

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

### Teil 1: Verfahren – Anlagen – Geräte (G. Aichele)

<b>Geschichtliche Quellen – Auswahl und Bewertung</b> .....	2
Schrifttum .....	3
<b>Schweißtechnik seit Jahrtausenden</b> .....	4
Menschen und Metalle .....	4
Die Metalle der Sumerer .....	4
Gold – für die Mächtigen, die Reichen, die Schönen .....	7
Die Granulation – Löten oder Schweißen? .....	8
Silber – nicht nur im vorderen Orient .....	9
Kupfer und Bronze für Werkzeuge und Waffen .....	10
Die Bibel als Quelle für die Geschichte der Metalle? .....	12
Ägypter und Kreter, Etrusker und Griechen .....	12
Lebensgroße Bronzefiguren der Antike .....	15
Bronze im täglichen Leben Roms – und ein Fund in Niedersachsen .....	18
Eisen – den Anfang machten die Hethiter .....	21
Herodot, Pausanias – und der erste Schweißer .....	22
Eisen bei Etruskern, Hebräern, Philistern und Römern .....	24
Kelten und Germanen .....	27
Schwerter und Pflugscharen .....	29
Ohne Zinn keine Bronze .....	30
Blei – nicht nur für frisches Wasser .....	31
Wasser für Rom .....	33
Aluminium – das Leichtgewicht .....	35
Magnesium – aus unerschöpflichen Quellen .....	36
Schrifttum .....	36
<b>Schweißen und Schneiden mit Feuer und Flamme</b> .....	40
Vom Schmiedefeuer zur Autogenflamme .....	40
Feuerschweißen .....	40
Warmpressschweißen von Rohren .....	41
Kontinuierliches Rohrschweißen nach Fretz-Moon .....	42
Wassergasschweißen .....	43
Gaspressschweißen .....	45
Gasschmelzschweißen (Gasschweißen) .....	45
Zur Vorgeschichte: Gebläse und brennbare Dämpfe .....	45
Brennerkonstruktionen (Dräger, Wiss, Fletcher, Jottrand, Fouché) .....	52
Autogenes Brennschneiden .....	63
Die grundlegende Idee des Dr. Ernst Menne .....	63
Das Brennschneiden und Ernst Wiss .....	65
Werkzeuge für das Brennschneiden .....	70
Pulverbrennschneiden .....	78
Unterwasserschneiden .....	79
Brennfugen .....	79

Gase für die Autogentechnik .....	80
Das verborgene Feuer des Dr. H. Goldschmidt .....	87
Schrifttum .....	90
<b>Elektrizität als Verbündeter der Schweißtechnik .....</b>	<b>94</b>
Die Nutzung des elektrischen Widerstandes beim Widerstandspressschweißen .....	94
Der Lichtbogen zum Schmelzen und zum Schweißen .....	100
Die Erfindungen des N. N. Benardos .....	101
Die Entwicklungen des N. G. Slawjanow .....	103
Das Patent des Dr. H. Zerener .....	105
Eine amerikanische Sichtweise .....	107
Frühe Anwendungen des Kohlelichtbogens .....	109
Stabelektroden – nackt, getaucht, umhüllt .....	112
Die umhüllte Stabelektrode des Oscar Kjellberg .....	113
Eine Elektrode mit Seele .....	114
Entwicklungen und Patente in den USA und in Großbritannien .....	115
Wettbewerb der Elektrodenarten .....	117
Elektroden für besondere Zwecke .....	118
Frühe Mechanisierung mit Kohle- und Metalllichtbogen .....	121
Mit Schwerkraft und mit Federkraft .....	124
Unter der Schiene versteckt .....	125
Stück für Stück selbsttätig nachgeschoben .....	128
Die Elektrode von der Rolle .....	129
Der Wettkampf der Verfahren und Geräte .....	132
Unter Pulver – eine Erfolgsgeschichte .....	133
Unter Schlacke, aber ohne Lichtbogen .....	138
Gerollt, gefüllt, gefalzt: selbstschützende Fülldrahtelektroden .....	142
Die Autogenflamme als Schutz des Lichtbogens – „Arcogen“-Schweißen .....	144
Schweißen unter Schutzgas .....	146
Der Schutz des Lichtbogens durch Edelgase: erste Patente .....	148
Irving Langmuir und der atomare Wasserstoff .....	150
Erfindungen in den USA zum Schutzgasschweißen .....	152
Das WIG-Patent des R. Meredith .....	155
Stichwort Magnesium .....	157
Erste Anwendungen in den USA .....	157
Weitere Entwicklungen .....	158
Der Sprung nach Europa .....	159
Durchbruch bei Industrie und Handwerk .....	161
Mechanisierung des WIG-Schweißens .....	163
WIG-Impulstechnik und andere Verbesserungen .....	164
Die Drahtelektrode unter Schutzgas .....	168
Der Weg in die Bundesrepublik Deutschland .....	169
Erste praktische Anwendungen .....	172
CO <sub>2</sub> tritt auf die Bühne .....	173
Wettkampf der Schutzgase .....	174
Verbesserungen und Entwicklungen .....	177
Sieger der Schweißverfahren .....	179
Neue Impulse durch die Impulstechnik .....	180
Von der einfachen Mechanisierung zum Industrieroboter .....	182
Metall-Schutzgas-Hochleistungsschweißen .....	184

