



Aluminium-Zentrale e.V.
Beratung und Information

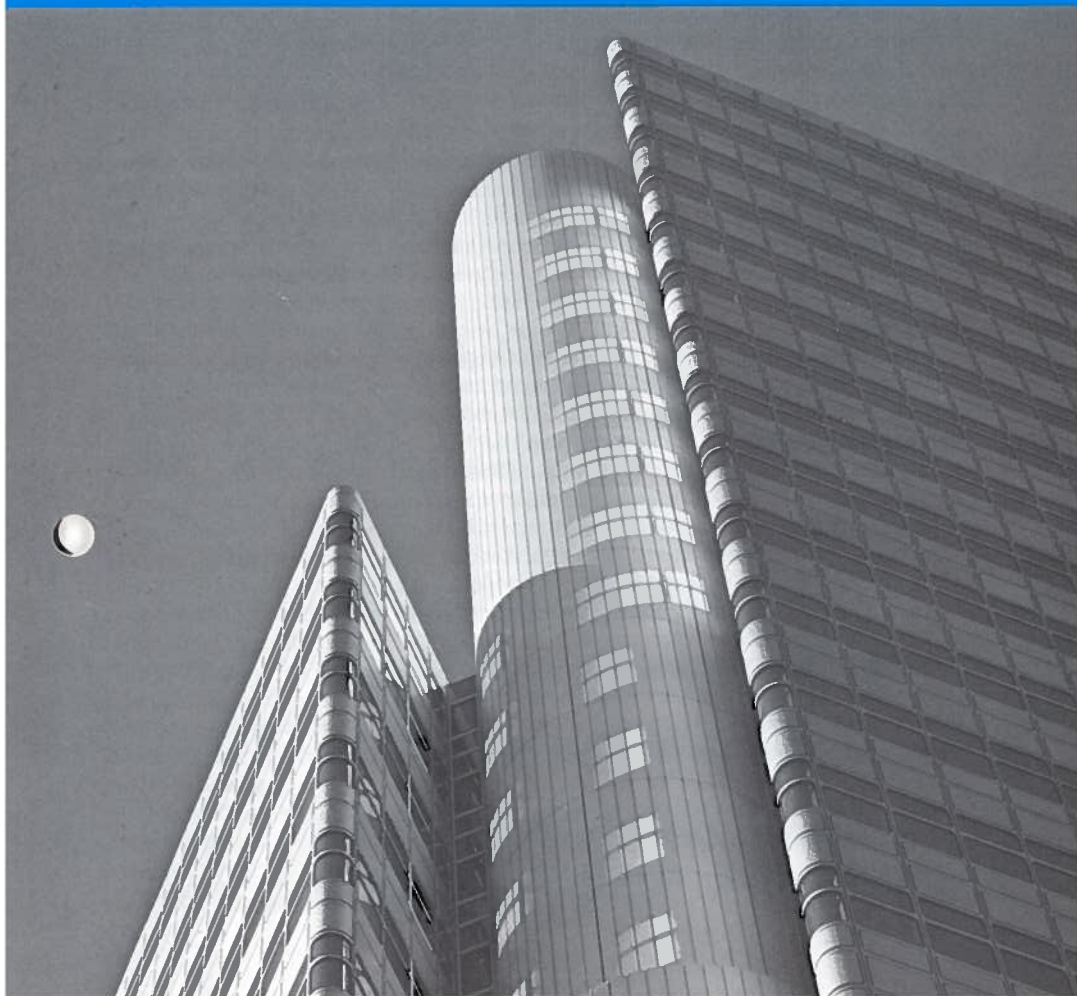
Am Bonnhof 5, 40474 Düsseldorf
Postfach 105463, 40045 Düsseldorf
Telefon: +49 211 - 47 96 0
Telefax: +49 211 - 47 96 410
E-Mail: technik@aluinfo.de
Web: www.aluinfo.de

**Aluminium-
Merkblatt**

● O 4

**Anodisch oxidiertes
Aluminium für
dekorative Zwecke**

15. Auflage



Inhalt

1	Einleitung	2
2	Anodische Oxidation	3
3	Verfahrensgruppen der anodischen Oxidation	5
4	Standard-Anodisierverfahren	7
5	Sonder-Anodisierverfahren	7
6	Farblose Oxidschichten	8
7	Farbige Oxidschichten	8
7.1	Tauchfärben	9
7.2	Elektrolytisches Färben	10
7.3	Farbanodisieren	10
7.4	Kombiniertes Färben	11
7.5	Standard-Farbfächer	11
8	Verdichten	12
8.1	Hydrothermisches Verdichten	12
8.2	Kaltimprägnieren	12
9	Oberflächenvorbehandlung	14
10	Werkstoffzusammensetzung und Gefügestand	14
11	Eigenschaften der anodisch erzeugten Oxidschicht	18
12	Meß- und Prüfverfahren	20
13	Gütezeichen	21
14	Bearbeiten von anodisierten Teilen	21
15	Verbinden von anodisierten Teilen	22
16	Anwendung	23

1 Einleitung

Aluminium hat die Eigenschaft, sich mit Sauerstoff zu verbinden. In trockener Atmosphäre überzieht es sich mit einer dünnen, transparenten Oxidschicht, die sich bei mechanischer Beschädigung spontan erneuert. In feuchter Atmosphäre und unter Witterungseinfluß bildet sich im Laufe der Zeit eine dicke oxidische Deckschicht, die infolge von Schmutzeinlagerung hell- bis dunkelgrau und unansehnlich ist. Diese natürlichen Oxidschichten des Aluminiums schützen das Metall vor weiterem Korrosionsangriff und verleihen ihm eine hohe Beständigkeit. Die Korrosionsschutzwirkung geht jedoch verloren, wenn die Oxidschicht durch saure oder alkalische Einwirkung chemisch angegriffen und aufgelöst wird. Hieraus erklärt sich, daß das gute Korrosionsverhalten des Aluminiums auf den chemisch neutralen Bereich (pH 5 bis 8) beschränkt ist. Die Schutzwirkung der Oxidschicht läßt sich erheblich verbessern, indem man künstlich durch Anodisieren

Schutzwirkung natürlicher Oxidschichten

Beständigkeit von Aluminium im Bereich pH 5 bis 8

(Eloxieren) sehr widerstandsfähige Oxidschichten von wenigen μm bis über $100 \mu\text{m}$ auf der Aluminiumoberfläche erzeugt. Diese anodisch erzeugten Oxidschichten sind festhaftend mit dem Aluminium verbunden, hart und abriebfest. Sie sind vorwiegend transparent, können aber auch undurchsichtig oder opak sein. Das Verfahren der anodischen Oxidation macht es somit möglich, gezielt Oxidschichten zu erzeugen, die es gestatten, das Aussehen von Aluminiumoberflächen nicht nur in all ihrer Gestaltungsvielfalt dauerhaft zu erhalten, sondern auch durch zusätzliche Farbgebung voll zur Geltung zu bringen.

Anodisch erzeugte Oxidschichten

Das vorliegende Merkblatt befaßt sich mit den Verfahren der anodischen Oxidation zum dekorativen Oberflächenschutz mit Oxidschichtdicken bis $30 \mu\text{m}$. Technisch funktionelle Oxidschichten mit Schichtdicken von $25 \mu\text{m}$ bis etwa $150 \mu\text{m}$ behandelt Aluminium-Merkblatt O11 – »Hartanodisieren«.

Dekorativer Oberflächenschutz mit Oxidschichtdicken bis $30 \mu\text{m}$

2 Anodische Oxidation

Das Verfahrensprinzip der anodischen Oxidation beruht darauf, daß das zu behandelnde Aluminiumteil in einem geeigneten Elektrolyten, vorzugsweise auf der Basis Schwefelsäure, an den positiven Pol einer Gleichstromquelle angeschlossen und damit zur Anode wird. Die negativ geschaltete Kathode besteht in der Regel ebenfalls aus Aluminium; auch Blei oder Edelstahl sind möglich. Unter Einwirkung der angelegten Gleichspannung wandern sauerstoffhaltige Anionen mit negativer elektrischer Ladung zur Anode und geben dort Sauerstoff ab. Dieser reagiert mit dem Aluminium unter Bildung von Aluminiumoxid. Es entsteht eine sehr dünne, porenfreie, elektrisch isolierende oxidische Grund- bzw. Sperrschicht. Der elektrische Widerstand dieser Sperrschicht steigt mit zunehmender Schichtdicke an und müßte zu einer Abnahme des Stromflusses führen. Dies ist in schwefelsäurehaltigen Elektrolyten nicht der Fall. Die Oxidschicht wird vom Elektrolyten chemisch angelöst, und es findet eine Umwandlung der Sperrschicht in eine feinporige Deckschicht statt. Da sich ein Gleichgewichtszustand zwischen Sperrschichtbildung und Sperrschichtumwandlung einstellt, kann die Deckschicht bei gleichbleibender Sperrschichtdicke weiterwachsen. Der Anionentransport erfolgt durch die Poren der Deckschicht. Diese wächst proportional zum Stromdurchgang, unterliegt aber gleichzeitig einer chemischen Rücklösung durch den Elektrolyten. Für eine Schichtdicke von $20 \mu\text{m}$ wird in der Praxis eine Strom-

