

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

PRÜFAMT FÜR VERKEHRSWEGEBAU
Prof. Dr.-Ing. S. Freudenstein



Bericht Nr. 5279 vom 23. September 2026
Report No. 5279 of 23 September 2026

FORSCHUNGSBERICHT
RESEARCH REPORT

**Güteüberwachung 2. Halbjahr 2026 - Dübel für Betonstraßen ($\varnothing = 25$ mm) –
Prüfung des Auszugswiderstandes gemäß DIN EN 13863-5:2024-05 und
des Korrosionswiderstandes auf Basis von prEN 13877-3 (Fassung 2021-10)**

**Quality Control 2nd half-year 2026 - Dowels for concrete roads ($\varnothing = 25$ mm) -
Determination of pull-out resistance according to DIN EN 13863-5:2024-05 and
of corrosion resistance on basis of prEN 13877-3 (version 2021-10)**

(Otto Brentzel – Stahlverarbeitung e.K., 67693 Fischbach, Deutschland)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Prüfamt für Verkehrswegebau

München, 23. September 2026
simon/Brentzel_2026-057

Forschungsbericht 5279

**Güteüberwachung 2. Halbjahr 2026 - Dübel für Betonstraßen ($\varnothing = 25 \text{ mm}$) –
Prüfung des Auszugswiderstandes gemäß DIN EN 13863-5:2024-05 und
des Korrosionswiderstandes auf Basis von prEN 13877-3 (Fassung 2021-10)**

(Otto Brentzel – Stahlverarbeitung e.K., 67693 Fischbach, Deutschland)

Research Report 5279

***Quality Control 2nd half-year 2026 - Dowels for concrete roads ($\varnothing = 25 \text{ mm}$) –
Determination of pull-out resistance according to DIN EN 13863-5:2024-05 and of
corrosion resistance on basis of prEN 13877-3 (version 2021-10)***

(Otto Brentzel – Stahlverarbeitung e.K., 67693 Fischbach, Germany)

Dieses Dokument enthält vertrauliche Informationen. Eine Vervielfältigung oder Weitergabe dieses Dokuments an Dritte ist nur mit schriftlicher Zustimmung des oben aufgeführten Auftraggebers gestattet.

This document contains confidential information. Any reproduction or distribution of this document to third parties is only permitted with written consent of the client listed above.

Dies ist ein zweisprachiger Bericht. Im Zweifel hat die deutsche Fassung Gültigkeit.

This is a bilingual report. In doubt, the German version is valid.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Allgemeines.....	4
2.	Versuchsmaterial.....	4
3.	Versuchsdurchführung für die Bestimmung der Verbundspannung	6
3.1	Prüfung des Auszugswiderstandes an Dübeln mit Durchmesser 25 mm	7
3.2	Verbundspannung und Zustand der Beschichtung nach der Prüfung	8
3.3	Würfeldruckfestigkeit des Betons nach 7 Tagen	10
4.	Versuchsdurchführung für die Bestimmung des Korrosionswiderstandes.....	10
5.	Einordnung der Ergebnisse	13
6.	Zusammenfassung.....	15
	Anlagenverzeichnis	31

TABLE OF CONTENTS

1.	<i>General</i>	<i>17</i>
2.	<i>Test specimen</i>	<i>17</i>
3.	<i>Test performance for determination of bond stress.....</i>	<i>19</i>
3.1	<i>Testing of pull-out resistance on dowels with diameter 25 mm</i>	<i>20</i>
3.2	<i>Bond stress and condition of coating after the test</i>	<i>21</i>
3.3	<i>Cube compressive strength of the concrete after 7 days</i>	<i>23</i>
4.	<i>Testing of corrosion resistance.....</i>	<i>23</i>
5.	<i>Interpretation of the results.....</i>	<i>27</i>
6.	<i>Summary.....</i>	<i>28</i>
	<i>Table of appendices</i>	<i>31</i>

1. Allgemeines

Im Auftrag von Otto Brentzel – Stahlverarbeitung e.K., Hauptstraße 61, 67693 Fischbach, Deutschland, wurden im Rahmen der halbjährlichen Güteüberwachung an Dübeln für Betonstraßen mit Durchmesser 25 mm der Auszugswiderstand und der Korrosionswiderstand ermittelt. Der Korrosionswiderstand wurde auch an Ankern für Betonstraßen (Durchmesser: 20 mm) geprüft.

Die Prüfung des Auszugswiderstandes erfolgte gemäß DIN EN 13863-5:2024-05 („Bestimmung der Verbundspannung von Dübeln für Fahrbahnbefestigungen aus Beton“). Die Prüfung des Korrosionswiderstandes wurde auf Basis der prEN 13877-3:2021-10 (aktuellste Entwurfsfassung) durchgeführt.

Die Durchführung der Versuche erfolgte am Prüfamt für Verkehrswegebau der TU München, Franz-Langinger-Straße 10, 81245 München. Das Prüfamt für Verkehrswegebau ist eine Organisationseinheit der TU München, Arcisstraße 21, 80333 München.

2. Versuchsmaterial

Für die hier beschriebene Güteüberwachung im 2. Halbjahr 2026 wurden dem Prüfamt am 20. August 2026 aus der laufenden Produktion zur Verfügung gestellt:

- 10 Stück Dübel für Betonstraßen aus glattem Rundstahl (Durchmesser: 25 mm, Nennlänge: 500 mm), mit Kunststoffbeschichtung auf kompletter Länge. An jeweils einer Stirnfläche sind die Dübel anstelle der Kunststoffbeschichtung mit Korrosionsschutzfarbe versehen. Die Dübel sind augenscheinlich rund, ohne Grat und ohne Beschädigungen.
- 10 Stück Anker für Betonstraßen aus profiliertem Rundstahl (Durchmesser: 20 mm, Nennlänge: 800 mm), mit Kunststoffbeschichtung im Mittelteil ($L_{\text{Beschichtung}} \approx 230 \text{ mm}$), für die Untersuchung auf 500 mm gekürzt.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft je eine der gelieferten Dübel- und Ankerproben.



Abbildung 1: Gelieferte Dübelprobe und Ankerprobe

An den gelieferten Dübelproben wurden folgende geometrische Werte bestimmt:

- Durchmesser (inklusive Beschichtung) in der Mitte des Dübels und in jeweils 10 mm Entfernung von beiden Stirnflächen (Mittelwerte aus 3 Messungen mit Messschieber).
- Dicke der Beschichtung in den Positionen der Bestimmung des Durchmessers (Mittelwerte aus 3 Messungen mit Schichtdicken-Messgerät SaluTron D6).
- Länge der Dübel (Messung mit Lineal).

In Tabelle 1 sind die an den Dübeln bestimmten Werte zusammengestellt. Die in Tabelle 1 mit „oben“ bezeichnete Stirnfläche des Dübels (in Abbildung 1 links) ist anstelle der Kunststoffbeschichtung mit Korrosionsschutzfarbe versehen.

Tabelle 1: Abmessungen und Beschichtungsdicke der Dübelproben

Dübel Nr.	Durchmesser [mm]			Beschichtungsdicke [μm]			Länge [mm]
	Oben	Mitte	Unten	Oben	Mitte	Unten	
1	25,28	25,37	25,52	425	510	493	500
2	25,27	25,48	25,52	396	474	530	500
3	25,29	25,39	25,48	480	505	542	500
4	25,32	25,40	25,70	462	479	530	500
5	25,22	25,43	25,62	504	489	524	500
6	25,23	25,47	25,60	426	490	583	500
7	25,19	25,35	25,61	408	468	538	500
8	25,22	25,44	25,49	478	532	574	500
9	25,24	25,41	25,63	407	546	604	500
10	25,20	25,47	25,63	431	517	618	500
Mittel	25,25	25,42	25,58	442	501	554	500

An drei gelieferten Ankerproben (für Korrosionsprüfung) wurde die Dicke der Beschichtung in Ankermitte und je etwa 10 mm entfernt vom Ende des beschichteten Bereichs gemessen. Wegen der gerippten Oberfläche der Anker ist die Beschichtungsdicke über den Umfang nicht konstant. In den beschriebenen drei Messpositionen (links, Mitte, rechts) wurde daher die minimale und maximale Beschichtungsdicke bestimmt, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Beschichtungsdicke der Ankerproben

Anker Nr.	Beschichtungsdicke [μm]					
	Links		Mitte		Rechts	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	292	538	382	513	444	608
2	232	451	271	715	318	681
3	328	620	282	771	271	638

Die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das dem Prüfamt zur Verfügung gestellte und für die Untersuchungen verwendete Versuchsmaterial. Dem Hersteller/Auftraggeber obliegt es, die Übereinstimmung des Versuchsmaterials mit der Serienfertigung sicherzustellen.

