

Bereich III
Bauphysik/Baulicher Brandschutz
Geschäftsführer:
Dipl.-Phys. Ingolf Kotthoff
Arbeitsgruppe: Brandverhalten von Bauteilen

PRÜFBERICHT

Nr. PB III / B - 05 - 001

vom 10.02.2005, 1. Ausfertigung

Antragsteller: fischerwerke
Artur Fischer GmbH & Co. KG
Weinhalde 14-18

72178 Waldachtal

Gegenstand: Fischer Ankerbolzen FAZ II
Prüfung nach Technical Report TR 020 „Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire“ (Mai 2004) zur Ermittlung der charakteristischen Stahlspannungen unter Zug- bzw. Querbeanspruchung bei 30, 60, 90 und 120minütiger Brandbeanspruchung

Bearbeiterin: Dipl.-Ing. Claudia Hertel, cand. Dipl.-Ing. Norman Werther

Antrag vom: 04.10.2004

Zeichen: T-ME/OHA-TE

Eingang: 08.10.2004

Kennzeichnung: keine

Prüfungsdatum: 27.09.2004 bis 20.12.2004

Geltungsdauer bis: 10.02.2007



Dieser Prüfbericht besteht aus 8 Seiten und 5 Anlagen.

Der Prüfbericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden. Eine Veröffentlichung – auch auszugsweise – und Hinweise auf Prüfungen zu Werbezwecken bedürfen der vorherigen schriftlichen Zustimmung der MFPA Leipzig GmbH.

1 Beschreibung der geprüften Konstruktion

Der FISCHER ANKERBOLZEN FAZ II ist ein kraftkontrollierter spreizender Dübel aus galvanisch verzinktem Stahl, dessen Herstellung durch Drehen oder Pressen erfolgen kann. Er darf nur für Verankerungen unter vorwiegend ruhender oder quasi-ruhender Belastung im bewehrten oder unbewehrten Normalbeton der Festigkeitsklasse $\geq C 20/25$ und $\leq C 50/60$ nach EN 206-1: 2000-12 verwendet werden. Er ist zur Anwendung im gerissenen und im ungerissenen Beton geplant.

2 Prüfanordnung und -durchführung

Die Prüfungen wurden gemäß Technical Report TR 020 „Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire“ (Mai 2004) [1] zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer unter Zugbeanspruchung (Versagensart Stahlversagen, Abschnitt 2.3.1.1) bzw. Querbeanspruchung (Versagensart Stahlversagen, Abschnitt 2.3.2.1) durchgeführt.

Zum Einsatz kam hierbei die gepresste Dübelvariante. Insgesamt wurden 11 auf zentrischen Zug und 12 auf Querkzug beanspruchte FISCHER ANKERBOLZEN FAZ II aus galvanisch verzinktem Stahl auf Brandverhalten zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer geprüft. Dabei kamen zur zentrischen Zugprüfung 6 Dübel der Größe M8 und 5 Dübel der Größe M12, sowie zur Querkzugprüfung 7 Dübel der Größe M8 und 5 Dübel der Größe M12 in einem Beton der Festigkeitsklasse C 20/25 zum Einsatz.

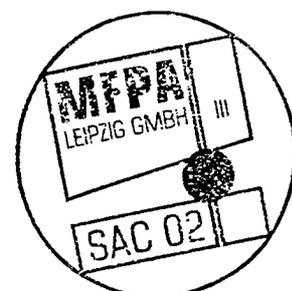
Der Einbau der Dübel erfolgte nach Angaben des Herstellers gemäß europäisch technischer Zulassung ETA-05/0069 [2] sowie unter Berücksichtigung der ETAG 001 [3]. Die verwendeten Montagekennwerte sind in der Anlage 1 dieses Berichts angegeben. Die effektive Verankerungstiefe h_{ef} betrug in den durchgeführten Versuchen für die Ankerbolzen M8 45 mm und für die Ankerbolzen M12 70 mm.

Während der Brandprüfungen im Zugversuch bildete jeweils ein Stahlbetondeckenabschnitt, in dem die Dübel eingebracht waren, den oberen, horizontalen Raumabschluss der Brandkammer. In den Querkzugversuchen lagen die Stahlbetonplatten in der Brandkammer. (siehe Anlage 2 und Anlage 3)

Die Zug- und Querkzugbelastung der Dübel erfolgte über eine pneumatische Zugvorrichtung.

Die Brandprüfungen wurden nach DIN EN 1363-1: 10-1999 [4], unter Verwendung der Einheitstemperatur-Zeitkurve durchgeführt. Zum Nachweis der Temperaturen im Brandraum wurden 3 Platten-Thermometer gemäß DIN EN 1363-1, Abschnitt 4.5.1.1 im Abstand von 100 ± 50 mm zur Stahlbetonplatte in der Brandkammer installiert und dienten der Steuerung der Brandraumtemperatur. Alle Brandraumtemperaturen wurden im Zeitintervall von 3 s gemessen und registriert.

Die während der Brandprüfungen in der Brandkammer gemessenen Temperaturen sind in Anlage 4 graphisch dargestellt.



3 Prüfergebnisse

Die Ergebnisse der Zug- und Querkzugprüfungen unter Brandbeanspruchung sind unter Angabe der Versagensursache in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengestellt.

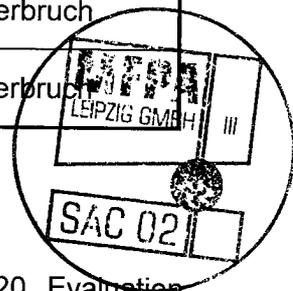
Tabelle 1: Ergebnisse der zentrischen Zugprüfungen an FISCHER ANKERBOLZEN FAZ II

Fischer Ankerbolzen FAZ II (galvanisch verzinkt)	Prüfdatum	Zugkraft [kN]	Versagenszeitpunkt [min]	Versagensursache
M8 in Platte 0	27.09.2004	0,8	> 180	---
M8 in Platte 0	27.09.2004	0,85	138,9	Abriss oberhalb des Gewindes
M8 in Platte 1	03.12.2004	0,9	100,8	Abriss oberhalb des Gewindes
M8 in Platte 1	03.12.2004	1,0	87,4	Abriss oberhalb des Gewindes
M8 in Platte 2	07.12.2004	1,1	71,1	Abziehen der Mutter vom Gewinde
M8 in Platte 3	08.12.2004	1,2	84,3	Abriss oberhalb des Gewindes
M12 in Platte 1	03.12.2004	2,0	>150	---
M12 in Platte 2	07.12.2004	2,5	>150	---
M12 in Platte 2	07.12.2004	2,75	139,7	Abziehen der Mutter vom Gewinde
M12 in Platte 3	08.12.2004	3,25	123,8	Abziehen der Mutter vom Gewinde
M12 in Platte 3	08.12.2004	3,5	85,4	Abziehen der Mutter vom Gewinde



