

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung und Ziel	1
1.2	Gliederung der Arbeit	2
2.	STRUKTURELLE VERÄNDERUNGEN DES BETONS BEI ERHÖHTER TEMPERATUR	3
2.1	Einleitung	3
2.2	Chemisch - physikalische Veränderungen	3
2.3	Porenstruktur und Ribbildung	6
3.	STAND DER ERKENNTNISSE ZUM BETONVERHALTEN BEI ERHÖHTER TEMPERATUR	10
3.1	Betonfestigkeit bei erhöhter Temperatur	11
3.1.1	Druckfestigkeit	11
3.1.1.1	Einfluß der Betonzusammensetzung	11
3.1.1.2	Einflüsse der Probekörpergeometrie und -konditionierung	20
3.1.1.3	Hygrische Einflüsse	21
3.1.1.4	Einflüsse veränderter thermischer Randbedingungen	23
3.1.1.5	Mechanische Einflüsse	27
3.1.2	Zugfestigkeit	31
3.1.3	Zusammenfassung und offene Fragen	36
3.2	Kurzzeitverformungsverhalten des Betons bei erhöhter Temperatur	38
3.2.1	Elastizitätsmodul	38
3.2.1.1	Einfluß der Betonzusammensetzung	38
3.2.1.2	Einflüsse der Prüfmethode, Probekörpergeometrie und -konditionierung	41
3.2.1.3	Hygrische Einflüsse	41
3.2.1.4	Einflüsse veränderter thermischer Randbedingungen	43

3.2.1.5	Mechanische Einflüsse	45
3.2.2	Bruchdehnung	46
3.2.3	Querdehnzahl	49
3.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und offene Probleme	50
3.3	Verformungsverhalten des Betons bei erhöhter, instationärer Temperatur	51
3.3.1	Thermische Dehnung	54
3.3.2	Transiente Kriechdehnung	56
3.3.2.1	Einfluß der Betonzusammensetzung	56
3.3.2.2	Einflüsse der Probekörpergeometrie und -konditionierung	59
3.3.2.3	Hygrische Einflüsse	59
3.3.2.4	Einflüsse veränderter thermischer Randbedingungen	60
3.3.2.5	Mechanische Einflüsse	61
3.3.3	Anisothermischer Zwang des Betons bei erhöhten Temperaturen	63
3.3.3.1	Einfluß der Betonzusammensetzung	64
3.3.3.2	Einflüsse der Probekörpergeometrie und -konditionierung	66
3.3.3.3	Mechanische Einflüsse	68
3.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und offene Fragen	69
4.	VERSUCHE ZUM VERHALTEN VON BETON UNTER EIN- UND BIAXIALER BELASTUNG BEI ERHÖHTER TEMPERATUR	72
4.1	Versuchsprogramm	72
4.1.1	Ablauf der Versuche zum mehraxialen Festigkeits- und Kurzzeitverformungsverhalten	73
4.1.2	Ablauf der Versuche zum anisothermischen Betonkriechen	74
4.1.3	Ablauf der Versuche zur anisothermischen Betonzwängung	74
4.1.4	Strukturuntersuchungen	75
4.2	Baustoffe, Prüfkörper	75
4.2.1	Verwendete Betone	75
4.2.2	Herstellung, Lagerung und Geometrie der Prüfkörper	77
4.3	Versuchseinrichtung	79
4.3.1	Belastungseinrichtung für Versuche im Druck - Druck - Bereich	80
4.3.2	Belastungseinrichtung für Versuche im Druck - Zug - und Zug - Zug - Bereich	81

4.3.3	Verformungsmeßsystem	82
4.3.4	Heizsystem und Temperaturmessung	83
5.	VERSUCHSERGEBNISSE ZUM BETONVERHALTEN UNTER EIN- UND BIAXIALER BELASTUNG BEI ERHÖHTER TEMPERATUR	84
5.1	Ergebnisse der Strukturuntersuchungen	84
5.2	Festigkeitsverhalten	86
5.2.1	Darstellung der Versuchsergebnisse zum Festigkeitsverhalten	86
5.2.1.1	Einfluß der Zuschlagart	86
5.2.1.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses und des Größtkorn- durchmessers	90
5.2.1.3	Einfluß des Wasserzementwerts	92
5.2.1.4	Einfluß veränderter thermischer und mechanischer Randbedingungen	93
5.2.1.5	Einfluß des Spannungsverhältnisses	94
5.2.1.6	Einfluß der Belastung während des Aufheizens	97
5.2.1.7	Einfluß unterschiedlicher Spannungspfade	98
5.2.2	Diskussion der Versuchsergebnisse zum Festigkeitsverhalten	99
5.2.2.1	Einfluß der Zuschlagart	100
5.2.2.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses und des Größtkorn- durchmessers	102
5.2.2.3	Einfluß des Wasserzementwerts	103
5.2.2.4	Einfluß veränderter thermischer und mechanischer Randbedingungen	104
5.2.2.5	Einfluß des Spannungsverhältnisses	105
5.2.2.6	Einfluß des Belastungsgrades	106
5.2.3	Zusammenfassung	107
5.3	Elastizitätsmodul	108
5.3.1	Darstellung der Versuchsergebnisse zum Elastizitätsmodul	108
5.3.1.1	Einfluß der Zuschlagart	108
5.3.1.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses	109
5.3.1.3	Einfluß des Wasserzementwerts	109
5.3.2	Diskussion der Versuchsergebnisse zum Elastizitätsmodul	110
5.3.2.1	Einfluß der Zuschlagart	110
5.3.2.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses	111
5.3.2.3	Einfluß des Wasserzementwerts	111
5.3.3	Zusammenfassung	112