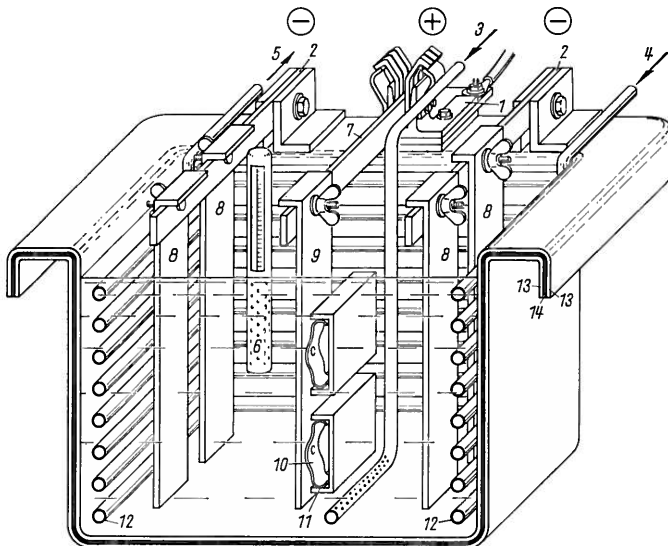
Verfahrensprinzip der anodischen Oxidation

Porenfreie Sperrschicht

Feinporige Deckschicht

Chemische Rücklösung

menge von etwa $1 \text{ A} \cdot \text{h}/\text{dm}^2$ benötigt. Da das Aluminiumoxid im Vergleich zum metallisch umgewandelten Aluminium einen größeren Volumenanteil besitzt, wächst die Oxidschicht, bezogen auf die ursprüngliche Aluminiumoberfläche, in einem Verhältnis von etwa $1/3$ aus dem Metall heraus und zu $2/3$ ins Metall hinein.



- 1 Anodenklemme
- 2 Kathodenstange mit Kathodenklemmen
- 3 Luftzuführung
- 4 Kühlwassereintritt
- 5 Kühlwasseraustritt
- 6 Badthermometer
- 7 Warenstange (Anode)
- 8 Kathoden
- 9 Einhängvorrichtung
- 10 Halteklemmen
- 11 Aluminiumprofile
- 12 Kühlrohre
- 13 Außen- und Innen-Hartgummierung
- 14 Stahlwanne

Bild 1: Schema einer Anodisierzelle

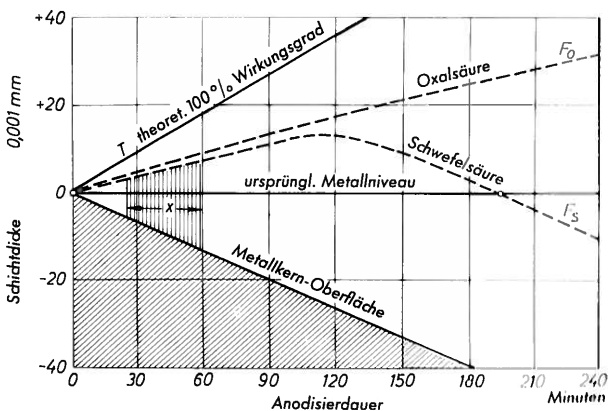


Bild 2: Niveau von Metallbasis und Schichtaußenfläche F beim Wachsen der anodischen Oxidschichten in Oxalsäure- und Schwefelsäurelösung (Stromdichte ca. $1,6 \text{ A}/\text{dm}^2$, x – technischer Bereich für Schwefelsäure)

Die Elektrodenvorgänge der anodischen Oxidation im wäßrigen, schwefelsäurehaltigen Elektrolyten lassen sich vereinfacht wie folgt darstellen:

dissoziierter Elektrolyt	$3\text{H}_2\text{SO}_4 = 3\text{SO}_4^{2-} + 6\text{H}^+$
Anodenreaktion	$3\text{SO}_4^{2-} - 6\text{e}^- = 3\text{SO}_4 = 3/2\text{O}_2 + 3\text{SO}_3$
Oxidbildung	$2\text{Al} + 3/2\text{O}_2 = \text{Al}_2\text{O}_3$
Säurerückbildung	$3\text{SO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = 3\text{H}_2\text{SO}_4$
Kathodenreaktion	$6\text{H}^+ + 6\text{e}^- = 3\text{H}_2^{\uparrow}$
Summenreaktion	$2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2^{\uparrow}$

3 Verfahrensgruppen der anodischen Oxidation

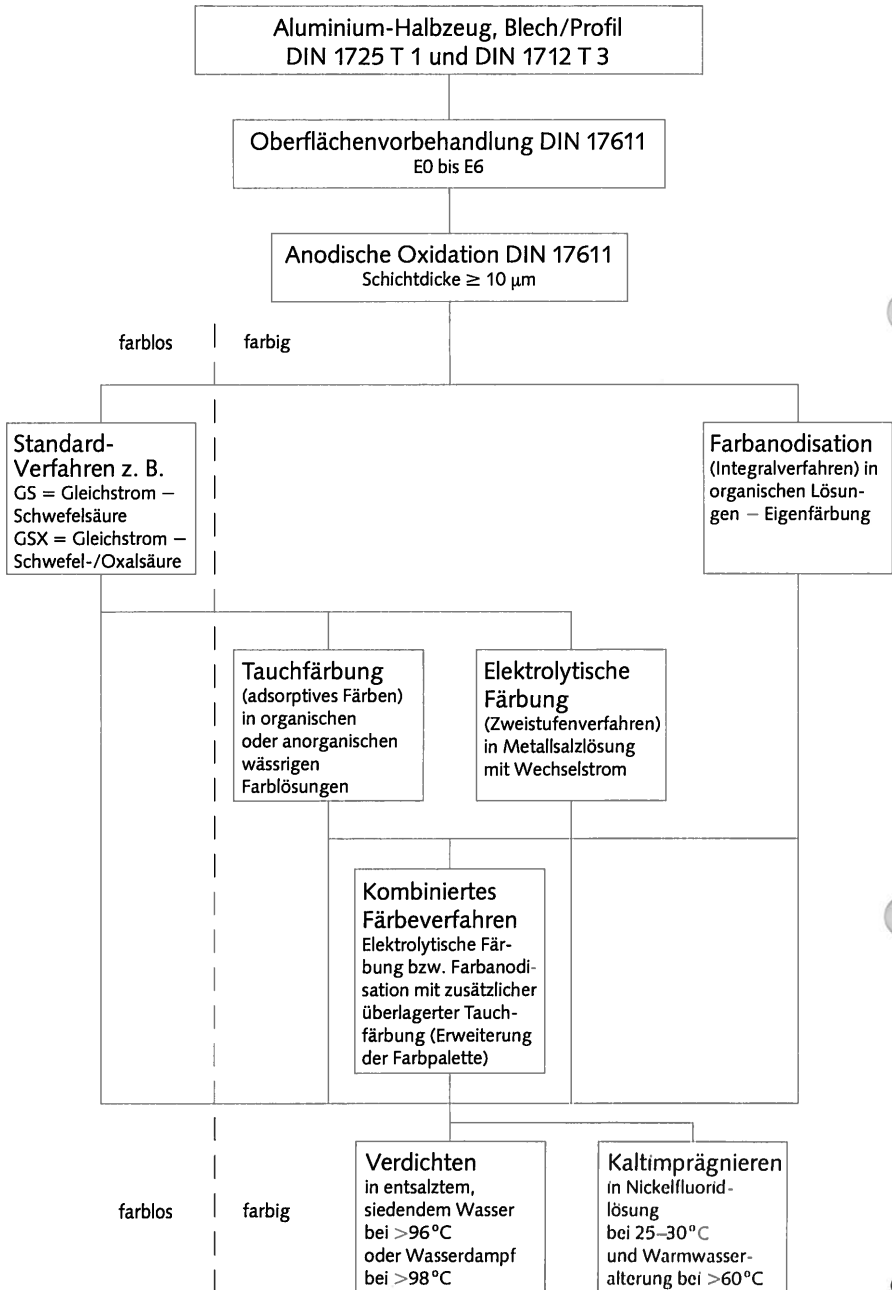
Die Vielzahl der entwickelten Anodisierverfahren ermöglicht es, Oxidschichten mit unterschiedlichen Eigenschaften zu erzeugen. So lassen sich verfahrensabhängig Oxidschichten unterschiedlicher Dicke herstellen, wobei die Schichten dekorativ sein können, durchsichtig oder undurchsichtig, farblos oder farbig, färbbar oder bedingt färbbar sowie technisch funktionell in ihren weiteren Eigenschaften hart, verschleißfest und elektrisch isolierend. Hieraus ergibt sich, daß anodisch erzeugte Oxidschichten unterschiedlichen Anforderungen genügen und viele Anwendungsgebiete gefunden haben. Tafel 1 gibt eine Übersicht über die Verfahrensgruppen der anodischen Oxidation und die entsprechenden Anwendungsgebiete.

