



Cornelius Dold, BSc.

Versuchstechnische und analytische Untersuchung zum Rissverhalten und Rissbild von Verpresskörpern bei Zugelementen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte

Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik

Mitbetreuer:

Dipl. Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias J. Rebhan, BSc. , Baumeister

Graz, Jänner 2021

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Arbeit identisch.

.....
Datum

.....
Unterschrift

Danksagung

Zu Beginn ist es mir ein Anliegen, mich bei all jenen zu bedanken, die es mir ermöglicht haben, mein Studium und diese Masterarbeit abzuschließen.

Als erstes möchte ich meinen Betreuern, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte und Dipl. Dipl.-Ing. Dr.techn. Matthias J. Rebhan BSc. Baumeister, für ihre Unterstützung bei dieser Masterarbeit danken. Vielen Dank für zahlreiche interessante Diskussionen, Rat, Motivation und Freude am Themenbereich sowie der Weitergabe von Fachwissen während meiner gesamten Studienzzeit und der Masterarbeit.

Ein großer Dank geht an den Geotechnik Zeichensaal. Ich habe mit euch nicht nur Tag und Nacht lernen dürfen, sondern auch unzählige lustige Tage sowie Nächte verbracht und in euch Freunde fürs Leben gefunden. Der Zeichensaal wird erst durch all seine Mitglieder zu dem was er ist: ein Grundpfeiler dieser Ausbildung. Ich wünsche euch von ganzem Herzen das Beste für euer weiteres Studium! Danke für alles, bleibt Geilo!

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Freundin Nadine. Dafür, dass du immer ein offenes Ohr für mich hast, Ruhe in meinen Wirbel bringst und mich in jeder Lage bestmöglich unterstützt und anspornst.

Der letzte und größte Dank gilt meiner Familie und insbesondere meinen Eltern, Beatrix und Dietmar, die mir diese Ausbildung erst ermöglicht haben. Ich habe jedes aufbauende und motivierende Gespräch und jeden Rat von meiner Familie immer sehr geschätzt und mir zu Herzen genommen. Ohne euch alle wäre ich nie so weit gekommen – Danke dafür!

Forschungsprojekt DAT

Die in dieser Arbeit durchgeführten Versuche und Untersuchungen waren Teil des Forschungsprojektes *DAT – Dauerhaftigkeit in der Ankertechnik*. Dieses Projekt aus dem FFG-Programm „*Verkehrsinfrastrukturforschung VIF 2018*“ (Projektnummer 873149) wurde durch das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (kurz Bundesministerium für Klimaschutz BMK) vertreten durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) gemeinsam mit den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) sowie der Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) beauftragt.

Das Forschungsprojekt DAT zeigt, wie brisant und wichtig Forschung im Bereich der Geotechnik und der Verkehrsinfrastruktur ist. Vor allem Fragestellungen wie die Dauerhaftigkeit und damit in weiterer Folge auch die Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit der Infrastruktur nehmen auf Grund des steigenden Alters des österreichischen Straßen- und Schienennetzes einen hohen Stellenwert ein. Mit den in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zum Rissverhalten und dem Rissbild bei Mikropfählen wurde ein wesentlicher Beitrag zu den Aufgabenstellungen zur Dauerhaftigkeit bei geankerten Konstruktionen geleistet. Nicht zuletzt kamen hier neue bzw. bisher nicht als Stand der Technik definierte Methoden zum Einsatz, welche die Wirksamkeit unterschiedlicher Korrosionsschutzmaßnahmen aufzeigen und somit einen vertieften Einblick in Schadensbilder und Korrosionsmechanismen gaben. Dieser Teil der Forschung ist wesentlich, um zukünftige Schäden an geankerten Konstruktionen vorzubeugen bzw. diese zu minimieren und ihre Auswirkungen abzuschwächen, um die Sicherheit der Infrastruktur und damit auch jene der Nutzer*Innen gewährleisten zu können.

Neben den oben angeführten Auftraggebern des Forschungsprojektes DAT gilt der Dank auch den Wirtschaftspartner, welche mit ihrer Expertise und der Bereitstellung von Probekörpern sowie ihrer Unterstützung bei der Versuchsdurchführung wesentlich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere sei hier die ANP-Systems GmbH angeführt, welche durch die Bereitstellung der Zuelemente sowie der Produktion der Versuchskörper wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Kurzfassung

Der Einsatzbereich geotechnischer Sicherungs- und Stützmaßnahmen wächst stetig. Einige für diese geotechnischen Maßnahmen häufig eingesetzten Methoden sind der Einsatz von Bodenvernagelungen, Mikropfählen und Zugverpresspfählen (ZVP's), welche durch die Einleitung von Zugkräften in den umliegenden Boden die Aufgabe der Verankerung übernehmen. Neben den Bemessungsverfahren zur sicheren Krafteinleitung bildet auch die negative Begleiterscheinung von Korrosionsangriffen auf das Stahlzugglied eine grundlegende Bemessungsherausforderung.

Diese Arbeit beinhaltet eine Literaturrecherche durch welche dem Leser/der Leserin ein einheitliches Verständnis von geotechnischen Zugelementen sowie der Korrosionsthematik im Zusammenhang mit Böden vermittelt wird. Des Weiteren werden die – dem Stand der Technik entsprechenden – Korrosionsschutzsysteme aufgearbeitet und beschrieben.

Kernthema ist im Anschluss die Auseinandersetzung mit der Rissbreitenproblematik des Verpressguts bei einfachen und doppelten Korrosionsschutzsystemen. In diesem Zuge wurden Versuchskörper dieser beiden Systeme in einem eigens dafür angefertigten Prüfrahmen getestet. Für die Auswertung der Rissbreiten und Rissbilder wurde zum einen ein Scan von zwei Versuchskörpern in einem Computertomographen vorgenommen, zum anderen wurden acht Versuchskörper unter steigenden Laststufen getestet, dokumentiert und ausgewertet.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass sich das Rissverhalten eines doppelt korrosionsgeschützten Versuchskörpers wesentlich von dem eines einfach korrosionsgeschützten unterscheidet. Zusätzlich dazu konnte eine eindeutige Steigerung der Rissanzahl und gleichzeitig eine Minderung der Rissbreite bei jüngeren Versuchskörpern festgestellt werden. Mit Hilfe der computertomographischen Scans konnte ebenso gezeigt werden, dass nahezu keine Rissbildungen im inneren Verpresskörper des doppelt korrosionsgeschützten Systems erkennbar sind.

Diese Arbeit wurde in inhaltlicher und zeitlicher Abstimmung mit der Arbeit von Hehn (2021) geschrieben, welche sich ebenso der Korrosionsproblematik von Zugelementen widmet.

Abstract

Cracking and cracking induced behaviour of grout-bodies for micropiles

The area of application of geotechnical stabilization and support measures is constantly growing. Some of the frequently used methods for these measures are soil nailing, micropiles and tension grouted piles, which perform the task of anchoring by introducing tensile forces into the soil. In addition to the design procedures for safe load transfer, the negative concomitant of damage due to corrosion of the steel rods and bars also contains a fundamental design challenge.

This thesis includes a literature review through which the reader is provided with a fundamental understanding of geotechnical tension elements as well as the corrosion issue related to soil. Furthermore, corrosion protection systems - corresponding to the state of the art - are reviewed and described.

The main topic relates to the discussion of cracking induced problems of the grout bodies used for single and double corrosion protection systems. In this context, test specimens of these two systems were installed in a test frame. For the evaluation of the crack widths and crack patterns, on the one hand a scan of two test specimens was performed using computer tomography, on the other hand eight test specimens were tested, documented and evaluated under increasing load levels.

Within the scope of this work it could be shown, that the cracking induced behaviour of double-corrosion-protected test specimen differs significantly from that of single-corrosion-protected specimen. In addition to this, a clear increase in the number of cracks and, at the same time, a reduction of the crack width could be observed in younger test specimens. With the aid of computer tomographic scans, it was also possible to show that almost no cracking was detectable in the inner grout body of the double-corrosion-protected system.

This work was written in coordination with the work of Hehn (2021), which also focuses the topic of the corrosion problems in tensile elements.

Inhalt

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Zugelemente in der Geotechnik	2
2.1	Grundlegendes	2
2.2	Arten von Zugelementen	3
2.2.1	(Verpress-) Anker	3
2.2.2	Verpresspfahl	5
2.2.3	Bodenvernagelung	9
2.3	Abgrenzung	11
3	Korrosion bei Zugelementen	12
3.1	Grundlagen zur Korrosion	12
3.1.1	Korrosion im Boden	14
3.2	Korrosionsschutz	17
3.2.1	Notwendigkeit von Korrosionsschutz	17
3.2.2	Arten von Korrosionsschutzmaßnahmen	19
3.3	Korrosionsschutz bei Zugelementen	27
4	Betonbautechnische Hintergründe	28
4.1	Grundlagen zur Rissentstehung	28
4.2	Reine (zentrische) Zugbeanspruchung	29
4.3	Biegezugbeanspruchung	31
4.4	Rissbreitenbeschränkung bei Zugelementen	31
5	Versuchsaufbau des Laborversuchs	32
5.1	Ziel des Laborversuchs	32
5.2	Versuchskörper	33
5.3	Prüfrahmen und Pressen	34
5.4	Zusammenfassung des Prüfaufbaus	36
5.5	Schnittgrößen des Versuchskörpers	38
5.6	Ablauf der Voruntersuchung und CT-Parameter	39
5.7	Voruntersuchung – Ergebnisse	40
5.7.1	Allgemeine Ergebnisse	41

