

**Historische gußeiserne Stützen -
Ein zerstörungsfreies Beurteilungsverfahren für die Belastbarkeit
bei Normaltemperatur und im Brandfall**

INHALTSVERZEICHNIS		I
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS		V
1	ANLASS UND ZIELSETZUNG	1
2	GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK	3
2.1	Die ersten Bauten aus Eisen	3
2.2	Herstellung von gußeisernen Stützen	6
2.3	Historische Bemessungsgrundlagen	8
2.4	Metallurgie des historischen Gußeisens	10
3	ZERSTÖRUNGSFREIE UNTERSUCHUNGEN	12
3.1	Allgemeines	12
3.2	Ultraschall	14
3.2.1	Grundlagen	14
3.2.2	Ultraschalluntersuchungen an historischen gußeisernen Stützen	16
3.2.2.1	Wanddicken- und Schallgeschwindigkeitsmessung	16
3.2.2.2	Fehlstellenortung	20
3.2.3	Ultraschalluntersuchungen an Probekörpern	22
3.2.3.1	Schallgeschwindigkeitsmessungen an Druckproben	22
3.2.3.2	Ultraschalluntersuchungen an Stützenringabschnitten	23
3.3	Härte	24
3.3.1	Grundlagen	24
3.3.1.1	Statische Verfahren	24
3.3.1.2	Dynamische Verfahren	25
3.3.2	Härtemessung an historischen gußeisernen Stützen	26
3.3.2.1	Härtemessung an Originalstützen	26
3.3.2.2	Härtemessung an Druckproben	27
3.3.2.3	Härtemessung an Stützenringabschnitten	30
4	MECHANISCHE UND METALLOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN	32
4.1	Mechanische Werkstoffuntersuchungen	32
4.1.1	Druckversuche	32
4.1.1.1	Versuchsdurchführung	32
4.1.1.2	Auswertung	33
4.1.2	Zugversuche	36

4.1.3	Biegeversuche	31
4.1.4	Traglastversuche an Stützenringabschnitten	41
4.2	Metallographische Untersuchungen	44
4.2.1	Einfluß des Gefüges	44
4.2.2	Chemische Untersuchungen	44
4.2.3	Mikroschliffuntersuchungen	49
5	KORRELATION ZWISCHEN ZERSTÖRUNGSFREIEN UND ZERSTÖRENDEN UNTERSUCHUNGEN	52
5.1	Korrelation zwischen ultraakustischen und mechanischen Kennwerten	52
5.1.1	Korrelation zwischen Ultraschall und Festigkeit	52
5.1.2	Ermittlung des Elastizitätsmoduls E_0 mittels der Ultraschallgeschwindigkeit	56
5.2	Korrelation zwischen Härte und Druckfestigkeit	59
6	SPANNUNGS-STAUCHUNGS-BEZIEHUNGEN	65
6.1	Ansätze aus der Literatur für ein Rechenwert-Gesetz	65
6.2	Entwicklung eines Rechenwert-Gesetzes	67
6.3	Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Arbeitslinien	68
6.4	Ermittlung von Arbeitslinien aus zerstörungsfreien Kennwerten	72
7	TRAGLASTVERSUCHE	74
7.1	Allgemeines	74
7.2	Voruntersuchungen	76
7.3	Versuchsvorbereitungen	78
7.4	Durchführung und Auswertung der Traglastversuche	79
8	TRAGLASTBERECHNUNG	88
8.1	Ermittlung der Knicklast auf der Grundlage historischer Berechnungsverfahren	88
8.1.1	Knickspannungskurve von Tetmajer	88
8.1.2	Herleitung einer Knickspannungskurve auf der Grundlage historischer Berechnungsverfahren	92
8.2	Numerische Traglastberechnung	97
8.2.1	Momentenkrümmungsverfahren	97
8.2.2	Querschnittgenerierung	100
8.2.3	Traglastberechnung der "Wuppertaler Gußstützen"	101
8.2.4	Traglastberechnung weiterer Stützenversuche	104
8.3	Tragspannungs-Diagramm	108
8.3.1	Entwicklung eines Tragspannungs-Diagramms	108
8.3.2	Überprüfung der Tragspannungslinien	114