3. Versuchsdurchführung für die Bestimmung der Verbundspannung

Für die Bestimmung der „Verbundspannung von Dübeln für Fahrbahnbefestigungen aus Beton“ sind folgende Schritte auszuführen:

- Auswahl von 3 Dübelproben für die Versuchsdurchführung.
- Bestimmung des individuellen Dübeldurchmessers d_i als arithmetisches Mittel aus Messung in der Mitte des Dübels und 10 mm entfernt von beiden Stirnflächen.
- Bestimmung der individuellen Dübellänge l_{di} .
- Dübelproben mittig und vertikal in Schalungen fixieren und auf halbe Länge (max. zul. Abweichung: ± 5 mm) in Betonquader eingießen. (Bei unterschiedlichem Durchmesser an den beiden Dübelenden muss die schlankere Seite im Beton liegen.)
- Zusätzlich drei Beton-Würfelproben (Kantenlänge: 150 mm) gießen, zur Bestimmung der Druckfestigkeit nach 7 Tagen gemäß EN 12390.
- Betonquader gegen Verdunstung abdecken und bis zur Prüfung bei $T = 20 \pm 5^\circ\text{C}$ lagern.
- Vor der Prüfung die überstehende Dübellänge messen. (Daraus ergibt sich die im Beton eingebundene Dübellänge.)
- Prüfung des Auszieh Widerstandes bei einem Betonalter von 24 ± 1 h:
 - Betonquader fixieren und Zugbelastung zentrisch in Dübel einleiten.
 - Dübel 4 x um 5 mm herausziehen und wieder in Ursprungslage zurückdrücken.
 - In 5. Belastung Dübel komplett herausziehen und Beschichtung des Dübels auf Beschädigungen im Bereich der Einbettung untersuchen und dokumentieren.

- Auszugskraft bei Relativbewegung von 0,25 mm in der ersten und fünften Belastung bestimmen und anhand der eingebundenen Mantelfläche in Verbundspannung umrechnen.
- Prüfung der Würfeldruckfestigung gemäß EN 12390 bei einem Betonalter von 7 Tagen.

3.1 Prüfung des Auszugswiderstandes an Dübeln mit Durchmesser 25 mm

Für die Prüfung des Auszugswiderstandes wurden die Dübel Nr. 2, 3 und 9 aus den gelieferten Proben ausgewählt.

Am 15.09.2026 wurden diese Dübel auf halbe Dübellänge in Beton C30/37 einbetoniert (Abmessungen der Schalungen: 200 x 200 x 280 mm), wobei die mit „oben“ bezeichnete Stirnfläche im Beton lag. Mit derselben Betonmischung wurden drei Würfelschalungen (Kantenlänge: 150 mm) gefüllt, um die Würfeldruckfestigkeit nach 7 Tagen zu bestimmen.

Am 16.09.2026 wurden nacheinander die drei Proben 24 ± 1 h nach der Betonage geprüft. Vor der Prüfung wurden die Dübellängen bestimmt, die über den Betonquader herausragen. (Aus diesen Werten ergeben sich die eingebundenen Dübellängen $l_{d,ci}$.)

Zum Zeitpunkt der Auszugsprüfung wurde die Druckfestigkeit der Betonquader mit einem Betonprüfhammer zu im Mittel 20 N/mm² bestimmt.

Tabelle 3 zeigt für die gewählten Proben den individuellen Dübeldurchmesser d_i , die Länge des Dübelteils, der sich im Beton befindet ($l_{d,ci}$) und die daraus berechnete Mantelfläche, welche im Betonquader eingebunden ist (ohne eingebundene Stirnfläche).

Tabelle 3: Individuelle eingebundene Mantelfläche der gewählten Dübelproben

Dübel Nr.	individueller Dübeldurchmesser d_i [mm]	Individuelle eingebundene Dübellänge $l_{d,ci}$ [mm]	Individuelle eingebundene Mantelfläche [mm ²]
2	25,42	248	19805
3	25,39	249	19861
9	25,43	252	20132

Zur Bestimmung des Auszugswegs bei der Zugkrafteinleitung wurde die Relativbewegung zwischen Dübel und Beton-Stirnseite mit Induktivwegaufnehmern gemessen.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Auszugsprüfung zusammengestellt. Demnach betrug die erforderliche Auszugskraft für die Relativbewegung von 0,25 mm zwischen Dübel und Betonquader im Mittel der drei Proben in der ersten Belastung 6,2 kN. In der fünften Belastung betrug der Mittelwert 3,7 kN.

Tabelle 4: Auszugskraft [kN] bei 0,25 mm Relativbewegung

	Dübel Nr. 2	Dübel Nr. 3	Dübel Nr. 9	Mittel aus 3 Dübeln [kN]
1. Belastung	5,17	6,98	6,35	6,17
5. Belastung	3,42	3,28	4,43	3,71

In den Anlagen 1.1 bis 3.2 sind die Kraft-Weg-Diagramme der jeweils ersten und fünften Belastung der drei Dübel dargestellt.

3.2 Verbundspannung und Zustand der Beschichtung nach der Prüfung

Die ermittelten Auszugskräfte entsprechen den in Tabelle 5 bestimmten Verbundspannungen.

Tabelle 5: Verbundspannung [MPa] bei 0,25 mm Relativbewegung

	Dübel Nr. 2	Dübel Nr. 3	Dübel Nr. 9	Mittel aus 3 Dübeln [MPa]
1. Belastung	0,26	0,35	0,32	0,31
5. Belastung	0,17	0,17	0,22	0,19

Nach der fünften Belastung wurden die Dübel vollständig aus den Betonquadern gezogen. An den im Beton eingebundenen Mantelflächen der Dübel konnten keine Beschädigungen der Beschichtung festgestellt werden. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen die betreffenden Oberflächen der geprüften Dübel ohne Schäden.



Abbildung 2: Oberfläche der Dübel nach der Auszugsprüfung ohne Beschädigung der Beschichtung



Abbildung 3: Rückseitige Oberfläche der Dübel nach der Auszugsprüfung ohne Beschädigung der Beschichtung

3.3 Würfeldruckfestigkeit des Betons nach 7 Tagen

Zum Nachweis der Eignung des für die Proben der Auszugsprüfung verwendeten Betons muss die Druckfestigkeit des Betons nach 7 Tagen geprüft werden. Hierbei besteht die Anforderung, dass die Würfeldruckfestigkeit (Mittelwert aus drei Proben) zwischen 30 MPa und 50 MPa liegt.

Die Prüfung der Würfeldruckfestigkeit wurde am 22.09.2026 durchgeführt und erfolgte gemäß den Vorgaben der EN 12390. Bis zur Prüfung bei einem Betonalter von 7 Tagen wurden die Würfelproben unter Wasser gelagert.

Tabelle 6 zeigt die erreichte Würfeldruckfestigkeit der Proben, sowie deren Mittelwert.

Tabelle 6: Würfeldruckfestigkeit [MPa] bei Betonalter von 7 Tagen

Probe	Würfeldruckfestigkeit [MPa]	Mittelwert Würfeldruckfestigkeit [MPa]
Würfel 1	38,2	38,0
Würfel 2	35,8	
Würfel 3	39,9	

Anlage 4 zeigt die Messwertaufzeichnungen der Druckfestigkeitsprüfungen.

Mit einem Mittelwert der Würfeldruckfestigkeit von 38,0 MPa wird die Eignung des Betons für die Auszugsprüfung bestätigt.

4. Versuchsdurchführung für die Bestimmung des Korrosionswiderstandes

Der Widerstand von beschichteten Dübeln gegen Korrosion ist gemäß Kapitel 4.1 der prEN 13877-3:2021-10 in einem NSS-Test (neutraler Salzsprühnebel) entsprechend der Vorgaben in EN ISO 9227:2017 zu prüfen. Hierbei werden die Proben einem Sprühnebel mit 5% NaCl-Lösung ausgesetzt ($T_{\text{Prüfkammer}} = +35^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{Salznebel}} = +50^{\circ}\text{C}$). Die Dauer der NSS-Beaufschlagung beträgt 240 Stunden.

Die geforderte Mindestlänge der Dübelproben beträgt 150 mm. Der für die Bewertung des Korrosionsschutzes zur Betrachtung stehende Bereich liegt in der Mitte des Dübels und ist um 50 mm kürzer als die Dübelprobe. (Dies bedeutet, dass an beiden Enden der Probe eine Länge von 25 mm nicht in die Bewertung mit einfließt.)

Für die Bestimmung des Korrosionswiderstandes wurden die Dübelproben Nr. 6, 7 und 8 ausgewählt. Ergänzend wurden auch drei Ankerproben (Nr. 1, 2 und 3) dem NSS-Test unterzogen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die beschichtete Mantelfläche der gewählten Dübelproben vor der Versuchsdurchführung (Abb. 4 und 5) und nach 240 Stunden NSS-Test (Abb. 6 und 7).



Abbildung 4: Dübel mit Kunststoffbeschichtung vor dem NSS-Test.



Abbildung 5: Rückseitige Oberfläche der beschichteten Dübel vor dem NSS-Test.

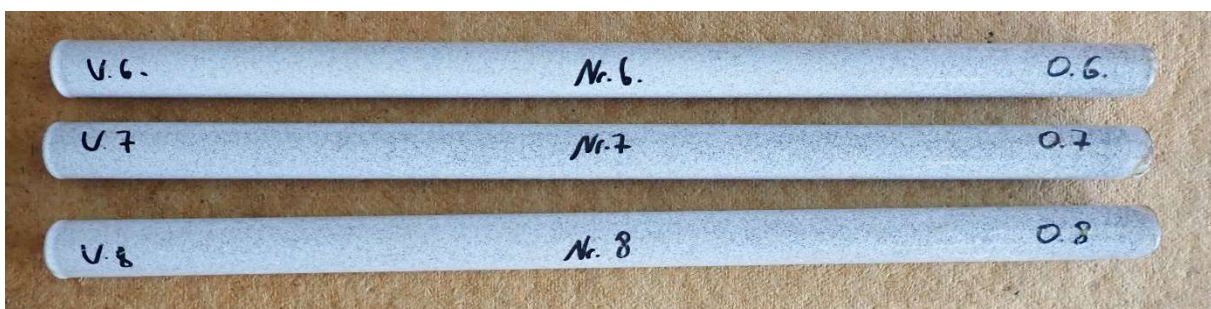


Abbildung 6: Nach 240 Stunden NSS-Test zeigen die Dübel im betrachteten Bereich keine Korrosionsmarken oder Risse der Beschichtung.