5.7.2	Bildauswertung der Computertomographie	42
6	Auswertung der CT-Scans	47
6.1	Prüfkörper und Randbedingungen	47
6.2	Bildauswertung V2_DAT_GCP_01	49
6.3	Bildauswertung V2_DAT_DCP_01	58
7	Auswertung der Laborversuche	68
7.1	Prüfmethoden und Prüfkörper	68
7.2	Laboraauswertung V2_DAT_GCP_02	70
7.3	Laboraauswertung V2_DAT_DCP_02	71
7.4	Laboraauswertung V2_DAT_GCP_01	72
7.5	Laboraauswertung V2_DAT_DCP_01	73
7.6	Laboraauswertung V3_DAT_GCP_01	74
7.7	Laboraauswertung V3_DAT_DCP_01	75
7.8	Laboraauswertung V3_DAT_GCP_02	76
7.9	Laboraauswertung V3_DAT_DCP_02	77
7.10	Zusammenfassung der Prüfergebnisse	78
7.11	Freilegung des inneren Verpresskörpers von V2_DAT_DCP_02	80
8	Resümee	82
9	Literaturverzeichnis	85
10	Anhang	89
10.1	Anhang 1 - Planunterlagen	90
10.2	Anhang 2 - CT-Bilder	94
10.3	Anhang 3 – Bilder zum Laborversuch	183
10.4	Anhang 4 - Zulassungen	212

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Schema eines Verbundankers (ÖNORM EN 1537, 2015, S. 6)	4
Abb. 2:	Beispiele für Fuß- und Schaftaufweitungen bei Mikropfählen (ÖNORM EN 14199, 2016, S. 44).....	6
Abb. 3:	Typische Traggliedausführungen bei Mikropfählen (ÖNORM EN 14199, 2016, S. 41).....	7
Abb. 4:	Verbleibende bzw. entfernte Verrohrungen mit zentralem Bewehrungsstab, unverpresst bzw. verpresst. (ÖNORM EN 12699, 2015, S. 50)	8
Abb. 5:	Beispiele für Aufweitungen bei Verdrängungspfählen (ÖNORM EN 12699, 2015, S. 49)	9
Abb. 6:	Beispiel für einen Bodennagel, selbstbohrend (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016a, Anlage 1)	10
Abb. 7:	Beispiel für einen Bodennagel, vorgebohrt und eingepresst (ÖNORM EN 14490, 2010, S. 35).....	11
Abb. 8:	Schematische Übersicht zur Sauerstoffkorrosion (Burtscher <i>et al.</i> , 2017)	13
Abb. 9:	Schematische Darstellung von Flächen-, Mulden- und Lochfraßkorrosion (Burtscher <i>et al.</i> , 2017)	14
Abb. 10:	Beispiel für Schwankungen des spez. Bodenwiderstands abhängig von der Jahreszeit und Tiefe (Chauvin Arnoux Group, 2010, S. 3) 16	
Abb. 11:	Korrosivitätsindex und Klassifizierung nach Clouterre (Presses de l'ENPC, 1991, S. 230–233)	18
Abb. 12:	Beispiel für Richtwerte der Abrostrate lt. Zulassung (ANP – SYSTEMS GMBH, 2016b; Anlage 2).....	21
Abb. 13:	Schemazeichnung Dauerpfahl SAS 550 mit GCP lt. Zulassung (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b; Anlage 3)	25
Abb. 14:	Schemazeichnung Dauerpfahl SAS 550 mit DCP lt. Zulassung (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b; Anlage 4)	26
Abb. 15:	Schematischer Dehnungsverlauf bei abgeschlossenem Rissbild (Schlicke, 2017)	29
Abb. 16:	Schematische Prüfkörper für Laborversuche GCP (oben) – DCP (unten)	34
Abb. 17:	3D Darstellung des Prüfrahmens inkl. Verpresskörper und Pressen	35
Abb. 18:	Aufgebaute Prüfkonstruktion im Labor	37
Abb. 19:	Schnittgrößendarstellung für “1“-System in [kN] durch RuckZuck®	38
Abb. 20:	Ausgetauschtes Mittellager für den Prüfrahmen.....	39
Abb. 21:	Voruntersuchung – Rissentwicklung unter $50\% \cdot F_{\max}$	41
Abb. 22:	Beispielbild zur Veranschaulichung einer CT-Aufnahme	42
Abb. 23:	Prüfaufbau im Computertomographen.....	47
Abb. 24:	Rissbild in V2_DAT_DCP_01 mit $100\% \cdot F_{\max}$	58

Abb. 25:	kleiner (links) und großer (rechts) Versuchsrahmen zur Laboruntersuchung	69
Abb. 26:	Rissabstand zur Unterkante des jeweiligen Versuchskörpers	78
Abb. 27:	Rissbreitenentwicklung des Maximalrisses von V2_DAT_GCP_01 über die Laststufen	79
Abb. 28:	Rissbreitenentwicklung des Maximalrisses von V2_DAT_DCP_01 über die Laststufen	79
Abb. 29:	Vergleich der Rissbreitenentwicklung von dem Maximalriss aller Prüfkörper	80
Abb. 30:	Bruchstück des äußeren Verpresskörpers mit Verbundrippen	81
Abb. 31:	Haarrisse im inneren Verpresskörper	81

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Umrechnung zwischen [kN], [bar] und [psi] für die Axialpresse.....	36
Tab. 2:	Umrechnung zwischen [kN], [bar] und [psi] für die Querkraftpresse .	36
Tab. 3:	Auflistung des Gewichts der Prüfkonstruktion.....	38
Tab. 4:	Tabellarische Übersicht der Schnittgrößen für “1“-System.....	39
Tab. 5:	Auswertung CT-Bild V1_DAT_GCP_01_COR(30) – 100 kN	43
Tab. 6:	Auswertung CT-Bild V1_DAT_GCP_01_COR(30) – 100 kN	44
Tab. 7:	Auswertung CT-Bild V1_DAT_GCP_01_COR(29) – 200 kN	45
Tab. 8:	Auswertung CT-Bild V1_DAT_GCP_01_COR(79) – 200 kN	46
Tab. 9:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01A_COR(29) - 170kN Axial, 0kN Quer	49
Tab. 10:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01A_COR(69) - 170kN Axial, 0kN Quer	50
Tab. 11:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01A_COR(159) - 170kN Axial, 0kN Quer	51
Tab. 12:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01B_COR(60) - 340kN Axial, 0kN Quer	52
Tab. 13:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01B_COR(100) - 340kN Axial, 0kN Quer	53
Tab. 14:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01B_COR(190) - 340kN Axial, 0kN Quer	54
Tab. 15:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01C_COR(93) - 170kN Axial, 4kN Quer	55
Tab. 16:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01C_COR(133) - 170kN Axial, 4kN Quer	56
Tab. 17:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01C_COR(223) - 170kN Axial, 4kN Quer	57
Tab. 18:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01A_COR(100) - 170kN Axial, 0kN Quer	59
Tab. 19:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01A_COR(130) - 170kN Axial, 0kN Quer	60
Tab. 20:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01A_COR(220) - 170kN Axial, 0kN Quer	61
Tab. 21:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01B_COR(95) - 340kN Axial, 0kN Quer	62
Tab. 22:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01B_COR(125) - 340kN Axial, 0kN Quer	63
Tab. 23:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01B_COR(215) - 340kN Axial, 0kN Quer	64
Tab. 24:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01C_COR(117) - 170kN Axial, 4kN Quer	65
Tab. 25:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01C_COR(147) - 170kN Axial, 4kN Quer	66

Tab. 26:	Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01C_COR(237) - 170kN Axial, 4kN Quer.....	67
Tab. 27:	Laborauswertung V2_DAT_GCP_02	70
Tab. 28:	Laborauswertung V2_DAT_DCP_02	71
Tab. 29:	Laborauswertung V2_DAT_GCP_01	72
Tab. 30:	Laborauswertung V2_DAT_DCP_01	73
Tab. 31:	Laborauswertung V3_DAT_GCP_01	74
Tab. 32:	Laborauswertung V3_DAT_DCP_01	75
Tab. 33:	Laborauswertung V3_DAT_GCP_02	76
Tab. 34:	Laborauswertung V3_DAT_DCP_02	77

Formelzeichen und Abkürzungen

Kleine Buchstaben

f_{cm}	[N/mm ²]	mittlere Zylinderdruckfestigkeit Beton
$f_{c,t,eff}$	[N/mm ²]	effektive Betonzugfestigkeit
$f_{c,t,m}$	[N/mm ²]	mittler Betonzugfestigkeit
l_{es}	[mm]	halber Rissabstand
$s_{r,max}$	[mm]	maximaler Rissabstand
w	[mm]	Rissbreite
w_0	[mm]	oberflächliche Rissbreite

Große Buchstaben

A_c	[mm ²]	Betonzugfläche
$A_{c,eff}$	[mm ²]	effektive Betonzugfläche
A_s	[mm ²]	Fläche Stahlzugglied
E_c	[N/mm ²]	E-Modul Beton/Verpressgut
E_s	[N/mm ²]	E-Modul Stahlzugglied
F_A	[N]	Anrisskraft
U_s	[mm]	Umfang Stahlzugglied
F_{max}	[kN]	maximal zulässige Zugkraft

Kleine griechische Buchstaben

α_e	[-]	Verhältnis der E-Moduli
ε_c	[-]	Betondehnung
ε_{cm}	[-]	mittlere Betondehnung
ε_s	[-]	Stahldehnung
ε_{sm}	[-]	mittlere Stahldehnung
$\rho_{s,eff}$	[-]	effektiver Bewehrungsgrad
σ_s	[N/mm ²]	Stahlspannung
τ_{sm}	[N/mm ²]	mittlere Verbundspannung

