiumüberzüge (AS) mit typischerweise 10% Silicium und Zink – Eisenüberzüge (FZ) mit über 50 % Eisen bei pressgehärtetem Stahl im Einsatz.

2.4 Feuerverzinktes Feinblech (Z)

ist ein Qualitätsfeinblech, das durch einen dichten, gleichmäßigen und festhaftenden Zinküberzug dauerhaft gegen Korrosion schützt. Durch die Kombination der Rekristallisationsglühung und der Verzinkung in einem integrierten Prozess bietet es eine sehr wirtschaftliche Lösung für die Oberflächenveredelung von Feinblechen. Die hervorragenden Eigenschaften machen eine Eignung für den Einsatz bei Automobilaußen- und innenteilen möglich. Darüber hinaus findet es große Anwendungen in den klassischen Bereichen wie Bauindustrie und Bauindustrierausrüstung sowie auch für die Hausgeräteindustrie.

Feuerverzinktes Feinblech ist in den verschiedensten Stahlsorten von den weichen, gut umformbaren bis zu den höher- und hochfesten Stählen gemäß den Normen DIN EN 10326, DIN EN 10327, DIN EN 10292 und darüber hinaus nach Vereinbarungen mit den Stahlherstellern lieferbar. Die Zinkauflage gemäß DIN EN 10326 wird als Summe der Auflagen beider Seiten in g/m^2 angegeben. So bedeutet z.B. die Zinkauflage $100 g/m^2$ (Z 100) bei Umrechnung mit der Zinkdichte von $7,14 g/cm^3$ eine Schichtdicke von ca. $7,0 \mu m$ je Seite. Neben den Auflagen und Auflagetoleranzen sind in den oben genannten Normen die Oberflächenausführungen übliche Zinkblume N und kleine Zinkblume M sowie die Oberflächenarten übliche Oberfläche A (nicht dressiert), verbesserte Oberfläche B und beste Oberfläche C für Sichtflächen, wie sie für Automobilaußenteile erforderlich ist, beschrieben.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die von den Dachrinnen oder stückverzinkten Teilen her bekannten „Zinkblumen“, die durch geringste Beimengungen von Blei oder Antimon im Zinkbad herrühren, heute nur mehr in Ausnahmefällen geliefert werden.

Zur Optimierung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften sind verschiedene Oberflächenbehandlungen nach DIN EN 10326 erhältlich. So bietet z.B. eine dünne Phosphatschicht von ca. 1,5 g/m² neben einer Verbesserung des temporären Korrosionsschutzes gegen Weißrost eine verbesserte Umformbarkeit durch Reduzierung des Reibwertes sowie eine ausgezeichnete direkte Lackierbarkeit (ohne weitere Vorbehandlungsmaßnahmen vor dem Lackieren). Neben der [Phosphatierung](#) sind auch die chemische Passivierung – heute schon überwiegend CrVI-frei – und die Versiegelung mittels transparenter organischer Lackfilme von ca. 1-2 g/m² lieferbar. Beides bietet einen guten Schutz gegenüber Weißrost. Weiters weist die Versiegelung einen Schutz gegenüber Fingerabdrücken sowie eine Umformhilfe durch Reduzierung des Reibwertes auf. Auch als Haftgrund für nachfolgende Lackierungen sind diese Oberflächenbehandlungen geeignet. Zur Reduzierung des Reibwertes und zur Verbesserung des Umformvermögens sind neben der normalen Beölung mit Korrosionsschutzölen vor allem spezielle wachshaltige Öle wie Prelubes oder Hotmelts im Einsatz. Die Abmessungs- und Formtoleranzen sind DIN EN 10143 und den speziellen Lieferbedingungen der Stahlhersteller zu entnehmen.

2.5 Zink-Aluminium-beschichtetes Feinblech Galfan® (ZA)

weist sehr ähnliche Merkmale wie feuerverzinktes Feinblech auf. Es hat jedoch Infolge des erhöhten Aluminiumgehaltes im Überzug (ca. 5%) eine höhere Korrosionsbeständigkeit und eignet sich damit besonders für Anwendungen im unlackierten, metallisch blanken Einsatz wie beispielsweise für Elektromotorengehäuse, Befestigungselemente, Ölfiltergehäuse oder im Scheinwerferbereich. Außerdem besitzt Galfan ein ausgezeichnetes Umformvermögen wodurch es sich für komplexe Teile mit engen Biegeradien, wie sie z.B. in komplizierten Profilen vorkommen, hervorragend eignet. Die lieferbaren Auflagen (g/m²) in Abhängigkeit von Stahlsorte, Bandquerschnitt, Oberflächenarten und Oberflächenbehandlungen sind den speziellen Lieferbedingungen der Stahlhersteller bzw. auch den einschlägigen Normen (z.B. DIN EN 10327) zu entnehmen.

Eine weitere Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit bei Einsatz im unlackierten Zustand besitzt

2.6 Aluminium-Zink beschichtetes Feinblech Galvalume® (AZ)

mit einem Aluminiumgehalt von 55% im Überzug, allerdings unter Einbuße an kathodischer Schutzwirkung im Vergleich zu Reinzinküberzügen oder Galfan. Es eignet sich daher besonders dort, wo die hohe Barrierewirkung des Überzugs zum Tragen kommt, wie z.B. bei Dächern oder Fassaden und besonders bei unlackiertem Einsatz. Ebenso weist Galvalume eine deutlich erhöhte Wärmebeständigkeit bis über 300° C auf, so dass es z.B. für den Einsatz in Auspuff- bzw. Abgassystemen oder für Warmhalteplatten gut geeignet ist. Die technischen Lieferbedingungen, Grenzabmessungen und Formtoleranzen sind den Normen DIN EN 10215 und DIN EN 10143, sowie den speziellen Lieferbedingungen der Stahlhersteller zu entnehmen.

2.7 Feuerverzinktes Feinblech Galvannealed (ZF)

ist eine spezielle Zinklegierungsvariante Zink-Eisen mit einem Eisengehalt von 8 bis 11% für die Automobilindustrie. Sie wird hergestellt indem der Zinküberzug durch eine gezielte [Wärmebehandlung](#) im Galvannealingteil der Bandverzinkungsanlage - hinter dem Zinkbad unmittelbar nach den Abstreifdüsen - über [Interdiffusion](#) von Zink

und Eisen in einen ZnFe-Legierungsüberzug mit definierter Phasenzusammensetzung und [Mikrostruktur](#) umgewandelt wird. Das Ergebnis ist ein im Vergleich zu Zink härterer Überzug mit gleichmäßiger, feinkörniger [Kristallstruktur](#) und sehr hoher Oberflächenqualität. Der Überzug zeichnet sich durch hohe Korrosionsbeständigkeit und infolge des höheren [Schmelzpunktes](#) der ZnFe-Phasen durch eine im Vergleich zu Reinzink- und ZnAl-Überzügen bessere Schweißseignung aus. Das Umformvermögen von Feinblech Galvannealed ist bei entsprechender Bauteilauslegung und Anpassung der [Presswerkzeuge](#) dem von feuerverzinkten Feinblech vergleichbar, so dass Automobilaußen- und innenteile problemlos hergestellt werden können. Ebenso bildet es einen idealen Untergrund für die Lackierung, besonders auch in Anwendungen ohne spezielle chemische Vorbehandlung wie z.B. bei Türzargen (Direktlackierbarkeit).

Feuerverzinktes Feinblech Galvannealed ist in den verschiedenen Stahlsorten von den weichen, gut umformbaren (DIN EN 10327) bis zu den höher- und hochfesten Stählen gemäß DIN EN 10292 bzw. DIN EN 10336) und den Abmessungs- und Formtoleranzen nach DIN EN 10143 sowie darüber hinaus nach den speziellen Vereinbarungen mit den Stahlherstellern lieferbar. Die Schichtdicke errechnet sich vergleichbar den Zinküberzügen aus der ZnFe-Auflage (g/m^2), übliche Auflagen sind 100 und 120 g/m^2 (7 bzw. 8 μm je Seite).

Die Oberflächenausführung R ist mattgrau und blumenfrei und die Oberflächenarten B (verbesserte Oberfläche) und C (beste Oberfläche) werden durch Dressieren erzielt. Ebenso wie bei feuerverzinktem Feinblech sind zur Optimierung der Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften ähnliche Oberflächenbehandlungen erhältlich.

2.8 Feualuminiertes Feinblech (AS)

mit typischerweise 10% Silizium im Aluminium ist ein weiterer Schmelztauchüberzug mit großtechnischer Anwendung. Es zeichnet sich durch eine hohe Barrierschutzwirkung und vor allem hervorragende Wärmebeständigkeit aus, weist aber an Verletzungen der Schicht (Schnittkanten, Bohrungen etc.) keine kathodische Schutzwirkung auf. Es eignet sich hervorragend für Anwendung bei höheren Temperaturen wie in Auspuffbereichen oder für Hitzeschilder oder für wärme-führende Geräte in der Haushaltsindustrie. Darüber hinaus ist feualuminiertes Feinblech aufgrund der erstklassigen Kraftstoffbeständigkeit ideal für Benzintanks.

Feualuminiertes Feinblech ist in verschiedenen Sorten der Tiefziehstähle und für die warmumformhärtenden Mangan-Bor-Stähle (Typ 22MnB5) lieferbar. Details über lieferbare Stahlgüten, Überzugsauflagen, Oberflächenarten, Oberflächenbehandlungen, Abmessungs- und Formtoleranzen sind den einschlägigen Normen z.B. DIN EN 10327 und DIN EN 10143 sowie den speziellen Lieferbedingungen der Stahllieferanten zu entnehmen.