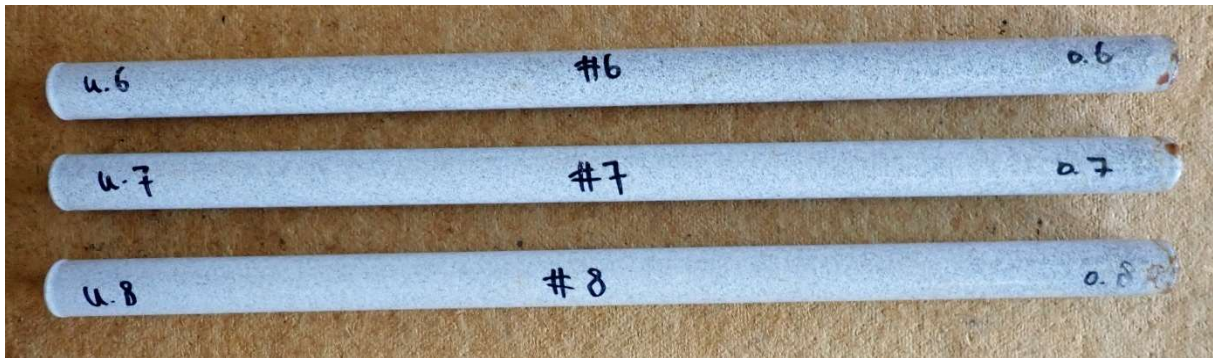


Abbildung 7: Rückseitige Oberfläche der Dübel nach NSS-Test ohne Korrosionsmarken oder Risse der Beschichtung im betrachteten Bereich.

Die Abbildungen der Dübel zeigen, dass die Korrosionsschutzwirkung der Beschichtung die Anforderungen erfüllt. Im zur Betrachtung stehenden Bereich der Dübel ist nach 240 Stunden NSS-Test keine Korrosion oder Risse der Beschichtung erkennbar.

Entsprechend wurde der Zustand der Anker mit Fotos vor (Abb. 8 und 9) und nach dem NSS-Test (Abb. 10 und 11) dokumentiert.



Abbildung 8: Anker mit Kunststoffbeschichtung vor dem NSS-Test.



Abbildung 9: Rückseitige Oberfläche der beschichteten Anker vor dem NSS-Test.



Abbildung 10: Nach 240 Stunden NSS-Test zeigen die Anker im betrachteten Bereich keine Korrosionsmarken oder Risse der Beschichtung.



Abbildung 11: Rückseitige Oberfläche der Anker nach NSS-Test ohne Korrosionsmarken oder Risse der Beschichtung im betrachteten Bereich.

Demnach erfüllt auch die Beschichtung der Anker die Anforderung an den Korrosionsschutz.

5. Einordnung der Ergebnisse

In Kapitel 4.1 der prEN 13877-3:2021-10 sind Anforderungen an die Beschichtung und an den Auszugswiderstand und an den Korrosionswiderstand von Dübeln für Betonstraßen formuliert.

Demnach soll die Dicke der Beschichtung zwischen 0,2 mm und 0,8 mm betragen, wobei die Enden des Dübels (Bereich jeweils 5 mm zu den Stirnflächen) nicht beschichtet sein müssen.

Diese Anforderung an die Beschichtungsdicke wird von den untersuchten Dübelproben eingehalten (siehe Tabelle 1). Auch die drei untersuchten Anker halten diese Anforderung ein (siehe Tabelle 2).

Für den Auszugswiderstand von Dübeln 24 Stunden nach der Betonage ist eine maximal zulässige Verbundspannung definiert. Demnach beträgt die maximal zulässige Verbundspannung bei 0,25 mm Auszugsweg 0,9 MPa in der ersten Belastung und 0,6 MPa in der fünften Belastung. Diese Anforderungen wurden von den geprüften Dübeln eingehalten (siehe Tabelle 5).

Als Anforderung an den Korrosionsschutz dürfen infolge des NSS-Tests (240 Stunden) keine Risse der Beschichtung und keine Korrosion des Stahldübels im betrachteten Bereich (= Probenlänge abzüglich 25 mm an beiden Enden der Probe) auftreten. Diese Anforderung wird von den Dübelproben und von den Ankerproben erfüllt.

6. Zusammenfassung

Im Auftrag von Otto Brentzel – Stahlverarbeitung e.K., Hauptstraße 61, 67693 Fischbach, Deutschland, wurden im Rahmen der halbjährlichen Güteüberwachung an Dübeln für Betonstraßen mit Durchmesser 25 mm der Auszugswiderstand und der Korrosionswiderstand ermittelt. Der Korrosionswiderstand wurde auch an Ankern für Betonstraßen (Durchmesser: 20 mm) geprüft.

Die Prüfung des Auszugswiderstandes erfolgte gemäß DIN EN 13863-5:2024-05 („Bestimmung der Verbundspannung von Dübeln für Fahrbahnbefestigungen aus Beton“). Die Prüfung des Korrosionswiderstandes wurde auf Basis der prEN 13877-3:2021-10 (aktuellste Entwurfsfassung) durchgeführt.

Für die hier beschriebene Güteüberwachung im 2. Halbjahr 2026 wurden dem Prüfamt aus der laufenden Produktion vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt:

- 10 Stück Dübel für Betonstraßen aus glattem Rundstahl (Durchmesser: 25 mm, Nennlänge: 500 mm), mit Kunststoffbeschichtung auf kompletter Länge. An jeweils einer Stirnfläche sind die Dübel anstelle der Kunststoffbeschichtung mit Korrosionsschutzfarbe versehen. Die Dübel sind augenscheinlich rund, ohne Grat und ohne Beschädigungen.
- 10 Stück Anker für Betonstraßen aus profiliertem Rundstahl (Durchmesser: 20 mm, Nennlänge: 800 mm), mit Kunststoffbeschichtung im Mittelteil ($L_{\text{Beschichtung}} \approx 230 \text{ mm}$), für die Untersuchung auf 500 mm gekürzt.

Der Auszugswiderstand wurde an drei Dübelproben bei einem Betonalter von $24 \pm 1 \text{ h}$ geprüft. Bei einer Relativbewegung von 0,25 mm betrug die Auszugskraft als Mittel aus den drei Proben 6,17 kN (1. Belastung) bzw. 3,71 kN (5. Belastung). Diese Auszugskräfte entsprechen Verbundspannungen zwischen Beton und in den Beton eingebundener Mantelfläche der Dübel von 0,31 MPa (1. Belastung) bzw. 0,19 MPa (5. Belastung). Die Würfeldruckfestigkeit des verwendeten Betons C30/37 (Betonalter: 7 Tage) betrug $38,0 \text{ N/mm}^2$ (Anforderung: 30 N/mm^2 bis 50 N/mm^2), womit die durchgeführten Auszugsprüfungen die Anforderung der EN 13863-5 an den verwendeten Beton erfüllen.

In Kapitel 4.1 der prEN 13877-3:2021-10 sind Anforderungen an die Beschichtung, an den Auszugswiderstand und an den Korrosionswiderstand von Dübeln für Betonstraßen formuliert. Demnach beträgt die maximal zulässige Verbundspannung 0,9 MPa (1. Belastung) bzw. 0,6 MPa (5. Belastung). Diese Anforderungen wurden von den drei Dübelproben erfüllt.

Die Beschichtungsdicke soll zwischen 0,2 mm und 0,8 mm betragen. Diese Anforderung wurde von den untersuchten Dübeln und Ankern erfüllt.

Zum Nachweis der Korrosionsschutzwirkung der Oberflächenbeschichtung dürfen infolge eines NSS-Tests (Dauer: 240 Stunden) keine Risse der Beschichtung und keine Korrosion des Stahls im zur Betrachtung stehenden Bereich der Oberfläche auftreten. Diese Anforderung wurde von den untersuchten Dübeln und Ankern erfüllt.

1. General

On behalf of Otto Brentzel – Stahlverarbeitung e.K., Hauptstraße 61, 67693 Fischbach, Germany, the pull-out resistance and corrosion resistance of 25 mm diameter dowels for concrete pavements were determined as part of the half-yearly quality control program. Corrosion resistance was also tested on anchors for concrete roads (diameter: 20 mm). The pull-out resistance test was carried out in accordance with DIN EN 13863-5:2024-05 ('Determination of the bond stress of dowels to be used in concrete pavements'). The corrosion resistance test was carried out on the basis of prEN 13877-3:2021-10 (latest draft version).

The tests have been carried out at the Institute of Road, Railway and Airfield Construction of Technical University of Munich, Franz-Langinger-Strasse 10, 81245 Munich, Germany. The Institute of Road, Railway and Airfield Construction is an organizational unit of the Technical University of Munich, Arcisstrasse 21, 80333 Munich.