1 Einleitung und Zielsetzung

Durch die stetig wachsenden Dimensionen und Anforderungen an Bauwerke sowie die fortwährende Ausweitung und Neuerschließung von bebaubaren Flächen wächst neben dem Erfordernis von Gründungsmaßnahmen auch die Notwendigkeit von Sicherungs- und Stützungsmaßnahmen in der Geotechnik. Ein beachtlicher Teil der im Spezialtiefbau eingesetzten Sicherungsarten bedient sich zweier, im Bauwesen üblicher, Materialien: Stahl und Beton, welche im Verbund eingesetzt werden. Dabei wird sich einerseits der hohen Zugbeanspruchbarkeit von Stahl, andererseits der Druckbeanspruchbarkeit und beliebigen Formbarkeit von Beton zu Nutze gemacht. Durch den Einsatz des „Verbundwerkstoffes“ ist es möglich, nicht nur schlanke und wirtschaftliche Stahlbetonbauteile zu errichten, sondern auch große Zug- und Druckkräfte in den Boden einzuleiten. Ist es im Zuge einer Sicherungsmaßnahme erforderlich, Zugkräfte in den Boden zu übertragen, übernimmt der Stahl nahezu gänzlich die Zugspannungen. Das Verpressgut, welches den Stahl umschließt, übernimmt die Aufgabe der kraftschlüssigen Verbindung (Verbund) mit dem anstehenden Untergrund. Durch verschiedene Randbedingungen, welche beim Einbau von Sicherungsmitteln (z.B. Nägel, Mikropfähle, ZVP's – Zugbeanspruchte Verpresspfähle) in den Boden nicht verändert werden können, ist die Korrosionsproblematik und daraus folgend eine Querschnittsverminderung der Stahlelemente über die Zeit, welche letztendendes zu dessen Versagen führen kann, eine große Herausforderung (vgl. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation - Bundesamt für Strassen, 2005, S. 1 ff; Robert M. Ebeling *et al.*, 2013, S. 16 ff; Presses de l'ENPC, 1991, S. 227 ff). Dem Stand der Technik entsprechend, werden normativ Korrosionsschutzmaßnahmen festgelegt, welche auch den Einfluss des Untergrundes und die Auswirkungen auf die Zugelemente definieren. Jedoch sind Vorschriften und Normen bezüglich des Korrosionsschutzes je nach Art der Sicherungsmaßnahme unterschiedlich (vgl. Haindl, 2010, S. 86). Eine häufig angewandte Korrosionsschutzmaßnahme ist es, eine vorgeschriebene Überdeckung mit Verpressgut (GCP – grout cover protection) rund um das Zugelement nachzuweisen und sicherzustellen, um so die Rissverteilung im Verpresskörper homogen und die Rissbreiten gering zu halten (vgl. ÖNORM EN 14199, 2016, S. 21 f; ÖNORM EN 14490, 2010, S. 52; ÖNORM EN 1537, 2015, S. 23).

Ziel dieser Arbeit ist es, einerseits mithilfe einer Literaturrecherche einen detaillierteren Überblick über die in der Geotechnik eingesetzten Zugelemente sowie die damit verbundene Korrosionsproblematik und vorhandene Korrosionsschutzmethoden zu geben. Zum anderen wird anhand eines analytischen Modells und durch Laborversuche das Rissverhalten, die Rissbildung und die Rissausbreitung bei Zugelementen näher untersucht. Hierzu kommen normativ definierte Versuche wie auch wissenschaftlich basierte – und eigens für diesen Versuch entwickelte – Versuchsaufbauten zum Einsatz.

2 Zugelemente in der Geotechnik

Im nachfolgenden Kapitel wird ein kurzer Überblick zu Zugelementen in der Geotechnik gegeben. Dabei wird einleitend auf eine Unterteilung der Systeme und deren Tragverhalten eingegangen, ehe anschließend die in dieser Arbeit betrachteten geotechnischen Elemente näher beschrieben werden.

„Die geotechnischen Bauverfahren erfordern von den Beteiligten ein hohes Maß an Verantwortung und Erfahrung. Zum einen ist dies durch das Arbeiten im „Dunkeln“ begründet. Die meisten Arbeiten spielen sich unterhalb der Arbeitsebene ab. Der Spezialtiefbauer sieht oftmals seine Bauwerke nicht, und wenn er sie sieht, sind die Möglichkeiten zum Ändern bzw. Korrigieren der Herstellmethode nicht mehr gegeben. Zum anderen ist das Verletzungsrisiko für die Arbeiter sehr hoch, weshalb unbedingt auf die Einhaltung der Arbeitssicherheitsvorschriften zu achten ist.“ (Dausch und Zimbelmann, 2012, S. 397)

2.1 Grundlegendes

Die in der Geotechnik wesentlich angewandten Bauverfahren können nach Dausch und Zimbelmann (2012) in Pfähle, Ankertechnik, Schlitzwandtechnik und Spundwandbauweise unterteilt werden. Diese Unterscheidung stellt eine grobe und auch nicht vollständige Gliederung dar, da es zahlreiche unterschiedliche geotechnische Verfahren gibt, welche nach Herstellungsart, Belastungs- bzw. Krafteinleitungsart oder anderen Aspekten eingeteilt werden können. Für die weiteren Erläuterungen in dieser Arbeit sind diese vier Unterscheidungen jedoch ausreichend.

Die Einsatzmöglichkeiten der vier angeführten Bauverfahren sind groß und deren Ausführungs- und Anwendungsmöglichkeiten sind vielseitig. Ein entscheidender Unterschied kann jedoch in der Art der Krafteinleitung erkannt werden. Spundwände, meist aus Stahl, finden ihren Einsatz meist als biegebeanspruchte Elemente, die verhältnismäßig wenig Zugkräfte in Längsrichtung aufnehmen müssen. Oft werden sie für Geländesprünge, vertikale Baugrubenwände und Uferverbauten eingesetzt (vgl. Grabe *et al.*, 2018, S. 325 ff). Auch Schlitzwände, welche aus Stahlbeton oder anderen zementgebundenen Stoffen bestehen, dienen hauptsächlich dem Zweck der verformungsarmen Horizontallastabtragung bzw. der Wasserrückhaltung (vgl. Haugwitz und Pulsfort, 2018, S. 823 ff). Pfähle gelten als häufigste Ausführungsform im Bereich der Tiefgründungen und werden hauptsächlich eingesetzt, um Kräfte in axiale Richtungen abzutragen, können jedoch, identisch zu Schlitzwänden, auch zur Ableitung von Horizontallasten verwendet werden. Das Bestreben, Kräfte über Pfähle in einen kompetenteren Untergrund abzuleiten, kann sowohl für Druck- oder Zugpfahl bzw. auch durch Wechsellast beanspruchte Konstruktionen (vgl. Kempfert und Moormann, 2018,

S. 79 ff) gelten. Die Ankertechnik wiederum hat ihre Funktionsweise nahezu ausschließlich in der Einleitung von Zugkräften in den umliegenden Baugrund, wobei die dafür verwendeten Techniken nach unterschiedlichen Aspekten, wie Bodenart, Nutzungsdauer oder Bauart, separiert werden können (vgl. Dausch und Zimbelmann, 2012, S. 428 f). *„In der Ankertechnik werden auch Zugkräfte durch Zugpfähle oder Bodennägel eingeleitet. Der wesentliche Unterschied zu den Verpressankern ist, dass diese über die gesamte Länge des Stahlzuggliedes mit Zementstein kraftschlüssig mit dem Boden verbunden werden.“* (Dausch und Zimbelmann, 2012, S. 429)

2.2 Arten von Zugelementen

Werden die letzten beiden Bauverfahren nun hinsichtlich des Einsatzes als Zugelement betrachtet und gegliedert, können diese im Wesentlichen in drei Arten unterteilt werden:

- (Verpress-)Anker
- Verpresspfahl
- Bodenvernagelung

Diese drei Arten werden nachfolgend erklärt.

2.2.1 (Verpress-) Anker

Die Ankertechnik ist eine häufig eingesetzte Methode, mit welcher es möglich ist, große Zugkräfte in tiefere und kompetentere Bodenschichten einzuleiten. In vielen Fällen werden sie nach dem Erstellen einer kraftschlüssigen Verbindung mit dem Boden zusätzlich vorgespannt, um eben diese Zugkräfte möglichst verformungsarm einzuleiten (vgl. Adam *et al.*, 2017, S. 1). Diese Technik ermöglicht seit ihrer Entstehung immer häufiger die Realisierung von ansonsten undenkbaren Projekten. Auch durch die Möglichkeit, durch Ankertechnik auf Aussteifungen im Bereich von Baugruben verzichten zu können, entstanden wirtschaftliche Alternativen (vgl. Dausch und Zimbelmann, 2012, S. 428 f).

Wie in Kapitel 2.1 bereits erwähnt, unterscheiden Dausch und Zimbelmann (2012) die Anker nach Bodenart, Nutzungsdauer und Bauart. Ebenso implementieren Dausch und Zimbelmann (2012) Zugpfähle und Bodennägel in das Themengebiet Ankertechnik, sofern dadurch Zugkräfte eingeleitet werden. Normativ sind jene aber separiert zu betrachten und beispielsweise sogar explizit aus der Norm für Verpressanker, wie diese hier im Besonderen betrachtet werden, ausgeschlossen: *„Diese Norm befasst sich nicht mit Verfahren wie Zugpfählen, Schraubankern, mechanischen Verankerungen, Bodennägeln, Toter-Mann-Ankern oder Spreizhülsenankern, da diese die Anforderungen dieser Norm nicht erfüllen“* (ÖNORM EN 1537, 2015, S. 5). Aus diesem Grund wird im nachfolgenden Kapitel nur auf den Verpressanker eingegangen.