2.9 Hinweise für Anwendung und Verarbeitung metallisch beschichteter Feinbleche

Durch die metallische Beschichtung wird das Umformpotential der jeweiligen Stahlgüte nicht grundsätzlich verändert, jedoch ist eine Anpassung des realen Umformprozesses auf die jeweilige Beschichtung erforderlich.

So ist das **Umformen** mit allen im Feinblechbereich bekannten Formgebungsverfahren möglich, wenn Werkzeuggeometrie und –oberfläche auf diese Werkstoffe abgestimmt werden. Die metallische Beschichtung von Feinblech in Verbindung mit der Oberflächentopographie und vor allem der chemischen Oberflächenbehandlung

hat einen entscheidenden Einfluss auf die [Tribologie](#) des Umformprozesses. Dementsprechend muss im [Presswerk](#) auf die geänderte Reibzahl mittels Platinenzuschnitt, [Niederhalterkräften](#) und angepasster [Ziehleistengeometrie](#) reagiert werden, um das Einlaufverhalten des Materials im Flanschbereich entsprechend anzupassen.

Ebenso muss ein gewisser Abrieb im Werkzeug in Abhängigkeit von dessen Beschichtung beachtet werden und zu dessen weitgehender Vermeidung auf eine riefenfreie Werkzeugoberfläche geachtet werden.

Das [Fügen](#) metallisch beschichteter Feinbleche ist grundsätzlich mit allen thermischen (unterschiedliche Schweißverfahren), chemischen (Kleben) und mechanischen ([Clinchen](#), [Nieten](#)) Fügeverfahren möglich. Obwohl oberflächenschonende, d.h. die korrosionsschützenden Eigenschaften des Überzugs weitgehend erhaltende Fügeverfahren wie Clinchen und Kleben an Bedeutung gewinnen, sind das Widerstands-, Schutzgas- und [Laserstrahlschweißen](#) noch immer die am häufigsten angewandten Fügeverfahren. Als Punkt-, Buckel- und [Rollnahtschweißen](#) hat sich dabei das [Widerstandsschweißen](#) weitgehend durchgesetzt. Bei einigen dieser Fügeverfahren, insbesondere dem Widerstandsschweißen, ist allerdings bei jedem Werkstoff aufgrund seiner charakteristischen Eigenschaften eine Anpassung der Verarbeitungsparameter (Schweißstrom, Elektrodenkraft, etc.) gegenüber unverzinktem Feinblech erforderlich. Genauere Details sind den entsprechenden Datenblättern der Stahlhersteller zu entnehmen bzw. über deren anwendungstechnische Beratung zu erhalten.

2.10 Organische Beschichtung

2.10.1 Kurzfassung

Auch bei der organischen Beschichtung handelt es sich um einen vollkontinuierlichen Prozess: in einer Anlage wird nach einer chemischen Reinigung eine [Konversionsschicht](#) (< 1 µm) als Haftvermittler der Lackschicht aufgetragen (Spritz-, Tauch- oder Rollcoater-Verfahren). Das zu beschichtende Feinblech kann dabei ohne oder mit metallischem Überzug sein. Danach erfolgt die Auftragung der ersten Lackschicht, des [Primers](#) (ca. 5 µm) und dann des [Decklackes](#) (ca. 20 µm). Beide werden nach dem Walzenauftrags- oder Rollcoater-Verfahren aufgebracht, wobei nach jedem Prozessschritt eine Trocknung bei 200-250 °C erfolgt. Das bandbeschichtete Material ist gebrauchsfertig und bedarf keiner weiteren Lackierung mehr. Das bedeutet, dass die Oberflächeneigenschaften wie Farbe, Glanz oder Struktur im bestellten Endzustand für den das Bauteil geliefert werden, die Verarbeitung zum Bauteil selbst aber erst nach der Beschichtung erfolgt (finish first – fabricate later). Das beschichtete Band ist unter Anpassung der Umformparameter verformbar jedoch nicht schweißgeeignet. Es wird hauptsächlich angewendet in der Bau-, Hausgeräte-(Weiße Ware), und Phono-/Computerindustrie (Braune Ware). Weiters wird verzinktes Blech beschichtet mit einem schweißgeeigneten, einige µm dünnen Korrosionsschutzprimer in der Automobilindustrie zur Erhöhung des Korrosionsschutzes in Flanschen und Hohlräumen eingesetzt.

2.10.2 Bandbeschichtungsanlage

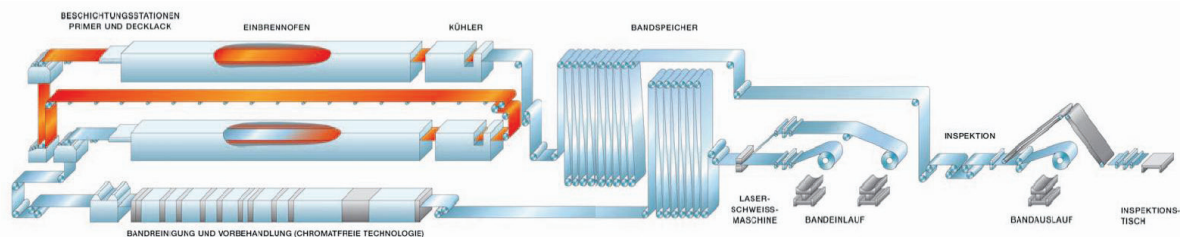


Bild 7 Anlagenschema 2.10.2. Bandbeschichtung

Die Technologie der Bandbeschichtung (auch Coil Coating oder Bandlackierung) der heutigen, modernen Anlagen erfolgt überwiegend nach dem Rollcoaterverfahren (Walzenauftragsverfahren). Als Einsatzmaterial wird zumeist schmelztauchbeschichtetes oder elektrolytisch verzinktes Stahlband - für gewisse Anwendungen auch unverzinktes Stahlband - verwendet. Ähnlich allen Bandbehandlungsverfahren wird das Band nach einer chemischen Reinigung in einer - in vielen Fällen bereits chromatfreien - chemischen Vorbehandlung im Tauch-/Spritz- oder Rollcoaterverfahren mit einer nur wenige 100 nm dicken Konversionsschicht versehen. Diese Schicht stellt den Haftvermittler zwischen dem zumeist verzinkten Stahlband und der ersten Lackschicht, dem so genannten Primer, dar. Der Primer (ca. 5 μm) gewährleistet den Korrosionsschutz und wird wie die farbgebende Decklackschicht (ca. 20 μm) durch einen Rollcoater mittels Beschichtungswalzen in hoher Gleichmäßigkeit über Bandbreite und -länge (μm -Bereich) praktisch verlustfrei aufgetragen. Nach jedem Beschichtungsschritt wird die jeweilige Lackschicht in einem horizontalen Ofen (Durchhangofen, Schwebetrocknenofen) auf Temperaturen zwischen etwa 200°C und 250°C aufgeheizt und erreicht dabei den erforderlichen Vernetzungszustand. Die dabei entstehenden Lösungsmittelmengen werden in einer Abluftreinigungsanlage verbrannt und liefern gleichzeitig Energie zum Beheizen der Öfen. Damit stellt diese Coil-Coating-Technologie eine sehr umweltfreundliche und wirtschaftliche Beschichtungsmöglichkeit dar, mit der pro Stunde bis zu 10.000 m² Band beidseitig lackiert werden können. Eine zusätzliche Möglichkeit bietet das Kaschieren mit Folien, sei es mit abziehbaren Schutzfolien oder mit dauerhaft verklebten Dekorfolien.

2.10.3 Organisch beschichtetes Feinblech

ist ein qualitativ hochwertiger Verbundwerkstoff aus meist verzinktem Stahlblech in höchster Oberflächenqualität mit farbigen, organischen Beschichtungen und stellt den gebrauchsfertigen Endzustand der Oberfläche am Bauteil dar. Es zeichnet sich durch eine Fülle funktionaler (Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften wie Haftung der Beschichtung bei mechanischer Bearbeitung und Umformung, Beständigkeit gegenüber korrosiven Medien sowie gegenüber Wärme und Abrieb, etc.) sowie dekorativer Eigenschaften (Farbe, Glanz, Oberflächenstruktur etc.) aus. In der **Bauindustrie** wird organisch bandbeschichtetes Feinblech im Architekturbereich vor allem für Sandwichpaneele, Dach- und Wandelemente (Trapezprofile) sowie Bauteile für den Innenausbau (Trennwände, Deckenelemente) eingesetzt. Ebenso erfolgt der Einsatz in der **Hausgeräteindustrie** für die so genannte „**weiße Ware**“ (Kühlschränke, Geschirrspüler, Waschmaschinen). Der in der Hausgeräteindustrie oftmals gewünschte Orangenhauteffekt, ähnlich einer pulver-

beschichteten oder emaillierten Oberfläche, wird durch eine strukturierte Primerschicht nachgestellt. Weitere klassische Anwender sind die Eisen-, Blech- und Metallverarbeitende (EBM) –Industrie, die Leuchtenindustrie und die Verpackungsindustrie.

Eine Abstimmung der Stahlgüte mit dem Beschichtungsaufbau auf das erforderliche Anforderungsprofil (Farbe, Struktur, Bewitterungsbeständigkeit, Umformbeanspruchung, etc.) des Kunden ist unbedingt erforderlich.