Tabelle 2: Ergebnisse der Querkzugprüfung an FISCHER ANKERBOLZEN FAZ II

Fischer Ankerbolzen FAZ II (galvanisch verzinkt)	Prüfdatum	Scherkraft [kN]	Versagenszeitpunkt [min]	Versagensursache
M8 in Platte 4	13.12.2004	1,1	138,0	Scherbruch
M8 in Platte 4	13.12.2004	1,5	80,6	Scherbruch
M8 in Platte 7	20.12.2004	1,5	126,7	Scherbruch
M8 in Platte 6	16.12.2004	1,6	108,4	Scherbruch
M8 in Platte 5	15.12.2004	1,7	66,9	Scherbruch
M8 in Platte 5	15.12.2004	2,0	89,0	Scherbruch
M8 in Platte 7	20.12.2004	2,0	87,9	Scherbruch
M12 in Platte 7	20.12.2004	3,5	91,0	Scherbruch
M12 in Platte 6	16.12.2004	4,0	80,5	Scherbruch
M12 in Platte 6	16.12.2004	4,5	94,5	Scherbruch
M12 in Platte 5	15.12.2004	5,0	67,7	Scherbruch
M12 in Platte 4	13.12.2004	5,5	62,8	Scherbruch



4 Versuchsauswertung

Die Versuchsauswertung für Stahlversagen erfolgte nach dem Technical Report TR 020 „Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire“ (Mai 2004) der European Organisation for Technical Approvals (EOTA), Abschnitt 2.3.1.1 (Anlage 5).

In die Auswertung der zentrischen Zugversuche mit Dübelgröße M12 wurden nur 4 der 5 Versuchsergebnisse einbezogen um das Ergebnis nicht signifikant zu verschlechtern. Grund dafür ist der Abbruch infolge des sich nicht abzeichnenden Versagens bei einer Belastung von 2 kN und einer Versuchsdauer von mehr als 150 Minuten.

Auf dieser Grundlage können für den galvanisch verzinkten FISCHER ANKERBOLZEN FAZ II (gepresst bzw. gedreht) für die Versagensart Stahlversagen charakteristische Stahlspannungen und charakteristische Tragfähigkeiten angegeben werden. Die Ermittlung der charakteristischen Kennwerte für die Dübelgrößen M10 erfolgt durch lineare Interpolation der charakteristischen Stahlspannungen, für die Dübelgrößen > M12 wurden die für M12 ermittelten charakteristischen Stahlspannungen zugrunde gelegt.

Tabelle 3: Charakteristische Kennwerte bei Stahlversagen (zentrische Zugbeanspruchung)

			M8	M10	M12	M16
Stahlversagen						
charakteristische Stahlspannung						
30 min	$\sigma_{Rk,s.fi(30)}$	[N/mm ²]	38	49	60	60
60 min	$\sigma_{Rk,s.fi(60)}$	[N/mm ²]	32	40	49	49
90 min	$\sigma_{Rk,s.fi(90)}$	[N/mm ²]	26	32	38	38
120 min	$\sigma_{Rk,s.fi(120)}$	[N/mm ²]	23	28	33	33
charakteristische Zugtragfähigkeit						
30 min	$N_{Rk,s.fi(30)}$	[kN]	1,4	2,8	5,0	9,4
60 min	$N_{Rk,s.fi(60)}$	[kN]	1,2	2,3	4,1	7,7
90 min	$N_{Rk,s.fi(90)}$	[kN]	0,9	1,9	3,2	6,0
120 min	$N_{Rk,s.fi(120)}$	[kN]	0,8	1,6	2,8	5,2

			M20	M24	M27	M30
Stahlversagen						
charakteristische Stahlspannung						
30 min	$\sigma_{Rk,s.fi(30)}$	[N/mm ²]	60	60	60	60
60 min	$\sigma_{Rk,s.fi(60)}$	[N/mm ²]	49	49	49	49
90 min	$\sigma_{Rk,s.fi(90)}$	[N/mm ²]	38	38	38	38
120 min	$\sigma_{Rk,s.fi(120)}$	[N/mm ²]	33	33	33	33
charakteristische Zugtragfähigkeit						
30 min	$N_{Rk,s.fi(30)}$	[kN]	14,7	21,1	27,5	33,6
60 min	$N_{Rk,s.fi(60)}$	[kN]	12,0	17,3	22,5	27,5
90 min	$N_{Rk,s.fi(90)}$	[kN]	9,4	13,5	17,6	21,5
120 min	$N_{Rk,s.fi(120)}$	[kN]	8,1	11,6	15,1	18,5



Tabelle 4: Charakteristische Kennwerte bei Stahlversagen (Querzugbeanspruchung)

			M8	M10	M12	M16
Stahlversagen						
charakteristische Stahlspannung						
30 min	$\sigma_{Rk.s.fi(30)}$	[N/mm ²]	50	62	74	74
60 min	$\sigma_{Rk.s.fi(60)}$	[N/mm ²]	43	50	58	58
90 min	$\sigma_{Rk.s.fi(90)}$	[N/mm ²]	35	39	42	42
120 min	$\sigma_{Rk.s.fi(120)}$	[N/mm ²]	31	33	34	34
charakteristische Tragfähigkeit bei Querbeanspruchung						
30 min	$N_{Rk.s.fi(30)}$	[kN]	1,8	3,6	6,3	11,7
60 min	$N_{Rk.s.fi(60)}$	[kN]	1,6	2,9	4,9	9,1
90 min	$N_{Rk.s.fi(90)}$	[kN]	1,3	2,2	3,5	6,6
120 min	$N_{Rk.s.fi(120)}$	[kN]	1,2	1,9	2,8	5,3



			M20	M24	M27	M30
Stahlversagen						
charakteristische Stahlspannung						
30 min	$\sigma_{Rk.s.fi(30)}$	[N/mm ²]	74	74	74	74
60 min	$\sigma_{Rk.s.fi(60)}$	[N/mm ²]	58	58	58	58
90 min	$\sigma_{Rk.s.fi(90)}$	[N/mm ²]	42	42	42	42
120 min	$\sigma_{Rk.s.fi(120)}$	[N/mm ²]	34	34	34	34
charakteristische Tragfähigkeit bei Querbeanspruchung						
30 min	$N_{Rk.s.fi(30)}$	[kN]	18,2	26,3	34,1	41,7
60 min	$N_{Rk.s.fi(60)}$	[kN]	14,2	20,5	26,7	32,6
90 min	$N_{Rk.s.fi(90)}$	[kN]	10,3	14,8	19,2	23,5
120 min	$N_{Rk.s.fi(120)}$	[kN]	8,3	11,9	15,5	18,9

Die Ermittlung der charakteristischen Kennwerte für andere Versagensarten (z. B. „Herausziehen“ und „Betonausbruch“) war nicht Gegenstand der Untersuchungen; sie können experimentell oder nach dem vereinfachten Nachweisverfahren des Technical Report TR 020, Abschnitt 2.2 ermittelt werden.

5 Besondere Hinweise

Die Beurteilung für den galvanisch verzinkten Fischer Ankerbolzen FAZ II (gepresst bzw. gedreht) der Größen M8 bis M30 gilt nur in Verbindung mit Stahlbetondecken, die mindestens in die Feuerwiderstandsklasse eingestuft werden können, die der Feuerwiderstandsdauer der Dübel entspricht.

Leipzig, den 10.02.2005



Dipl.-Phys. I. Kotthoff
Geschäftsführer



Dipl.-Ing. C. Hertel
Arbeitsgruppenleiterin
Brandverhalten v. Bauteilen



cand. Dipl.-Ing. N. Werther
 Bearbeiter

Quellen- und Anlagenverzeichnis befinden sich auf der folgenden Seite.