Verpressanker, wie in Abb. 1 dargestellt, können grundsätzlich in drei Bereiche, nämlich den Ankerkopf, die freie Länge des Stahlzuggliedes (sh. Abb. 1 ‚ L_{free} ‘) und die Verankerungslänge (sh. Abb. 1 ‚ L_{fixed} ‘) eingeteilt werden. Das Zugglied, meist aus Stahl, muss im Bereich der Verankerungslänge gerippt bzw. profiliert sein oder aus Litzen bestehen. Der Einbau eines Verpressankers beginnt mit dem gezielten Abteufen und, falls notwendig, Stützen eines Bohrlochs mit definierter Neigung und definierter Tiefe. Darauf folgt das Einführen des Zuggliedes in das Bohrloch und die anschließende Verfüllung der Verankerungslänge mit Verpressgut, beginnend mit der tiefsten Stelle. Der Verpressvorgang selbst kann, abhängig von Anforderungen und Baugrundgegebenheiten, unterschiedliche Arbeitsschritte, wie Vorverpressen, Verpressen und Nachverpressen beinhalten. Nach Herstellung eines kraftschlüssigen Verbundes zwischen Boden, Verpressgut und Zugglied, d.h. nach ausreichender Erhärtung des Verpressguts, wird der Anker am Ankerkopf gespannt und anschließend fixiert (vgl. ÖNORM EN 1537, 2015).

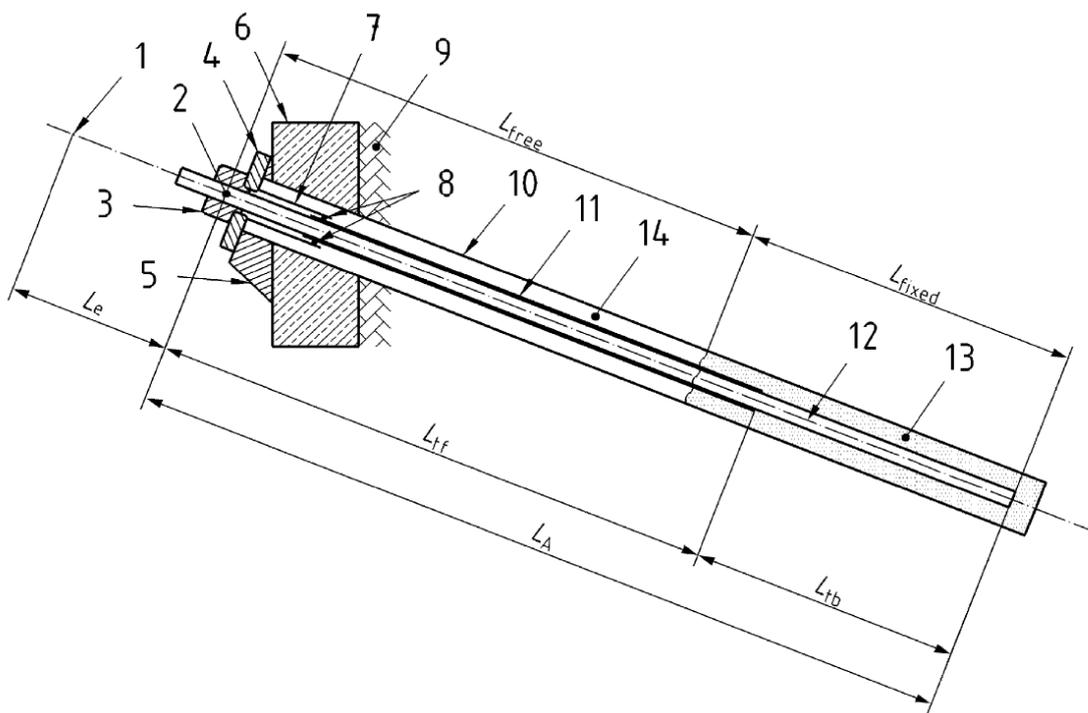


Abb. 1: Schema eines Verbundankers (ÖNORM EN 1537, 2015, S. 6)

Erst durch den Spannvorgang eines Ankers wird eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Ankerkopf und Untergrund erzeugt. Vereinfacht beschrieben, wird durch das Aufbringen einer Zugkraft (Vorspannkraft) auf das Zugelement eine Druckkraft auf den Boden hinter dem Ankerkopf ausgeübt. Das Zugelement leitet die in ihm wirkende Kraft wiederum über die freie Länge in die Verankerungslänge, wo der ummantelnde Boden eine Reaktionskraft mobilisiert, um die Zugkraft aufnehmen zu können. Dabei erfährt das System im Wesentlichen zwei unterschiedliche Verformungen. Einerseits eine Dehnung des Zuggliedes über dessen Länge, andererseits eine Stauchung des Bodens zwischen Ankerkopf und Verankerungslänge. Beginnen nun äußere Kräfte auf das System zu wirken, so erhöht bzw. verändert ein Teil dieser äußeren Kraft die Kraft im Zugglied,

ebenso wird durch einen Teil der äußeren Kraft aber auch die Vorspannung im Boden verringert bzw. allgemein verändert. Somit übernimmt das Zugglied nicht das ganze Maß der zusätzlichen, äußeren Kraft, solange die Vorspannung im Boden nicht komplett aufgehoben ist (vgl. Adam *et al.*, 2017, S. 3 ff).

Die Einsatzbreite von Ankern ist enorm, ob als Einzelanker zur lokalen Sicherung oder mehrere Anker über ein Bauwerk oder ein Gebiet verteilt. Auch hinsichtlich der Orientierung und der Länge kann stark variiert werden. Durch die hohe Tragfähigkeit jedes einzelnen Verpressankers ist aber auch Korrosionsschutz, abhängig von der jeweiligen Nutzungsdauer sowie Bodenparametern, ein essenzieller und maßgebender Bestandteil, welchem in jedem Arbeitsschritt ein großes Maß an Aufmerksamkeit gewidmet werden muss.

2.2.2 Verpresspfahl

Wie in Kapitel 2.1 bereits erwähnt, sind Pfahlgründungen eine verbreitete Gründungsart im Bereich der Tiefgründungen. Ihr Einsatzgebiet ist weitläufig und die Gründung kann als Einzelpfahl, Pfahlgruppe oder einer Kombination aus Pfahl- und Platten-Gründung erfolgen. Die drei europäischen Normen, welche sich nach der Pfahlausführung richten, DIN EN 1536 (2015), DIN EN 12699 (2015) und DIN EN 14199 (2010), erlauben eine Unterscheidung in drei Ausführungsformen: Bohrpfahl, Verdrängungspfahl und Mikropfahl. Bohr- und Verdrängungspfähle unterscheiden sich grundlegend in der Einbringungsart in den Boden. Während beim Verdrängungspfahl vor der Einbringung prinzipiell kein Bodenaushub vorgenommen wird, kennzeichnen sich Bohrpfähle durch den vorher stattfindenden Aushub der Pfahlkubatur mittels Bohrwerkzeug. Mikropfähle sind ebenfalls gebohrte Pfähle, welche nach DIN EN 14199 (2010) einen maximalen Durchmesser von 0,30 m aufweisen dürfen. Die Eigenschaften eines Mikropfahls ermöglichen aus technischer und wirtschaftlicher Sicht immer mehr Einsatzmöglichkeiten in unterschiedlichsten Anwendungsfeldern (vgl. Kempfert und Moormann, 2018, S. 79 ff)

Als Verpresspfahl können ein verpresster Mikropfahl und auch ein verpresster Verdrängungspfahl bezeichnet werden. Beide werden nachfolgend erklärt.

2.2.2.1 Mikropfahl

Nachfolgende Erläuterungen sind in Anlehnung an ÖNORM EN 14199 (2016) formuliert.

Wie bereits in Kapitel 2.2.2 erwähnt, werden gebohrte Pfähle aus Stahl, Verpressmörtel, Zementmörtel, Beton oder einer Kombination dieser Materialien, mit einem Durchmesser kleiner 300 mm, als Mikropfähle klassifiziert. Ihre Aufgabe besteht grundlegend in der Einleitung von Lasten in tiefliegende Bodenschichten. Je nach Art der abzutragenden Lasten (und vor allem der

Lastrichtung) können Mikropfähle auch Tragglieder aus Stahl beinhalten, wobei diese, im Gegensatz zu den in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Verpressankern, über die gesamte Länge im Verbund mit dem Verfüll- und Verpressgut stehen.

Querschnittsformen zur Widerstandserhöhung im Boden, sowie eingesetzte Stahltragglieder, können sich - je nach gewählter Methode - stark voneinander unterscheiden. So können neben einheitlichen und teleskopartigen Querschnitten auch Fuß- und Schaftaufweitungen, wie in Abb. 2 dargestellt, hergestellt werden. Beispiele hierfür sind:

- gebohrter Mikropfahl mit Schaftaufweitung (Abb. 2 Nr. ,1‘),
- verrohrt hergestellter Mikropfahl mit Fußaufweitung (Abb. 2 Nr. ,2‘),
- mit Expansionskörper hergestellte Fußaufweitung (Abb. 2 Nr. ,3‘),
- Querschnittsaufweitung durch Verpressen (Abb. 2 Nr. ,4‘).