Verfahrensabhängige
Schichteigenschaften

Tafel 1: Verfahrensgruppen der anodischen Oxidation und zugehörige Anwendungsgebiete

Art des Verfahrens	Schichtdicke in μm	Farbe der Oxidschicht	Anwendungsgebiete
Standard-Verfahren	5 bis 25	farblos, durchsichtig, auch gelblich	Bauwesen, Autoteile, Haushaltsgeräte und ganz allgemein als Oberflächenschutz
Farbanodisierungsverfahren	15 bis 35	hellgelb bis schwarz	Innen- und Außenarchitektur
Zweistufenverfahren	15 bis 25	hellbronze bis schwarz	Innen- und Außenarchitektur
Hartanodisierungsverfahren	25 bis 150	grau bis schwarz	Maschinenbau und Hydraulik
Bandanodisierung	2 bis 30	farblos	Innenarchitektur, Elektroindustrie
Sonder-Verfahren	5 bis 15	farblos bis grau	Flugzeugbau usw.

Tafel 2: Aluminium-Oberflächenbehandlung – Anodische Oxidation



Maßgebend für das Anodisieren ist DIN 17 611
 »Anodisch oxidiertes Halbzeug aus Aluminium und
 Aluminium-Knetlegierungen mit Schichtdicken von
 mindestens 10 µm – Technische Lieferbedingungen«.

Maßgebende Norm für das
 Anodisieren DIN 17 611

4 Standard-Anodisierverfahren

Die Standard-Anodisierverfahren arbeiten vorwiegend mit Gleichstrom in Schwefelsäure- und/oder Oxalsäure-Elektrolyten. Von den in Tafel 3 aufgeführten Verfahren werden heute das GS- und das GSX-Verfahren bevorzugt angewendet. Beide Verfahren arbeiten infolge eines geringen Energiebedarfes und des preiswerten Schwefelsäureelektrolyten kostengünstig.

Standard-Anodisierverfahren

Tafel 3: Einige Standard-Anodisierverfahren

Bezeichnung des Verfahrens	Kurzzeichen	Elektrolyt	Stromart	Spannung in V	Stromdichte A/dm ²	Temperatur °C	Eigenfärbung der Schicht
Gleichstrom-Schwefelsäure	GS	Schwefelsäure 15-20 %	Gleichstrom	12 bis 20	1 bis 2	18 bis 22	keine
Gleichstrom-Schwefelsäure-Oxalsäure	GSX	Schwefelsäure 15-20 % Oxalsäure ca. 0,1 %	Gleichstrom	20 bis 25	1 bis 2	20 bis 25	keine
Wechselstrom-Oxalsäure	WX	Oxalsäure 5 bis 10 %	Wechselstrom	20 bis 60	2 bis 3	25 bis 35	gelblich
Gleichstrom-Oxalsäure	GX	Oxalsäure 3 bis 5 %	Gleichstrom	20 bis 60	1 bis 2	18 bis 20	gelblich
Wechselstrom-Gleichstrom-Oxalsäure	WGX	Oxalsäure ca. 10 %	Wechselstrom Gleichstrom	30 bis 60 40 bis 60	2 bis 3 1 bis 2	20 bis 30 20	gelblich

5 Sonder-Anodisierverfahren

Die Sonder-Anodisierverfahren arbeiten mit Gleichstrom und Elektrolyten auf der Basis Chromsäure, Oxalsäure oder Schwefelsäure. Die erzeugten Oxidschichten sind vorwiegend undurchsichtig, milchig oder opak. Das Anodisieren in Chromsäure wird vorwiegend in der Flugzeugindustrie angewendet. Diese Oxidschichten besitzen eine relativ gute Laugenbeständigkeit. Ematal-Schichten sind hart und abriebfest und werden in der Textilindustrie und für Stricknadeln verwendet.

Sonder-Anodisierverfahren

Tafel 4: Einige Sonder-Anodisierverfahren

Bezeichnung des Verfahrens	Spannung in V	Stromdichte A/dm ²	Temperatur °C	Eigenfärbung der Schicht	Schichtdicke µm	Elektrolyt
Bengough-Stuart	20 bis 40	0,3 bis 0,8	40	grau	bis 8	Chromsäure
Ematal	120	2 bis 3	50 bis 70	emailartig grau		Oxalsäure mit Zusätzen an Titan und Zirkonsalzen
Thermat	15 bis 20	1 bis 3	20 bis 35	transparent farblos	5 bis 60	Schwefelsäure mit Zusätzen
GS Eloxalbad »156«	15 bis 20	1 bis 2	20 bis 30	transparent farblos	2 bis 25	Schwefelsäure
Pigmental	25	2 bis 2,5	60 bis 65	milchig, undurchsichtig	5 bis 10	Chromsäure
Chromatal	10 bis 50	0,5 bis 2	35 bis 40	hellgrau opak	2 bis 10	Chromsäure
HT-Verfahren	15 bis 20	1 bis 3	18 bis 35	transparent farblos	5 bis 60	Schwefelsäure mit Zusätzen

6 Farblose Oxidschichten

Farblose Oxidschichten (Naturton) werden nach dem GS- oder GSX-Verfahren hergestellt. Das durch mechanische oder chemische Oberflächenvorbehandlung (vgl. 9) erzielte Oberflächenaussehen des Aluminiums bleibt infolge der Transparenz der Oxidschicht in dem natürlichen Metallcharakter voll erhalten. Der Grad der Transparenz richtet sich dabei nach der Oxidschichtdicke und der Werkstoffzusammensetzung. Geeignet für dekorative Ansprüche sind Reinaluminium und homogene, niedrig legierte AlMg- und AlMgSi-Werkstoffe in Eloxalqualität (vgl. 10). Höhere Legierungsanteile bewirken, daß heterogene Bestandteile in die Oxidschicht eingebaut werden, wodurch eine Trübung und Färbung der Schicht eintritt.

Besonders hohe Anforderungen an die Transparenz der Oxidschicht werden gestellt, wenn mechanisch polierte, chemisch oder elektrolytisch geglänzte Oberflächen zur Erhaltung des Glanzes anodisiert werden. Die Oxidschichtdicken betragen meist bis zu 6 µm, um den Glanzverlust gering zu halten.

Farblose Oxidschichten nach dem GS- oder GSX-Verfahren

Abhängigkeit der Schichttransparenz vom Werkstoff und Gefügestand

Glanzanodisieren

7 Farbige Oxidschichten

Farbige Oxidschichten lassen sich herstellen, indem nach dem GS- oder GSX-Verfahren erzeugte Oxidschichten durch Farbstoffe bzw. elektrolytisch gefärbt werden oder aber durch die direkte Erzeugung von Oxidschichten mit Eigenfärbung. Diesbezügliche Verfahrensvarianten sind die Tauchfärbung, die elektrolytische

Farbige Oxidschichten durch Tauchfärben, elektrolytisches Färben, Farbanodisation und kombiniertes Färbeverfahren

Färbung, die Farbanodisation und eine Kombination von elektrolytischer Färbung oder Farbanodisation mit nachträglich überlagerter Tauchfärbung. Damit steht eine reichhaltige Farbpalette für die dekorative Anwendung von anodisiertem Aluminium zur Verfügung.

7.1 Tauchfärben

Anodisch erzeugte Oxidschichten lassen sich mit anorganischen Farbstoffen oder organischen Metallkomplexfarbstoffen in wässriger Lösung durch Tauchen oder Sprühen färben. Die Farbstoffe werden adsorptiv von der Oxidschicht aufgenommen. Bevorzugte Farbtöne sind Blau, Rot, Gold und Schwarz. Die Lichtechtheit der Farben wird mit Zahlen von 1 bis 8 bewertet, wobei 8 völlige Lichtechtheit bedeutet.

Tauchfärben mit adsorptiver Farbgebung

Tafel 5: Verfahren der elektrolytischen Färbung (Zweistufen-Verfahren)