Quellen

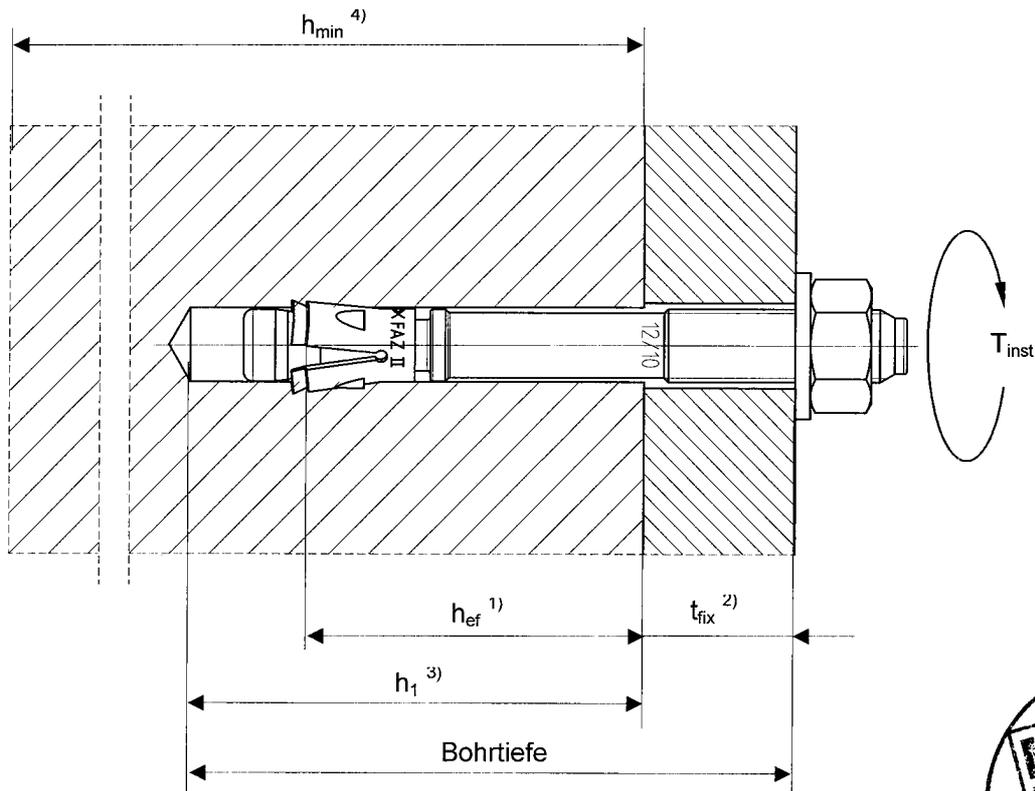
- [1] Technical Report TR 020 „Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire“ (Mai 2004) der European Organisation for Technical Approvals (EOTA)
- [2] ETA-05/0069: Europäische Technische Zulassung vom 14.04.2005 für Fischer Ankerbolzen FAZ II
- [3] ETAG 001, Anhang A: Leitlinie für die europäische technische Zulassung für Metalle Dübel zur Verankerung im Beton, Ausgabe 1977
- [4] DIN EN 1363-1: 1999-10 Feuerwiderstandsprüfungen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Montagekennwerte des FISCHER ANKERBOLZEN FAZ II
- Anlage 2: Konstruktiver Aufbau der Prüfeinrichtung und Einbausituation im zentrischen Zugversuch
- Anlage 3: Konstruktiver Aufbau der Prüfeinrichtung und Einbausituation unter Querkzugbeanspruchung
- Anlage 4: Temperaturen im Brandraum, für Prüfungen auf zentrischen Zug und Querkzug
- Anlage 5: Auswertung der Dübelprüfungen nach dem Technical Report TR 020 „Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire“



Montagekennwerte des Fischer Ankerbolzen FAZ II



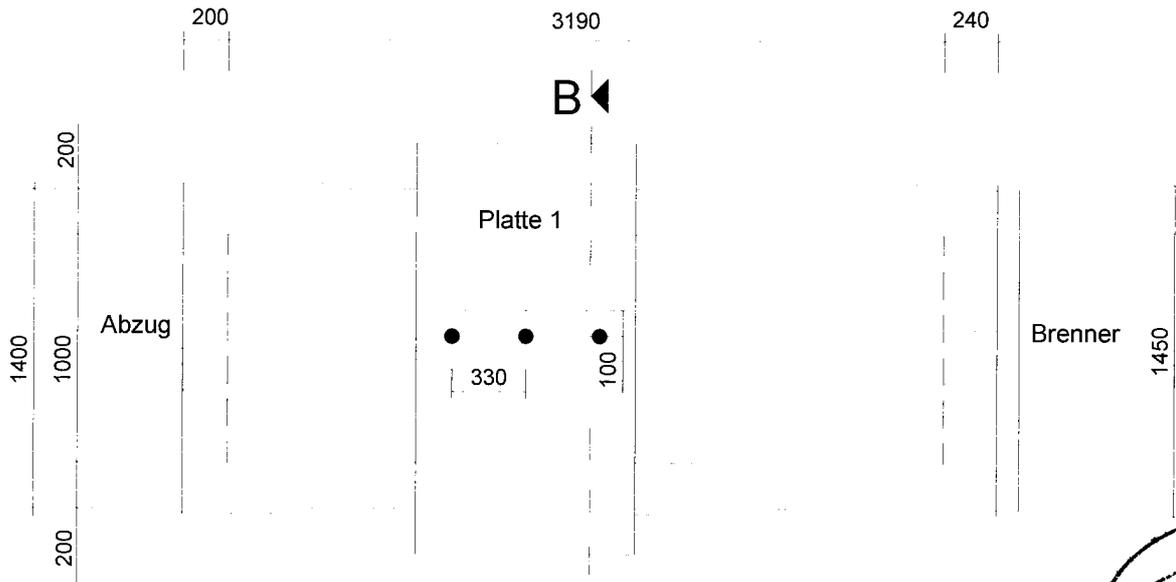
- 1) effektive Verankerungstiefe
- 2) Anbauteildicke
- 3) Bohrlochtiefe im Verankerungsgrund
- 4) Mindestbauteildicke



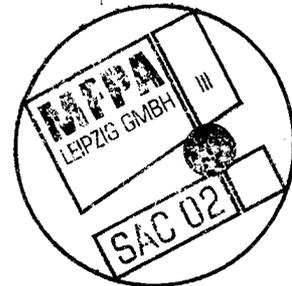
Dübeltyp/Größe		FAZ 8	FAZ 10	FAZ 12	FAZ 16
Bohrerinnendurchmesser	$d_0 = [\text{mm}]$	8	10	12	16
Bohrerschneidendurchmesser	$d_{\text{cut}} \leq [\text{mm}]$	8,45	10,45	12,5	16,5
Bohrlochtiefe	$h_1 \geq [\text{mm}]$	55	75	90	110
Durchgangsloch Anschlussbauteil	$df \leq [\text{mm}]$	9	12	14	18
Anzugsdrehmoment	$T_{\text{inst}} = [\text{Nm}]$	20	45	60	110
Anbauteildicke minimal	$t_{\text{fix,min}} \geq [\text{mm}]$	0	0	0	0
Anbauteildicke maximal	$t_{\text{fix,max}} \leq [\text{mm}]$	200	250	300	400
Effektive Verankerungstiefe	$h_{\text{ef}} [\text{mm}]$	45	60	70	85