Die lieferbaren Beschichtungen sind den entsprechenden Normen DIN EN 10169/ Teil 1-3 und den Datenblättern der Stahlhersteller zu entnehmen, bzw. nach speziellen Vereinbarung mit den Stahllieferanten. Tabelle 1 gibt einen Überblick der gebräuchlichsten Beschichtungsstoffe und Schichtdickenbereiche in Anlehnung an DIN EN 10169-1.

Beschichtungstoff ¹⁾	Kurz-Zeichen ²⁾	Üblicher Bereich der Gesamtschichtdicke ³⁾ µm	Übliche Gesamtschichtdicke ^{3), 4)} µm
1. Flüssigbeschichtung⁵⁾			
1.1 Allgemeine Systeme			
Acrylat	AY	5 – 25	–
Epoxid	EP	3 – 20	10
Polyester ⁶⁾	SP	5 – 60	25
Silikon-modifizierter Polyester	SP-SI	15 – 40	25
Polyamid-modifizierter Polyester	SP-PA	15 – 50	25
Polyester mit hoher Dauerbeständigkeit (High-durable polymers)	HDP	25 – 60	25
Polyamid-modifizierter Polyester mit hoher Dauerbeständigkeit	HDP-PA	15 – 50	–
Polyurethan ⁸⁾	PU	10 – 60	25
Polyamid-modifiziertes Polyurethan	PU-PA	10 – 50	25
Polyvinylidenfluorid	PVDF	20 – 60	25
Polyvinylchlorid – Plastisol ⁹⁾	PVC(P)	40 – 200 ¹⁰⁾	100 – 200 ¹⁰⁾
1.2 Spezielle Systeme⁷⁾			
Spezialhalvermittler	SA	5 – 15	–
Schweißgeeignete			
Zinkstaubgründierung ¹¹⁾	ZP	2 – 7	–
Schweißgeeignete Grundierung mit leitenden Pigmenten außer Zink ¹¹⁾	CP	1 – 15	–
Wärmebeständiges Anithalssystem	HRNS	5 – 15	8
2. Folienbeschichtung⁹⁾			
Polyvinylchlorid ⁹⁾	PVC(F)	50 – 800 ¹⁰⁾	100 – 200 ¹⁰⁾
Polyvinylfluorid	PVF(F)	38	38
Polyethylen	PE(F) ¹²⁾	50 – 300	100 – 150
Polypropylen	PP(F) ¹²⁾	30 – 300	–
Polyethylenterephthalat	PET(F) ¹²⁾	15 – 150	–
Kondenswasserabsorbierendes System – Faservlies aus Polyester-Zellulose	CA(F)	> 300	370

¹⁾ Bei den Beschichtungsstoffen nach 1.1 und 2 handelt es sich im Allgemeinen um die Nennung des typischen kennzeichnenden Kunstharzes bzw. Kunststoffes ohne Berücksichtigung von Copolymeren bzw. Polymergemischen.

²⁾ Die Kurzzeichen wurden entsprechend denen nach DIN EN 10169-1 bzw. sinngemäß gewählt.

³⁾ Ohne Berücksichtigung zusätzlicher temporärer Schutzfolien

⁴⁾ Übliche Nennschichtdicke, falls bei der Bestellung nicht anders vereinbart

⁵⁾ Die Beschichtungen mit Schichtdicken von 15 µm und darüber werden üblicherweise als Zweischichtensysteme (Grund- und Deckbeschichtung) aufgebracht, wobei deren Art und Zusammensetzung unterschiedlich sein können.

⁶⁾ Auch in geprägter oder texturierter Form erhältlich

⁷⁾ Bei den Beschichtungsstoffen nach 1.2 musste auf die Nennung des typischen Kunstharzes einschließlich seines zugehörigen Kurzzeichens verzichtet werden, da hier die funktionelle Wirkung in den Vordergrund tritt. Die hier aufgeführten Kurzzeichen, die bisher nicht genannt sind, haben eine Beziehung zur Funktion.

⁸⁾ Ohne Klebfilmstärke, die etwa 10 µm beträgt

⁹⁾ Erhältlich in einfarbiger oder bedruckter sowie geprägter Form

¹⁰⁾ Bei Beschichtung mit PVC-Folien oder PVC-Plastisol handelt es sich um die Schichtdicke einschließlich einer eventuellen Prägung, d.h. um die „Mikrometerdicke“.

¹¹⁾ Die Systeme CP und ZP werden nach heutigem Sprachgebrauch als „schweißgeeignete Korrosionsschutzprimer“ bezeichnet.

¹²⁾ Kombinationen aus einem zweischichtigen Lackaufbau mit einer PE-, PP- oder PET-Folie bezeichnet man als Colaminat.

Tabelle 1: Zusammenstellung der gebräuchlichsten Beschichtungsstoffe und Schichtdickenbereiche in Anlehnung an DIN EN 10169-1

Während die klassischen Anwendungsbereiche in der Bau- und Hausgeräteindustrie durch innovative Entwicklungen wie schmutzabweisende Oberflächen (Antigraffiti

irisierende Oberflächen) oder verbesserte Kratzfestigkeit ständig erweitert werden, finden auch zunehmend Anwendungen in der **Automobilindustrie** statt.

Dies vor allem durch die Entwicklung von **schweißgeeigneten Korrosionsschutzprimern** zur Unterstützung der Korrosionsschutzsysteme in Hohlräumen und Flanschverbindungen der Karosserie und damit dem Erreichen der von den Herstellern gewährten hohen Korrosionsschutzgarantien. Dabei handelt es sich um ein- oder beidseitig elektrolytisch verzinkte Feibleche (ZE) die ein- oder beidseitig chemisch vorbehandelt und organisch beschichtet werden.

Korrosionsschutzprimer sind zinkstaubpigmentierte Beschichtungen mit guter Schweißbeignung und der Erfüllung aller weiteren Anforderungen an die Verarbeitungseigenschaften für den Karosseriebau. Das Umform- und Klebeverhalten wird durch die organische Beschichtung in der Regel positiv beeinflusst. Die sogenannte 1. Generation der Korrosionsschutzprimer mit einer Beschichtungsdicke von 2,5 bis 4 µm bringt in beschleunigten Korrosionstests eine

3- bis 4-fache Verbesserung der Barrierewirkung gegenüber den gängigen Zinkschichtdicken von 5 – 7,5 µm und die 2. Generation eine 6- bis 8-fache Verbesserung. Korrosionsschutzprimer sind heute ausschließlich chromatfrei und erfüllen damit die Anforderungen der Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge. Nähere Details sind dem Merkblatt 122 des Stahl-Informationszentrums „Stahlfeinbleche mit schweißgeeignetem Korrosionsschutzprimer für den Einsatz in der Automobilindustrie“ sowie den Lieferbedingungen und Informationen der Stahlhersteller zu entnehmen.

2.11 Entwicklungstendenzen

2.11.1 Kurzfassung

Entwicklungsschwerpunkte sind

- die Sicherstellung der Verzinkbarkeit bei den höher- und hochfesten Stählen im Schmelztauchprozess;
- Erhöhung des aktiven und passiven Korrosionsschutzes durch sowohl neuartige metallische Überzüge (neue [Legierungen](#), neue und weiterentwickelte Verfahren) als auch durch neue aktive Korrosionsschutzsysteme (z.B. Einlagerung von [Nanokapseln](#) mit Korrosionsschutzinhibitoren);
- Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften insbesondere der Schweißseignung für das Laserstrahl- und Widerstandsschweißen;
- Beschichtungen für warmumformbare Stähle zum Schutz vor Oxidation während des Warmumformprozesses und gegenüber Korrosion am fertigen Bauteil;
- bei organisch beschichtetem Feinblech selbstreinigende, antibakterielle Beschichtungen, Beschichtungen mit speziellen optischen Effekten (irisierende Decklacke), Antifingerprint- und Antigraffiti sowie kratzfesten Beschichtungen;
- Weiterentwicklung der Korrosionsschutzprimer hinsichtlich optimalem, bauteilgerechten Korrosionsschutz bei weiter verbesserten Verarbeitungseigenschaften, insbesondere der Schweißseignung;
- Entwicklungen zum vermehrten Einsatz von bandlackierten – vorgrundiert und/oder vorgefüllert – Feinblechen im Karosseriebau, gemeinsam mit Automobil- und Automobilzulieferfirmen.

2.11.2 Detaillierte Betrachtung

Die Entwicklungstendenzen bei metallisch beschichteten Feinblechen verlaufen in zwei Richtungen. Ein Schwerpunkt ist die Sicherstellung der Verzinkbarkeit (Z, ZF) der gesamten Palette an hochfesten Stahlgütern wie TRIP-, DP-, CP- oder anderer neuer Güten im Schmelztauchprozess. Ziel dieser Entwicklungen ist eine exzellente Schichthaftung bei bestem Oberflächenaussehen und hoher Gleichmäßigkeit über Bandlänge und –breite durch Optimierung von Legierungsdesign und prozesstechnischen Maßnahmen im Verzinkungsprozess unter Sicherstellung der mechanischen Eigenschaften.