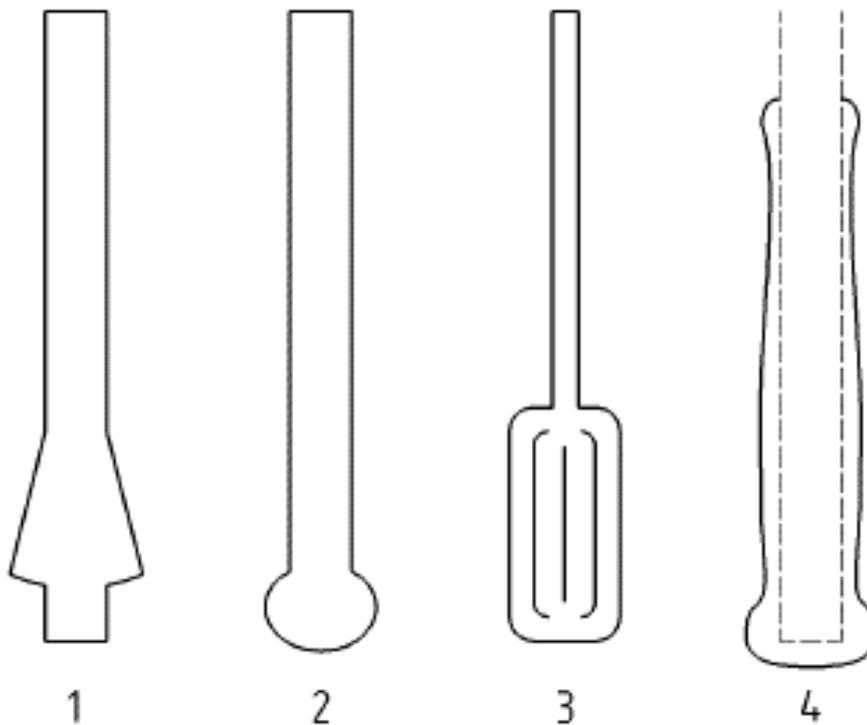


Abb. 2: Beispiele für Fuß- und Schaftaufweitungen bei Mikropfählen (ÖNORM EN 14199, 2016, S. 44)

Des Weiteren können die eingesetzten Tragglieder in vier wesentliche Varianten unterteilt werden, welche in Abb. 3 nochmals grafisch dargestellt sind:

- Tragglied als Korb,
- Tragglied als Rohr,
- ein Stab als Tragglied,
- eine äußere Verrohrung und ein Stab als Tragglied.

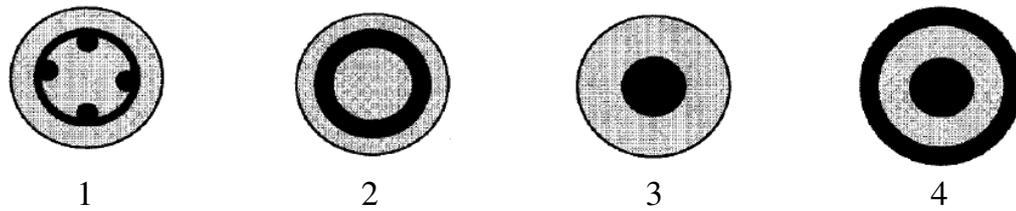


Abb. 3: Typische Traggliedausführungen bei Mikropfählen (ÖNORM EN 14199, 2016, S. 41)

Der Herstellungsvorgang eines Mikropfahls setzt sich aus mehreren Schritten zusammen. Beginnend mit Bohr- und gegebenenfalls Spülarbeiten wird das Bohrloch erstellt und wenn nötig auch gestützt. Anschließend wird, falls vorgesehen, eine Aufweitung wie beispielsweise in Abb. 2 abgebildet, hergestellt. Hierfür werden, je nach Anforderung, unterschiedliche Methoden, wie das Einbringen eines sich aufweitenden Pfahlkörpers oder auch das Verpressen mit hohem Druck eingesetzt. Ist die Kubatur hergestellt, können Bewehrung und/oder Tragglieder eingebracht und das Bohrloch betoniert bzw. verpresst werden. Erfolgt die Herstellung als verpresster Mikropfahl, ist das Verpressen unter Druck somit ein notwendiger Arbeitsschritt und es ist eine Querschnittsform, wie in Abb. 2 Nr. ,4‘ dargestellt, zu erwarten.

Betrachtet man die Art der Lastabtragung, so kann in zwei Gruppen unterteilt werden: Spitzendruck- oder Mantelreibungspfahl. Bei ersterem wird die Pfahlspitze in eine kompetente Bodenschicht, wie beispielsweise Fels oder dicht gelagerten Kies, eingebunden, in welche die auftretenden Kräfte eingeleitet werden können. Mantelreibungspfähle hingegen leiten ihre Kräfte über die gesamte Länge des Pfahls in den umliegenden Boden ein. Bei verpressten Mikropfählen wird durch den Verpressvorgang und die daraus entstehende Schaftaufweitung der Mantelreibungskoeffizient zwischen Verpresskörper und Boden erhöht, was zu einer verbesserten Mantelreibung und folglich zu einer erhöhten Normalkraftabtragung entlang des Pfahls führt. Bei auf Zug beanspruchten Mikropfählen findet die Lastabtragung immer in Form eines Mantelreibungspfahles statt, wohingegen auf Druck beanspruchte Mikropfähle eine Lastabtragung sowohl über Spitzendruck als auch Mantelreibung ermöglichen. Zudem kann hier auch eine Kombination der beiden Lastabtragungsarten – in Abhängigkeit der Relativverformungen – vorliegen.

Normativ sind keine Beschränkungen hinsichtlich Länge, Neigung o.Ä. gegeben.

Für eine exaktere Beschreibung von Mikropfählen, vorwiegend in Bezug auf den Einsatz bei Schutzbauwerken, sowie eine übersichtliche Darstellung aller – zum Zeitpunkt dieser Arbeit – zugelassenen Mikropfahlssysteme, wird auf die Arbeit von Hehn (2021) verwiesen.

2.2.2.2 Verdrängungspfahl

Nachfolgende Erläuterungen sind in Anlehnung an ÖNORM EN 12699 (2015) formuliert.

Wie in Kapitel 2.2.2 bereits erwähnt, kennzeichnet sich ein Verdrängungspfahl vor allem dadurch, dass die Pfahlkubatur nicht vorab freigelegt wird, sondern der Pfahl durch Ramm-, Press-, Schraub-, Vibrations- oder anderen Bewegungen in den Boden eingebracht wird. Zur Herstellung werden generell Stahl, Gusseisen, Beton, Zementmörtel, Holz, Verpressmörtel oder eine Kombination dieser Materialien verwendet. Ähnlich zum in Abschnitt 2.2.2.1 beschriebenen Mikropfahl kann auch ein Verdrängungspfahl mit Stahltraggliedern ausgestattet sein, um die wirkende Belastung aufzunehmen und in den Boden abzuleiten.

Normativ wird bei Verdrängungspfählen grundlegend zwischen vorgefertigten und vor Ort hergestellten Pfählen unterschieden. Vorgefertigte Pfähle können aus einer Vielzahl an Materialien bestehen, welche meist in ihrer endgültigen Form in den Baugrund eingebracht werden. Bei vor Ort hergestellten Verdrängungspfählen wird vorab eine, am unteren Ende geschlossene, Stahl- bzw. Betonverrohrung in den Baugrund eingebracht, welche die Verdrängungsaufgabe übernimmt, bevor der Pfahl betoniert wird. Je nach gewähltem System kann die Verrohrung verbleiben oder wieder entfernt werden, wie in Abb. 4 dargestellt.

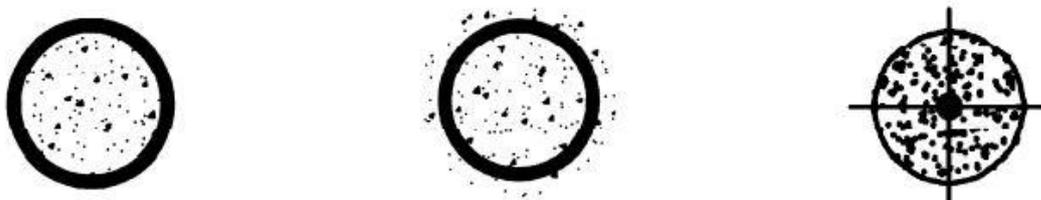


Abb. 4: Verbleibende bzw. entfernte Verrohrungen mit zentralem Bewehrungsstab, unverpresst bzw. verpresst. (ÖNORM EN 12699, 2015, S. 50)

Vergleichbar mit Mikropfählen, können auch bei Verdrängungspfählen Fuß- oder Schaftaufweitungen vorgenommen werden. Beispiele für derartige Aufweitungen sind in Abb. 5 dargestellt. Der maßgebende Unterschied zu Mikropfählen besteht hierbei darin, dass die herstellbare Querschnittsform nicht durch Bohren o.Ä. gezwungenermaßen rund sein muss. Abhängig vom Herstellungsmaterial können unterschiedlichste Formen in den Boden eingebracht werden.