Konstruktiver Aufbau der Prüfeinrichtung und Einbausituation im zentrischen Zugversuch

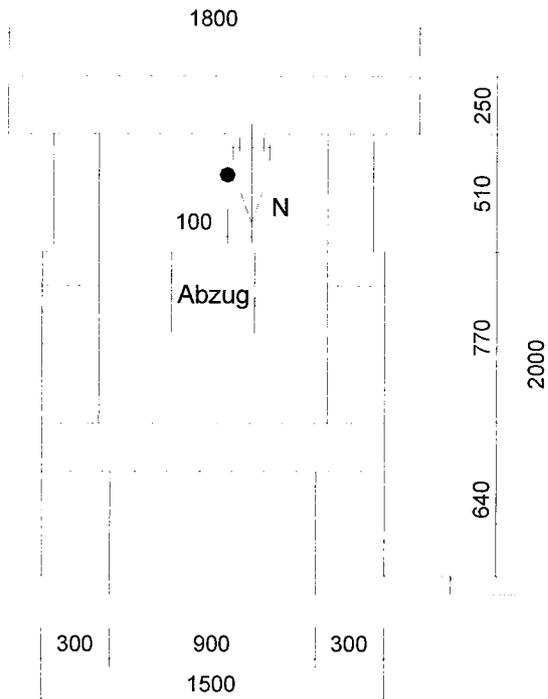
Prüfofen - Draufsicht



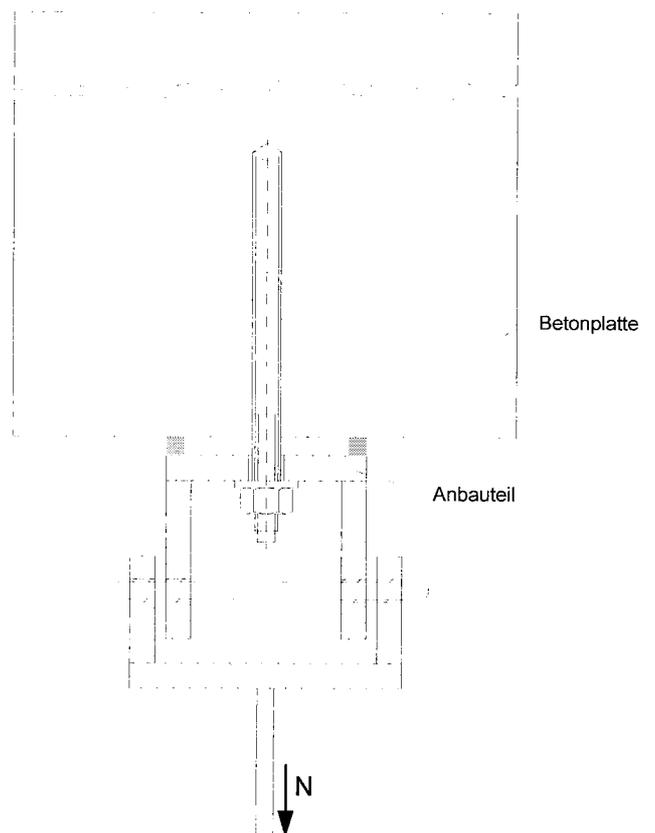
- X Dübel
- Lage der Plattenthermoelemente



Schnitt B-B

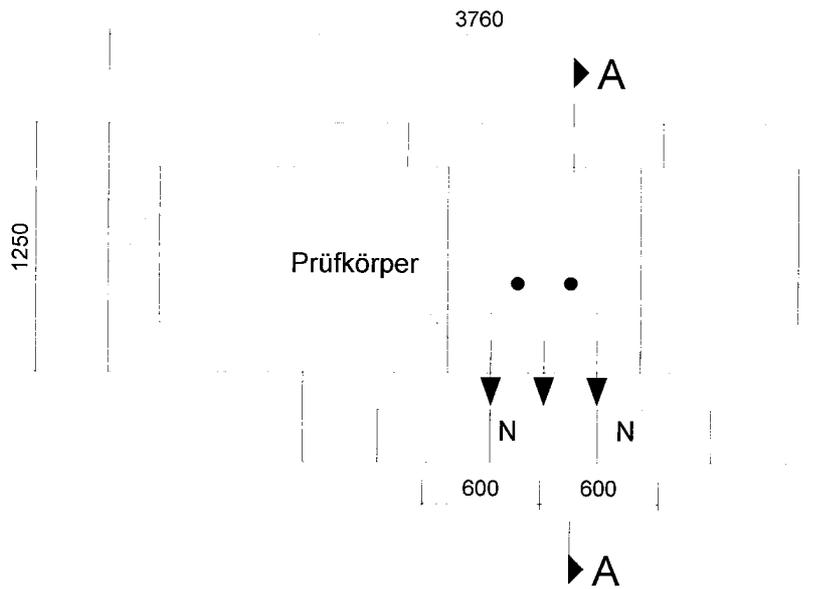


Ansicht Zugvorrichtung

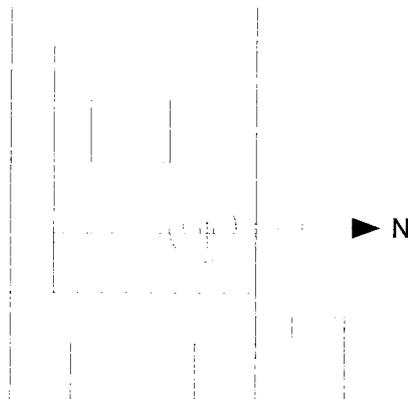


Konstruktiver Aufbau der Prüfeinrichtung und Einbausituation unter Querkzugbeanspruchung