Ein anderer Schwerpunkt ist eine Erhöhung der aktiven und passiven Korrosionsschutzwirkung der Zink- und Zinklegierungsüberzüge. Ziel dieser Entwicklungen ist einerseits eine Reduktion der Schichtdicke bei zumindest gleichwertigem Korrosionsschutz mit einer Verbesserung der

Verarbeitungseigenschaften, insbesondere für das Laserstrahlschweißen mit geringsten Spaltabständen wie bei Stoßnähten im Karosseriebau, aber auch zur Ressourcenschonung (Reduktion Zn-Verbrauch). Dem Vorteil der exzellenten kathodischen Schutzwirkung des Zinks steht sein Nachteil einer starken Aufzehrung an den zu schützenden Schnittflächen, Bohrungen oder Verletzungsstellen des Zinks gegenüber. Dementsprechendes Entwicklungsziel ist eine Erhöhung der Standzeit des aktiven Korrosionsschutzes bei vergleichbarer oder geringerer Überzugsdicke. Beide Entwicklungsziele – aktiver und passiver Korrosionsschutz – können entweder durch legierungstechnische Maßnahmen wie durch ZnMg-, ZnMgAl- oder andere Zn-Legierungsüberzüge oder durch den Einbau von in Nanokapseln deponierten [Korrosionsinhibitoren](#) in den elektrolytisch abgeschiedenen Zinküberzug erreicht werden. Während letzteres derzeit noch in der Laborentwicklung steckt, werden alternative Zinklegierungsüberzüge schon großtechnisch eingesetzt. ZnMg- oder ZnMgAl-Überzüge können im Schmelztauchprozess, nach geringfügigen Modifikationen der bestehenden Bandbeschichtungsanlage, auf das Stahlband aufgebracht werden. Es erfordert jedoch weitere intensive Entwicklungsarbeit damit diese Überzüge in den heutigen Zink- und Zinklegierungsüberzügen vergleichbaren Oberflächenqualitäten kommerziell verfügbar sind.

Aber auch neue Prozesse wie die Vakuumbedampfung – auch [PVD](#) (Physical Vapour Deposition) genannt – sind dazu geeignet Lösungen zu bieten. Eine interessante Variante ist die Vakuumbedampfung von elektrolytisch verzinktem Stahlband mit Magnesium und darauf folgender Diffusionswärmebehandlung unter Reaktion zur ZnMg-Schicht.

Der PVD-Prozess hat grundsätzlich das Potenzial zur Erzeugung vielfältigster Überzüge mit maßgeschneiderten, funktionalen Oberflächeneigenschaften (optische Eigenschaften, magnetische Eigenschaften, etc.), jedoch erfordert eine wirtschaftliche, großtechnische Umsetzung der Bandbedampfung noch intensive Entwicklungsarbeit.

Weitere aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der metallisch beschichteten Feinbleche sind Aluminium- oder Zink-Überzüge auf warmumformbaren, aushärtenden Mangan-Bor-Stählen (Typ 22MnB5), geeignet zur Erzeugung von – komplexen - Sicherheitsteilen in der Automobilkarosserie. Die metallischen Überzüge schützen die Stahloberfläche sowohl vor Oxidation während des Warmumformprozesses als auch das Bauteil im Fahrzeug gegenüber Korrosion, wobei die Zinkbasisüberzüge gegenüber den Aluminiumbasisüberzügen den zusätzlichen Vorteil einer kathodischen Schutzwirkung aufweisen. Sie werden zurzeit schon im Serieneinsatz für Sicherheitsbauteile mit dem Potential einer markanten Gewichtseinsparung eingesetzt.

Die Entwicklungstendenzen bei organisch beschichteten Feinblechen sind vielfältig und von Kundenbedürfnissen sowie Kosten- und Umweltaforderungen bestimmt. Verstärktes Interesse besteht an organisch beschichteten Feinblechen mit funktionalen Oberflächeneigenschaften wie Antifingerprint, Antigraffiti, Selbstreinigung, antibakterieller Wirkung, speziellen optischen Effekten (z.B. irisierend) oder bestimmten thermischen oder mechanischen Eigenschaften.

Ein weiteres Entwicklungsziel der Stahlindustrie ist der verstärkte Einsatz von organisch beschichteten Feinblechen in der Automobilindustrie. Korrosionsschutzprimer als Bestandteil im Korrosionsschutzkonzept ist schon serienmäßig im Einsatz und Weiterentwicklungen weisen auch ein erhöhtes Einsatzpotenzial auf. Ebenso ist der Korrosionsschutzprimer auf Basis feuerverzinktes Feinblech (Z) ein weiteres Entwicklungsziel.

Eine ebenso lohnende wie schwierig umzusetzende Entwicklung sind vorlackierte Feinbleche zur Substitution der aufwändigen und kostenintensiven Lackierstufen der Automobillackierung. In umfangreichen Projekten in Europa zwischen Automobilfirmen, Lackfirmen und Stahlfirmen konnte der Ersatz der Primer- ([kathodische Tauchlackierung](#) KTL) und [Füllerschicht](#) durch ein gleichwertiges vorgrundiertes bzw. vorgefüllertes Feinblech zur Serienreife entwickelt werden. Da jedoch vorlackierte Feinbleche nicht mehr schweißgeeignet sind, müsste es für einen Einsatz im Karosseriebau zu einer kompletten Änderung in der Fügetechnik – durch mechanisches Fügen und Kleben – und einer verstärkten Modulbauweise kommen. Triebkraft solcher tiefgreifenden, technologischen Änderungen im Karosseriebau können beispielsweise ökologische aber vor allem Kostengründe sein. Die hohen Anforderungen des zusätzlichen Ersatzes auch der Decklackschicht (Spritzlackierung), insbesondere mit Metalleffekten, können mit dem derzeitigen Entwicklungsstand nicht erreicht werden, dazu sind noch grundlegende Entwicklungsarbeiten erforderlich.

Andere Entwicklungen befassen sich mit funktionellen Mikro- und Nanofilmen, aufgebracht auf metallisch beschichteten Stahlbändern, zur Erhöhung des temporären Korrosionsschutzes für Transport und Lagerung, zur Unterstützung des Umformvorganges durch reduzierten Reibwert im Umformwerkzeug (Fernziel trockene Umformung), geeignet als Haftschicht für Verklebungen oder nachfolgende Lackschichten. Neben den konventionellen Beschichtungstechniken werden dafür auch neue Techniken wie z.B. die [UV-Beschichtung](#), [CVD](#) (Chemical Vapour Deposition) oder [Plasmapolymerisation](#) erprobt.

Weitere generelle Entwicklungstendenzen in der Bandbeschichtungstechnik sind die Elimination gefährlicher und umweltgefährdender Substanzen (z.B. [Chromat](#)), die verstärkte Prozessführung durch Rückführung von Prozessmedien in den Prozesskreislauf, generell die Reduktion der Umweltbelastung und das Recycling von Nebenprodukten und Produkten am Ende des Lebenszyklus (Schrott, etc.).

3 Anwendung

3.1 Werkstoffauswahl

Die Werkstoffauswahl erfolgt sowohl nach den Verarbeitungsanforderungen als auch nach den Gebrauchseigenschaften des Bauteils in seinen vorgesehenen Anwendungen. Beide sind einzeln oder in Kombination von Fall zu Fall unterschiedlich und bedürfen einer sorgfältigen Analyse. Damit ergibt sich, dass es nicht sinnvoll ist, gemeinsame Anforderungsprofile für die Werkstoffauswahl bei unterschiedlichen Anwendungsfällen aufzustellen.

Im Folgenden sollen die Kriterien der Werkstoffauswahl aus dem Gesichtspunkt wesentlicher Anforderungen der Automobilindustrie für den Karosserieeinsatz dargestellt werden.

Diese sind heute vor allem:

- Leichtbaumöglichkeit
- Crashbauweise
- Design- und Gestaltungsfreiheit
- Fußgängerschutz
- Langlebigkeit

- Oberflächenfinish

Daraus abgeleitet ergeben sich die Verarbeitungsanforderungen und Gebrauchseigenschaften an den Werkstoff resp. Bauteil wie folgt:

- [Umformbarkeit](#)
- [Fügbarekeit](#)

Thermisch
Mechanisch
Chemisch

- [Festigkeit](#)

[Steifigkeit](#)

[Betriebsfestigkeit](#) (zyklisch)

Crashfestigkeit

Duktilität

Beulsteifigkeit/-festigkeit

- [Lackierbarkeit](#)
- [Korrosionsbeständigkeit](#)

Darüber hinaus sind die Werkstoff- bzw. Bauteilkosten und Verarbeitungskosten ein weiteres Kriterium der Werkstoffauswahl.

Bei der heute verschärft geführten Diskussion über [Klimawandel](#) bzw. CO₂-Emission ist aufgrund der direkten Proportionalität von Fahrzeuggewicht und Kraftstoffverbrauch – und damit CO₂-Emission in der Nutzungsphase - der Leichtbau ein zentrales Thema. Es ist physikalisch unschwer zu erkennen, dass bei den im Fahrzeugbau eingesetzten Stahlsorten, die alle vergleichbare spezifische Gewichte haben, die einfachste Möglichkeit der Minderung des Bauteilgewichtes in der Reduzierung der Bauteilwandstärke liegt. Dafür muss zur Aufrechterhaltung der Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften des Bauteiles [höherfester Stahl](#) eingesetzt werden, was meistens eine Minderung der Umformbarkeit, d.h. der Designfreiheit und Bauteilgestalt zur Folge hat. Auf der anderen Seite lassen sich die Festigkeitseigenschaften auch durch die Bauteilgeometrie stark beeinflussen, wie z.B. höhere Knicksteifigkeit und –festigkeit durch ein geschlossenes statt eines offenen Profils bei Trägern oder höhere Beulfestigkeit und -steifigkeit bei Außenteilen durch kleinere Krümmungsradien.