Bezeichnung der Verfahren	Spannung in V		Stromdichte A/dm ²		Temperatur	
	Stufe 1 Gleichstrom	Stufe 2 Wechselstrom	Stufe 1 Gleichstrom	Stufe 2 Wechselstrom	Stufe 1 Gleichstrom	Stufe 2 Wechselstrom
1. Anocolor	18	14 bis 18	1,2 bis 1,5	0,2 bis 0,6	18 bis 20	20
2. Anolok	18	14 bis 18	1,2 bis 1,5	0,25	18 bis 20	20 bis 30
3. Bugcolor	18 bis 24	8 bis 25	1,2 bis 1,8	0,1 bis 0,2	18 bis 20	20 bis 25
4. Carmiol T 70	18 bis 24	5 bis 25	1,2 bis 1,5	—	18 bis 20	20 bis 25
5. Colinal 3000	16 bis 20	8 bis 18	1,2 bis 1,8	0,1 bis 0,5	18 bis 20	20 bis 30
6. Coloranodic	18 bis 20	10 bis 18	1,2 bis 1,5	0,2 bis 1,2	18 bis 20	20
7. Colorox	16 bis 20	5 bis 30	1,5	0,1	18	20
8. Elektrocolor	18 bis 20	4 bis 12	1,2 bis 1,5	0,2 bis 1,0	18 bis 20	20 bis 25
9. Jetanodic-Color	15 bis 21	8 bis 25	1,3 bis 1,8	0,1 bis 0,2	17 bis 19	18 bis 20
10. Eurocolor 800	15 bis 20	8 bis 24	1,5 bis 1,8	0,2 bis 0,8	18 bis 22	25 bis 35
11. Korundalor	18 bis 21	10 bis 25	1,3 bis 1,5	0,5	18 bis 22	18 bis 22
12. Metachemcolor	13 bis 16	5 bis 30	1 bis 1,6	0,1 bis 0,8	18 bis 24	18 bis 24
13. Metalox	20 bis 24	3 bis 17	1 bis 1,2	0,1 bis 0,8	18 bis 20	18 bis 20
14. Metoxal	15 bis 20	8 bis 15	1 bis 1,8	0,2 bis 1,5	18 bis 22	18 bis 25
15. Oxicolor	15 bis 18	10 bis 20	1 bis 2	0,2 bis 0,5	25 bis 28	20 bis 40
16. Variocolor	10 bis 15	10 bis 20	1,2 bis 1,5	0,3 bis 1	18 bis 20	20 bis 30
17. Cotecolor	16 bis 18	10 bis 18	1,5 bis 1,8	0,3 bis 0,8	18 bis 22	18 bis 20

*) Elektrolyt: Stufe 1 = Schwefelsäure und Zusätze; Stufe 2 = Metallsalzlösung

- | | |
|---|--|
| 1. Erbslöh Aluminium, 5600 Wuppertal 2 | 10. Aluminium Pêchiney, 23, Rue Balzac, Paris/Frankreich |
| 2. Alcan Aluminium Laboratories Ltd., Banbury/England | 11. Korundalwerk Paul Keller GmbH & Co, 7120 Bietigheim |
| 3. Oberflächenveredelung Uhl GmbH & Co. KG, 7980 Ravensburg 1 | 12. Metall- und Oberflächenchemie GmbH, 5880 Lüdenscheid |
| 4. Istituto Sperimentale dei Metalli Leggeri, Novara/Italien | 13. Müller Eloxal GmbH & Co, 7050 Waiblingen |
| 5. Schweizerische Aluminium AG, Zürich/Schweiz | 14. VAW Vereinigte Aluminium-Werke AG, 5300 Bonn |
| 6. Eduard Hueck, 5880 Lüdenscheid | 15. Riedel & Co, 4800 Bielefeld |
| 7. Josef Gartner & Co, 8830 Gundelfingen/Donau | 16. Blasberg Oberflächentechnik GmbH, 5650 Solingen |
| 8. Langbein Pfanhauser Werke AG, 4040 Neuss | 17. Bernhard Kothe KG, 3200 Hildesheim |
| 9. Wahl & Co., 8876 Jettingen-Scheppach | |

7.2 Elektrolytisches Färben

Beim elektrolytischen Färben werden die nach dem GS- oder GSX-Verfahren erzeugten Oxidschichten in einer zweiten Verfahrensstufe (Zweistufen-Verfahren) mittels Wechselstrom in einem metallsalzhaltigen Elektrolyten gefärbt. Dabei wird aus der Metallsalzlösung Metall am Porengrund der Oxidschicht abgeschieden. Die erreichte Farbindensität richtet sich nach der abgeschiedenen Metallmenge. Es können Metallsalze auf der Basis von Zinn (Sn), Kobalt (Co), Nickel (Ni) oder Kupfer (Cu) verwendet werden. Mit Sn-, Ni- und Co-Salzen erhält man Farbtöne zwischen Hellbronze bis Schwarz, mit Cu-Salzen Rottöne. In der Bundesrepublik Deutschland werden für das Verfahren der elektrolytischen Färbung fast ausschließlich Sn-Salze verwendet. Elektrolytisch durchgeführte Färbungen sind lichtecht. Tafel 5 gibt eine Verfahrensübersicht (siehe S. 9).

Elektrolytisches Färben in metallsalzhaltigem Elektrolyten

7.3 Farbanodisieren

Durch Farbanodisieren werden mittels Gleichstrom farbige Oxidschichten auf direktem Wege mit einer lichtechten Eigenfärbung erzeugt. Diese Eigenfärbung der Schicht ist abhängig vom Elektrolyten, der aus organischen Säuren mit Zusätzen an Schwefelsäure besteht, und der Legierungszusammensetzung.

Farbanodisieren mit direkter Eigenfärbung der Schicht

Tafel 6: Verfahren der Farbanodisation (Integralfärbung)

Bezeichnung des Verfahrens	Spannung in V	Stromdichte A/dm ²	Temperatur °C	Elektrolyt
1. Duranodic®	120	bis 8	20	Sulfophthalsäure
2. Kalcolor®	20 bis 70	1 bis 3,5	20	Schwefelsäure Sulfosalicylsäure
3. Permanodic®	20 bis 80	1 bis 6	20	Schwefelsäure aliphatische organische Säure
4. Veroxal®	bis 70	1,5 bis 3	20	Maleinsäure Schwefelsäure Oxalsäure
5. Acadai®	bis 70	1 bis 3	30 bis 35	Maleinsäure Schwefelsäure
6. Alcanodox®	45 bis 80	1,5	20	Oxalsäure
7. Colodur®	bis 70	0,7 bis 3	15 bis 30	aromatische Sulfosäure
8. Permalux®	20 bis 80	1 bis 3	20 bis 50	Maleinsäure

1. Alcoa, Aluminium Company of America, Pittsburgh/USA

2. Kaiser Aluminum & Chemical Corp., Oakland/USA

3. AMAX, American Metal Climax Inc., New York/USA

4. VAW Vereinigte Aluminium-Werke AG, 5300 Bonn

5. Montecatini Edison S.p.A., Mailand/Italien

6. Alcan, Aluminium Laboratories Ltd., Banbury/England

7. Blasberg Oberflächentechnik GmbH, 5650 Solingen

8. Schweizerische Aluminium AG, Zürich/Schweiz

Magnesium als Legierungszusatz bewirkt eine Intensivierung der Braunfärbung, Mangangehalte rufen eine Schwärzung hervor. Die Farbtöne reichen von Hell- bis Dunkelbronze bzw. von Hell- bis Dunkelgrau. Die erzeugten Oxidschichten sind härter und abriebfester als die des GS- und GSX-Verfahrens.

7.4 Kombiniertes Färben

Das kombinierte Färbeverfahren bietet die Möglichkeit, die Farbpalette anodisch erzeugter Oxidschichten entscheidend zu erweitern. Im Farbton Hell- bis Dunkelbronze elektrolytisch gefärbte GS- oder farbanodisierte Oxidschichten werden in einer nachfolgenden Behandlungsstufe mit organischen bzw. anorganischen Farbstoffen adsorptiv überfärbt. Der metallische Oberflächeneffekt bleibt auch beim Kombinationsverfahren erhalten.

Nach dem Sandalor®-Verfahren*) werden nach 7.2 und 7.3 hergestellte farbige Oxidschichten adsorptiv überfärbt.

Adsorptives Überfärben farbiger Oxidschichten, hergestellt durch elektrolytisches Färben oder Farb-anodisieren

Erweiterung der Farbpalette

7.5 Standard-Farbfächer

Der Standard-Farbfächer der Europäischen Vereinigung der Anodiseure (EURAS) für die elektrolytische Färbung (vgl. 7.2) und die Farbanodisation (vgl. 7.3) beinhaltet die Farbtöne C-0 bis C-35.

EURAS-Standard-Farbfächer

C-0 Farblos C-32 Hellbronze C-34 Dunkelbronze
C-31 Leichtbronze C-33 Mittelbronze C-35 Schwarz

Hinzu kommen für die Farbanodisation die Farb-bezeichnungen

C-36 Hellgrau C-37 Mittelgrau C-38 Dunkelgrau

Der EURAS-Standard-Farbfächer ist zu beziehen über den Verband für die Oberflächenveredelung von Aluminium e.V., VOA, ehemals Eloxal-Verband e.V., 8500 Nürnberg. Zu beachten ist, daß der Farbfächer Durchschnittsmuster des Farbtons wiedergibt und daß es ratsam ist, mit dem Anodiseur eine Farbgleichmustersvereinbarung zu treffen (DIN 17 611).

Farbgleichmustersvereinbarung
(DIN 17 611)

Der ehemalige Farbfächer für die Tauchfärbung (vgl. 7.1) wird vom Verband für die Oberflächenveredelung von Aluminium mangels Nachfrage nicht mehr herausgegeben. Der Fächer hatte die Kurzbezeichnungen EV 1 bis EV 6.

EV1 Naturton EV3 Gold EV5 Bronze dunkel
EV2 Neusilber hell EV4 Bronze mittel EV6 Schwarz

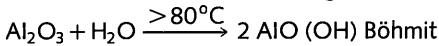
*) Interoxyd AG, CH-9423 Altenrhein

8 Verdichten

Die anodisch erzeugte Oxidschicht ist mikroporös. Sie erreicht ihre optimale Beständigkeit erst durch eine Nachbehandlung, die einen Porenverschluß bewirkt. Hierfür stehen neuerdings zwei Behandlungsmethoden zur Verfügung.