2. Test specimen

For the quality control described here, to be carried out in the second half of 2026, the following specimens were made available for testing on 20 August 2026 from current production:

- 10 dowels for concrete pavements, made of smooth round steel (diameter: 25 mm, nominal length: 500 mm), with a plastic coating over their entire length. On one end face of each dowel, the plastic coating has been replaced by anti-corrosion paint. The dowels appear round, free from burrs and undamaged.*
- 10 anchors for concrete pavements, made of profiled round steel (diameter: 20 mm, nominal length: 800 mm), with a plastic coating on the central section ($L_{\text{coating}} \approx 230$ mm), shortened to 500 mm for the test.*

Figure 1 shows one of the supplied dowel and anchor samples.



Figure 1: Delivered sample of dowel and anchor

The following geometric values were determined on the dowel samples supplied:

- *Diameter (including coating) at the centre of the dowel and at a distance of 10 mm from each end face (average values from 3 measurements taken with a calliper).*
- *Thickness of the coating at the positions where the diameter was measured (average values from 3 measurements using a SaluTron D6 coating thickness gauge).*
- *Length of the dowels (measured with a ruler).*

Table 1 summarises the values determined on the dowels. The end face of the dowel labelled 'top' in Table 1 (on the left in Figure 1) is coated with anti-corrosion paint instead of the plastic coating.

Table 1: Dimensions and coating thickness of dowel samples

Dowel No.	Diameter [mm]			Thickness of coating [μm]			Length [mm]
	Top	Centre	Bottom	Top	Centre	Bottom	
1	25.28	25.37	25.52	425	510	493	500
2	25.27	25.48	25.52	396	474	530	500
3	25.29	25.39	25.48	480	505	542	500
4	25.32	25.40	25.70	462	479	530	500
5	25.22	25.43	25.62	504	489	524	500
6	25.23	25.47	25.60	426	490	583	500
7	25.19	25.35	25.61	408	468	538	500
8	25.22	25.44	25.49	478	532	574	500
9	25.24	25.41	25.63	407	546	604	500
10	25.20	25.47	25.63	431	517	618	500
Mean	25.25	25.42	25.58	442	501	554	500

On three anchor samples supplied (for corrosion testing), the coating thickness was measured at the centre of the anchor and at points approximately 10 mm from the end of the coated area. Due to the ribbed surface of the anchors, the coating thickness is not constant around the circumference. The minimum and maximum coating thicknesses were therefore determined at the three measurement positions described (left, centre, right); see Table 2.

Table 2: Thickness of coating of anchor samples

Anchor No.	Thickness of coating [μm]					
	Left		Centre		Right	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	292	538	382	513	444	608
2	232	451	271	715	318	681
3	328	620	282	771	271	638

The results listed below refer only to test material supplied and used for the investigations at the institute. The manufacturer/client is responsible for ensuring the conformity of the test material and series production.

3. Test performance for determination of bond stress

To determine the “bond stress of dowels for concrete pavements”, the following steps must be carried out:

- Selection of 3 dowel specimens for the test.
- Determination of the individual dowel diameter d_i as the arithmetic mean of the measurement taken at the centre of the dowel and 10 mm from both end faces.
- Determine the individual dowel length l_{di} .
- Fix the dowel specimens centrally and vertically in formwork and cast them into concrete blocks to half their length (maximum permissible deviation: ± 5 mm). (If the diameters at the two ends of the dowel differ, the slimmer end must be embedded in the concrete.)
- Additionally, cast three concrete cube specimens (edge length: 150 mm) to determine the compressive strength after 7 days in accordance with EN 12390.
- Cover the concrete blocks to prevent evaporation and store them at $T = 20 \pm 5^\circ\text{C}$ until testing.
- Before testing, measure the protruding length of the dowel. (This gives the length of the dowel embedded in the concrete.)
- Testing of pull-out resistance when the concrete is 24 ± 1 h old:
 - Fix the concrete block and apply a tensile load centrally to the dowel.
 - Pull the dowel out 5 mm four times and push it back into its original position.

- On the fifth loading, pull the dowel out completely and inspect and document the dowel's coating for damage in the embedded area.
- Determine the pull-out force at a relative deflection of 0.25 mm during the first and fifth load applications and convert this to bond stress based on the embedded surface area.
- Testing of cube compressive strength in accordance with EN 12390 at a concrete age of 7 days.

3.1 Testing of pull-out resistance on dowels with diameter 25 mm

Dowels No. 2, 3 and 9 were selected from the supplied samples for the pull-out strength test. On 15 September 2026, these dowels were embedded in C30/37 concrete to half their length (formwork dimensions: 200 x 200 x 280 mm), with the end face marked 'top' lying within the concrete. Three cube formworks (edge length: 150 mm) were filled with the same concrete mix to determine the cube compressive strength after 7 days.

On 16 September 2026, the three specimens were tested in succession 24 ± 1 h after concreting. Prior to testing, the lengths of the dowels protruding from the concrete block were determined. (These values give the embedded dowel lengths $l_{d,ci}$.)

At the time of the pull-out test, the compressive strength of the concrete blocks was determined using a concrete testing hammer to be 20 N/mm² on average.

Table 3 shows, for the selected specimens, the individual dowel diameter d_i , the length of the dowel portion embedded in the concrete ($l_{d,ci}$) and the resulting calculated surface area embedded in the concrete block (excluding the embedded end face).

Table 3: Individual surface area of dowel, embedded in concrete

Dowel No.	Individual diameter of dowel d_i [mm]	Individual length embedded in concrete $l_{d,ci}$ [mm]	Individual embedded surface area [mm²]
2	25.42	248	19805
3	25.39	249	19861
9	25.43	252	20132

To determine the pull-out deflection when the tensile force was applied, the relative movement between the dowel and the face of the concrete block was measured using inductive deflection transducers.

Table 4 summarises the results of the pull-out test. According to this, the pull-out force required to produce a relative movement of 0.25 mm between the dowel and the concrete block averaged 6.2 kN across the three specimens in the first load cycle. In the fifth load cycle, the average value was 3.7 kN.

Table 4: Pull-out force [kN] at relative deflection of 0.25 mm

	Dowel No. 2	Dowel No. 3	Dowel No. 9	Mean of 3 dowels [kN]
1. loading	5.17	6.98	6.35	6.17
5. loading	3.42	3.28	4.43	3.71

Appendices 1.1 to 3.2 show the force-deflection diagrams for the first and fifth loads applied to the three dowels.

3.2 Bond stress and condition of coating after the test

Determined pull-out forces correspond to bond stress values as shown in table 5.

Table 5: Bond stress [MPa] at relative deflection of 0.25 mm

	Dowel No. 2	Dowel No. 3	Dowel No. 9	Mean of 3 dowels [MPa]
1. loading	0.26	0.35	0.32	0.31
5. loading	0.17	0.17	0.22	0.19

After the fifth load, the dowels were completely pulled out of the concrete blocks. No damage to the coating was observed on the outer surfaces of the dowels embedded in the concrete. Figures 2 and 3 show the relevant surfaces of the tested dowels, which are undamaged.



Figure 2: *Surfaces of the dowels without damage of coating after the pull-out test*



Figure 3: *Opposite side surfaces of the dowels without damage of coating after the pull-out test*

3.3 Cube compressive strength of the concrete after 7 days

To confirm the suitability of the concrete used for the pull-out test specimens, the compressive strength of the concrete must be tested after 7 days. The requirement is that the cube compressive strength (mean value of three specimens) must be between 30 MPa and 50 MPa.

The cube compressive strength test was carried out on 22 September 2026 in accordance with the requirements of EN 12390. The cube specimens were stored under water until the test was carried out when the concrete was 7 days old.

Table 6 shows the cube compressive strength achieved by the specimens, as well as their mean value.

Table 6: **Cube compressive strength [MPa] of concrete at 7 days' age**

Sample	Cube compressive strength [MPa]	Mean value of Cube compressive strength [MPa]
Cube 1	38.2	38.0
Cube 2	35.8	
Cube 3	39.9	

Appendix 4 shows the recorded data from the compressive strength tests.

With an average cube compressive strength of 38.0 MPa after 7 days, the concrete is confirmed as suitable for the pull-out test.

4. Testing of corrosion resistance

The corrosion resistance of coated dowels shall be tested in accordance with Chapter 4.1 of prEN 13877-3:2021-10 using a neutral salt spray (NSS) test, as specified in EN ISO 9227:2017. In this test, the specimens are exposed to a salt spray containing a 5% NaCl solution ($T_{\text{test chamber}} = +35^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{salt spray}} = +50^{\circ}\text{C}$). The duration of the NSS exposure is set to 240 hours.

The required minimum length of the dowel specimens is 150 mm. The area to be considered for the assessment of corrosion resistance lies in the centre of the dowel and is 50 mm shorter

than the dowel specimen. (This means that a length of 25 mm at each end of the specimen is not included in the assessment.)

Dowel samples No. 6, 7 and 8 were selected to determine corrosion resistance. In addition, three anchor samples (No. 1, 2 and 3) were also subjected to the NSS test.

The following figures show the coated surface of the selected dowel specimens before the test was carried out (Figures 4 and 5) and after 240 hours of NSS testing (Figures 6 and 7).