Massivdrahtelektroden .....	189
Doppelter Schutz: Schlackenbildner und Schutzgas .....	189
Schrifttum .....	192
<b>Plasmatechnik, Schutzgase und Stromquellen</b> .....	201
Schneiden mit dem Plasma-Lichtbogen .....	201
Die Argon-Wasserstoff-Technik .....	201
Stürmische Entwicklung – und ein neuer Name .....	203
Die Drucklufttechnik .....	204
Vielfalt der Möglichkeiten .....	206
Schweißen mit dem Plasma-Lichtbogen .....	208
Kombinationen: Plasma plus X .....	213
Schutzgase – die Qual der Wahl .....	214
Argon, die Basis des Schutzgasschweißens .....	215
Die Phantasie der Gasemischer .....	216
Schutzgase für Chrom-Nickel-Stähle .....	217
Gase für das MAG-Hochleistungsschweißen .....	218
Und mit Wasserdampf? .....	218
Strom für den Lichtbogen – vom Umformer zur digitalen Stromquelle .....	219
Akkumulatoren und Generatoren .....	219
Schweißtransformatoren .....	220
Schweißgleichrichter .....	221
Der Weg in die Elektronik mit dem Thyristor .....	222
Der Siegeszug des Transistors .....	223
Ein grundlegendes Patent und ein jahrelanger Rechtsstreit .....	225
Schrifttum .....	227
<b>Strahlen zum Schweißen und Schneiden nutzen</b> .....	231
Sonne und Licht .....	231
Schweißen mit dem Elektronenstrahl .....	232
Elektronenstrahlschweißen an der Atmosphäre .....	233
Der Elektronenstrahl in der Praxis .....	234
Bohren mit dem Elektronenstrahl .....	236
Schweißen mit dem Laserstrahl .....	236
Laser plus X .....	239
Schneiden mit dem Laserstrahl .....	239
Wettbewerb der Verfahren .....	242
Schrifttum .....	242
<b>Phantasiereiche Verfahren der Schweißtechnik</b> .....	245
Schrifttum .....	249
<b>Die weite Welt der Löttechnik</b> .....	250
Handwerkliches Löten .....	250
Löten in der industriellen Fertigung .....	251
Moderne Lötverfahren .....	252
Schrifttum .....	253
<b>Schweißen von Aluminium und Magnesium</b> .....	255
Autogenschweißen in den dreißiger Jahren .....	255
Aluminium und der elektrische Strom .....	256
Die Idee der Brüder Weibel .....	257

Schutzgasschweißen – idealer Partner für Aluminium .....	258
Stromarten und Stromformen beim WIG-Schweißen .....	259
Plasmaschweißen .....	261
Lichtbogen-Punktschweißen .....	261
Spezialitäten beim MIG-Schweißen .....	261
Andere Verfahren .....	262
Schrifttum .....	264