9	UNTERSUCHUNGEN ZUR TEMPERATURABHÄNGIGKEIT DER MECHANISCHEN STOFFWERTE	116
9.1	Instationäre Warmkriech-Druck- und stationäre Warm-Druckversuche	116
9.1.1	Warmkriech-Druckversuche	119
9.1.1.1	Versuchsdurchführung	119
9.1.1.2	Auswertung der Warmkriech-Druckversuche	121
9.1.2	Warm-Druckversuche	125
9.1.3	Temperaturabhängige Spannungs-Stauchungs-Beziehungen	126
9.2	Instationäre Warmkriech-Biegeversuche	130
9.2.1	Versuchsdurchführung	130
9.2.2	Auswertung der Warmkriech-Biegeversuche	132
9.3	Stationäre Warm-Druckversuche an Stützenringabschnitten	135
10	ERWÄRMUNGSVERHALTEN GUSSEISERNER STÜTZEN	136
10.1	Temperaturfeldberechnung	136
10.2	Thermische Materialkennwerte	139
10.3	Erwärmungsverhalten konzentrischer und nicht-konzentrischer Gußstützen mit und ohne Betonfüllung	144
10.4	Einfluß des Profilfaktors und der Exzentrizität auf die Erwärmung	146
11	BRANDVERSUCHE MIT GUSSEISERNEN STÜTZEN	148
11.1	Historische Brandversuche	148
11.1.1	Verhalten von gußeisernen Stützen im Brandfall	148
11.1.2	Versuche von Bauschinger 1884 und 1886	149
11.1.3	Versuche von Möller und Lühmann 1886	151
11.1.4	Versuche der Hamburger Bau-Deputation 1895	152
11.1.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der historischen Brandversuche	155
11.2	Neuere Brandversuche	156
11.2.1	Britische Versuche 1979 - 1983	156
11.2.2	Braunschweiger Versuche 1985 und 1989	158
11.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der neueren Brandversuche	161
12	TRAGLASTBERECHNUNG FÜR DEN BRANDFALL	162
12.1	Allgemeines	162
12.2	Nachrechnung der Braunschweiger Brandversuche	163
12.3	Traglastberechnung brandbeanspruchter Gußstützen	167
12.3.1	Ungeschützte Gußstützen	167
12.3.2	Gußstützen mit Dämmschichtbildner	173
12.3.3	Empfehlungen für die brandschutztechnische Ertüchtigung	176

13	BAUPRAKTIISCHE EMPFEHLUNGEN	177
13.1	Zulässige Belastung bei Normaltemperatur	177
13.1.1	Ermittlung der Traglast bei Normaltemperatur	177
13.1.2	Sicherheitsbeiwerte für Normaltemperatur	180
13.1.2.1	Sicherheitsbeiwerte für Einwirkungen	180
13.1.2.2	Sicherheitsbeiwerte für den Widerstand	181
13.2	Belastung im Brandfall	183
13.2.1	Traglast im Brandfall	183
13.2.2	Sicherheitsbeiwerte für den Brandfall	184
13.2.2.1	Sicherheitsbeiwerte für Einwirkungen	184
13.2.2.2	Sicherheitsbeiwerte für den Widerstand	186
14	ZUSAMMENFASSUNG	187
14.1	Zusammenfassende Beschreibung des zerstörungsfreien Beurteilungsverfahrens	187
14.2	Grenzen des Beurteilungsverfahrens	190
15	LITERATURVERZEICHNIS	191

ANHANG

Anhang A	Untersuchte Gußstützen	A1
Anhang B	Zerstörungsfreie Prüfung	A6
Anhang C	Eigenschaften der Kleindruckproben	A10
Anhang D	Härtewerte und Schallgeschwindigkeiten der Stützen	A15
Anhang E	Härtewerte und Biegezugfestigkeiten der Biegeproben	A17
Anhang F	Auswertung der Biegeversuche	A18
Anhang G	Härtewerte und Druckfestigkeiten der Stützenringabschnitte	A19
Anhang H	Spannungs-Stauchungs-Beziehungen	A21
Anhang I	Warmkriech-Druckversuche	A31