Figure 4: Dowels with plastic coating before NSS-test



Figure 5: Opposite side surfaces of the coated dowels before NSS-test

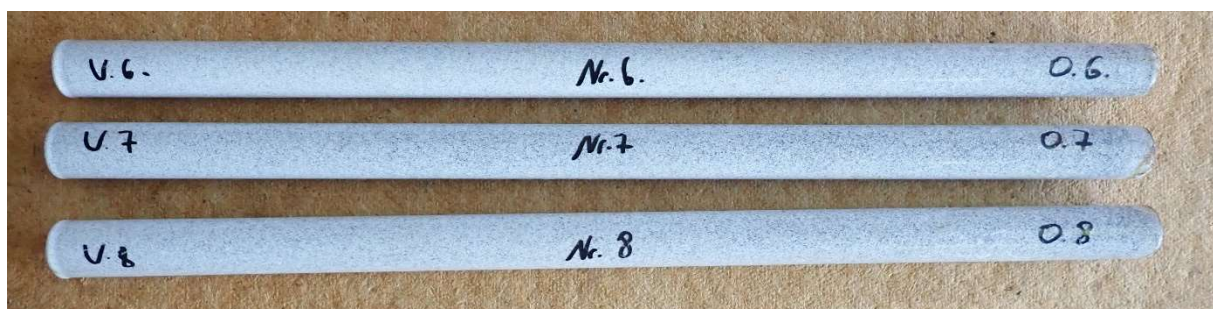


Figure 6: After 240 hours of NSS testing, the dowels show no signs of corrosion or fissuring of the coating in the area under consideration

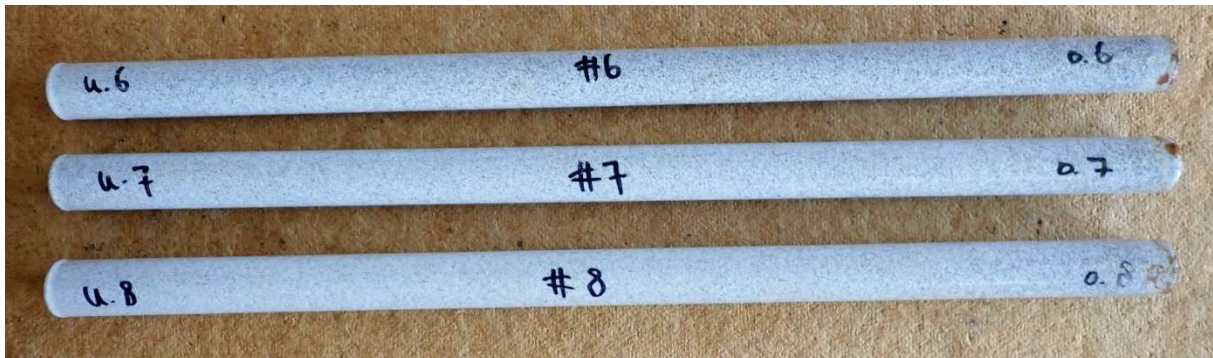


Figure 7: Opposite side surfaces of the dowels after NSS-test without signs of corrosion or fissuring in the coating

The figures of the dowels show that the coating's corrosion protection meets the requirements. In the area under consideration of the dowels, no corrosion or fissuring in the coating are visible after 240 hours of NSS testing.

Accordingly, the condition of the anchors was documented with pictures taken before (Figures 8 and 9) and after the NSS test (Figures 10 and 11).



Figure 8: Anchors with plastic coating before NSS-test



Figure 9: Opposite side surfaces of the coated anchors before NSS-test



Figure 10: After 240 hours of NSS testing, the anchors show no signs of corrosion or fissuring of the coating in the area under consideration



Figure 11: Opposite side surfaces of the anchors after NSS-test without signs of corrosion or fissuring in the coating

It follows that the coating on the anchors also meets the corrosion protection requirements.

5. Interpretation of the results

Chapter 4.1 of prEN 13877-3:2021-10 sets out requirements for the coating, for the pull-out resistance and for the corrosion resistance of dowels for concrete pavements.

According to this, the thickness of the coating should be between 0.2 mm and 0.8 mm, although the ends of the dowel (a 5 mm area from both end faces) need not be coated. The dowel samples investigated comply with this requirement regarding coating thickness (see Table 1). The three anchors investigated also meet this requirement (see Table 2).

A maximum permissible bond stress is defined for the pull-out resistance of dowels 24 hours after concreting. Accordingly, the maximum permissible bond stress at a pull-out deflection of 0.25 mm is 0.9 MPa in the first load cycle and 0.6 MPa in the fifth load cycle. These requirements were met by the tested dowels (see Table 5).

With regard to corrosion protection, there must be no fissuring in the coating and no corrosion of the steel dowel in the area under consideration (= specimen length minus 25 mm at both ends of the specimen) after NSS-test (duration: 240 hours). This requirement is met by both the anchor specimens and the dowel specimens.

6. Summary

On behalf of Otto Brentzel – Stahlverarbeitung e.K., Hauptstraße 61, 67693 Fischbach, Germany, the pull-out resistance and corrosion resistance of 25 mm diameter dowels for concrete pavements were determined as part of the half-yearly quality control programme. Corrosion resistance was also tested on anchors for concrete roads (diameter: 20 mm). The pull-out resistance test was carried out in accordance with DIN EN 13863-5:2024-05 ('Determination of the bond stress of dowels to be used in concrete pavements'). The corrosion resistance test was carried out on the basis of prEN 13877-3:2021-10 (latest draft version).

For the quality control described here, to be carried out in the second half of 2026, the following specimens were made available for testing from current production by the client:

- 10 dowels for concrete pavements, made of smooth round steel (diameter: 25 mm, nominal length: 500 mm), with a plastic coating over their entire length. On one end face of each dowel, the plastic coating has been replaced by anti-corrosion paint. The dowels appear round, free from burrs and undamaged.*
- 10 anchors for concrete pavements, made of profiled round steel (diameter: 20 mm, nominal length: 800 mm), with a plastic coating on the central section ($L_{\text{coating}} \approx 230$ mm), shortened to 500 mm for the test.*

The pull-out resistance was tested on three dowel specimens when the concrete was 24 ± 1 h old. At a relative deflection of 0.25 mm, the pull-out force, calculated as the average of the three specimens, was 6.17 kN (1st load) and 3.71 kN (5th load) respectively. These pull-out forces correspond to bond stresses between the concrete and the outer surface of the dowels embedded in the concrete of 0.31 MPa (1st load) and 0.19 MPa (5th load) respectively. The cube compressive strength of the C30/37 concrete used (concrete age: 7 days) was 38.0 N/mm² (requirement: 30 N/mm² to 50 N/mm²), meaning that the pull-out tests carried out meet the requirements of EN 13863-5 for the concrete used.

Chapter 4.1 of prEN 13877-3:2021-10 sets out requirements for the coating, the pull-out resistance and the corrosion resistance of dowels for concrete pavements. Accordingly, the maximum permissible bond stress is 0.9 MPa (1st load) and 0.6 MPa (5th load). These requirements were met by the three dowel specimens.

The coating thickness should be between 0.2 mm and 0.8 mm. This requirement was met by the dowels and anchors investigated.

To demonstrate the corrosion protection provided by the surface coating, an NSS test (duration: 240 hours) must show no cracks in the coating and no corrosion of the steel in the relevant area of the surface. This requirement was met by the dowels and anchors tested.

München, 23. September 2026

Munich, 23 September 2026

Für die Freigabe des Berichts /
For the authorization of the report

Prof. Dr.-Ing. S. Freudenstein
(Oberste Leitung)
(CEO)

Für die Durchführung und
Auswertung der Versuche / *For the*
performance and evaluation of the
tests

Dr.-Ing. C. Simon
(Projektleiter)
(Project manager)