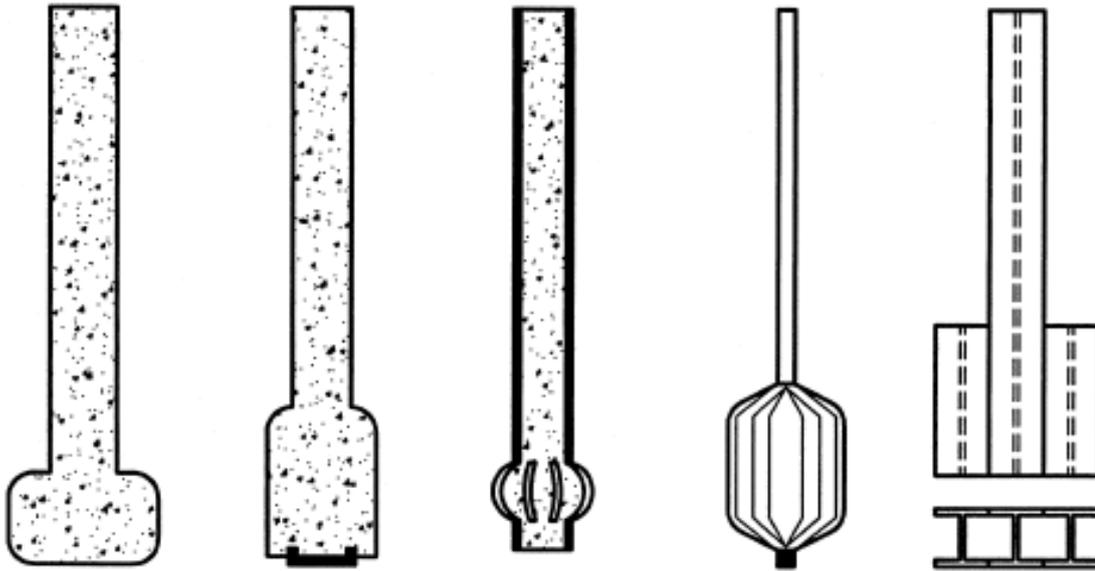


Abb. 5: Beispiele für Aufweitungen bei Verdrängungspfählen (ÖNORM EN 12699, 2015, S. 49)

Durch die Vielzahl an Ausführungsmöglichkeiten von Verdrängungspfählen hinsichtlich Einbringungsart, Einbringungsquerschnitt u.a. sind auch die damit verbundenen Herstellungsschritte sowie die optionale Ausführung von Stahlzuggliedern sehr variabel und werden in dieser Arbeit nicht explizit beschrieben. Wird ein Verdrängungspfehl als Zugelement ausgeführt, so ist der Einbau eines Stahlzuggliedes - unabhängig ob vorgefertigter oder vor Ort hergestellter Pfehl - meist vorgesehen.

Eine weitere Gemeinsamkeit zwischen Mikro- und Verdrängungspfehl ist die Lastabtragung. Verdrängungspfähle können ebenso als Spitzendruck- oder Mantelreibungspfehl ausgebildet werden und die aufgenommene Kraft dementsprechend entweder in eine kompetente Bodenschicht an der Spitze des Pfehls oder entlang der gesamten Pfehllänge über Mantelreibung ableiten. Ebenso ist es möglich, Verdrängungspfähle – entweder vor Ort hergestellt oder vorgefertigt – während dem Einbau zu verpressen bzw. im Anschluss daran zu verpressen, um den Mantelreibungskoeffizienten zu erhöhen.

2.2.3 Bodenvernagelung

Nachfolgende Erläuterungen sind in Anlehnung an ÖNORM EN 14490 (2010) formuliert.

Eine Bodenvernagelung besteht generell aus mehreren, systematisch angeordneten Bodennägeln. Ein Bodennagel als Einzelnes betrachtet, ist nach Definition „Bewehrung, üblicherweise in einem nach unten geneigten Winkel in den Baugrund eingebaut, die auf ihrer gesamten Länge Reibungswiderstand mit dem Boden erzeugt“ (ÖNORM EN 14490, 2010, S. 6). Diese Bewehrungselemente sind typischerweise aus Stahl, meistens Stabstahl (sh. Abb. 6, Nr. ‚1‘ und Abb.

7, Nr. ,7‘), jedoch sind auch andere – nicht metallische – Werkstoffe dafür zugelassen. Um als Bodenvernagelung bezeichnet werden zu können bzw. auch um die entsprechenden Nachweisverfahren anwenden zu dürfen, muss generell ein gemeinsames Wirken mehrerer Bodennägel sichergestellt werden. Ein einzelner Bodennagel ist daher generell als Verpresspfahl und nicht als Bodenvernagelung zu betrachten. Dementsprechend ist dieser dann auch im Entwurfs- und Ausführungsprozess zu behandeln.

Es ist anzumerken, dass die Norm nicht explizit definiert, wann Einpressmittel verwendet werden müssen. Abhängig von der Nagelart, der Beanspruchung auf den Nagel, das Einbringverfahren, den Bodeneigenschaften u.a. können Bodennägel auch als reines Bewehrungselement ohne ein Verpressgut verbaut werden.

Durch das Einbringen von Bodennägeln wird generell die Standfestigkeit des Bodens erhöht um beispielsweise Baugruben, Böschungen oder auch Tunnelabschnitte zu sichern. In vielen Fällen wird eine derartige Standfestigkeitserhöhung nicht nur durch die Bodenvernagelung selbst, sondern ebenso durch ein damit kraftschlüssig verbundenes Frontausbildungssystem (sh. Abb. 7, Nr. ,1‘) und einem Drainagesystem erzielt. Die Frontausbildung muss mechanischen, ästhetischen sowie den umgebungsbedingten Anforderungen entsprechen und kann daher auf unterschiedliche Weisen und durch unterschiedliche Materialien, wie Fertigbetonteile, Spritz- oder Ortbeton oder auch mit metallischen Maschen, hergestellt werden. Ebenso können Bodenvernagelungen auch zur Unterstützung bzw. Instandsetzung bereits bestehender Stützbauwerke eingesetzt werden und eben diese als Frontausbildung nutzen.

Der Einbau eines Nagels kann vereinfacht in zwei Verfahren unterteilt werden. So können die Bewehrungselemente einerseits durch Vibration, Schlagen u.Ä. oder mittels eines Bohrverfahrens (mit anschließendem Verpressen des Zugelementes mit Verpressgut) abgeteuft werden. Das Bohrverfahren kann als unverrohrte oder verrohrte Lochbohrung (Abb. 7) oder mit Hilfe eines selbstbohrender Bohrnagels (Abb. 6) erfolgen. Ist Verpressgut (sh. Abb. 6, Nr. ,9‘ und Abb. 7, Nr. ,8‘) vorgesehen, kann dieses, je nach eingesetztem Nageltyp und Planung, vor, mit oder nach dem Einbringen der Bewehrung eingepresst werden. Im Anschluss daran können Drainagesysteme installiert und Frontausbildungen errichtet und mit den Nagelköpfen verbunden werden.

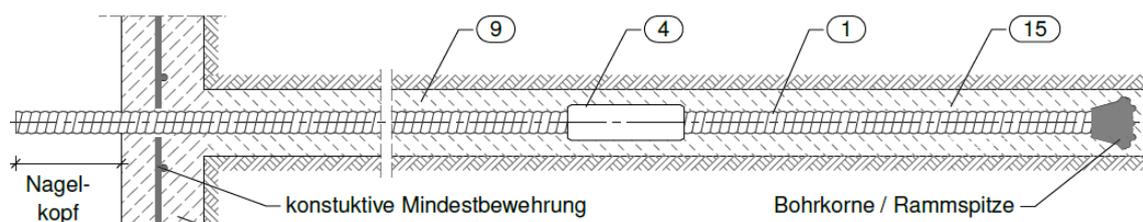


Abb. 6: Beispiel für einen Bodennagel, selbstbohrend (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016a, Anlage 1)

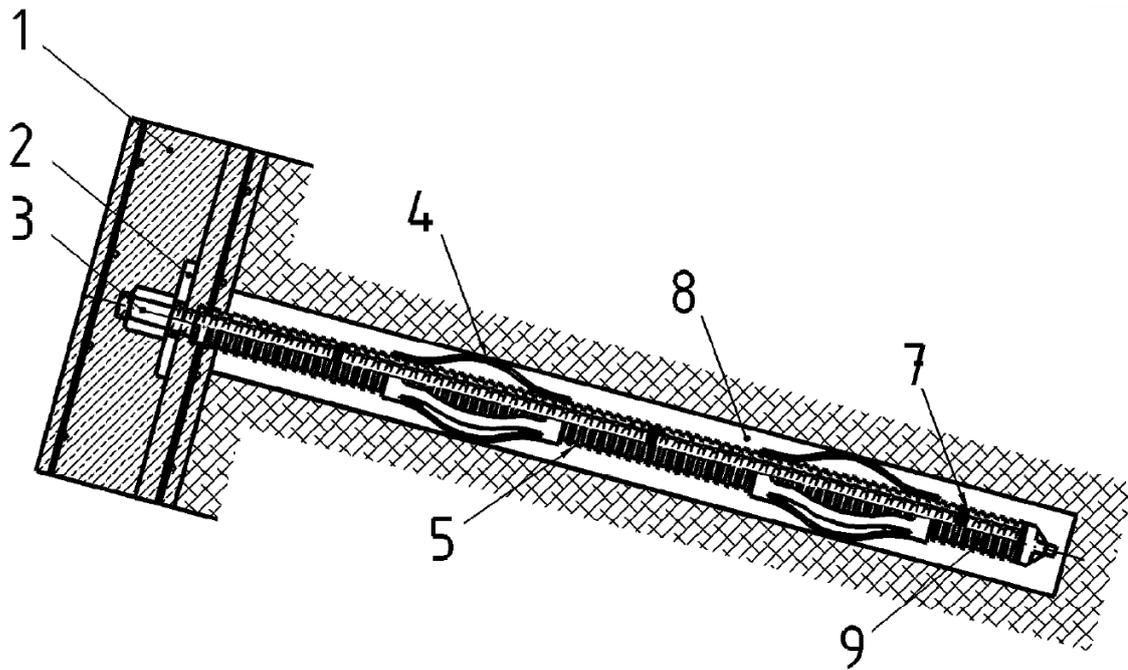


Abb. 7: Beispiel für einen Bodennagel, vorgebohrt und eingepresst (ÖNORM EN 14490, 2010, S. 35)

Eine Bodenvernagelung wirkt somit als passiver Widerstand, welcher nicht vorgespannt wird. Dies ist ein grundlegendes Unterscheidungsmerkmal von Ankermethoden, wie beispielsweise dem in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Verpressanker. Zudem ist es für Bodenvernagelungen erforderlich, dass diese „im Kollektiv“, also nicht als Einzelement, wirken.