8.1 Hydrothermisches Verdichten

Dieses konventionelle Verdichten anodisierter Teile erfolgt in entsalztem, siedendem Wasser bei über 96°C bzw. in Sattndampf bei über 98°C. Als Verdichtungszeit sollten drei Minuten pro Mikrometer Oxidschichtdicke zugrunde gelegt werden. Die Oxidschicht wird während des Verdichtungsprozesses hydratisiert. Dabei findet eine Umwandlung des Oxids in Böhmit statt. Dieser Vorgang ist mit einer Volumenvergrößerung verbunden und führt zu dem gewünschten Porenverschluß. Das Adsorptionsvermögen der Oxidschicht für Fremdstoffe (z. B. Farbstoffe) wird aufgehoben.



Das sachgemäße Verdichten der anodisch erzeugten Oxidschicht ist für deren Beständigkeit von großer Bedeutung, unabhängig davon, ob es sich um farblose oder farbige Oxidschichten handelt. Für das konventionelle Verdichten adsorptiv gefärbter Schichten (vgl. 7.1) verwendet man Nickel-Kobaltacetatlösungen, um ein Ausbluten des Farbstoffes zu unterbinden. Im allgemeinen tritt nach dem Verdichten auf der Oberfläche ein Belag auf, den man auch als »Schmantschicht« bezeichnet. Dieser Belag ist unerwünscht, weil er insbesondere bei farbigen Oxidschichten das Aussehen verändert und im Laufe der Zeit zu Fleckenbildung führen kann. Der Belag muß vor der Auslieferung beseitigt werden. Es gibt Zusätze zum Verdichtungsbad, die eine Belagbildung verhindern. Bei Anwendung der Zusätze muß geprüft werden, ob auch eine ausreichende Verdichtung erreicht wird und inwieweit diese Zusätze bei der Anwendung der in den Normen angegebenen Prüfmethode sich störend auswirken.

Verdichten durch Hydratisieren der Oxidschicht

Porenverschluß hebt Adsorptionsvermögen der Oxidschicht auf

Verdichten adsorptiv gefärbter Oxidschichten

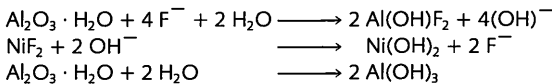
Verdichtungsbelag

8.2 Kaltimprägnieren (Basis Nickelfluorid)

Das Kaltimprägnieren (cold sealing) auf Basis Nickelfluorid als eine neue Behandlungsmethode bewirkt den gewünschten Porenverschluß der Oxidschicht nicht durch Hydratation, sondern durch Einlagerung von Nickelfluorid in die Poren.

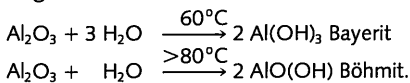
Für das Kaltimprägnieren stehen unterschiedliche Produkte zur Verfügung. Das Behandlungsergebnis ist somit produktabhängig.

Das Imprägnierbad enthält pro Liter 1,2 bis 2,0 g Nickelionen und 0,5 bis 0,8 g freie Fluoridionen. Es arbeitet mit einem pH-Wert von $6 \pm 0,5$ bei 25 bis 30°C. Die Behandlungszeit der Oxidschicht beträgt 0,8 bis 1,2 min/ μm . E. P. Short und A. Morita geben für den Mechanismus des Kaltimprägnierens folgende vereinfachten Reaktionsgleichungen an:



Der eigentlichen Kaltimprägnierung folgt zwingend ein zweiter Behandlungsschritt, die sogenannte Warmwasseralterung. Diese bewirkt, daß nach dem Kaltimprägnieren der langsame Reaktionsablauf in den Poren entscheidend durch erhöhte Feuchtigkeit und Temperatur beschleunigt wird. Die Warmwasseralterung erfolgt in einem Warmwasserbad mit einem Nickelsulfatgehalt von 5 bis 10 g/l bei mindestens 60°C. Erforderlich ist eine Behandlungszeit von 0,8 bis 1,2 min/ μm .

Die Mechanismen der Warmwasseralterung sind wie folgt:



Die Neigung der nur kaltimprägnierten Oxidschicht zur Rißbildung wird durch die Warmwasseralterung bei 60°C bereits verringert, noch mehr jedoch bei Anwendung höherer Warmwassertemperaturen.

Die derart zweistufig behandelte Oxidschicht läßt sich »handln« und gestattet in gleicher Weise die Qualitätskontrolle mit den üblichen Prüfverfahren.

Eine Sonderform der Nachbehandlung besteht in der Versiegelung der Poren mit Lacken, wozu nur geeignete, nichtgilbende Klarlacke verwendet werden können.

Die begrenzte Witterungsbeständigkeit nichtpigmentierter Lacke ist dabei zu berücksichtigen.

Nicht verdichtete anodisch erzeugte Oxidschichten eignen sich als Haftgrund für organische Beschichtungen bei speziellen Anwendungsfällen.

Nachbehandlung über Lacke

9 Oberflächenvorbehandlung

Der metallische Charakter und das Aussehen von Aluminiumoberflächen werden durch die anodische Oxidation nicht verändert. Der Oberflächenvorbehandlung kommt daher eine entscheidende Rolle zu. Gezielte Oberflächeneffekte werden durch mechanische oder chemische Oberflächenvorbehandlung erreicht. Oberflächenunregelmäßigkeiten wie Riefen, Kratzer, Scheuerstellen lassen sich durch eine mechanische Oberflächenbehandlung vor allem durch Schleifen weitgehend beseitigen. Bei der chemischen Oberflächenbehandlung in Spezialbeizen werden satinierte oder mattierte Oberflächen erzielt; dabei können z. B. Korrosionserscheinungen, die vor dem Anodisieren nicht oder nur schwer erkennbar waren, sichtbar werden. DIN 17 611 enthält unter Abschnitt 5.2 Ausführungen zur Oberflächenvorbehandlung mit den Kurzzeichen E0 bis E6.

Gezielte Oberflächeneffekte durch Oberflächenvorbehandlung

DIN 17 611 Kurzzeichen E0 bis E6

Tafel 7: Kurzzeichen für die anodische Oxidation in Abhängigkeit von der Vorbehandlung

Kurzzeichen ¹⁾	Art der Behandlung	
	Vorbehandlung	Haupt- und Nachbehandlung
E0 (P0)	ohne wesentliche oberflächen-abtragende Vorbehandlung	
E1 (P1)	geschliffen	
E2 (P2)	gebürstet	anodisiert und verdichtet
E3 (P3)	poliert	
E4 (P4)	geschliffen und gebürstet	
E5 (P5)	geschliffen und poliert	
E6 (P6)	chemisch behandelt in Spezialbeizen	

¹⁾ Die in Klammern angegebenen Kurzzeichen (P0) bis (P6) sind ein Vorschlag in ISO/TC79/SC2 »Anodisch oxidiertes Aluminium« zur Kennzeichnung der Vorbehandlung (P = Pretreatment).

Das Schleifen, Bürsten und Polieren behandelt Aluminium-Merkblatt O 5. Oberflächen, die anodisch oxidiert werden sollen, müssen sachgemäß gereinigt und entfettet sein. Ihnen dürfen keine Fremdstoffe, Poliermittel- oder Beizlösungsreste anhaften, die den Aufbau einer gleichmäßigen Oxidschicht stören (Aluminium-Merkblatt O 6).

10 Werkstoffzusammensetzung und Gefügezustand

Das Aussehen von anodisch oxidiertem Aluminium wird erheblich beeinflusst durch die Werkstoffzusammen-

setzung, den Gefügezustand und eine Reihe von Umständen, die durch die Herstellweise bedingt sind. Daher ist dem Anodisierbetrieb der Werkstoff der angelieferten Teile anzugeben.

Ein ideal homogenes Gefüge ergibt eine völlig transparente und farblose anodisch erzeugte Oxidschicht. Alle Heterogenitäten können die Transparenz herabsetzen und bereits im normalen GS-Bad Färbungen (Gelbstichigkeit oder graue bzw. graubraune Tönungen) bewirken. Schon im unlegierten Reinaluminium können Si- und Fe- sowie andere Beimengungen, die nicht im Mischkristall gelöst sind, die Schicht trüben. Je höher der Reinheitsgrad, desto besser ist daher normalerweise die Transparenz der Schicht. Bei einem bestimmten Anteil an Beimengungen kann durch Homogenisierungsglühen die Transparenz erhöht werden.

Einfluß von homogenem und heterogenem Gefüge

Bei den Legierungen wird die Transparenz durch solche Zusätze, die durch Wärmebehandlung nicht in Lösung gebracht werden können, herabgesetzt und schließlich eine regelrechte Einfärbung erreicht. Dies gilt vor allem für Si, das beim Lösungsglühen nur begrenzt vom Mischkristall aufgenommen wird, während der Überschuß als elementares Silizium eine zweite Phase in dem heterogenen Gefüge bildet.