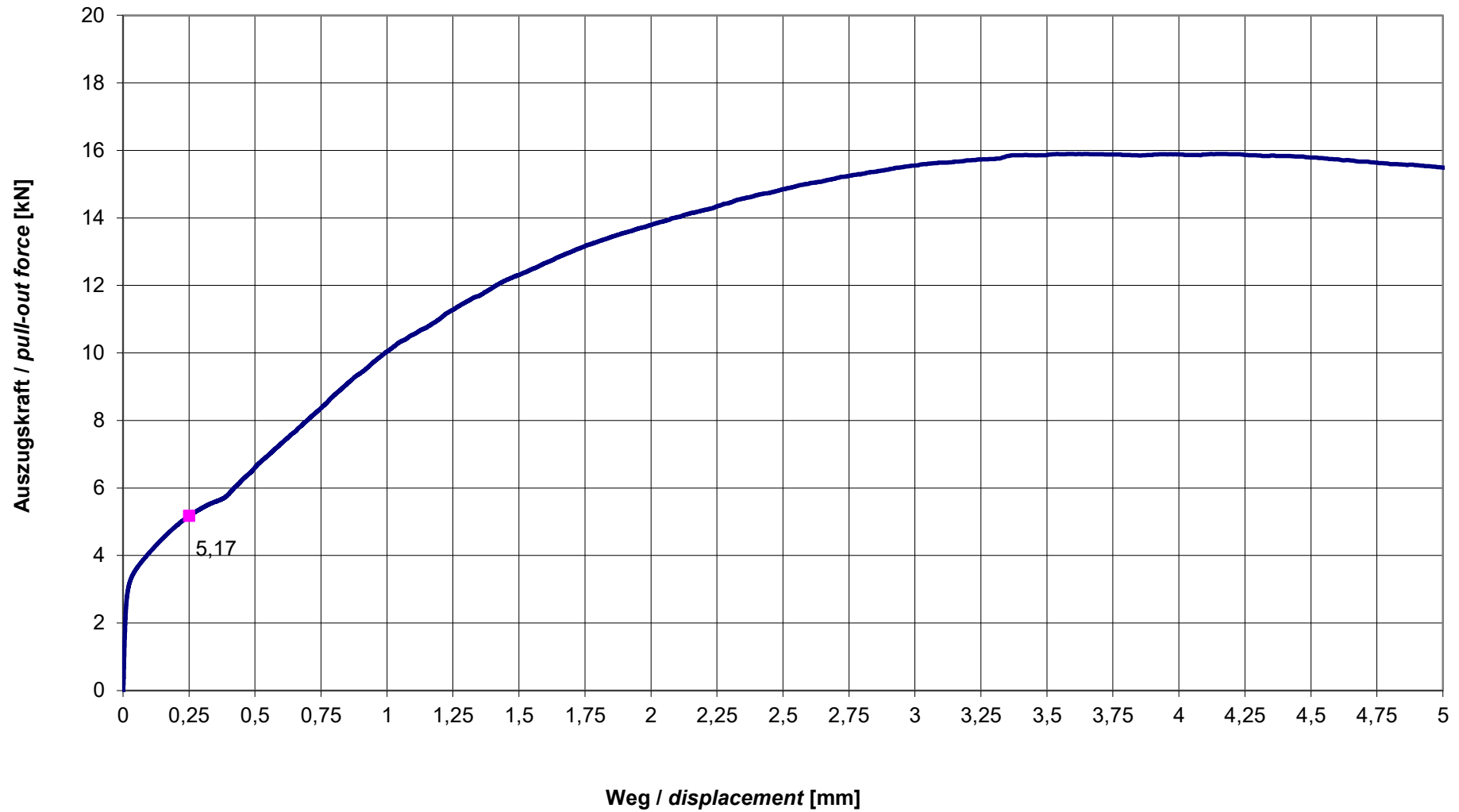
ANLAGENVERZEICHNIS

- 1.1 - 3.2: Kraft-Weg-Diagramme der Auszugsprüfungen
- 4: Messwertaufzeichnungen der Druckfestigkeitsprüfung

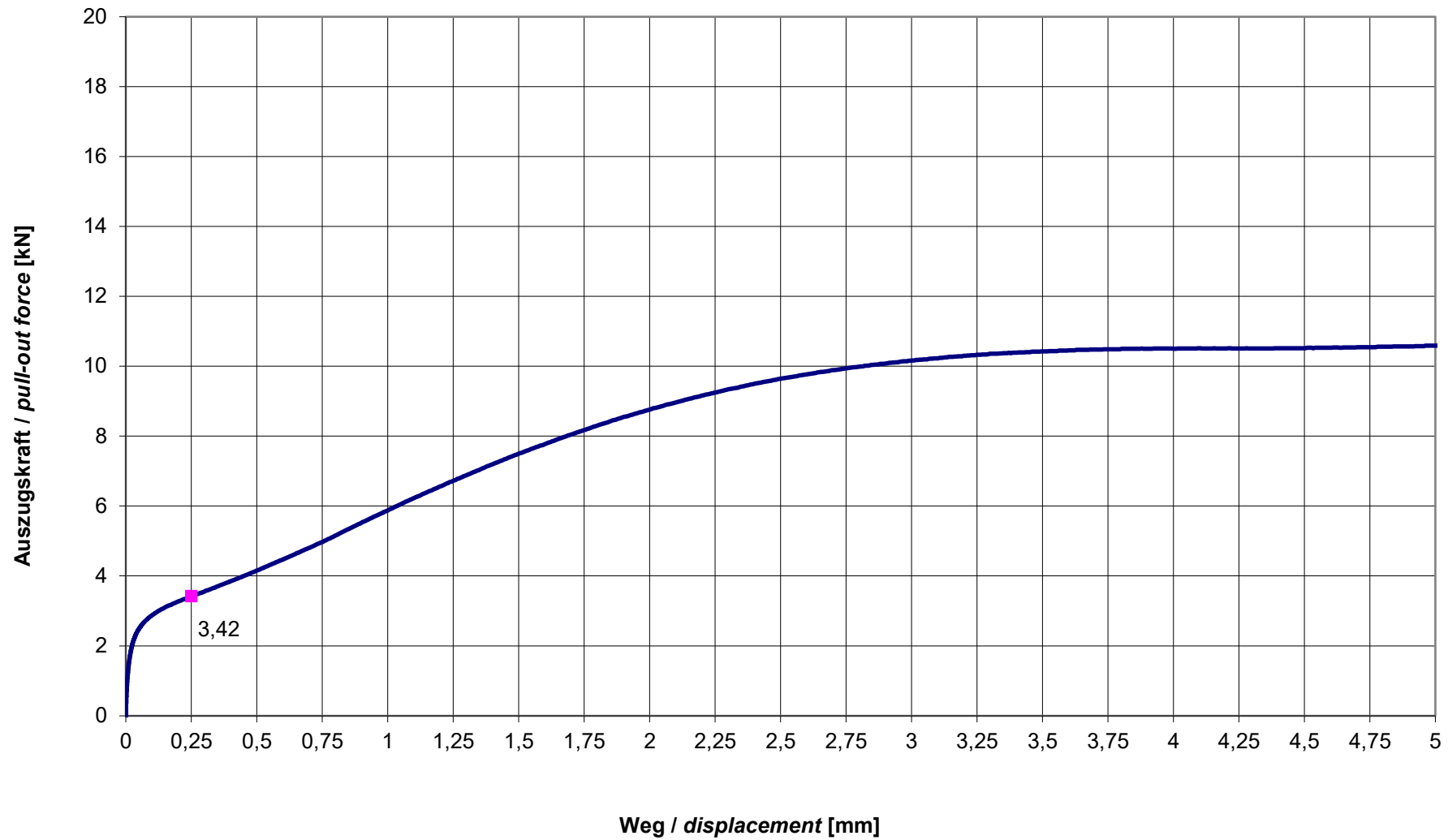
TABLE OF APPENDICES

- 1.1 – 3.2: *Force-deflection-diagrams of pull-out tests*
- 4: *Measurement recordings of compressive strength tests*

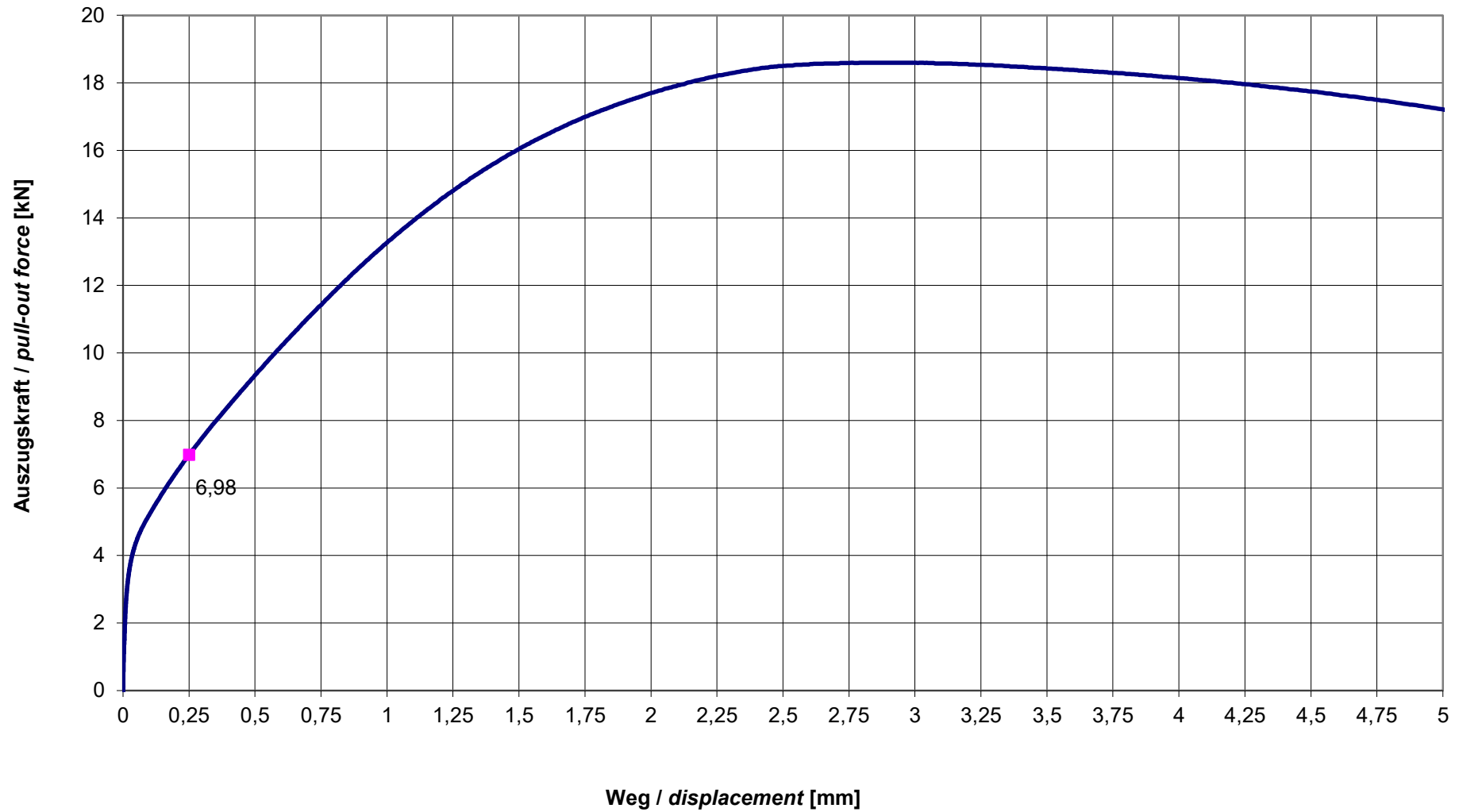
Dübel-Auszugswiderstand _ Nenn-Durchmesser: 25 mm _ Probe Nr.: 2 _ Betonalter: 23,5 h _ 1 . Belastung -----
Pull-out-resistance of dowel _ nominal diameter: 25 mm _ Sample No.: 2 _ Age of concrete: 23,5 h _ 1 st loading