2.3 Abgrenzung

Wie bereits im Titel dieser Arbeit angeführt und in den vorhergehenden Erklärungen angemerkt wurde, beschäftigt sich diese Arbeit mit dem Rissverhalten von Verpresskörpern bei Zugelementen, wie in Kapitel 2.2 erklärt, und der daraus entstehenden Korrosionsproblematik.

Untersucht werden bewehrte Verpresskörper, welche in ihrem Aufbau und ihren Eigenschaften denen von Bodennägeln und Mikropfählen – jedenfalls mit zentralem Bewehrungsstab – entsprechen und im Regelfall nicht bzw. nur gering vorgespannt ausgeführt sind. Diese werden entweder ausschließlich auf Zugkraft oder auf Zugkraft in Kombination mit einer Biegebeanspruchung belastet. In weiterer Folge wird der Fokus dieser Arbeit auf die Korrosionsproblematik im Zusammenhang mit Rissbreiten und der Rissentwicklung bei dieser Art von Zugelementen gelegt.

3 Korrosion bei Zugelementen

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die Korrosionsproblematik – vor allem im Zusammenhang mit geotechnischen Elementen wie den in Kapitel 2 angeführten Zugelementen – geben. Dafür wird einleitend ein allgemeines Verständnis zum Korrosionsvorgang geschaffen sowie speziell auf die Thematik der Korrosion in Böden eingegangen. Des Weiteren wird das Augenmerk auf drei, als Stand der Technik zu bezeichnende, Korrosionsschutzmethoden im Zusammenhang mit Zugelementen in der Geotechnik – mit Fokus auf Mikropfähle – sowie deren Untergruppen gelegt und umfangreich ausgeführt.

3.1 Grundlagen zur Korrosion

Das im Bauwesen und anderen Branchen eingesetzte Metall (Fe – sh. Abb. 8) ist ein Baustoff, welcher aus in der Umwelt vorkommenden Erzen gewonnen wird. Für die Aufbereitung der Erze zum Endprodukt Metall ist ein hoher Energieaufwand nötig. Das dadurch gewonnene Metall befindet sich anschließend in einem thermodynamisch instabilen Zustand und bestrebt mittels Energieabnahme wieder in einen stabilen Zustand zu gelangen. Somit kann eine Metall-Korrosion als Reaktion des Metalls mit seiner Umgebung zum Zweck jener Energieabnahme beschrieben werden. Dabei entsteht eine messbare Veränderung von Metall, welche die Funktion eines solchen, oder eben die Funktion eines Bauteiles in welchem das Metall ein Bestandteil ist, beeinträchtigen kann. Betrachtet man das entstehende Korrosionsprodukt ($Fe(OH)_2$ – sh. Abb. 8) selbst (umgangssprachlich als Rost bezeichnet), so entspricht es in vielerlei Hinsicht wieder den natürlich vorkommenden Erzen. Eben jenes Bestreben, die zugeführte Energie wieder abzugeben, um in den ursprünglichen Zustand des Metalls, also das Erz, zurückzukehren, wird meist durch eine elektrochemische Reaktion umgesetzt. Nur vereinzelt kann dafür auch eine rein chemische oder metallphysikalische Reaktion der Grund sein. Als Auslöser einer solchen elektrochemischen Reaktion können verschiedene Medien, wie z.B. Gase, Salzschnmelzen oder wässrige Lösungen (H_2O – sh. Abb. 8) genannt werden, wobei letztere überwiegender Auslöser für den Korrosionsprozess im Bauwesen sind. Vereinfacht dargestellt bedeutet diese elektrochemische Reaktion, dass an der Phasengrenze zwischen Elektrolyten und Metall einerseits ein Stoffaustausch (in Form von Ionen), andererseits ein Ladungsaustausch (in Form von Elektronen) stattfindet. Entscheidend ist, dass für solche elektrochemischen Reaktionen keine großen Mengen der wässrigen Lösung benötigt werden. Es genügt schon ein dünner Feuchtigkeitsfilm, oder die Anwesenheit hygroskopischer Salze, welche auch aus einer relativ trockener Umgebung eine gewisse Feuchtigkeit aufnehmen können. Für eine elektrochemische Reaktion muss diese Feuchtigkeit ionenleitend sein und wird als Elektrolyt bezeichnet. Eine, für den materialzerstörenden Prozess erforderliche Teilreaktion verlangt dabei das Vorhandensein eines Oxidationsmittels. Für die im Bauwesen üblichen Korrosionsfälle, wie Korrosion

mit anderen Baustoffen, in Böden oder an der Atmosphäre, ist das dafür benötigte Oxidationsmittel Sauerstoff (O_2 –sh. Abb. 8), welcher im Elektrolyt enthalten ist (vgl. Nürnberger, 1995a, S. 11 ff; Rebhan, 2019, S. 40–43). Für explizitere Erläuterungen zu den unterschiedlichen Korrosionsprozessen wird auf die eben genannte Literatur verwiesen.

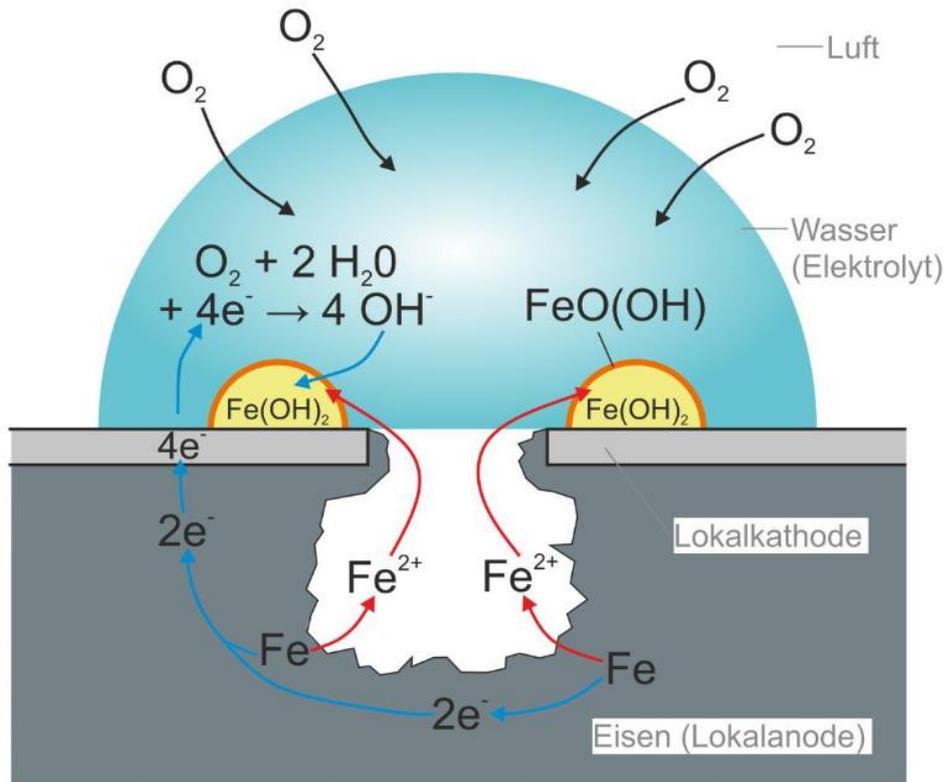


Abb. 8: Schematische Übersicht zur Sauerstoffkorrosion (Burtscher *et al.*, 2017)

Die Folge einer derartigen Korrosionsreaktion ist das Entstehen von Korrosionsprodukten, bzw. die Umwandlung des Metalls in Korrosionsprodukte, was in weiterer Folge einen Materialabtrag sowie Korrosionsrisse bedeuten kann. Diese Korrosionserscheinungen, welche das Metall nachteilig verändern, unterteilt Nürnberger (1995a) grob in lokale und gleichmäßige Korrosion sowie in rissartige Korrosionsprozesse. Hierbei ist unter gleichmäßiger Korrosion die Flächenkorrosion und unter lokaler Korrosion eine Mulden- oder Lochfraßkorrosion, wie sie in Abb. 9 dargestellt sind, zu verstehen. Rissartige Korrosion tritt meist unter mechanischer Beanspruchung, also in Form von Spannungsrisskorrosion, auf. „In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass eine gleichmäßig abtragende Korrosion weniger kritisch zu beurteilen ist als eine ungleichmäßige (Muldenkorrosion, Lochkorrosion), die als Folge von Korrosionselementen [...] stattfindet. Am schädlichsten sind Korrosionsrisse, die bei ausschließlich ruhend beanspruchten Konstruktionen meist die Folge von Spannungsrisskorrosion sind und bei nicht vorwiegend ruhend beanspruchten Bauteilen auch als Folge von Schwingungsrisskorrosion auftreten können.“ (Nürnberger, 1995a, S. 15)

