
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Ziel	1
1.2	Lösungsweg	3
1.3	Stand der Technik	5
2	Materialgesetze bei erhöhter Temperatur und nach Abkühlung	7
2.1	Beton	7
2.1.1	Veränderungen der Zementsteinmatrix	7
2.1.2	Veränderungen der Zuschläge	8
2.1.3	Verbund zwischen Matrix und Zuschlag	10
2.1.4	Materialeigenschaften	12
2.1.4.1	Restdruckfestigkeit	12
2.1.4.2	E-Modul und σ - ϵ -Beziehung	15
2.1.4.3	Thermische Dehnungen und Rissbildung	19
2.1.4.4	Kriechen	21
2.1.4.5	Zugfestigkeit	25
2.2	Spann- und Bewehrungsstähle	26
2.2.1	Grundlagen	26
2.2.2	Materialeigenschaften	29
2.2.2.1	St 1570/1770 bei erhöhter Temperatur	29
2.2.2.2	St 1570/1770 nach Abkühlung	35
2.2.2.3	BSt 500	37
2.3	Verbund zwischen Stahl und Beton	39
2.3.1	Gesetzmäßigkeiten	39
2.3.2	Verbundverhalten	41
2.3.3	Betrachtung des Betons zwischen den Rissen	45
2.4	Zusammenfassung	50
3	Theoretische Betrachtungen zur Nachnutzbarkeit – Tragfähigkeit (ULS) und Gebrauchstauglichkeit (SLS)	52
3.1	Brandeinwirkungen und Temperaturverteilungen	52
3.2	Brandlastfälle	57
3.3	Vorspannkraft nach einer Brandbeanspruchung	60
3.4	Behinderung der thermischen Dehnungen während einer Brandbeanspruchung	69
3.5	Biegetragfähigkeit nach vorhergehender Brandbeanspruchung	75
3.5.1	Allgemeines	75
3.5.2	Bereich negativer Biegemomente	76
3.5.3	Bereich positiver Biegemomente	80

3.6	Rotationsfähigkeit	81
3.6.1	Allgemeines	81
3.6.2	Veränderung der Rotationsfähigkeit durch vorhergehende Brandeinwirkung	85
3.7	Zusammenfassung	93
4	Experimentelle Untersuchungen	95
4.1	Konzept – Auslegung und Bemessung der Versuchskörper	95
4.2	Untersuchungen und Versuchsergebnisse Brandteil	100
4.2.1	Biegemomente	105
4.2.2	Durchbiegungen	106
4.2.3	Spannkräfte	109
4.2.4	Rissbildung	111
4.3	Nachnutzbarkeit – Gebrauchszustand	113
4.3.1	Durchbiegungen	114
4.3.2	Rissbreiten	115
4.3.3	Gesamtzustand	116
4.3.4	Verbundverhalten	117
4.4	Nachnutzbarkeit – Grenzzustand der Tragfähigkeit	118
4.4.1	Querschnittstragfähigkeiten und Versagenslasten	118
4.4.2	Spannkräfte und Reibung der Spannglieder	121
4.4.3	Rotationen	122
4.5	Zusammenfassung	127
5	Ingenieurmodell zur Berechnung der Gebrauchs- und Tragfähigkeit nach Brand	129
5.1	Allgemeines – Rechenabläufe	129
5.2	Statische Systeme	131
5.3	Schnittgrößenermittlung	131
5.4	Bleibende plastische Dehnungen und Verformungen	137
5.4.1	Besonderer Zwängungszustand nach Abkühlung bei durchlaufenden mehrfeldrigen Platten	142
5.4.2	Eigen- und Zwängungsspannungen während der Aufheiz- und Abkühlphase	145
5.5	Elastische Durchbiegungen	148
5.5.1	Berechnung	148
5.5.2	Steifigkeiten nach Brand	148
5.6	Verbund zwischen Stahl und Beton – Rissbreitenmodell	149
5.7	Tragfähigkeit	152
5.8	Vergleich Versuchs- und Rechenergebnisse (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit)	155
5.8.1	Stützmomente während des Brandes und zu Beginn der Abkühlphase - Steifigkeitsverteilung	155

5.8.2	Verbleibende plastische und elastische Durchbiegungen unter Gebrauchslast	158
5.9	Zusammenfassung	160
6	Parameterstudie	161
6.1	Parameterstudie – einfeldrige Platte	162
6.2	Schlussfolgerung – einfeldrige Platte (Konstruktionsregeln)	167
6.2.1	Vorkalkulation der bleibenden plastischen Durchbiegungen	168
6.2.2	Elastische Durchbiegung nach Brand (unter Eigengewicht und Verkehrslast)	174
6.2.3	Ausgleich der Tragfähigkeitsverluste	175
6.3	Parameterstudie – zweifeldrige Platte	176
6.4	Schlussfolgerungen – Statisch unbestimmte durchlaufende Platte (Konstruktionsregeln)	187
6.4.1	Steuerung des Zwangmoments bei kürzeren Brandbeanspruchungen	189
6.4.2	Steuerung des plastischen Dehnungszustands über den Mittelstützungen bei längeren Brandbeanspruchungen	190
6.4.3	Vorkalkulation der bleibenden plastischen Durchbiegungen	192
6.4.4	Ausgleich der Tragfähigkeitsverluste	195
6.5	Zusammenfassung	197
7	Übertragbarkeit des Ingenieurmodells auf Flächentragwerke	199
7.1	Liniengelagerte Flächentragwerke (Gebrauchstauglichkeit)	200
7.2	Punktgestützte Flächentragwerke (Gebrauchstauglichkeit)	207
7.3	Tragfähigkeit	211
7.4	Zusammenfassung	216
8	Dauerhaftigkeit	218
8.1	Einschätzung der brandgeschädigten Konstruktion in Bezug auf die entstandenen Temperaturen	218
8.2	Beeinträchtigung des Korrosionsschutzsystems der Spannglieder	224
8.2.1	Untersuchungen	224
8.2.2	Diskussion der Versuchsergebnisse	230
8.3	Sanierungsverfahren	230
8.4	Inspektionsverfahren	236
8.5	Zusammenfassung	236
9	Zusammenfassung und Ausblick	237
10	Literaturverzeichnis	239
A	Anhang	