Grundriss



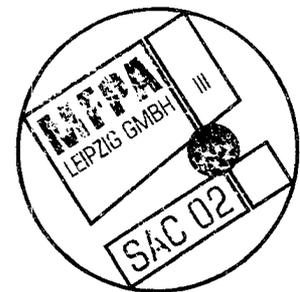
Schnitt A-A



Ansicht Querkzugversuch

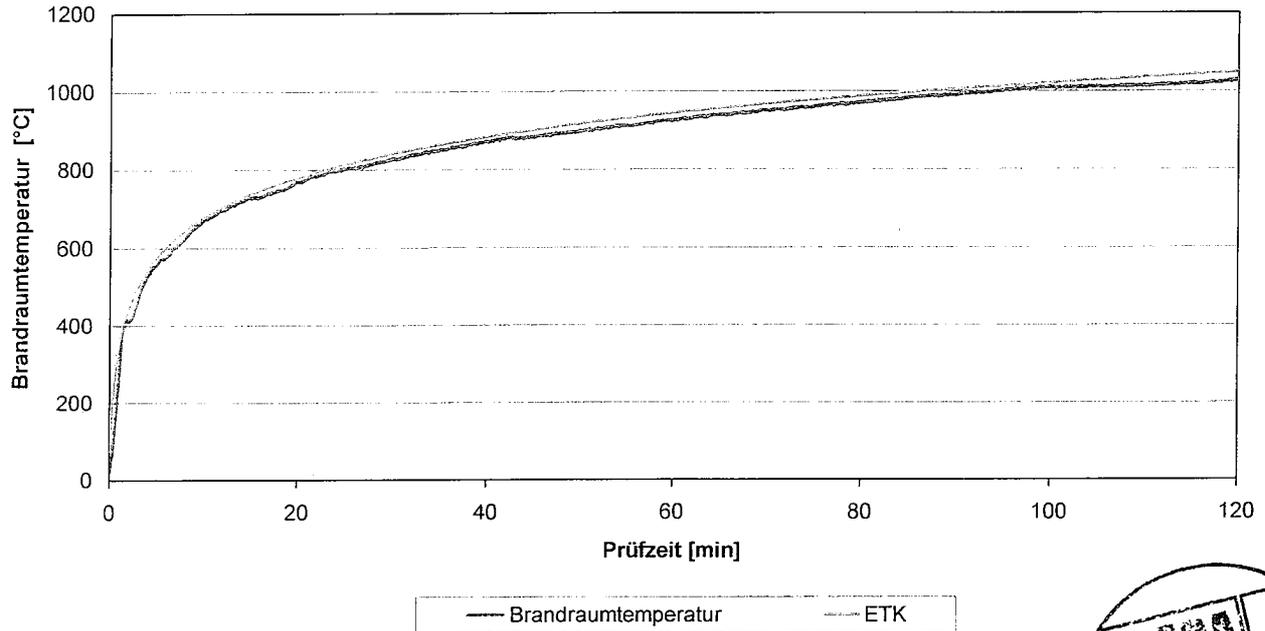


- X Dübel
- Plattenthermoelement

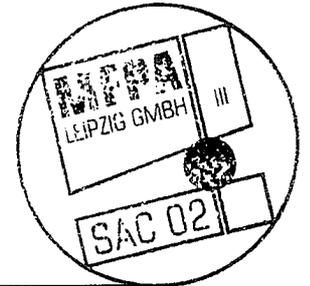
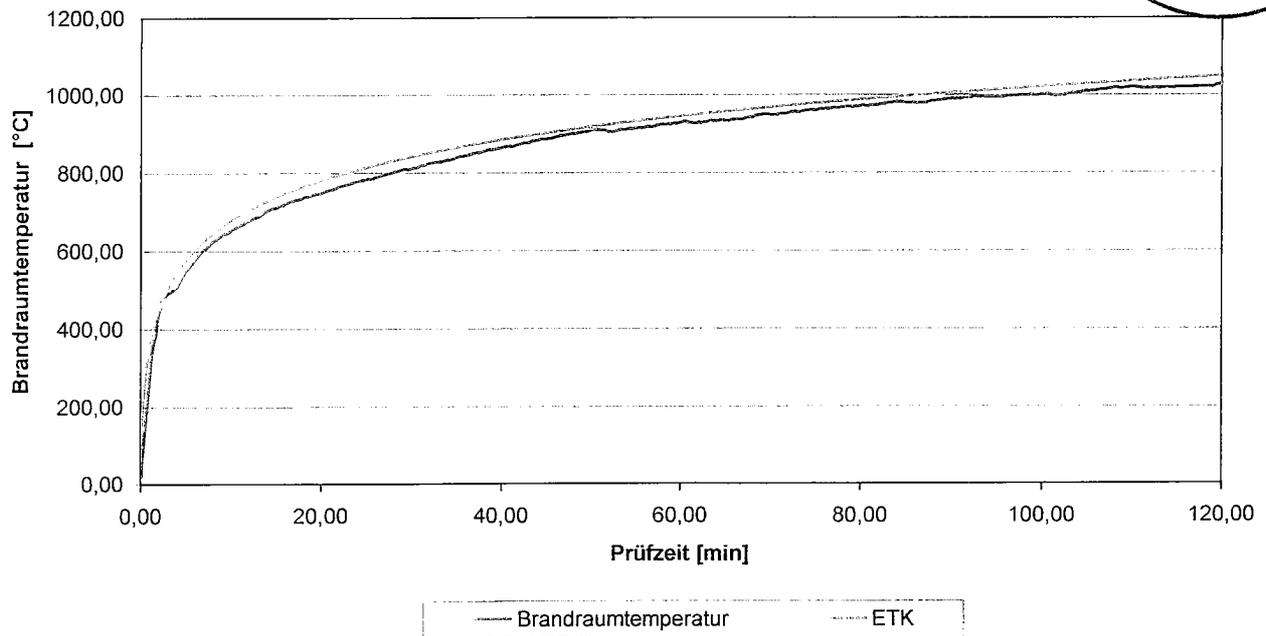


Brandraumtemperatur der zentrischen Zugversuche

Temperaturen im Brandraum (Platte 0)

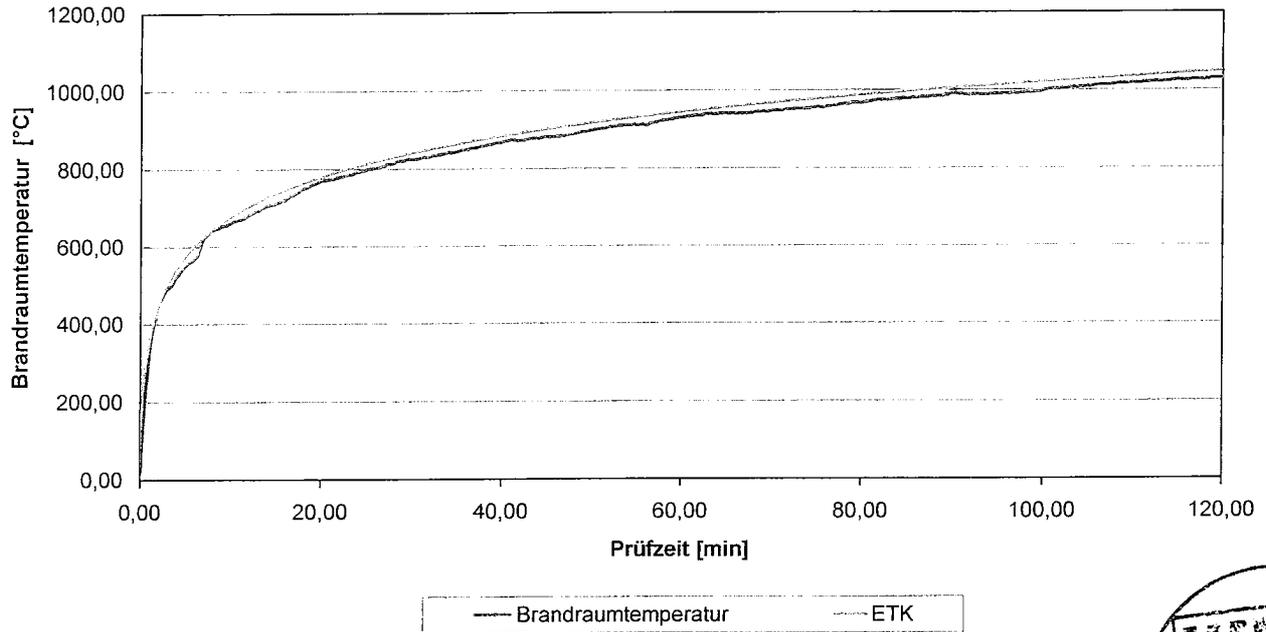


Temperaturen im Brandraum (Platte 1)