5.4	Bruchdehnung	112
5.4.1	Darstellung der Versuchsergebnisse zur Bruchdehnung	112
5.4.1.1	Einfluß der Zuschlagart und des Größtkorndurchmessers	112
5.4.1.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses	113
5.4.1.3	Einfluß des Wasserzementwerts	114
5.4.1.4	Einfluß einer Belastung beim Aufheizen	115
5.4.1.5	Einfluß unterschiedlicher Spannungspfade	116
5.4.2	Diskussion der Versuchsergebnisse zur Bruchdehnung	117
5.4.2.1	Einfluß der Zuschlagart und des Größtkorndurchmessers	117
5.4.2.2	Einfluß der Betonzusammensetzung	118
5.4.2.3	Mechanische Einflüsse	118
5.4.3	Zusammenfassung	119
5.5	Querdehnzahl	120
5.5.1	Darstellung der Versuchsergebnisse zur Querdehnzahl	120
5.5.1.1	Einfluß der Zuschlagart und des Größtkorndurchmessers	120
5.5.1.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses	121
5.5.1.3	Einfluß des Wasserzementwerts	122
5.5.2	Diskussion der Versuchsergebnisse zur Querdehnzahl	122
5.6	Kompressions- und Schubmodul	123
5.6.1	Darstellung der Versuchsergebnisse zum Kompressions- und Schubmodul	123
5.6.1.1	Einfluß der Zuschlagart und des Größtkorndurchmessers	125
5.6.1.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses	127
5.6.1.3	Einfluß des Wasserzementwerts	128
5.6.1.4	Einfluß der Belastung während des Aufheizens	129
5.6.1.5	Einfluß unterschiedlicher Spannungspfade	129
5.6.2	Diskussion der Versuchsergebnisse zum Kompressions- und Schubmodul	131
5.6.2.1	Einfluß der Zuschlagart und des Größtkorndurchmessers	131
5.6.2.2	Einfluß der Betonzusammensetzung	131
5.6.2.3	Einfluß der Belastung während des Aufheizens	132
5.6.3	Zusammenfassung	132
5.7	Thermische Dehnung	132
5.7.1	Darstellung der Versuchsergebnisse zur thermische Dehnung	132
5.7.1.1	Einfluß der Zuschlagart	132

5.7.1.2	Einfluß der Betonzusammensetzung	133
5.7.1.3	Einfluß des Wasserzementwerts	134
5.7.2	Diskussion der Versuchsergebnisse zur thermischen Dehnung	135
5.7.2.1	Einfluß der Zuschlagart	135
5.7.2.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses und des Größtkorn durchmessers	136
5.7.2.3	Einfluß des Größtkorndurchmessers	136
5.7.3	Zusammenfassung	137
5.8	Transientes Kriechen	137
5.8.1	Darstellung der Versuchsergebnisse zum transienten Kriechen	137
5.8.1.1	Einfluß der Zuschlagart und des Größtkorndurchmessers	138
5.8.1.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses	140
5.8.1.3	Einfluß des Wasserzementwerts	143
5.8.1.4	Einflüsse veränderter thermischer Randbedingungen	144
5.8.1.5	Mechanische Einflüsse	144
5.8.2	Diskussion der Versuchsergebnisse zum transienten Kriechen	147
5.8.2.1	Einfluß der Zuschlagart und des Größtkorndurchmessers	147
5.8.2.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses und des Wasser zementwerts	148
5.8.2.3	Mechanische Einflüsse	149
5.8.3	Zusammenfassung	150
5.9	Zwängung	150
5.9.1	Darstellung der Versuchsergebnisse zur Zwängung	150
5.9.1.1	Einfluß der Zuschlagart	150
5.9.1.2	Einfluß des Zuschlag/Zement - Verhältnisses	154
5.9.1.3	Einfluß des Wasserzementwerts	155
5.9.1.4	Mechanische Einflüsse	157
5.9.2	Diskussion der Versuchsergebnisse zur Zwängung	159
5.9.2.1	Einfluß der Zuschlagart und der Betonzusammensetzung	159
5.9.2.2	Mechanische Einflüsse	160
5.9.3	Zusammenfassung	160
5.10	Streuung der Messwerte	161
5.10.1	Streuung der Festigkeiten	161
5.10.2	Streuung in den transienten Kriechversuchen	161

6.	ANSÄTZE ZUM BESCHREIBEN DES FESTIGKEITS- UND VERFORMUNGSVERHALTENS VON BETON BEI ERHÖHTER TEMPERATUR UND MEHRAXIALER BELASTUNG	163
6.1	Festigkeit	163
6.1.1	Festigkeitsmodelle für mehraxial beanspruchten Beton bei Raumtemperatur	163
6.1.2	Bestehende Ansätze zum Beschreiben der Festigkeit von mehraxial beanspruchtem Beton bei erhöhter Temperatur	168
6.1.3	Festigkeitsmodell für mehraxial beanspruchten Beton bei erhöhter Temperatur	169
6.1.4	Zusammenfassung	176
6.2	Verformungsverhalten im Bruchversuch bei erhöhter Temperatur	176
6.2.1	Bestehende Ansätze zum Beschreiben der Verformung bei erhöhter Temperatur	176
6.2.2	Ergänzung des Verformungsmodells von Stankowski/Gerstle für den Bereich erhöhter Temperatur	178
6.2.3	Zusammenfassung	184
6.3	Verformungsverhalten bei erhöhter, instationärer Temperatur	185
6.3.1	Bestehende Ansätze zum Beschreiben des transienten Kriechens	185
6.3.2	Ansätze zum Beschreiben des transienten Kriechens bei mehraxialer Belastung	187
6.3.3	Zusammenfassung	194
7.	ZUSAMMENFASSUNG UND OFFENE PROBLEME	196
8.	LITERATUR	199