## **Teil 2: Stahlwerkstoffe – Konstruktion – Materialprüfung – Ausbildung** (H. Behnisch)

<b>Wegbereiter in der Schweißtechnik</b> .....	268
Herausragende Einzelleistungen machten die Schweißtechnik von heute möglich .....	268
Verhüttung von Eisenerz und erste schweißtechnische Anwendung von Stahl .....	268
Erste wissenschaftliche Untersuchungen des Stahls .....	269
Experimente und Bau erster Schweißkonstruktionen .....	270
Gas- und Lichtbogenschweißen von Konstruktionen in allen Anwendungsbereichen .....	271
Rückschläge und Ansatz vertiefter wissenschaftlicher Arbeit .....	273
Gütesicherung der geschweißten Naht durch zerstörende Prüfung .....	276
Die segensreiche Erfindung in der zerstörungsfreien Prüfung – die Röntgenprüfung .....	276
Vereinheitlichen der Bestimmung der Handfertigkeit des Schweißers .....	277
Beginn der überbetrieblichen Ausbildung von schweißtechnischem Personal .....	279
Schrifttum .....	280
<b>Stahl – der Werkstoff zum Schweißen</b> .....	282
Verhüttung von Eisenerz im deutschsprachigen Raum .....	282
Eisen- bzw. Stahlerzeugung in immer größeren Mengen .....	284
Stahlerzeugung in der Welt .....	286
Verfahren zur Stahlherstellung – eine historische Übersicht .....	286
Puddelstahl / Schweißstahl .....	286
Bessemerstahl (Blasstahl / Flussstahl) .....	287
Siemens-Martin-Stahl (Herdstahl / Flussstahl) .....	287
Thomasstahl (Blasstahl / Flussstahl) .....	287
Elektrostahl (Herdstahl / Flussstahl) .....	288
Sauerstoffaufblasstahl (Blasstahl / Flussstahl) .....	288
Pfannenmetallurgie .....	288
Vom Roheisen zum Stahl – ein schematischer Überblick .....	288
Baustähle von 1885 bis 1940 und ihre Eignung zum Schmelzschweißen .....	289
Die wichtigsten Stahlgruppen – gestern und heute .....	291
Allgemeine Baustähle .....	291
Legierte Stähle .....	293
Stahl heute .....	294
Gruppeneinteilung der Stähle in der europäischen und weltweiten Normung .....	294
Gefügerichtreihe Stahl – Referenzbilder über Schweißgefüge .....	295
Schrifttum .....	296
<b>Die Schweißkonstruktion und ihr Entwicklungsweg</b> .....	298
Funktionale Bauten aus Eisen wandeln das Antlitz von Stadt und Land .....	298
Beginn der schulischen Bildung von Ingenieuren .....	302
Entwicklung und Bedeutung der Materialprüfungsanstalten .....	303