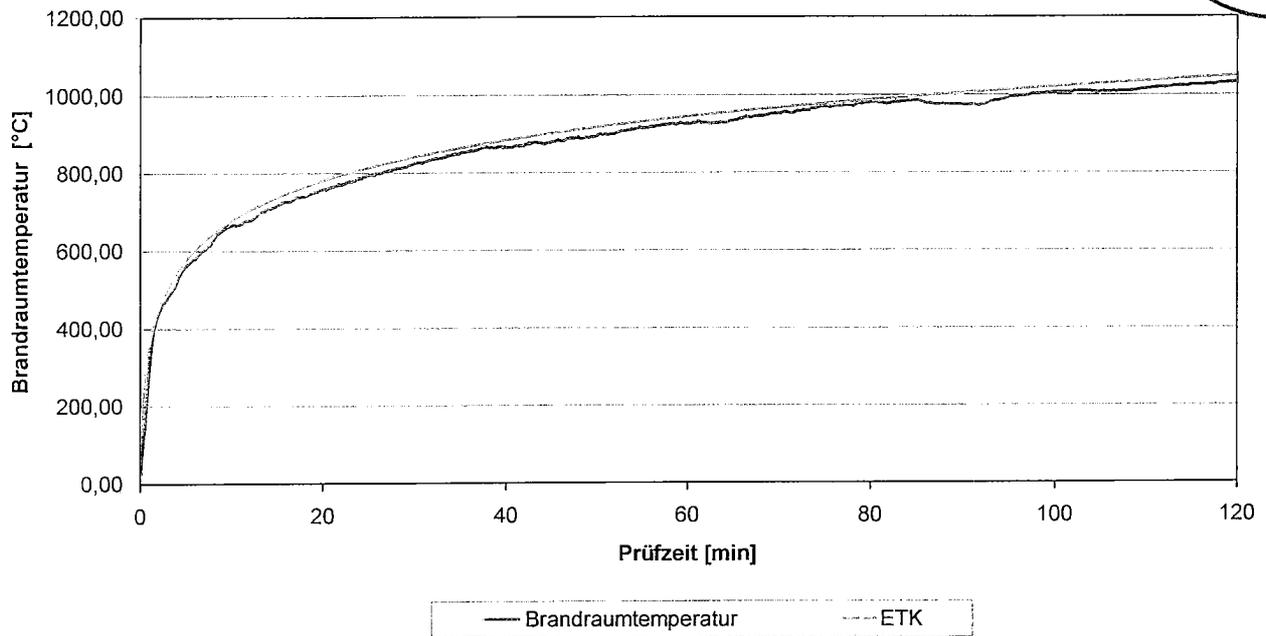


Brandraumtemperatur der zentrischen Zugversuche

Temperaturen im Brandraum (Platte 2)

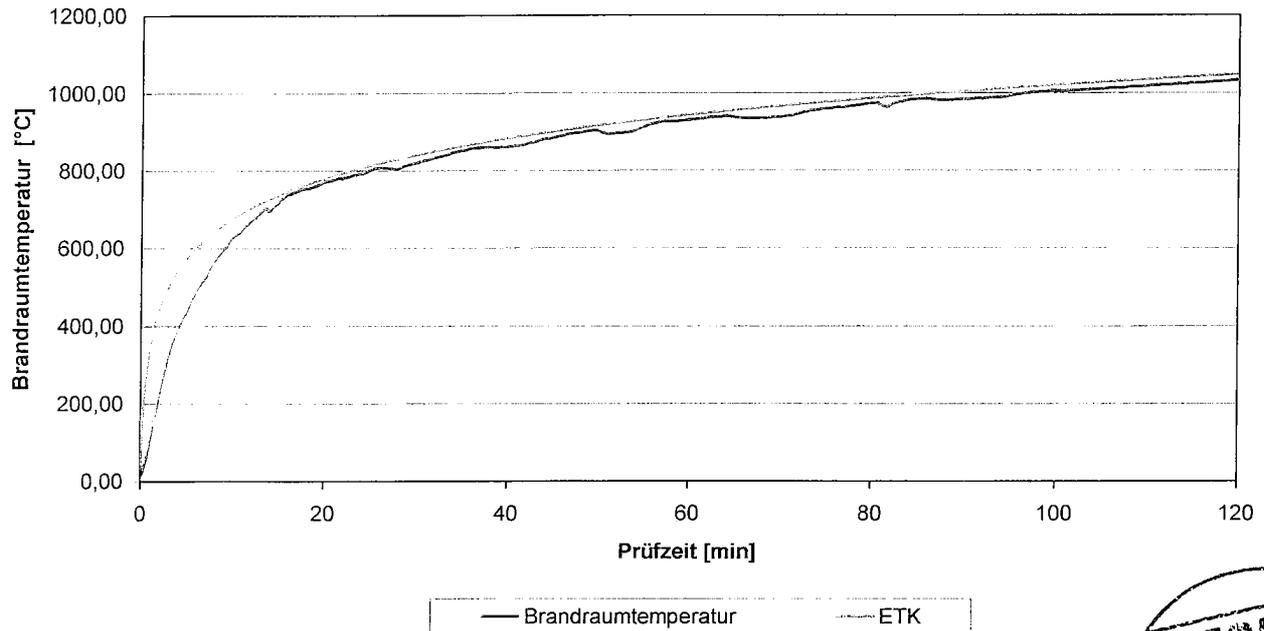


Temperaturen im Brandraum (Platte 3)