Zusätze von Silizium verursachen Graufärbungen der anodisch erzeugten Oxidschicht. Dies beginnt bereits bei Gehalten von etwa 0,5 bis 1%, so daß auch auf Reinaluminium geringerer Reinheitsgrade (Al99), bei denen Si lediglich als Beimengung in diesen Größenordnungen auftritt, leicht getrübt Oxidschichten entstehen können. Mit zunehmendem Si-Gehalt werden die Färbungen intensiver und erreichen bei den hohen Gehalten, wie sie bei Aluminium-Gußlegierungen vorkommen (z. B. 10 % und mehr), auch bräunliche und violette Tönungen. Bei den für die Baupraxis besonders wichtigen AlMgSi-Legierungen spielen sowohl die Höhe der Gehalte an Si und Mg als auch der Lieferzustand eine Rolle. Je höher der Si-Gehalt, desto eher tritt die Möglichkeit ein, daß die Schicht eingetrübt wird. Bei AlMgSi1 ist diese Gefahr größer als bei AlMgSi0,8 oder AlMgSi0,5. Außerdem enthält AlMgSi1 als Legierungszusatz Mn, die beiden anderen Varianten jedoch nicht. Besonders wesentlich ist bei dieser Legierungsgruppe, die meist ausgehärtet angewendet wird, der Liefer- bzw. Einbauzustand. Das Kaltaushärten bewirkt eine weitgehende Homogenisierung. Je geringer die Zusätze an Mg und Si sind und je vollständiger die Lösungsglühung durchgeführt

Silizium

wird, desto wahrscheinlicher ist, daß die Schicht einwandfrei transparent und farblos ausfällt. Profile aus $AlMgSi_0,5$, bei denen das Abschrecken an der Presse oder durch Luftabkühlung am Pressemundstück vorgenommen wird, können deshalb etwas weniger transparent ausfallen, als wenn die gleichen Profile einer besonderen Lösungsglühung bei mindestens 510 bis 530 °C mit einwandfreiem Abschrecken unterworfen werden. Bei fortschreitender Warmauslagerung tritt eine Ausscheidung von Mg_2Si auf, die gleichfalls eine leichte Eintrübung der Schicht bewirken kann.

Mangan und Chrom können bereits in Anteilen von 0,1 bis 0,3 % Gelbstichigkeit in der anodisch erzeugten Oxidschicht hervorrufen. Höhere Gehalte ergeben z. T. dunklere Farben. In $AlMg$ -Legierungen liegt Mn häufig mit etwa 0,1 bis 0,3 % vor. Dabei spielt der Gehalt an Fe und einigen anderen Beimengungen ebenfalls eine Rolle. Er bestimmt die Art der Eisen-Mangan-Aluminide im Gefüge. Auch Größe und Verteilungsgrad dieser intermetallischen Verbindungen entscheiden mit, ob sich Eintrübungen oder Farbstiche bei der anodischen Oxidschicht ergeben. So kommt es vor, daß bereits ein Gehalt von etwa 0,3 bis 0,5 % Mn bei einer $AlMg$ -Legierung das Aussehen beeinträchtigt, während Oxidschichten auf Teilen aus $AlMn$ mit etwa 1% Mn bei der Anodisation weitgehend transparent und ohne Farbstichigkeit ausfallen können.

Mangan
Chrom

Beeinträchtigungen von Farbe und Transparenz sind durch die Kornfeinungselemente Titan und Zirkon schon bei einigen Hundertstel % möglich.

Titan
Zirkon

Magnesium als Zusatz verändert die Farbe der anodisch erzeugten Oxidschicht nicht. Mg-Gehalte von etwa 5 % an aufwärts verursachen eine Trübung der Schichten. Der Einfluß von Mg auf die Härte der Schicht ist gering. Kupfer in Gehalten bis etwa 0,2 % ist ohne merklichen Einfluß auf Farbe, Transparenz und Härte der anodisch erzeugten Oxidschicht. In Gehalten, wie sie bei Legierungszusätzen üblich sind (Gruppe $AlCuMg$ usw.), verursachen sie jedoch ein ungleichmäßiges, fleckiges, graues und bräunliches Aussehen. Dieses ist bei ausgehärtetem $AlCuMg$ nach der anodischen Oxidation weit besser als in Zuständen wie weich, hart oder gepreßt (heterogenes Gefüge). Außerdem fallen diese Schichten bei sonst gleichem Anodisationsverfahren merklich weicher aus. Zink als Beimengung beeinflußt die Schicht nicht.

Magnesium

Kupfer

Zink

Legierungszusätze von etwa 2 % an aufwärts bedingen, falls sie nicht mit anderen Elementen kombiniert werden, nur unwesentliche Trübungen und keine nennenswerten

Färbungen. Die Härte der Schichten wird etwas herabgesetzt.

Anwärmen zum Umformen sowie die Wärmeeinwirkungen neben Schweißnähten und das Gußgefüge in der Naht selbst können das Aussehen dieser Zonen nach der anodischen Oxidation wesentlich beeinflussen. Da Korngrenzen durch die anodische Oxidation unter Umständen sichtbar gemacht werden, muß dieser Effekt vor allem dort berücksichtigt werden, wo ein relativ grob rekristallisiertes Gefüge vorliegt.

DIN 17 611 enthält die technischen Lieferbedingungen für anodisiertes Halbzeug. Wird nach der anodischen Oxidation ein dekoratives Aussehen erwartet, ist es unbedingt erforderlich, dieses Halbzeug in »Eloxalqualität« zu bestellen. Dies veranlaßt den Hersteller, nach eigener Wahl geeignete Maßnahmen zu ergreifen, die sich nicht nur auf die Zusammensetzung, sondern auch auf die gesamte Fertigung (gegossene Formate, Walzen, Strangpressen usw.), die Handhabung bei den Wärmebehandlungen, bei Richtvorgängen, Prüfung, Versand und Transport erstrecken können. Gleichmäßigkeit der Oberfläche der anodisch oxidierten Teile, Farbe, Transparenz und sonstiges Aussehen sind anhand geeigneter Muster zu vereinbaren.

In DIN 1725 Teil 1 sind in Tabelle 3 die zur Lieferung in »Eloxalqualität« geeigneten Aluminium-Knetlegierungen genannt:

AlMg1	AlMg3*)
AlMg1,5	AlMgSi0,5
AlMg1,8	AlMgSi0,8.

Dies gilt auch für die in der gleichen Tabelle als glänzbar genannten Legierungen auf Basis Al99,99R und Al99,9. Ferner sind alle in DIN 1712 Teil 3 genormten Reinheitsgrade des unlegierten Aluminiums als »Eloxalqualität« geeignet, mit Ausnahme von Al99 und Al98. Bei diesen und bei allen anderen Legierungen aus DIN 1725 Beiblatt 1 muß mit zum Teil erheblichen Einschränkungen der Eignung für Eloxalqualität gerechnet werden. Auf Gußstücken lassen sich infolge des weniger homogenen Gefüges nicht so gleichmäßig ausgebildete Oxidschichten erzielen wie auf Knethalbzeug (Bleche, Profile usw.). Gußstücke sollen eine möglichst dichte, glatte Oberfläche, die frei von Lunkern, Poren und Rissen ist sowie ein möglichst gleichmäßiges, feinkörniges Gefüge haben.

*) AlMg3 kann nicht uneingeschränkt für die elektrolytische Färbung (Zweistufen-Verfahren) empfohlen werden.

Wärmeeinflußzonen

Korngrenzen

DIN 17 611
Technische Lieferbedingungen

Anodische Oxidation
von Gußstücken

Kokillenguß eignet sich deshalb besser für die anodische Oxidation als Sandguß. Für dekorative Zwecke bewähren sich nur G-ALMg3, G-ALMg5 und mit gewissen Einschränkungen G-ALMg3(Cu). Die sonstigen Gußlegierungen eignen sich nur für anodische Oxidation und Färbung ohne dekorative Ansprüche. Es ist bisher nicht gelungen, auf Druckgußstücken aus Aluminium-Legierungen dekorative und gleichmäßige Oxidschichten zu erzeugen. Dies liegt im Wesen des Gießverfahrens begründet und gilt auch für solche Legierungen, die nach anderen Gießverfahren einwandfrei anodisierbare Gußstücke ergeben. Auch durch Einfärben der Oxidschicht lassen sich Schlieren und Unregelmäßigkeiten des Druckgußgefüges nicht vollkommen verdecken. Wie praktische Versuche gezeigt haben, läßt sich durch Verwendung von Glasperlen verschiedener Körnung (5 bis 420 µm Ø) als Strahlmittel die Druckgußoberfläche so beeinflussen, daß das Aussehen der anodisierten Oberfläche – vor allem bei dunklen Farbtönen – wesentlich verbessert wird.

Kokillenguß

Druckguß

11 Eigenschaften der anodisch erzeugten Oxidschicht

Die Eigenschaften der anodisch erzeugten Oxidschicht sind von der Zusammensetzung und dem Gefügezustand des Werkstoffes, von der Beschaffenheit vor dem Anodisieren, also auch von der Vorbehandlung sowie vom Oxidationsverfahren selbst und den dabei gewählten Bedingungen abhängig.