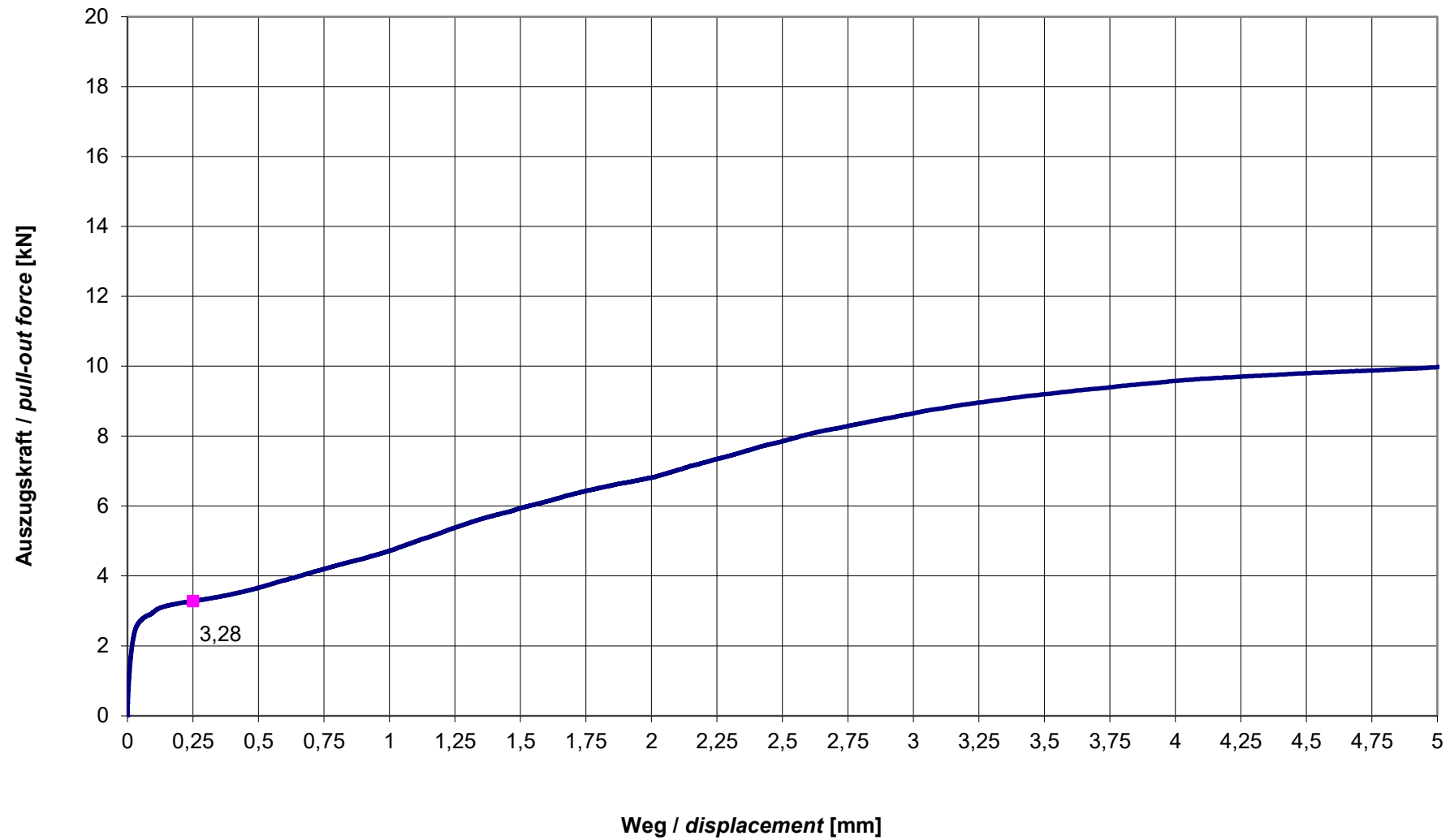
Dübel-Auszugswiderstand _ Nenn-Durchmesser: 25 mm _ Probe Nr.: 2 _ Betonalter: 23,5 h _ 5 . Belastung -----
Pull-out-resistance of dowel _ nominal diameter: 25 mm _ Sample No.: 2 _ Age of concrete: 23,5 h _ 5 th loading



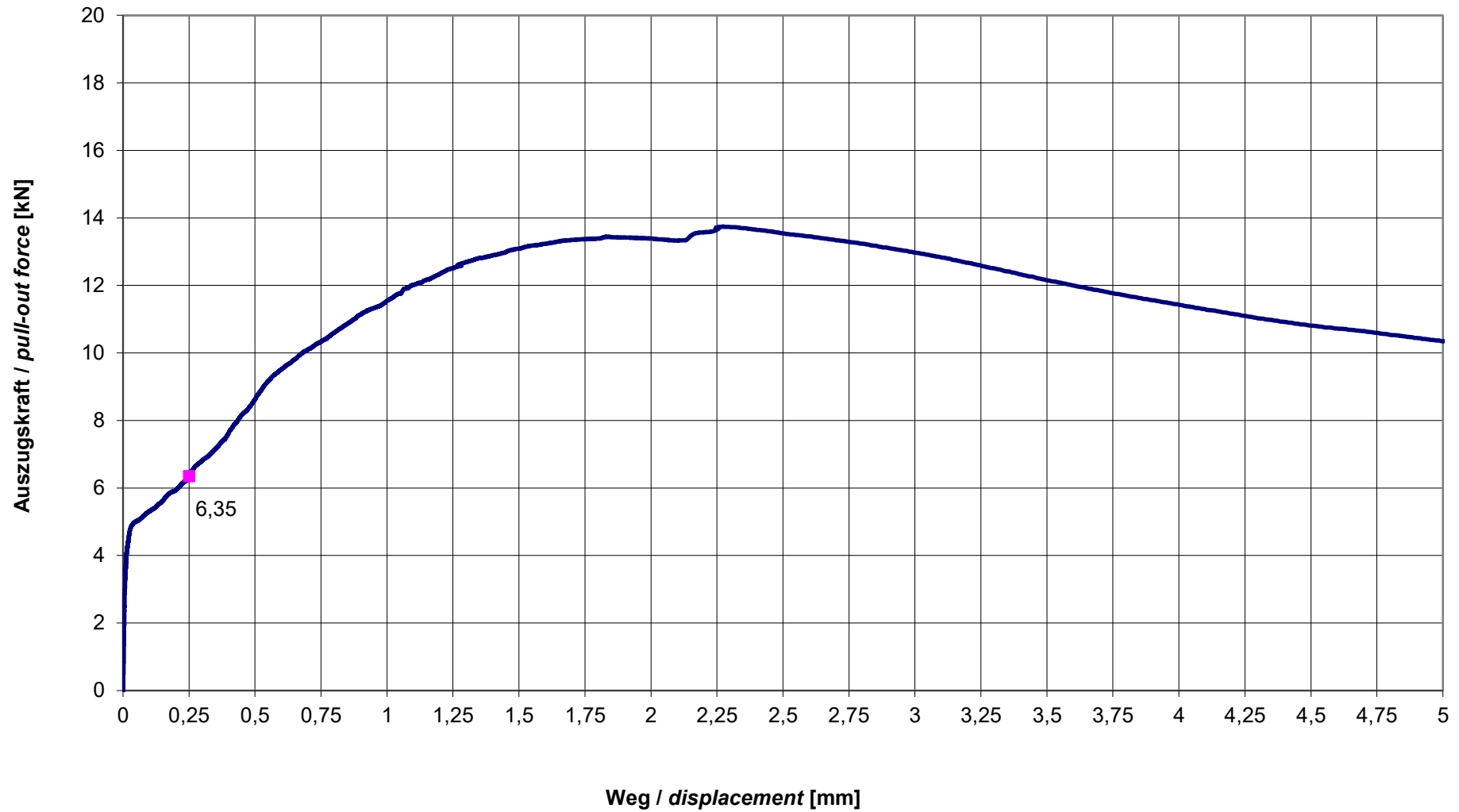
Dübel-Auszugswiderstand _ Nenn-Durchmesser: 25 mm _ Probe Nr.: 3 _ Betonalter: 24 h _ 1 . Belastung -----
Pull-out-resistance of dowel _ nominal diameter: 25 mm _ Sample No.: 3 _ Age of concrete: 24 h _ 1 st loading