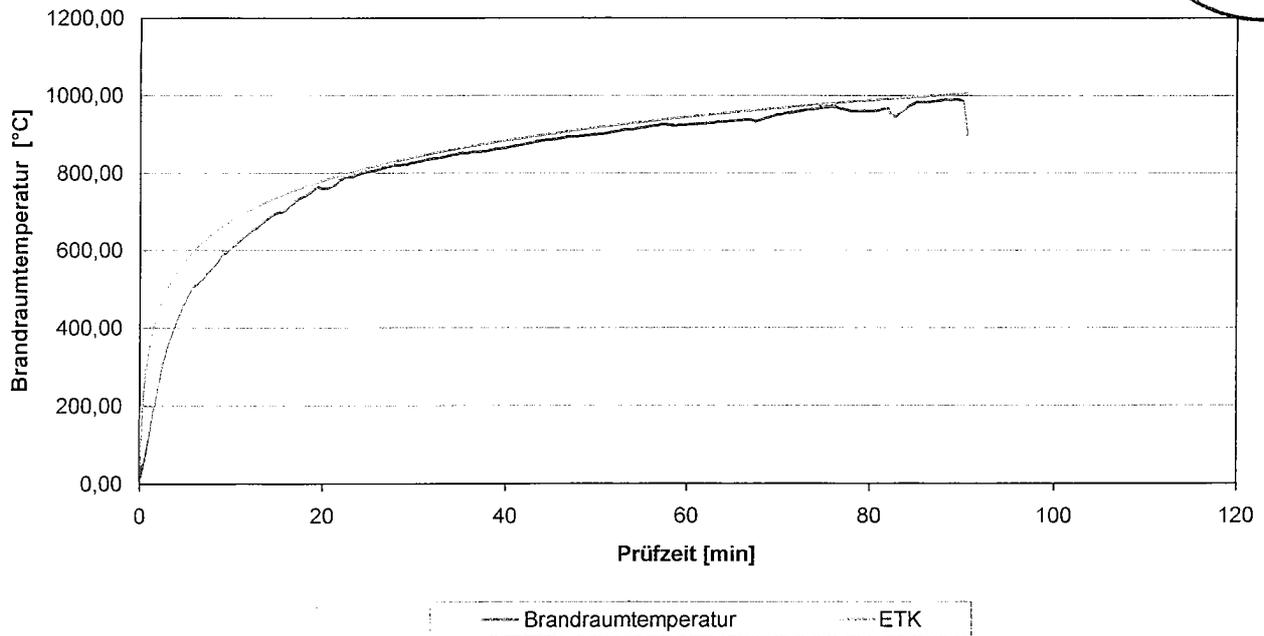


Brandraumtemperatur der Querschnittversuche

Temperaturen im Brandraum (Platte 4) QZ

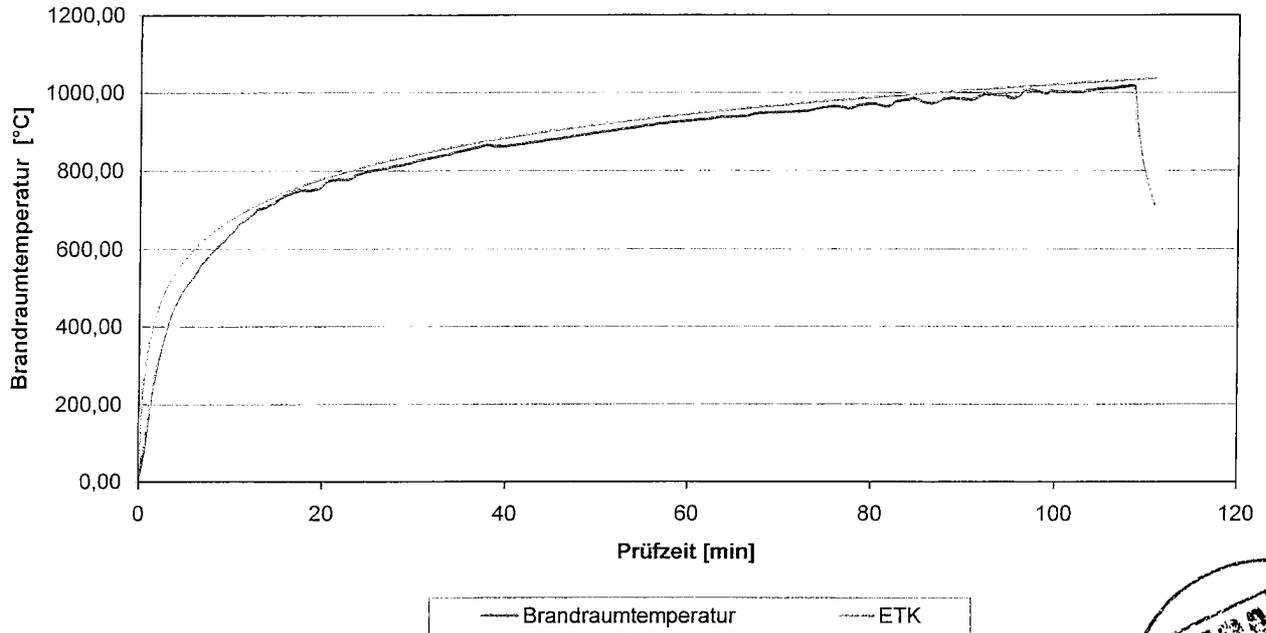


Temperaturen im Brandraum (Platte 5) QZ

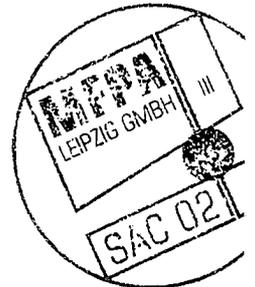
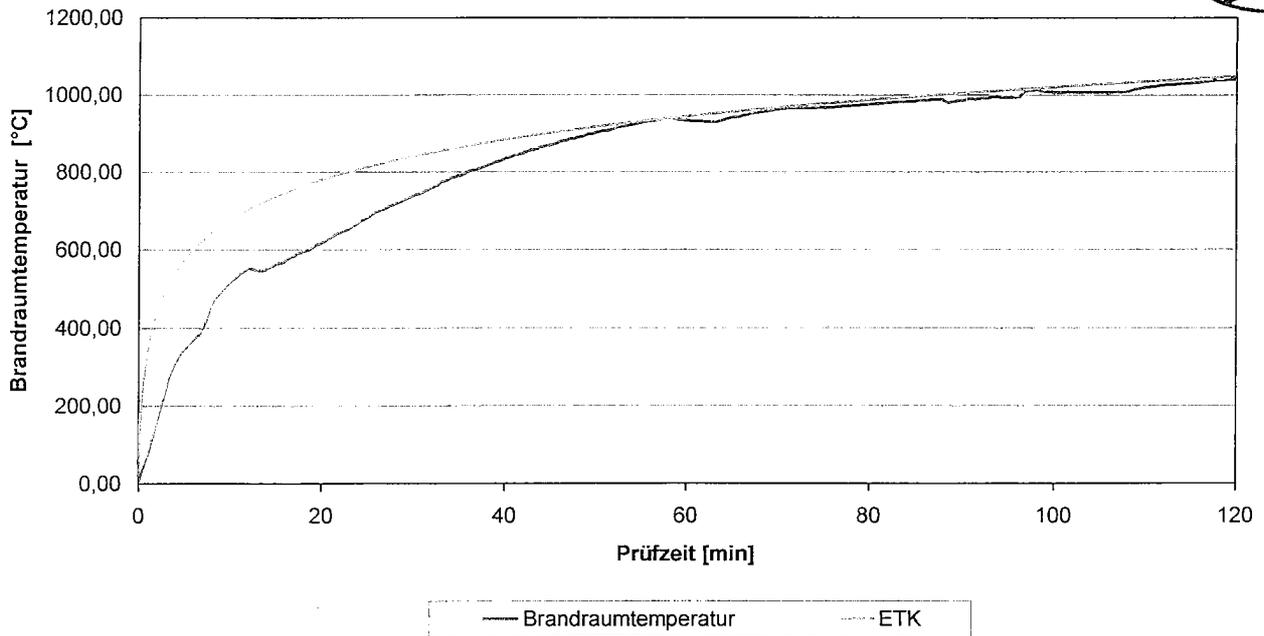


Brandraumtemperatur der Querzugversuche

Temperaturen im Brandraum (Platte 6) QZ



Temperaturen im Brandraum (Platte 7) QZ



Auswertung der Dübelprüfungen nach dem Technical Report TR 020 "Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire" (Mai 2004)

zentrischer Zug

Verankerungsmittel: fischer Bolzenanker FAZ II
Durchmesser: M 8
Verankerungstiefe: 45 mm