Anodisiertes Aluminium ist gegenüber chemisch neutralen Stoffen im Bereich pH 5 bis 8 beständig (vgl. 1). Die sehr widerstandsfähige anodisch erzeugte Oxidschicht bewährt sich auch unter Bedingungen eines kurzzeitigen sauren oder schwach alkalischen Angriffes. Voraussetzung ist eine ausreichende Schichtdicke und eine ordnungsgemäß durchgeführte Anodisation und Verdichtung. In der Witterung besitzt anodisiertes Aluminium eine sehr gute Beständigkeit, wobei die Reinigung anodisierter Bauteile Einfluß nimmt (Aluminium-Merkblatt A 5).

Korrosionsverhalten

Die erforderliche Schichtdicke bei anodisierten Teilen richtet sich nach dem Verwendungszweck und der damit verbundenen chemischen oder mechanischen Beanspruchung.

Schichtdicke

Für anodisierte Teile im Bauwesen sind in DIN 17 611 Mindestschichtdicken für Innen- und Außenanwendung vorgeschrieben (Tafel 8).

Mindestschichtdicken nach DIN 17 611

Tafel 8: Mindestdicke der Oxidschicht (DIN 17 611)

Klasse	Lage und Beanspruchung	Mindestschichtdicke ¹⁾ µm
10	Innen, trocken	10
20	Innen, feucht; Außen	20 ²⁾

¹⁾ Es ist zu beachten, daß die Schichtdicke in Nuten aufgrund der Profilgeometrie und der Streufähigkeit des Anodisierbades geringer sein kann.

²⁾ Bei Farbanodisation können aufgrund der Farbabhängigkeit Schichtdicken von 20 bis 40 µm erforderlich sein. Bei GS- und GSX-Anodisation können in besonderen Fällen, z. B. bei aggressiver Atmosphäre, Mindestschichtdicken von 25 µm vereinbart werden, jedoch sollen Schichtdicken von 30 µm nicht wesentlich überschritten werden.

Für verschiedene andere Verwendungszwecke werden Richtwerte nach Tafel 9 der Schichtdicke empfohlen.

Tafel 9: Schichtdicken für bestimmte Verwendungszwecke

Teile aus Knetwerkstoffen:	
Mechanisch beanspruchte Teile	20 µm
Wirtschaftsgegenstände wie Kochgeschirr, Flaschen aller Art,	
Campingartikel	15 µm
Beschlagteile aller Art	15 µm
Reflektoren	5 bis 10 µm
Gußstücke: allgemein	
Beschlagteile	10 bis 15 µm
Bijouterie und kunstgewerbliche Artikel, Kurz- und	
Schmuckwaren	15 µm
Für alle Teile auf Schiffen	5 bis 10 µm
	20 µm

Für geglänzte und anodisch oxidierte Teile gelten die gleichen Bestimmungen. Es ist in jedem Fall empfehlenswert, dem Anodisierbetrieb die praktische Beanspruchung der zu behandelnden Teile anzugeben und entsprechende Vereinbarungen zu treffen.

Die anodisch erzeugte Oxidschicht ist von hoher Härte und Verschleißfestigkeit. Da das Grundmetall wesentlich weicher ist, sollte die Oxidschicht nur flächig und nicht punktförmig belastet werden, um ein Eindringen der Oxidschicht ins Metall zu vermeiden. Die Härte der Oxidschicht hängt ab von der Zusammensetzung des Werkstoffes und den anodischen Oxidationsbedingungen. Sie nimmt bei dekorativen Anodisierverfahren infolge der auftretenden Rücklösung der Oxidschicht im Elektrolyten (vgl. 2) ausgehend von der Oberfläche in Richtung zum Metall leicht zu. Es werden Schichten mit einer Mikrohärtigkeit von 250 bis 500 HV erzielt. Besonders hohen Anforderungen an Härte und Verschleißfestigkeit genügen hartanodisierte Schichten (Aluminium-Merkblatt O 11), die durch PTFE-Imprägnierung spezielle Gleiteigenschaften erhalten.

Härte und Verschleißfestigkeit

Anodische Oxidschichten, vor allem die nach dem GS-Verfahren (vgl. 2) erzeugten Schichten, besitzen aufgrund ihrer feinporigen Struktur ein hohes Adsorptionsvermögen für Farbstoffe. Sie lassen sich daher leicht färben (vgl. 7.1) oder bedrucken. Sie sind ebenfalls geeignet als Träger lichtempfindlicher Emulsionen in der Herstellung von Offsetplatten (Seophot- und Aluphot-Verfahren).

Adsorptionsvermögen/
Färbbarkeit

Anodisch erzeugte Oxidschichten sind – von Sonderfällen abgesehen – transparent. Das einfallende Licht wird an der Grenzfläche Oxid/Metall reflektiert. Der Reflexionsgrad hängt daher von der Oberflächenbeschaffenheit des Aluminiums und der Transparenz der Oxidschicht ab (vgl. 10). Ein speziell hohes Reflexionsvermögen wird erzielt mit Glänzwirkstoffen (DIN 1712 Teil 3 und DIN 1725 Beiblatt 1), deren Oberfläche elektrolytisch oder chemisch gegläntzt wurde. Das Reflexionsvermögen sinkt mit abnehmendem Reinheitsgrad des Werkstoffes und mit zunehmender Oxidschichtdicke (vgl. 6).

Reflexionsvermögen

Gut verdichtete Oxidschichten weisen eine hohe elektrische Isolationsfähigkeit auf. Die Durchschlagsspannung nimmt mit der Schichtdicke zu.

Elektrisches Isolationsvermögen

Die Dielektrizitätskonstante der Oxidschicht liegt in Abhängigkeit vom Anodisierverfahren zwischen 7 und 8. Die Wärmeleitfähigkeit der Oxidschicht ist temperaturabhängig. Sie beträgt etwa das 0,1fache von der des Aluminiums.

Wärmeleitvermögen

12 Meß- und Prüfverfahren

Die Prüfung der Qualität anodisch erzeugter und verdichteter Oxidschichten wird entsprechend den in DIN 17 611 aufgeführten Meß- und Prüfverfahren vorgenommen.

Für die Schichtdickenmessung stehen zwei Prüfverfahren zur Verfügung. Nach DIN 50 984 wird die Schichtdicke elektrisch nichtleitender Schichten auf nichtferromagnetischem Grundmetall zerstörungsfrei mit Wirbelstromgeräten gemessen. Die Meßunsicherheit beträgt $\pm 2 \mu\text{m}$. Nichtzerstörungsfrei erfolgt die Schichtdickenmessung am Schliff mit dem Mikroskop gemäß DIN 50 950. Die Meßunsicherheit beträgt $\pm 0,8 \mu\text{m}$. Die Messung des Scheinleitwertes nach DIN 50 949 arbeitet zerstörungsfrei. Verwendet werden eine Elektrolytzelle mit einem lichten Querschnitt von $1,33 \text{ cm}^2$ und eine Kaliumsulfatlösung (3,5 Gew.-%) als Elektrolyt. Der gemessene Scheinleitwert muß auf eine Schicht-

Schichtdickenmessung
DIN 50 984 (ISO 2360)
DIN 50 950

Scheinleitwertmessung
DIN 50 949 (ISO 2931)

dicke von 20 µm und eine Temperatur von 25 °C umgerechnet werden. Der erhaltene y_{20} -Wert darf bei ungefärbten Oxidschichten 20 µS (Mikrosiemens) nicht überschreiten. Die Prüfung ist innerhalb von 48 h nach der Verdichtung vorzunehmen. Bei farbigen Oxidschichten können unter Umständen andere Grenzwerte eine ausreichende Beständigkeit kennzeichnen.

Die Anfärbprüfung wird vorzugsweise nach DIN 50946 vorgenommen. Als Anfärbstoff dient Aluminiumblau 2LW (5 g/l) oder Aluminiumrot B3LW (10 g/l). Eine saubere, ordnungsgemäß verdichtete Oxidoberfläche zeigt bei dieser Prüfung keine Einfärbung. Der Reflexionswert der geprüften Stelle darf nicht weniger als 85 % bezogen auf den Reflexionswert derselben Probe vor der Prüfung betragen. Anwendbar ist dieses Verfahren vor allem bei farblosen Oxidschichten bei dunkelgefärbten Schichten ist eine Intensitätsbestimmung der zurückbleibenden Anfärbung schwierig oder unmöglich.

Der Gewichtsverlust wird nach DIN 50899 in Chromphosphorsäure bestimmt. Das Verfahren ist auf farblos und gefärbte Oxidschichten anwendbar. Nach DIN 17611 darf der Gewichtsverlust 30 mg/dm³ nicht überschreiten.

Anfärbprüfung
DIN 50946 (ISO 2143)

Gewichtsverlustbestimmung
DIN 50899 (ISO 3210)

13 Gütezeichen

Trägerschaft des Gütezeichens ist Qualanod International mit Sitz in Zürich. Die von Qualanod erarbeiteten Vorschriften für die Herstellung und Prüfung anodisch erzeugter Oxidschichten auf Aluminium und seinen Legierungen. Diese wurden in der Bundesrepublik Deutschland von der »Gütegemeinschaft Anodisiertes Aluminium e. V.« (GAA), 8500 Nürnberg, übernommen. Träger der GAA sind Eloxalanstalten und die Aluminium-Halbzeugindustrie. Das Gütezeichen ist Nachweis für optimale Qualität. Die Gütegemeinschaft ist von RAL, Bonn, anerkannt.