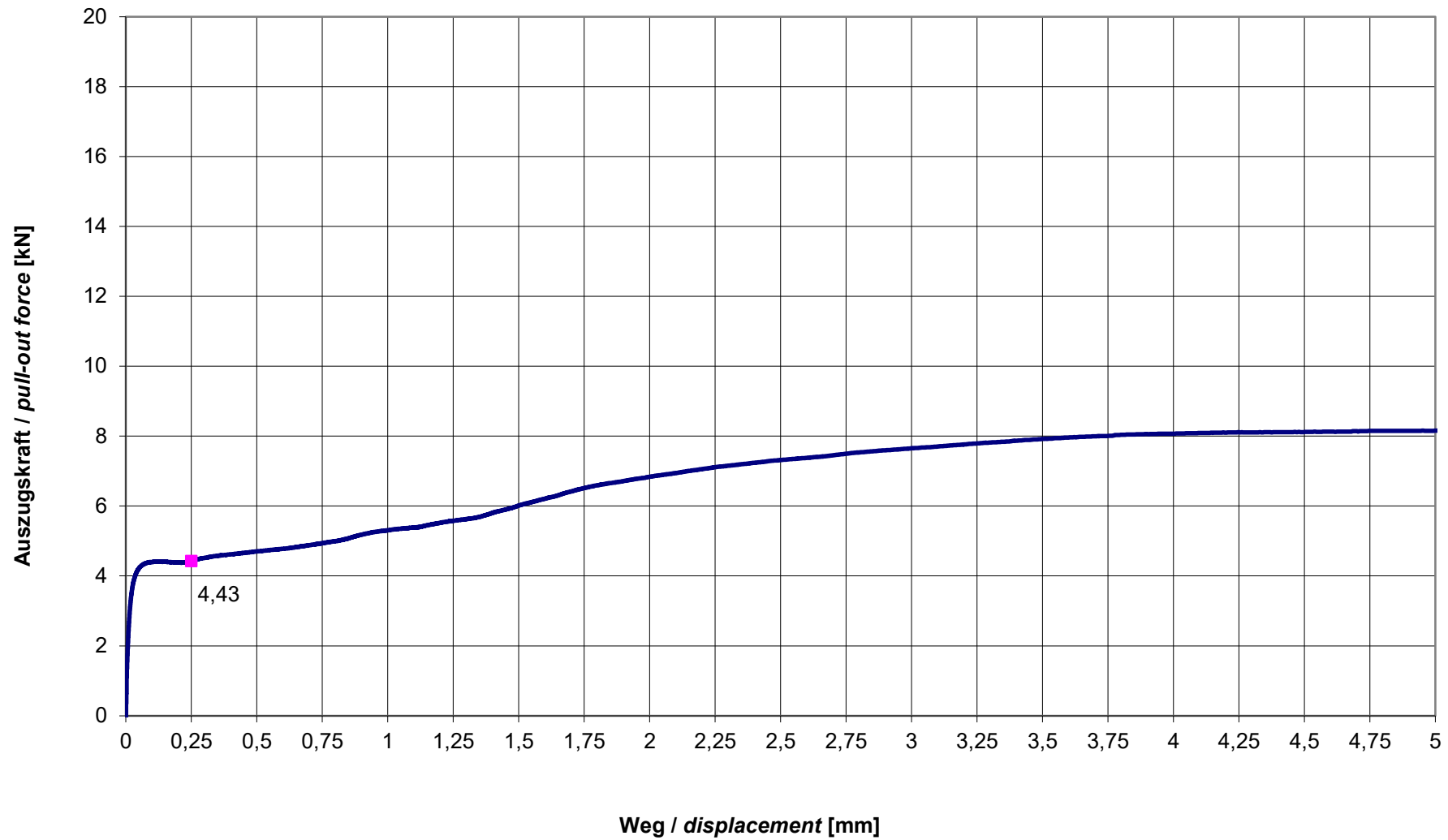
Dübel-Auszugswiderstand _ Nenn-Durchmesser: 25 mm _ Probe Nr.: 3 _ Betonalter: 24 h _ 5 . Belastung -----
Pull-out-resistance of dowel _ nominal diameter: 25 mm _ Sample No.: 3 _ Age of concrete: 24 h _ 5 th loading



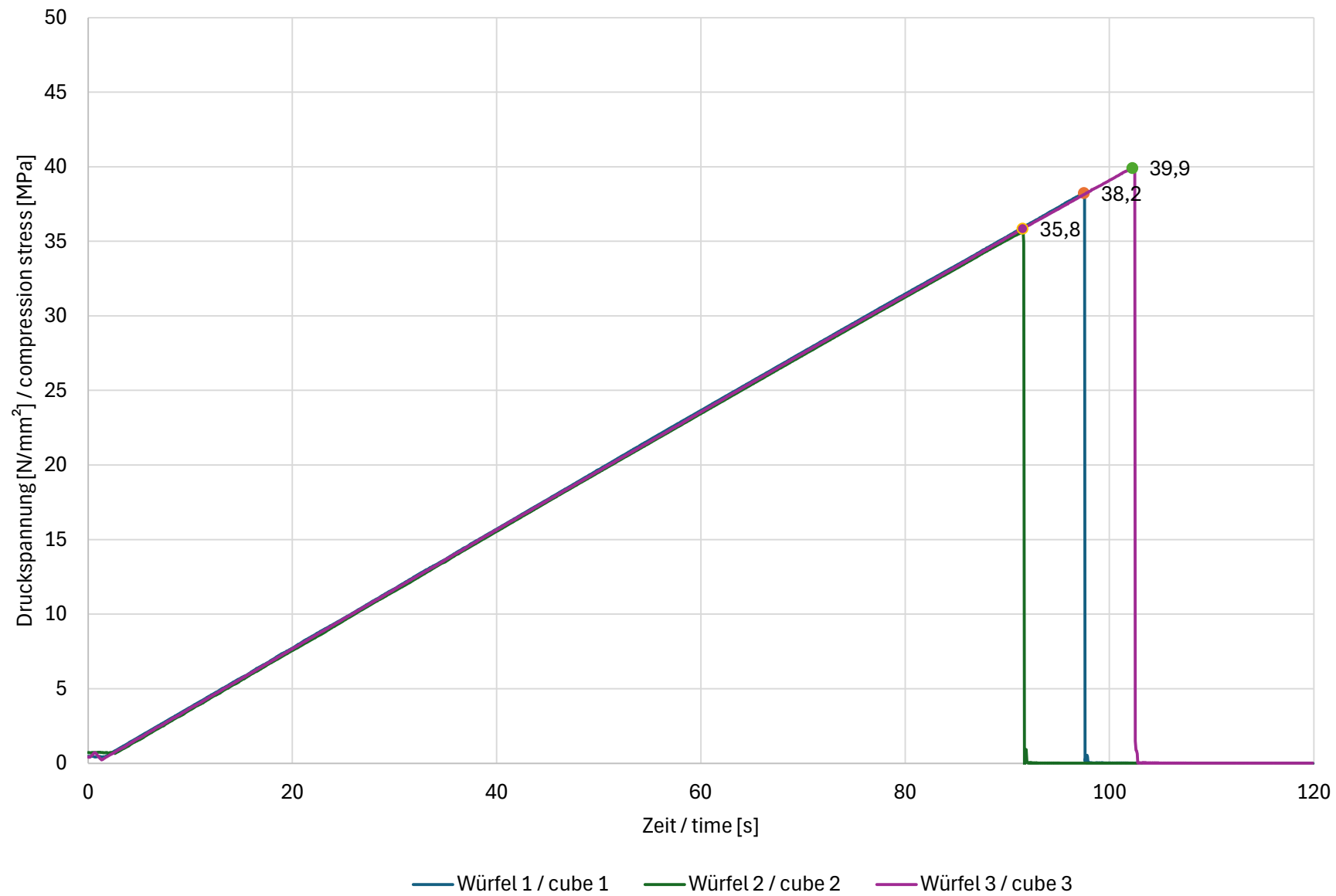
Dübel-Auszugswiderstand _ Nenn-Durchmesser: 25 mm _ Probe Nr.: 9 _ Betonalter: 24,5 h _ 1 . Belastung -----
Pull-out-resistance of dowel _ nominal diameter: 25 mm _ Sample No.: 9 _ Age of concrete: 24,5 h _ 1 st loading



Dübel-Auszugswiderstand _ Nenn-Durchmesser: 25 mm _ Probe Nr.: 9 _ Betonalter: 24,5 h _ 5 . Belastung -----
Pull-out-resistance of dowel _ nominal diameter: 25 mm _ Sample No.: 9 _ Age of concrete: 24,5 h _ 5 th loading



Würfeldruckfestigkeit C30/37 nach 7 Tagen [N/mm²] / cube compression strength C30/37 after 7 days [MPa]



--- ENDE DES BERICHTS / END OF THE REPORT ---