

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

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

Geschichtliche Quellen – Auswahl und Bewertung	2
Schrifttum	3
Schweißtechnik seit Jahrtausenden	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
Schweißen und Schneiden mit Feuer und Flamme	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
Elektrizität als Verbündeter der Schweißtechnik	94
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 ₂ 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
Plasmatechnik, Schutzgase und Stromquellen	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
Strahlen zum Schweißen und Schneiden nutzen	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
Phantasiereiche Verfahren der Schweißtechnik	245
Schrifttum	249
Die weite Welt der Löttechnik	250
Handwerkliches Löten	250
Löten in der industriellen Fertigung	251
Moderne Lötverfahren	252
Schrifttum	253
Schweißen von Aluminium und Magnesium	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)

Wegbereiter in der Schweißtechnik	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
Stahl – der Werkstoff zum Schweißen	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
Die Schweißkonstruktion und ihr Entwicklungsweg	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 vierzig 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

Wie der Sprödbruch besiegt wurde	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
Ein Jahrhundert schweißtechnische Bildung	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
Zeittafel der Schweißtechnik	469