Qualanod

Gütegemeinschaft Anodisiertes
Aluminium e.V. (GAA)

14 Bearbeiten von anodisierten Teilen

Umformen, Zuschneiden und dergleichen müssen vor der anodischen Behandlung erfolgen. Die Schichten sind im allgemeinen nicht biegsam genug, um Verformungen unbeschadet auszuhalten. Nur auf dünnen Bändern lassen sich Schichten erzeugen, die nachträgliches Umformen zu profiliertem Band, Kapseln, Deckeln usw. gestatten.

Umformen

Spanende Bearbeitung wie z. B. Schneiden von Gehrungen, Bohren von Schraubenlöchern und der-

Spanen

gleichen soll ebenfalls vor dem Anodisieren erfolgen, da die freigelegten Flächen weniger beständig sind als die oxidierten, aber auch weil bei der Handhabung leicht Kratzer verursacht werden können.

Der Zusammenbau von Einzelteilen wird stets erst nach dem Anodisieren vorgenommen. Insbesondere dürfen Schwermetallteile erst nachträglich angefügt werden, da sie im Anodisierbad zu erheblicher elektrolytischer Korrosion führen und den Elektrolyten verderben können. Nicht entfernbare Schwermetallteile werden vor der anodischen Behandlung mit einem geeigneten Lack abgedeckt. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, daß Teile, die zusammengebaut werden und im Aussehen völlig gleichartig sein sollen, auch die gleiche Behandlung erfahren müssen.

Zusammenbau

15 Verbinden von anodisierten Teilen

Schraubverbindungen sollen erst nach dem Anodisieren der Einzelteile vorgenommen werden. Schwermetallschrauben dürfen nicht in das Anodisierbad gelangen. Es empfiehlt sich, zum Verbinden von dekorativ anodisierten Aluminiumteilen Stahlschrauben mit einem zuverlässigen Oberflächenschutz (z. B. verchromt, inkromiert) oder Schrauben aus nichtrostendem Stahl zu verwenden, wenn nicht Leichtmetallschrauben in Frage kommen. Rostende verzinkte Stahlschrauben stören das Aussehen anodisierter Bauteile.

Schraubverbindungen

Bei dekorativer Anwendung sollen Schweißverbindungen möglichst vermieden oder so angeordnet werden, daß sie nicht im Sichtbereich liegen. Es ist im allgemeinen nicht zu verhindern, daß sich die Schweißnaht nach dem Anodisieren abzeichnet, was sich durch den Gefügeunterschied leicht erklären läßt. Wenn Schweißstellen sichtbar angeordnet sind, kommen als Werkstoffe nur Reinaluminium und seine Legierungen, Reinaluminium und die Legierungen AlMg1, AlMg2 und AlMg3 in Betracht, bei denen sich die Schweißnaht relativ am wenigsten abzeichnet. Mit Schutzgasschweißverfahren (Aluminium-Merkblatt V 2 »Lichtbogenschweißen von Aluminium«) sind besser aussehende Schweißnähte erzielbar als durch Autogenschweißen (Aluminium-Merkblatt V 1 »Autogenschweißen von Aluminium«). Elektrisch stumpfgeschweißte Stellen bleiben nach der anodischen Oxidation fast unsichtbar. Allerdings kommt dieses Schweißverfahren wegen der hohen Anschaffungskosten der Schweißmaschine nur für Serienfertigung in Betracht (Aluminium-Merkblatt V 3 »Widerstandsschweißen von Aluminium«).

Schweißverbindungen

Die beim Autogen- und Schutzgasschweißen verwendeten Schweißdrähte sollen möglichst aus dem gleichen Werkstoff bestehen wie die Werkstücke, um die beim Anodisieren entstehenden Farbunterschiede zwischen Grundwerkstoff und Schweißnaht gering zu halten. (Über die Zusammensetzung und Verwendung von Schweißdrähten siehe DIN 1732 Teil 1, Schweißzusatzwerkstoffe für Aluminium.)

Die Schweißnähte müssen unbedingt porenfrei sein, Flußmittelreste sind sorgfältig zu entfernen, am zuverlässigsten durch Tauchen in 10 %ige Natronlauge, anschließendes Spülen in Wasser und Neutralisieren in verdünnter Salpetersäure. Zum Schluß wird mit Wasser gründlich gespült.

Hartlötstellen verfärben sich bei Verwendung der üblichen siliziumhaltigen Hartlote bei der anodischen Oxidation grau.

Hartlötstellen

Weichlötstellen werden beim Anodisieren angegriffen und müssen daher vermieden werden.

Weichlötstellen

Kleberverbindungen mit Kunstharz-Klebstoffen lassen sich einwandfrei anodisieren (Aluminium-Merkblatt V 6 »Kleben von Aluminium«).

Kleberverbindungen

Mit dem sogenannten EKO-Bolzen®*) kann schnell und sicher eine Eckverbindung mittels Eckwinkel hergestellt werden. Es werden durchgehende Bohrungen verwendet. Der Edelstahlbolzen selbst ist gekröpft. Eine Anodisation EKO-gebolzter Rahmen ist nicht möglich.

Mechanische Eckverbindungen

16 Anwendung

Von den zahlreichen Möglichkeiten dekorativer Anwendung sind hier einige der bedeutendsten als typische Vertreter aufgeführt:

Schaufenster, Ladeneinrichtungen, Fassaden, Sonnenblenden, Fenster und Türen für Bauwesen und Fahrzeuge, Verkleidungen aller Art, Vitrinen, Kioske, Rollgitter, Beschlagteile und Zierleisten aller Art für Bauwesen, Fahrzeuge, Möbel usw., Teile von Maschinen für Nahrungsmittelindustrie, Haushaltgeräte aller Art, Treppen und Balkongeländer, Bauausstattungen, Schilder, Buchstaben, Reklameschrift, feinmechanische Geräte, anodisierte Bänder.

In glanzanodisierter Ausführung:

Fensterrahmen, Ausrüstungs- und Zierteile für Fahrzeuge, Reflektoren, Beleuchtungskörper, Küchen- und Hotelgeschirr, Schmuck, kunstgewerbliche Gegenstände, Gebrauchsgegenstände oder Teile davon.

*) DRGM J. & A. Erbslöh, 5600 Wuppertal

Technische Merkblätter

- A 1 Aluminium-Dachdeckung und -Wandbekleidung
- A 2 Aluminium-Dachdeckung – Doppelfalz- und Leistendach
- A 5 Reinigen von Aluminium im Bauwesen / A 5 Cleaning of Aluminium in the Building Industry
- A 6 Folien und dünne Bänder aus Aluminium als Funktionsträger für Dämmelemente und Dichtungsbahnen im Bauwesen
- A 7 Richtlinie für die Verlegung von Aluminium-Profiltafeln
- A 8 Aluminium-Weltprofile
- A 9 Verbindungen von Profiltafeln und dünnwandigen Bauteilen aus Aluminium
- A 11 Bemessung von Aluminium-Trapezprofilen und ihren Verbindungen. Berechnungsbeispiele

- B 1 Biegen von Aluminium-Halbzeug in der handwerklichen Praxis
- B 2 Spanen von Aluminium

- E 1 Aluminium in der Elektrotechnik und Elektronik

- K 5 Einfache Spannungsnachweise

- O 2 Chemische Oxidation, Chromatieren, Phosphatieren von Aluminium
- O 3 Beschichten von Aluminium
- O 4 Anodisch oxidiertes Aluminium
- O 5 Schleifen und Polieren von Aluminium
- O 6 Beizen und Entfetten von Aluminium
- O 8 Galvanische und chemische Überzüge

- V 1 Gasschmelzschweißen von Aluminium
- V 2 Lichtbogenschweißen von Aluminium
- V 4 Löten von Aluminium
- V 5 Nieten von Aluminium
- V 6 Kleben von Aluminium

- W 1 Der Werkstoff Aluminium / W 1 The Metal Aluminium
- W 2 Aluminium-Knetwerkstoffe
- W 3 Formguss von Aluminium-Werkstoffen
- W 7 Wärmebehandlung von Aluminiumlegierungen
- W17 Aluminiumschäume »Herstellung, Anwendung, Recycling«
- W18 Aluminium in der Verpackung »Herstellung, Anwendung, Recycling« /
W 18 Aluminium in the Packaging Industry »Manufacture , Use, Recycling«

Hinweis: Weitere Literatur rund um das Thema Aluminium finden Sie auf unserer Homepage unter www.aluinfo.de in der Rubrik „Shop“.



GESAMTVERBAND DER
ALUMINIUMINDUSTRIE e.V.

Am Bonnhof 5
40474 Düsseldorf

Postfach 10 54 63
40045 Düsseldorf

Tel.: 0211 - 47 96 - 279/285
Fax: 0211 - 47 96 - 410

information@aluinfo.de
www.aluinfo.de