Aus der Priorisierung der Funktionalität des Bauteils - seiner Gebrauchseigenschaften – und dem Gewicht durch den Bauteilhersteller, ergibt sich jeweils ein erforderliches Umformvermögen und damit ein Fenster an möglichen Stahlsorten. Aus diesen wird dann unter Berücksichtigung eben der geforderten Bauteileigenschaften und Bauteilgeometrie der optimale Werkstoff unter Beachtung der Integration zur Gesamtkarosserie ausgewählt.

Die Begrenzung in der Reduzierung der Blechdicke liegt einerseits in der [Verpressbarkeit](#) zum Bauteil selbst andererseits in der erforderlichen Beulfestigkeit und -steifigkeit (speziell bei Außenteilen).

Ähnliches gilt für die Designfreiheit, je komplexer die Bauteilgestalt umso weichere Stähle mit niedriger [Streckgrenze](#) und [Zugfestigkeit](#) sind einzusetzen. Hier ist das erforderliche Umformvermögen zumeist die bestimmende Eigenschaft für die Werkstoffauswahl. Bei gleichzeitiger Leichtbauoptimierung bieten sich gut umformbare höherfeste Stähle an, z.B. höherfeste IF- oder BH-Stähle, deren

Auswahl nach dem erforderlichen Umformvermögen und der benötigten Bauteilfestigkeit und -steifigkeit erfolgt.

Eine weitere Möglichkeit für Design- und Leichtbauoptimierung bieten die so genannten Tailored Blanks (auch lasergeschweißte Platinen), d.h. maßgeschneiderte, lasergeschweißte Blechplatinen mit Stumpfnah aus zumeist zwei unterschiedlich dicken und/oder unterschiedlich festen Blechen. (Bild 1). Durch diese Maßnahme lässt sich die Festigkeit (oder „Umformbarkeit“) an die Stelle des Bauteils bringen, an der sie erforderlich ist.

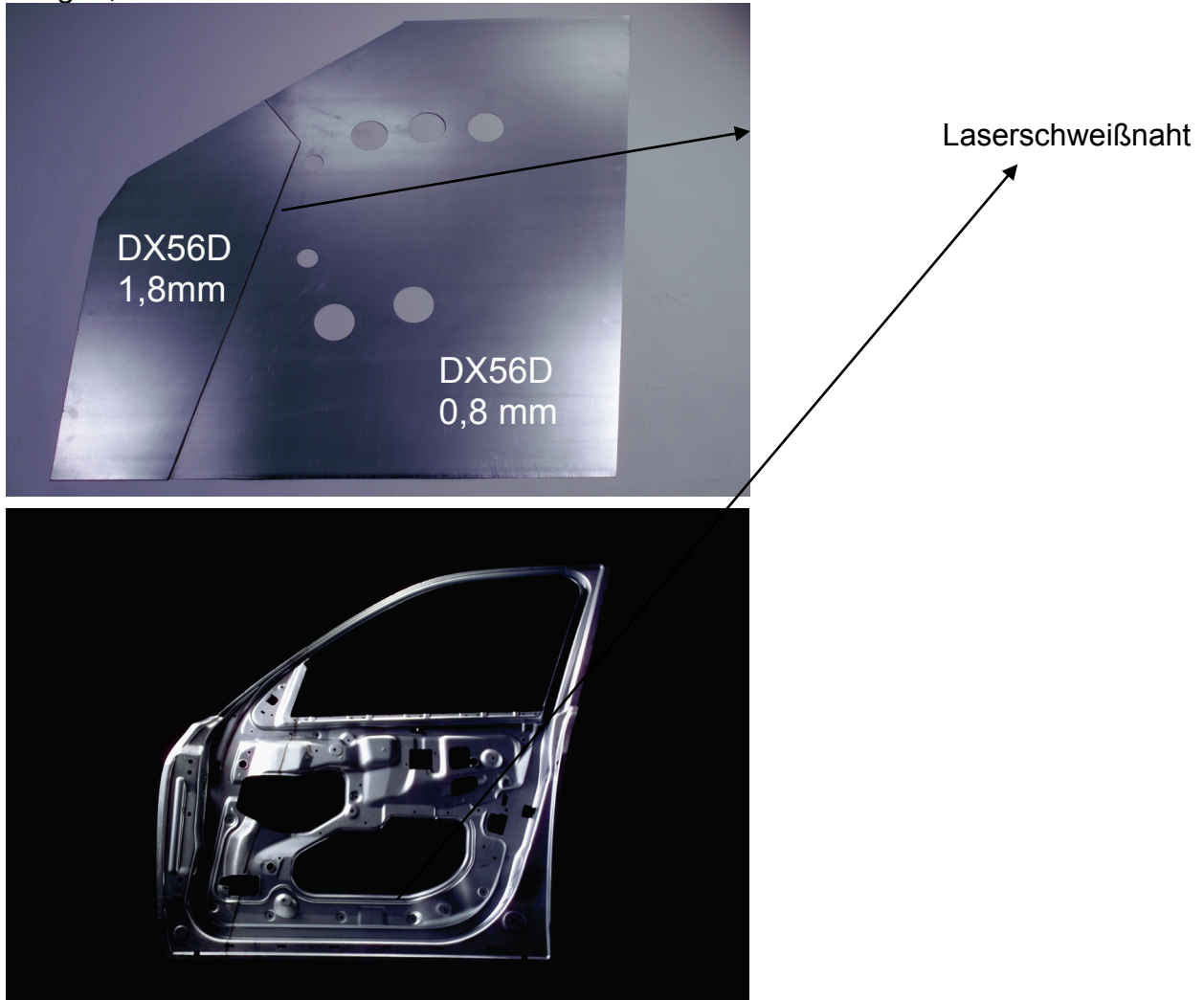


Bild 8 Tailored Blank aus zwei unterschiedlich dicken IF-Feinblechen und zugehörige Tür.

Die heute hohen Forderungen nach Sicherheit unter dem Aspekt des Leichtbaus können nur mehr durch den Einsatz hochfester und ultrahochfester Stahlsorten wie Dualphasen-, TRIP- oder Complexphasen Stähle und durch den warmumformbaren Mangan-Bor-Stahl Typ 22MnB5 erzielt werden. Entscheidende Größe dabei ist die Aufnahme von Aufprallenergie, die mit steigender Streckgrenze der Werkstoffe bei gleicher Blechdicke und Bauteilgeometrie steigt bzw. umgekehrt der Verformungsweg zum Energieabbau sinkt. Es ist allerdings anzumerken, dass alle diese Bauteileigenschaften bzw. das Verhalten in der Karosserie nur durch Abstimmung von Werkstoff, Blechdicke, Form- und Gestalt, Konstruktion sowie der Fügechnik optimal erzielt werden können.

Das gilt insbesondere auch für die statische Bauteilfestigkeit wie z.B. Steifigkeit und Crashfestigkeit der Karosserie, dessen Potenzial mit dem Einsatz höher- und hochfester Stahlsorten steigt.

Zur Abschätzung dieses Potenzials sind die relevanten Werkstoffeigenschaften dynamische Festigkeitswerte wie z.B. [Wöhlerkurven](#) (am Grundwerkstoff und in unterschiedlich gefügten Zuständen) und dynamische Materialkennwerte z.B. aus [Crashversuchen](#) oder Schnellzerreiversuchen erforderlich.

[Finite Elemente Methoden \(FEM\)](#) werden heute zur Berechnung von Umformvorgngen von Bauteilen und dem Crashverhalten von Baugruppen und gesamten Karosserien als Standardwerkzeug eingesetzt, wozu die Kenntnis der relevanten Werkstoffmodelle mit den Werkstoffkennwerten eine Voraussetzung ist. Diese Kennwerte werden gemeinsam von der Automobilindustrie, Universitäten und den Stahlherstellern definiert, bestimmt und in eine Datenbank eingestellt (www.stahldat.de).

Eine weitere wesentliche Anforderung an ein Auto ist die Langlebigkeit und damit auch Sicherheit und Wertbeständigkeit. Das bedeutet Unterbindung bzw. Minimierung von funktioneller [Korrosion](#) in nicht sichtbaren Innenbereichen der Karosserie und keine kosmetische Korrosion der sichtbaren Außenhaut mindestens während der heute schon sehr langen Garantiedauer der einzelnen Automobilhersteller und auch darüber hinaus. Für die unterschiedlichen Korrosionsschutzkonzepte und Konstruktionen bieten die ständig in Weiterentwicklung befindlichen, leistungsfähigen und vielfältigen [oberflchenveredelten Feibleche](#) der Stahlhersteller eine reiche Auswahl an maßgeschneiderten Produkten. Basis sind die heute in Europa eingesetzten Zink- oder mit Zinklegierung beschichteten Feibleche, die in einem hohen Prozentausma (bis 100%) in der Karosserie eingesetzt werden.