Ermittlung der Regressionsgleichung

Dübel-Nr.	aufgebrachte Zugkraft	aufgebrachte Stahlspannung	Feuerwiderstandsdauer	
---	N [kN]	σ_s [N/mm ²]	t_U [min]	$1/t_U$ [1/min]
1	0,80	21,86	180,00	0,0056
2	0,85	23,22	138,85	0,0072
3	0,90	24,59	100,83	0,0099
4	1,00	27,32	87,38	0,0114
5	1,10	30,05	71,05	0,0141
6	1,20	32,79	84,30	0,0119

Regressionsgleichung:

$\sigma_{s1} = c_1 + c_2 / t_U$	$c_1 =$	15,104
	$c_2 =$	1152,458

Ermittlung der charakteristischen Stahlspannung

ungünstigstes Versuchsergebnis

$t_U = 100,8$
 $\sigma_s = 24,59$

untere Grenzwertkurve:

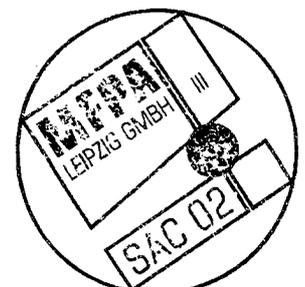
$\sigma_{s2} = c_3 * (c_1 + c_2 / t_U)$
$c_3 =$
0,927

Geradengleichung zur Interpolation zwischen 30 und 90 Minuten:

$\sigma_{s3} = c_4 - c_5 * t_U$	$c_4 =$	43,666
	$c_5 =$	0,198

charakteristische Stahlspannung für die Feuerwiderstandsdauern 30, 60, 90 und 120 Minuten:

Feuerwider- standsdauer	charakteristische Stahlspannungen
t_U [min]	$\sigma_{RK,s,fi(t_U)}$ [N/mm ²]
30	37,73
60	31,80
90	25,87
120	22,90



Auswertung der Dübelprüfungen nach dem Technical Report TR 020 "Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire" (Mai 2004)

zentrischer Zug

Verankerungsmittel: fischer Bolzenanker FAZ II
Durchmesser: M12
Verankerungstiefe: 70 mm

Ermittlung der Regressionsgleichung

Dübel- Nr.	aufgebrachte Zugkraft N [kN]	aufgebrachte Stahlspannung σ_s [N/mm ²]	Feuerwiderstandsdauer t_U [min]	$1/t_U$ [1/min]
1	2,50	29,66	150,00	0,0067
2	2,75	32,62	139,70	0,0072
3	3,25	38,55	123,80	0,0081
4	3,50	41,52	85,40	0,0117

Hinweis: In der Tabelle sind nur die Messergebnisse aufgeführt, die für die Ermittlung der Regressionsgleichung verwendet wurden.

Regressionsgleichung:

$\sigma_{s1} = c_1 + c_2 / t_U$	$c_1 =$	18,012
	$c_2 =$	2091,593

Ermittlung der charakteristischen Stahlspannung

ungünstigstes Versuchsergebnis

$t_U = 150$
 $\sigma_s = 29,66$

untere Grenzwertkurve:

$\sigma_{s2} = c_3 * (c_1 + c_2 / t_U)$	$c_3 =$	0,928
---	---------	-------

Geradengleichung zur Interpolation zwischen 30 und 90 Minuten:

$\sigma_{s3} = c_4 - c_5 * t_U$	$c_4 =$	70,634
	$c_5 =$	0,359

charakteristische Stahlspannung für die Feuerwiderstandsdauern 30, 60, 90 und 120 Minuten:

Feuerwiderstandsdauer t_U [min]	charakteristische Stahlspannungen $\sigma_{Rk,s,fi}(t_U)$ [N/mm ²]
30	59,85
60	49,07
90	38,28
120	32,89



Auswertung der Dübelprüfungen nach dem Technical Report TR 020 "Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire" (Mai 2004)

Querzug

Verankerungsmittel: fischer Bolzenanker FAZ II
Durchmesser: M 8
Verankerungstiefe: 45 mm

Ermittlung der Regressionsgleichung

Dübel-Nr.	aufgebrachte Querzug-Beanspruchung	aufgebrachte Stahlspannung	Feuerwiderstandsdauer	
---	N	σ_s	t_U	$1/t_U$
---	[kN]	[N/mm ²]	[min]	[1/min]
1	1,10	30,05	138,00	0,0072
2	1,50	40,98	80,62	0,0124
3	1,50	40,98	126,65	0,0079
4	1,60	43,72	108,35	0,0092
5	1,70	46,45	66,85	0,0150
6	2,00	54,64	89,95	0,0111
7	2,00	54,64	87,85	0,0114

Regressionsgleichung:

$\sigma_{s1} = c_1 + c_2 / t_U$	$c_1 =$	26,397
	$c_2 =$	1706,656

Ermittlung der charakteristischen Stahlspannung

ungünstigstes Versuchsergebnis

untere Grenzwertkurve:

$t_U = 138,0$
 $\sigma_s = 30,05$

$\sigma_{s2} = c_3 * (c_1 + c_2 / t_U)$	$c_3 =$	0,775
---	---------	-------

Geradengleichung zur Interpolation zwischen 30 und 90 Minuten:

$\sigma_{s3} = c_4 - c_5 * t_U$	$c_4 =$	57,222
	$c_5 =$	0,245

charakteristische Stahlspannung für die Feuerwiderstandsdauern 30, 60, 90 und 120 Minuten:

Feuerwiderstandsdauer	charakteristische Stahlspannungen
t_U [min]	$\sigma_{Rk,s,fi}(t_U)$ [N/mm ²]
30	49,87
60	42,52
90	35,17
120	31,49



Auswertung der Dübelprüfungen nach dem Technical Report TR 020 "Evaluation of Anchorages in Concrete concerning Resistance to Fire" (Mai 2004)

Querzug

Verankerungsmittel: fischer Bolzenanker FAZ II
 Durchmesser: M12
 Verankerungstiefe: 70 mm

Ermittlung der Regressionsgleichung

Dübel- Nr.	aufgebrachte Querzug-Beanspruchung	aufgebrachte Stahlspannung	Feuerwiderstandsdauer	
---	N	σ_s	t_U	$1/t_U$
---	[kN]	[N/mm ²]	[min]	[1/min]
1	3,50	41,52	91,00	0,0110
2	4,00	47,45	80,50	0,0124
3	4,50	53,38	94,45	0,0106
4	5,00	59,31	67,65	0,0148
5	5,50	65,24	62,75	0,0159

Regressionsgleichung:

$\sigma_{s1} = c_1 + c_2 / t_U$	$c_1 =$	10,577
	$c_2 =$	3306,956

Ermittlung der charakteristischen Stahlspannung

ungünstigstes Versuchsergebnis

untere Grenzwertkurve:

$t_U = 91$
 $\sigma_s = 41,52$

$\sigma_{s2} = c_3 * (c_1 + c_2 / t_U)$	
$c_3 =$	0,885

Geradengleichung zur Interpolation zwischen 30 und 90 Minuten:

$\sigma_{s3} = c_4 - c_5 * t_U$	$c_4 =$	90,649
	$c_5 =$	0,542

charakteristische Stahlspannung für die Feuerwiderstandsdauern 30, 60, 90 und 120 Minuten:

Feuerwiderstandsdauer	charakteristische Stahlspannungen
t_U	$\sigma_{Rk,s,fi}(t_U)$
[min]	[N/mm ²]
30	74,39
60	58,13
90	41,88
120	33,75