Nieten – die wichtigste Verbindungsmethode im 19. Jahrhundert .....	305
Vorbildliche Nietkonstruktionen .....	305
Das genietete Palmenhaus im neuen Glanz .....	309
Das „ <i>Blaue Wunder</i> “ – ein genietetes Brückenbauwerk über dem Elbstrom .....	310
Sanierung einer der schönsten Rheinbrücken unter dem Schutz der Denkmalsbehörden .....	311
Vorbildliche Erneuerung des denkmalgeschützten „ <i>Eisernen Stegs</i> “ in Frankfurt/Main .....	312
Von der genieteten zur geschweißten Stahlkonstruktion .....	315
Gestaltungsbeispiele genieteter und geschweißter Konstruktionen .....	315
Pionierleistungen in der Schweißtechnik .....	316
Experimentelle Untersuchungen in Deutschland .....	318
Anfänge des Regelwerks im Stahlbau .....	319
Gestalterische Lösungen zu Schweißkonstruktionen .....	319
Vollständig geschweißte Straßenbrücken der sechziger Jahre .....	324
Die Deutsche Reichsbahn förderte das Schweißen im Eisenbahnbrückenbau .....	326
Berechnungsgrundlagen und bauliche Grundsätze .....	326
Hochfester Baustahl im Brückenbau .....	327
Schweißen im Eisenbahnbrückenbau .....	327
Beginn des Großbrückenbaus .....	328
Die Strelasund- und Ziegelgraben-Brücke der dreißiger Jahre .....	328
Grundsanierung und Neubau am Rügendamm .....	328
Rückschläge in der Schweißtechnik und erfolgreiche Gegenmaßnahmen .....	329
Weitere Beispiele geschweißter Eisenbahnbrücken der dreißiger Jahre .....	331
Geschweißte Konstruktionen der fünfziger Jahre und nachfolgenden Jahre .....	331
Torsionssteife Kastenkonstruktion spart Eigengewicht .....	332
Vom mechanischen zum automatischen Lichtbogenschweißen .....	333
Geschweißte Tragwerke am Berliner Hauptbahnhof .....	333
Unterpulverschweißen beim Bau von Offshore-Windenergieanlagen .....	335
Laserstrahlschweißen von Sonderprofilen für Treppenanlagen .....	336
Bedachung von öffentlichen Gebäuden durch Bolzenschweißen .....	337
Werkstoff- und Schweißtechnik beim Bau von Dampfkesseln, Druckbehältern und Rohrleitungen .....	338
Stand des Dampfkesselbaus um 1920 .....	338
Material- und Bauvorschriften .....	340
Schweißen im Koksfeuer und mit Wassergas .....	342
Das Lichtbogenschweißen setzt sich durch .....	344
Beispiele lichtbogengeschweißter Bauteile im Kessel-, Behälter und Rohrleitungsbau ..	346
Schweißen von Rohrleitungen unter Schutzgas und mit Formiergas .....	351
Unterpulverschweißen und Elektro-Schlacke-Schweißen für dickwandige Behälter und Kesseltrommeln .....	352
Lichtbogenschweißen von Großkugelgasbehältern .....	354
Schweißen von Flossenrohrwänden .....	355
Bolzenschweißen zum Bestiften von Kesselrohren .....	358
Vielfalt des Schweißens im Apparate- und Anlagenbau .....	358
Präzisionsschweißen mit dem Laserstrahl im Rohrleitungsbau .....	361
Wärmetauscherrohre laserstrahlgeschweißt .....	361
Regelwerk der Entwicklung von Werkstoff- und Schweißtechnik angepasst .....	362
Vom Nieten zum Laserstrahlschweißen im Schiffbau .....	362
Eiserne Schiffe zuerst auf englischen Werften .....	362
Schweißen von Schiffen zu Beginn des 20. Jahrhunderts .....	363
Vollständig lichtbogengeschweißtes Schiff in Schweden .....	363