Die gefährlichste korrosive Schädigung ist die in Flanschen oder Hohlräumen von innen nach außen fortschreitende Korrosion, da sie in vielen Bereichen der Karosserie erst beobachtet werden kann, wenn die Durchrostung schon erfolgt ist! Dieser Korrosionsart gilt das Hauptaugenmerk aller Hersteller durch korrosionsschutzgerechte Konstruktion sowie dem entsprechenden Einsatz [metallisch beschichteter Feibleche](#), durch die kathophoretische Lackierung und die relativ aufwendigen sekundären Korrosionsschutzmaßnahmen (Versiegelung, Nahtabdichtungen),

Für eine wesentliche Erhöhung der Qualitätssicherheit des [Korrosionsschutzes](#) in den Innenbereichen – speziell bei Reduzierung der Blechdicke aus Leichtbaugrnden - stehen die mit Korrosionsschutzprimern beschichteten Feibleche mit dem dreistufigen Schutzsystem zur Auswahl. Da die Auftragung des Korrosionsschutzprimers am ebenen Band erfolgt, sind an der fertigen Karosserie bei Einsatz dieser Beschichtungen in den Innenbereichen kaum Fehlstellen im Korrosionsschutz gegeben. Man könne quasi auch von einem „eingebautem Korrosionsschutz“ sprechen.

Bei Einsatz oberflchenveredelter Feibleche ist immer auch der Einfluss auf die Verarbeitungseigenschaften zu berücksichtigen, sei es bei der Umformung (Reibverhalten im Werkzeug), beim Schweißen (Schweißparameter und Elektrodenstandzeit) und beim Lackieren (Entfettung und Phosphatierung).

Zur Unterstützung der Umformung können auf Bestellung die Feibleche mit verschiedenen Gleithilfen (Ölungen, [Phosphatierung](#), [organische Dünnschichten](#)) nachbehandelt geliefert werden. Für die ultrahochfesten, warmumformbaren und aushärtenden Mangan-Bor-Stähle für Crashteile stehen spezielle Aluminium- oder Zinkbeschichtungen zur Auswahl.

Schließlich und endlich stehen auch noch zur Beeinflussung des Oberflächenfinish verschiedene Oberflächenausführungen zur Verfügung. Zum einen die Wahl der „[Rauheit](#)“ (Mittenrauheit, Rauhtiefe, etc.) und zum anderen die Art der im Dressiervorgang aufgetragenen Rauheitsstrukturen. Es stehen stochastische, pseudostochastische und oder deterministische Rauheitsstrukturen, die im Dressiervorgang durch entsprechend aufgeraute Walzen (shot blast, EDT, EBT, Pretex®) aufgebracht werden, zur Auswahl. Die Wahl der Rauheit einerseits und der Rauheitsstruktur andererseits richtet sich nach den Anforderungen des Verarbeiters hinsichtlich Umformung und Lackierkonzept bzw. Oberflächenaussehen und müssen mit seinem Gesamtkonzept abgestimmt sein.

Es soll abschließend nochmals angemerkt werden, dass die Bau- und Hausgeräteindustrie in spezifischen Anforderungen an die Werkstoffauswahl ebenso anspruchsvoll ist wie die Automobilindustrie, jedoch in der Summe aller Anforderungen eine geringere Komplexität aufweisen. Es gelten jedoch prinzipiell dieselben Kriterien und Überlegungen für die Werkstoffauswahl.

Bei der Werkstoffauswahl sind natürlich auch die Bauteilkosten zu berücksichtigen. Sie setzen sich zusammen aus den Werkstoffkosten einerseits und den Verarbeitungskosten andererseits. Die Werkstoffkosten (pro t) sind bei höherfesten Stählen bedingt durch aufwändigere Erzeugung höher als bei weichen Stählen. Durch eine mögliche Waddickenreduzierung bei Einsatz höherfester Stähle und damit geringerem Stahlverbrauch pro Bauteil können die Werkstoffkosten pro Bauteil jedoch reduziert werden. Die Verarbeitungskosten werden ebenfalls von dem eingesetzten Werkstoff beeinflusst. Bei dem Absatz der Weiterverarbeitung bezüglich Fügens wird auf die unterschiedlichen Elektrodenstandzeiten beim [Punktschweißen](#) hingewiesen, die natürlich kostenrelevant sind. Ähnlich verhält es sich bei der Umformung, bei der die Werkzeugkosten (Herstellung, Standfestigkeit und Instandhaltung) bei weichen Stählen geringer sind als bei höherfesten Stählen.

Auch der Einsatz organisch beschichteter Feibleche – wie z.B. mittels Korrosionsschutzprimer – erhöht a priori die Einsatzkosten des Werkstoffs. Diesen erhöhten Kosten sind die Kosteneinsparungen durch Wegfall oder Reduzierung der sekundären Korrosionsschutzmaßnahmen und Hohlraumkonservierungen gegenüberzustellen. Je nach Karosseriekomplexität und Ausmaß des Korrosionsschutzes können die erhöhten Werkstoffkosten teilweise oder auch ganz kompensiert werden, bei stets erhöhter Korrosionssicherheit und Bauteilfunktionalität.

Zusammenfassend muss noch einmal betont werden, dass immer der Bauteilhersteller die Prioritäten bei der Werkstoffauswahl in allen Aspekten hinsichtlich Verarbeitungsanforderungen und Gebrauchseigenschaften festlegt. Die Stahlhersteller sind mit ihren Anwendungs- und Forschungsabteilungen bereit, den Verbraucher in allen Fragen der Eigenschaften von Werkstoff und Bauteil und der Verarbeitung zu beraten und zu unterstützen.

3.2 Weiterverarbeitung

Den vom Verarbeiter bestellten Stahl liefert der Stahlhersteller üblicherweise als aufgewickeltes Band (Coil), auf Wunsch auch über Stahlservicecenter als geschnittenes Blech (Maße: Wunschbreite mal Wunschlänge). Das Coil ist bei Anlieferung aus Gründen des Transportschutzes (mechanische Beschädigung, Korrosion) verpackt. Die Verarbeitung des Stahls erfolgt individuell und richtet sich sowohl nach der Verwendung als auch nach den zur Verfügung stehenden Verarbeitungsaggregaten, wobei die Folge der Verarbeitungsschritte prinzipiell gleich ist und am Beispiel der Automobilindustrie im Folgenden erläutert wird:

- Erster Arbeitsschritt
 - Abwickeln und Richten des Bandes
 - Blech- oder Formplatinenzuschnitt
- Zweiter Arbeitsschritt
 - Bauteilfertigung (Schneiden, [Umformen](#))
- Dritter Arbeitsschritt
 - [Fügen](#) mehrerer umgeformter Teile zu einer Baugruppe
- Vierter Arbeitsschritt
 - Fügen der Baugruppen zur Rohkarosse
- Fünfter Arbeitsschritt
 - Lackieren der Rohkarosse
 - Sekundäre Korrosionsschutzmaßnahmen
- Sechster Arbeitsschritt
 - Zusammenbau (Montage des Automobils)

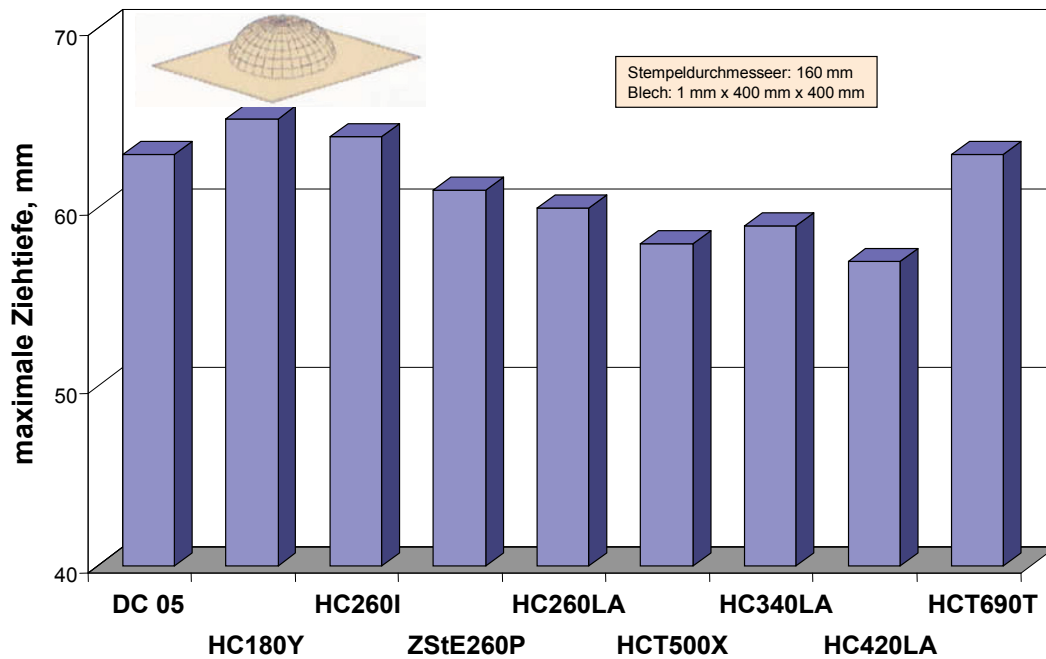
Erster Arbeitsschritt:

Beim Aufwickeln des Bandes erfährt der Stahl eine leichte plastische Verformung. Mit geeigneten Richtaggregaten lässt sich das Band beim Abwickeln wieder völlig ebnet. Das Richten ist deshalb erforderlich, weil sonst –je nach Lage des Blechs im Coil– unterschiedliche Ausgangszustände bei der anschließenden Verformung vorlägen und damit nicht die gewünschte Gleichmäßigkeit bei der Verarbeitung zu erreichen wäre. Aber auch unebene Platinen mit Krümmung machen bei der Verarbeitung und Transport erhebliche Probleme.

Zweiter Arbeitsschritt:

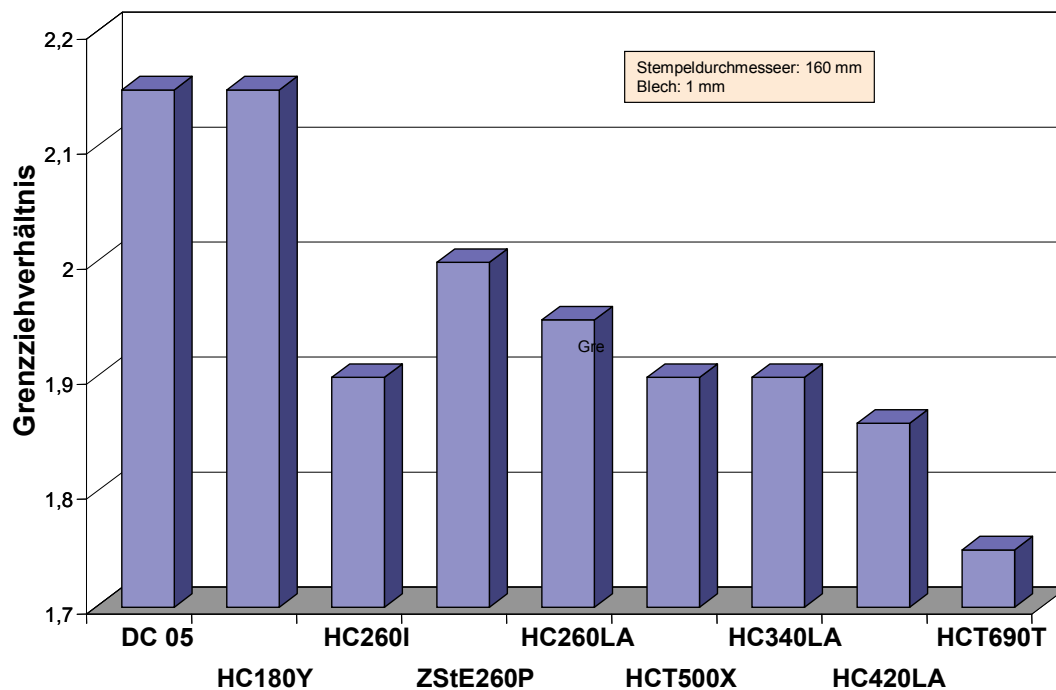
Bei der Umformung wird das ebene Blech im Presswerk in die gewünschte Form gebracht. Dabei geben die Dehnungskennwerte (Dehnung A_{80} und Dehngrenze $R_{p0.2}$) aus dem Zugversuch einen ersten Anhalt für das [Umformvermögen](#) des Stahles. Durch die technologischen Eigenschaften wie n - und r -Wert (Verfestigungsexponent und [senkrechte Anisotropie](#)) wird das Umformverhalten des Stahles weiter beschrieben. Hinzu kommt das [Reibverhalten](#) zwischen Stahl- und Werkzeugoberfläche, das ebenfalls das Umformergebnis mitbestimmt. Damit wird deutlich, dass nicht einzelne sondern das Zusammenwirken aller Faktoren maßgeblich sind.

Grundsätzlich unterscheidet man in der Blechumformung zwischen Streck- und [Tiefziehen](#). Sie kommen in ihrer reinen Form in der Praxis selten vor, meist treten sie bei einem Bauteil –je nach Geometrie und Prozessführung– in einer Vielzahl von Formänderungszuständen und Zwischenzuständen auf. Beim [Streckziehen](#) wird im Gegensatz zum Tiefziehen ein Nachfließen des Werkstoffes im Werkzeug durch den [Niederhalter](#) verhindert. Es wird u.a. beschrieben durch die maximal erreichbare Ziehtiefe bevor der Stahl reißt und folgt tendenziell dem Verfestigungsexponenten:



$R_{p0,2}$ in MPa	153	206	270	277	298	328	350	420	427
n_m	0,225	0,221	0,025	0,188	0,174	0,169	0,159	0,118	0,218
r_m	1,57	1,79	0,93	1,38	1,05	0,88	1,04	1,11	0,83

Bild 9 Maximale Ziehtiefe als Funktion von verschiedenen Stahlsorten
 Das Tiefziehen wird durch das Grenzziehverhältnis beschrieben (Verhältnis des maximal möglichen Durchmessers der Blechrunde zum Stempeldurchmesser). Das Grenzziehverhältnis ist i.W. proportional der senkrechten Anisotropie:



$R_{p0,2}$ in MPa	153	206	270	277	298	328	350	420	427
n_m	0,225	0,221	0,025	0,188	0,174	0,169	0,159	0,118	0,218
r_m	1,57	1,79	0,93	1,38	1,05	0,88	1,04	1,11	0,83

Bild 10 Grenzziehverhältnis als Funktion von verschiedenen Stahlsorten

Eine vollständige Beschreibung des Umformpotentials eines Werkstoffes kann durch das sogenannte Grenzformänderungsschaubild (GFS) dargestellt werden.

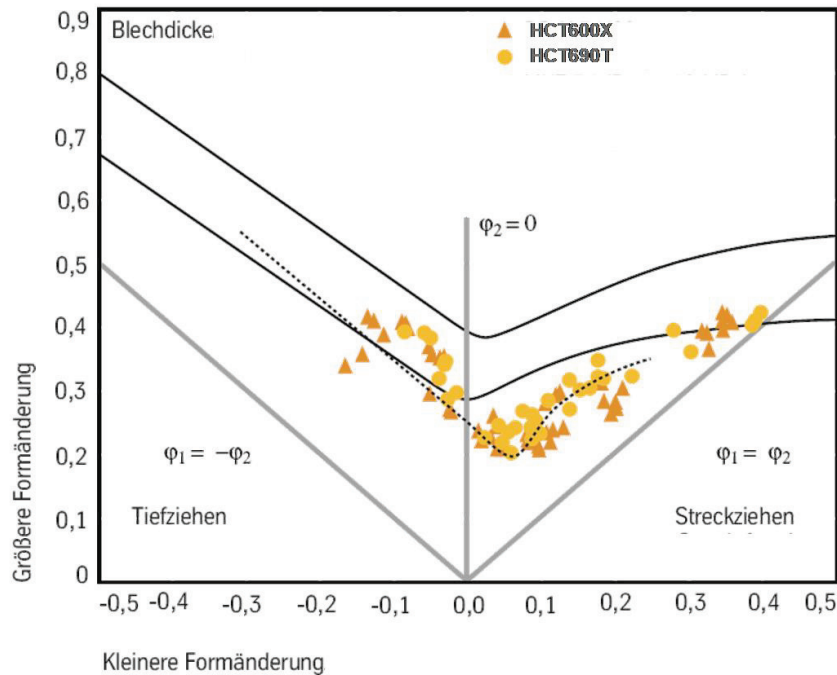


Bild 11 Grenzformänderungsschaubild

Daraus ergibt sich, dass –wie im vorhergehenden Absatz Werkstoffauswahl beschrieben- die Stahlsortenauswahl von der Getalt, d.h. dem erforderlichen Umformprozess und den zu erreichenden Bauteileigenschaften abhängt.

Es wurde bereits erwähnt, dass das Reibverhalten des Systems Werkstoff-Werkzeug das Umformergebnis stark mitbestimmt. Das System selbst wiederum kann beeinflusst werden auf Seiten des Werkstoffes durch eine Oberflächenbeschichtung, die Art der Oberflächen-beschichtung, Rauheit und Feinstruktur der Oberfläche, ggf. eine Nachbehandlung (z.B. Phosphatierung) und Menge und Art des Öles:

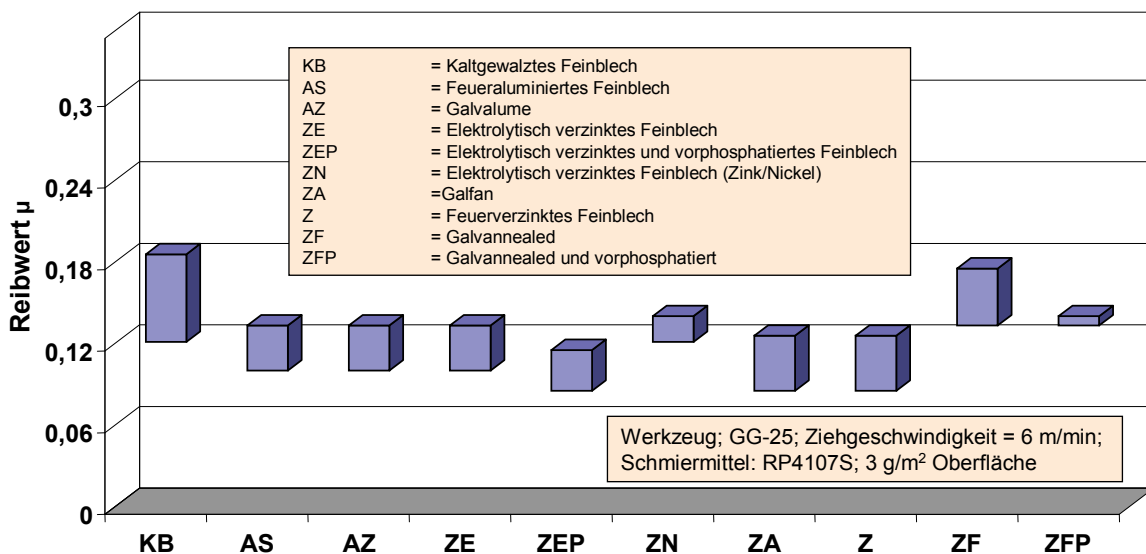


Bild 12 Reibwerte als Funktion von Beschichtung und Nachbehandlung

Auf der Werkzeugseite sind bestimmend für das tribologische System der Werkstoff des Werkzeuges und seine Oberfläche (Rauheit, Härte, Beschichtung). Dabei muss auch beachtet werden, dass der Werkzeugwerkstoff (Verbesserung Umformergebnis und Erhöhung Werkzeugstandzeit) und die Härte der Werkzeugoberfläche (Minimierung des [Abriebes](#) und damit des Verschleißes durch eine chemische oder physikalische Oberflächenbehandlung) bei Verwendung hoch- und höchstfester Stähle ggf. angepasst werden muss.