Erste Schweißvorschriften der dreißiger Jahre .....	364
Geschweißte Schiffe auf deutschen Werften .....	365
Deutscher Kriegsschiffbau der vierziger Jahre .....	368
Wandel auf deutschen Werften nach dem zweiten Weltkrieg .....	370
Schweißen von Fährschiffen aus Aluminium .....	374
Schweißen von Paneelen in Wismar .....	375
Laserstrahl-MIG-Hybridschweißen von Schiffssektionen auf der Meyer-Werft .....	376
Laserstrahlschweißen von Sandwichpaneelen im Schiffbau .....	377
Von der Reparaturschweißung zu hochbeanspruchten Komponenten im Maschinenbau .....	378
Vom Reparaturschweißen an Dampflokomotiven bis zum Laserstrahl-Metallschutzgas-	
Hybridschweißen an Personenwagen .....	389
Beginn des Schmelzschweißens Anfang des 20. Jahrhunderts .....	389
Geschweißte Stahlleichtbauten im Elektro-Lokomotivbau der dreißiger und	
vierziger Jahre .....	390
Leichtbauweise im Waggonbau der vierziger Jahre .....	392
Werkstoff- und Prüftechnik in den dreißiger und vierzigen Jahren .....	394
Schweißtechnik nach dem zweiten Weltkrieg .....	395
Vollständig geschweißte Konstruktionen im Elektro-Lokomotivbau der fünfziger Jahre	395
Die Integralbauweise von ICE 1 und ICE 2 .....	396
Vollmechanisches Schweißen am ICE 3 .....	398
Geschweißte Aluminiumrohbauteile auch beim Bau von U- und S-Bahnzügen .....	400
Laserstrahl-Metallschutzgas-Hybridschweißen von Trägerbaugruppen an Personen-	
wagen der DB .....	400
Automobilbau – vom Autogenschweißen zum Laserstrahl-MIG-Hybridschweißen .....	400
Autogenes Schweißen als Vorreiter .....	400
Pioniere der Schweißtechnik im Automobilbau .....	403
Widerstandspressschweißen in der Blechverarbeitung .....	404
Lichtbogenschweißen von Einzelteilen und tragenden Komponenten im Straßen-	
fahrzeugbau der vierziger Jahre .....	405
Automatisierung in den sechziger Jahren .....	406
Flexible Fertigung mit Schweißrobotern .....	406
Vielfältiger Einsatz der Strahlverfahren im Automobilbau .....	408
Laserstrahlschweißen im Karosseriebau .....	408
Laserstrahlschweißen von Antriebsbauteilen .....	409
Zahnräder für Fahrzeuggetriebe elektronenstrahlgeschweißt .....	409
Laserstrahl-MIG-Hybridschweißen von Kfz-Leichtbauteilen .....	410
Die Schweißtechnik in der Luft- und Raumfahrt .....	410
Flugzeugrümpfe wurden anfangs autogenschweißt .....	410
Werkstoffe und Prüfmethoden werden entwickelt .....	411
Vorbildliche Schweißkonstruktionen aus den dreißiger und vierziger Jahren .....	412
Schweißen von „Elektronmetall“ – einer Magnesiumlegierung .....	415
Schulung von Flugzeug- und Triebwerkschweißern .....	416
Zellenbau nach dem zweiten Weltkrieg .....	417
Hohe Anforderungen an die Schweißverfahren – vom Gasschmelzschweißen zum	
Laserstrahlschweißen .....	418
Schneller mit Strahltriebwerken .....	420
Mit Raketen in den Weltraum .....	422
Bewährung des Rührreißschweißens beim Bau von Tankböden für kryogene Treib-	
stoffe .....	424
Schrifttum .....	424

<b>Wie der Sprödbruch besiegt wurde</b> .....	433
Erste Großprojekte geschweißter Stahlkonstruktionen .....	433
Aufsehenerregende Schäden an geschweißten Konstruktionen .....	435
Sprödbrüche an Brücken – Beispiel: Eisenbahn- und Straßenbrücken .....	435
Sprödbrüche an Schiffen – Beispiel: Tankschiffe und Frachtschiffe .....	436
Sprödbrüche an Behältern – Beispiel: Kugelbehälter und zylindrischer Behälter .....	437
Sprödbrüche an Behältern – Beispiel: Wasserstofflagerbehälter .....	439
Hohe Eigenspannungen vermeiden – ein Appell an Konstruktion und Fertigung .....	440
Nachweis der Schweißbeignung von Baustahl mit dem Aufschweißbiegeversuch .....	442
Entwicklung schweißgeeigneter Baustähle .....	443
Wahl der Stahlsorte für geschweißte Stahlbauten .....	443
Vermeiden von Terrassenbrüchen in Schweißkonstruktionen .....	443
Prüfmethoden zur Sprödbruchsicherheit – Entwicklung der Kerbschlagprobe .....	444
Test der Sprödbruchsicherheit an Bauteilen .....	446
Bruchmechanische Methoden .....	447
Wann ist ein Bauteil bzw. eine Konstruktion schweißbar? .....	447
Schrifttum .....	448
<b>Ein Jahrhundert schweißtechnische Bildung</b> .....	450
Industrialisierung verlangt nach qualifizierten Fachkräften .....	450
Erste schweißtechnische Schulungen .....	451
Überbetriebliche Ausbildung .....	453
Die schweißtechnische Bildung nach dem zweiten Weltkrieg .....	458
Von den nationalen zu den internationalen Ausbildungsrichtlinien für Schweißer .....	461
Schweißerausbildung in einem speziellen Industriezweig .....	464
Qualifikation des Schweißaufsichtspersonals – weltweit .....	464
Schrifttum .....	466
<b>Zeittafel der Schweißtechnik</b> .....	469