Bei der Umformung ist zu beachten, dass es aufgrund elastischer [Eigenspannungen](#) nach der Umformung zu einer Rückfederung kommt. Nach Herausnahme des Bauteiles aus dem Werkzeug bewirken die elastischen Eigenspannungen eine [Deformation](#), so dass das Bauteil nicht mehr der Werkzeugform entspricht.. Dieser Effekt ist umso größer, je höher die [Streckgrenze](#) des eingesetzten Werkstoffes ist. Beeinflussen lässt sich die Rückfederung durch bauteilgeometrische und prozessseitige Maßnahmen wie z.B. kleinere Ziehringradien und größere [Niederhalterkräfte](#), die in der Tendenz die Rückfederung reduzieren .

Dritter und vierter Arbeitsschritt:

Das im zweiten Arbeitsschritt zum Bauteil umgeformte Blech wird im Rohbau zu Baugruppen bzw. diese zur Rohkarosse zusammengebaut. Die dabei anwendbaren Methoden sind thermische, mechanische und chemische [Fügeverfahren](#).

[Thermisches Fügen](#) sind [Widerstands-Punktschweißen](#), Nahtschweißen in allen Varianten ([Gas-](#), [Elektro-](#), [Laserschweißen](#)) und sonstige Verfahren (z.B. [Reib-](#), [Buckelschweißen](#)). In der Automobilindustrie wird überwiegend Punktschweißen angewandt, wobei Lasernahtschweißen zunehmend Verwendung findet, und zwar aus Gründen der höheren [Steifigkeit](#) und der geringeren [Flanscbreiten](#). Beim Punktschweißen ist der Arbeitsbereich des Schweißstromes gekennzeichnet einerseits durch einen Mindestpunktdurchmesser (Blechdicke) und andererseits durch die [Spritzergrenze](#) (Verdampfen des Metalls). Ein zu kleiner Punktdurchmesser und Metallauswurf durch Spritzen senken die übertragbare Kraft in der Verbindung und können zu Fügeverbindung führen. Der [Schweißstrombereich](#) selbst ist abhängig vom Werkstoff (spezifischer elektrischer Widerstand), der Beschichtung (z.B. Änderung des Übergangswiderstands bei verzinktem Feinblech) und den Schweißparametern (z.B. Elektrodenkraft, -form, -kühlung). Verzinkte Feinbleche führen zu geringeren [Elektrodenstandzeiten](#) (in Abhängigkeit der Überzugsdicke jeweils ca. eine Halbierung der Elektrodenstandzeit bei [elektrolytisch verzinktem](#) im Vergleich zu unverzinktem Feinblech und von elektrolytisch zu [feuerverzinktem](#) Feinblech), da die Elektroden thermisch stärker belastet werden und das Cu-haltige Elektrodenmaterial sich mit Zink anreichert und spröde Phasen bildet. Zinklegierungsüberzüge wie Zink-Eisen oder Zink-Nickel neigen aufgrund der höheren [Schmelzpunkte](#) zu geringerer Legierungsneigung mit dem Elektrodenmaterial und damit zu höheren Elektrodenstandzeiten, während Phosphatschichten oder organische Beschichtungen die Standzeiten reduzieren. Beim thermischen Fügen höherfester Stähle, insbesondere solcher mit höheren Kohlenstoffgehalten, ist zu beachten, dass die thermische Einwirkung metallurgische Auswirkungen haben kann wie z.B. [Martensitbildung](#) und damit [Zähigkeitsreduzierung](#) im Schweißgut und der WEZ ([Wärmeeinflusszone](#)). Das wiederum kann die Bauteilfestigkeit beeinflussen.

Mechanische Fügeverfahren mit gewissem Anwendungspotential sind neben dem im Karosseriebau bedeutungslosen Schrauben das [Nieten](#) und [Clinchen](#). Beim Clinchen findet lediglich eine mechanische Verklammerung der Fügepartner statt, während das Nieten mit einem zusätzlichen Fügepart (Niet) erfolgt. Das [Stanznieten](#) erfolgt

ohne Vorlöcher. Beide Verfahren sind unbeeinflusst von metallischen Beschichtungen und durch moderne Verfahrensentwicklungen auch bei höherfesten Stählen einsetzbar, ohne thermisch bedingte Festigkeitsveränderungen wie beim Schweißen befürchten zu müssen. Mit diesen Methoden ist es auch möglich, organisch beschichtete, nicht schweißbare Feibleche zu verbinden und somit vorgeprimertes oder endlackiertes Feiblech einzusetzen.

Als chemische Fügeverfahren ist das Kleben zu nennen, das sich insbesondere durch die Möglichkeit, geöltes Feiblech ohne Entfettung kleben zu können, weiter entwickelt hat. Den Vorteilen (z.B. Verbinden verschiedener Werkstoffe, keine Änderung der Werkstoffeigenschaften, Dichtungsfunktion und Korrosionsschutz) stehen noch gewisse Nachteile wie Alterungsempfindlichkeit unter chemischer und dynamischer Belastung, aufwändige Fixierung und zu lange Aushärtezeiten gegenüber. Es bietet sich jedoch an, die Klebtechnik mit dem Punktschweißen oder den mechanischen Fügeverfahren zu kombinieren (Hybridfügen): damit können die Vorteile des Klebens genutzt und die Nachteile vermieden werden. Zusätzlich wird durch eine Liniennaht die Bauteilsteifigkeit erhöht.

Fünfter Arbeitsschritt:

Ursprünglich überwiegend aus Gründen des Korrosionsschutzes unterdessen hauptsächlich aus ästhetischen und Marketing - Gründen wird die Rohkarosse in der Lackiererei lackiert. Dazu müssen die Oberflächen von Ölen, Fetten, Staub und Metallabrieb gereinigt werden. Die Reinigung erfolgt zusammen mit dem Phosphatieren, d.h. dem Aufbringen einer Phosphatschicht als Haftvermittler für den Lack in einer mehrstufigen Durchlauf-Spritz/Tauch-Anlage. Bei der Phosphatierung ist zu beachten, dass bei Einsatz von feuerverzinktem Feiblech fluoridhaltige Bäder erforderlich sind, um die erforderliche Phosphatausbildung zu gewährleisten. Nach dieser Vorbehandlung wird die erste Lackschicht nass in nass aufgebracht und zwar nach dem KTL-Verfahren (kataphoretische Tauchlackierung oder Elektrotauchlackierung) in einem Tauchbecken. Ein Einfluss auf das Lackierergebnis von Stahlsorte oder Oberflächenbeschichtung ist nicht gegeben. Durch die elektrolytische Abscheidung des Lackes auf der Karosse wird gewährleistet, dass sich dünne und gleichmäßige Lackschichten von 15 – 20 µm auch an verwinkelten Stellen und selbst in Hohlräumen bilden. Anschließend wird der Lack bei 180 °C eingebrannt (getrocknet). Dieser Vorgang wird genutzt, um durch kontrollierte Kohlenstoffdiffusion einen Festigkeitszuwachs bei speziell legierten und gefertigten Stählen (BH-Stähle) zu erzielen. Bei den hoch- und höchstfesten Mehrphasenstählen tritt dieser Effekt ebenfalls ein, wobei die Streckgrenzenzunahme deutlich höher ausfällt als bei den BH-Stählen (bis zu 50 MPa). Die Auftragung der weiteren Lackschichten (Füller, Decklack, bei Metalllackierung auch Klarlack) erfolgt in Spritzkabinen mittels Spritzrobotern und ist unbeeinflusst von der eingesetzten Stahlsorte oder dem eingesetzten Überzug.

Quelle (kursiver Text): Stahlfeiblech für den Automobilbau, Bibliothek der Technik Band 202, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 2000

Die hier dargestellte Übersicht über die Weiterverarbeitung bei der Anwendung im Automobilbau gilt prinzipiell auch für alle anderen Anwendungsbereiche. Sie zeigt aber, dass es bei der Verarbeitung eine Vielzahl von zu beachtenden Faktoren gibt, die sich z.T. gegenseitig beeinflussen. Die Stahlindustrie arbeitet z.T. gemeinsam mit den Verbrauchern an der Optimierung bestehender Werkstoffe und ihrer

Verarbeitungsverfahren und erforscht neue Werkstoffe und Anwendungstechniken. Dazu unterhält sie entsprechende Abteilungen für Forschung und Anwendungstechnik. Die Darstellung selbst ist aus Platz- und Verständlichkeitsgründen sehr gerafft. Zu weitergehenden Fragen als die, die hier behandelt wurden, können deshalb direkt die Stahlhersteller angesprochen werden (www.stahldaten.de).