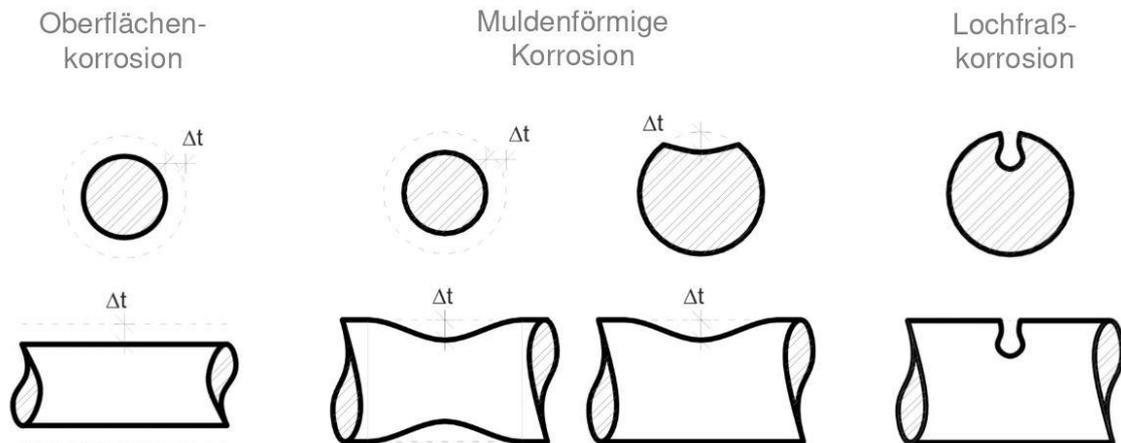


Abb. 9: Schematische Darstellung von Flächen-, Mulden- und Lochfraßkorrosion (Burtscher *et al.*, 2017)

3.1.1 Korrosion im Boden

Wird die Korrosionsthematik hinsichtlich des Zusammenspiels mit Böden betrachtet, ist das Korrosionsverhalten sehr breit gefächert. In Abhängigkeit vieler unterschiedlicher Parameter im Boden können dessen korrosionsrelevante Eigenschaften lokal sehr stark abweichen. Daher kann bei bautechnischen Konstruktionen, welche Kontakt mit dem Untergrund (Boden) aufweisen, auch bei der Annahme eines nicht aggressiven Bodens, eine Korrosionsproblematik nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Einige wichtige korrosionsbeeinflussende Parameter im Zusammenhang mit Korrosion im Boden werden nachfolgend kurz erläutert (vgl. Nürnberger, 1995a, S. 250 ff):

- **Feuchtigkeit und Sauerstoff**

„Wie bei der atmosphärischen Korrosion und bei Korrosion in Wasser, ist auch bei der Korrosion in Böden die gleichzeitige Anwesenheit von Wasser und Sauerstoff notwendig. In trockenen Böden liegt das für die elektrolytische Leitfähigkeit erforderliche Wasser und in wassergesättigten Böden der für die Depolarisation erforderliche Sauerstoff nicht vor. [...] In der Nähe eines sich ändernden Grundwasserspiegels kann die Metallkorrosion wegen wechselnder Durchfeuchtung und Austrocknung jedoch erheblich sein.“ (Nürnberger, 1995a, S. 253–254). Des Weiteren merkt der Autor an, dass der Sauerstoffgehalt stark von Bodeneigenschaften wie Porosität, Wassergehalt, Tiefe u.a. abhängig ist. Hoch bindige Böden haben meist die Eigenschaft sehr undurchlässig zu sein, was auch die Bewegungsmöglichkeit von Wasser und Luft begrenzen kann.

- **Neutralsalze**

„Böden enthalten i. allg. wenig leichtlösliche Salze wie z. B. Alkalisalze und Chloride [...], da diese im Wasserkreislauf schon weitgehend herausgelöst wurden. Chloride können jedoch über Streusalze und auch an der Meeresküste in nicht unerheblichen Mengen in Böden gelangen. [...] Gelöste Chlorid- und Sulfatsalze erhöhen merklich die Korrosion. Die

Korrosionsverstärkung beruht in erster Linie auf der Verbesserung der Bodenleitfähigkeit“ (Nürnberger, 1995a, S. 254). Dementgegen werden vom Autor auch in einem gewissen Maße neutralisierende Bodenbestandteile wie Kalk genannt, welcher die Anwesenheit von Säuren abschwächt.

- **pH-Wert**

„Der übliche pH-Wert der Böden von 5 bis 9 ist kein die Korrosionsgeschwindigkeit beeinflussender Faktor. Nur in stark sauren Böden ist mit einer erhöhten Korrosion zu rechnen. [...] Sandböden weisen i. allg. eine niedrige Gesamtsäuremenge auf, Tonböden dagegen häufig eine höhere. In organischen Böden bilden sich bei der Fäulnis von Pflanzenresten eine Reihe organischer Säuren, welche die Gesamtsäuremenge erhöhen und den pH-Wert bis auf 4,5 herabsetzen. Hierdurch kann ein direktes Inlösengehen von Eisen und Zink bewirkt werden. Hohe Gehalte an diesen Säuren sind allerdings nur in Moor-, Wald- und Ackerböden zu erwarten.“ (Nürnberger, 1995a, S. 255). Der pH-Wert kann mittels unterschiedlichster Methoden entweder elektrometrisch oder optisch bestimmt werden. Der Einsatz verschiedener Messeinrichtungen ist auch stark davon abhängig, ob eine Labormessung oder eine Messung vor Ort stattfindet, sowie ob kontinuierlich oder stichprobenweise gemessen wird. Kontinuierliche Messungen, z.B. mittels Sonden, können nur vor Ort durchgeführt werden (vgl. Degner, 2009, S. 17–18).

- **Spezifischer Bodenwiderstand**

„Da in an Wasser ungesättigten Böden meist im ausreichenden Maße Sauerstoff für den kathodischen Teilprozess der Bodenkorrosion zur Verfügung steht, bestimmt die Bodenleitfähigkeit bzw. deren reziproker Wert, der spezifische Bodenwiderstand, die Korrosionsgeschwindigkeit.“ (Nürnberger, 1995a, S. 256)

Vereinfacht dargestellt, beschreibt die Zahl der Bodenleitfähigkeit, wie gut ein zylindrischer Bodenkörper, mit einer Länge von einem Meter und dem Volumen von einem Kubikmeter, leitet. Daraus resultiert im Umkehrschluss der Bodenwiderstand, welcher den theoretischen elektrischen Widerstand dieses Bodenkörpers darstellt. Je höher die Bodenleitfähigkeit, desto geringer also der Bodenwiderstand. Die Größe des Bodenwiderstands ist jedoch, wie in Abb. 10, dargestellt von vielen Faktoren, wie z.B. Grundwasser, Temperatur, Bodenart und Tiefe, abhängig.

Mit Hilfe von geoelektrischen Messmethoden wie beispielsweise dem Wenner-Verfahren, oder auch dem Schlumberger-Verfahren, kann ein spezifischer Bodenwiderstand, bzw. die Bodenleitfähigkeit, gemessen werden. Grundlegend wird bei diesen Verfahren mit Hilfe von Erdspeßen (Hilfserder) Prüfstrom in den Boden eingespeist und an anderen Stellen mittels Sonden gemessen. Ebenso kann über eine dauerhaft installierte Messschleife ein konstantes Monitoring des spezifischen Bodenwiderstandes erfolgen, da dieser starke Schwankungen aufweisen kann (sh. Abb. 10).

Jedoch ist hierbei anzumerken, dass diese Messverfahren im Normalfall nicht für Bodenparameterbestimmungen im Zusammenhang mit der Korrosionsproblematik durchgeführt werden, sondern in der Regel eine Messmethode für die Erdung von Elektroinstallationen, beispielsweise im Wohnungs- oder auch im industriellen Bau, darstellen (vgl. Chauvin Arnoux Group, 2010; Hans-Dieter Schüssele, 2007).

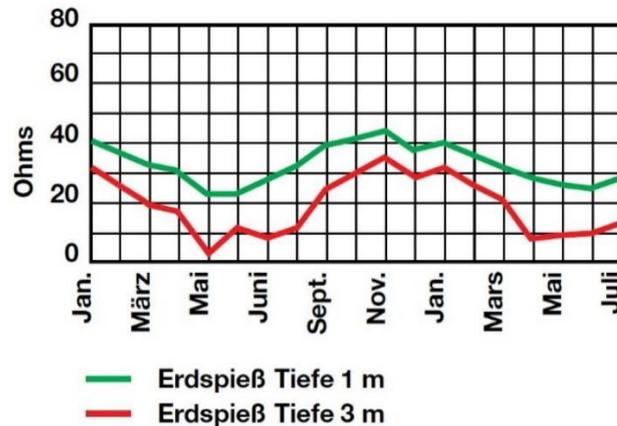


Abb. 10: Beispiel für Schwankungen des spez. Bodenwiderstands abhängig von der Jahreszeit und Tiefe (Chauvin Arnoux Group, 2010, S. 3)

- **Streustrom**

„Unter Streustrom versteht man den aus einem stromführenden Leiter elektrischer Anlagen in das umgebende Medium (meist ein Erdboden) austretenden Strom. Dieser kehrt an einer anderen Stelle wieder aus dem Erdboden in die elektrischen Anlagen zurück, wobei bevorzugt im Boden vorhandene ausgedehnte elektrische Leiter benutzt werden. Gleichströme können bei erdverlegten Strukturen wie stählernen oder gusseisernen Rohrleitungen [...] oder Stahlbetonbauteilen [...] beim Austritt aus diesen Leitern in das Erdreich lokal die Korrosion verstärken.“ (Nürnberger, 1995a, S. 65) Vor allem im Nahebereich zu Bahnanlagen oder erdverlegten Niederspannungsleitungen kann die Wirkung des Streustromes aus diesen Anlagen eine erhebliche Auswirkung auf den Korrosionsfortschritt bzw. das Eintreten von Korrosion haben.

Wie zu Beginn dieses Kapitels bereits angeführt, gibt es eine Vielzahl anderer Faktoren, welche die Korrosionsgeschwindigkeit, Intensität oder die Korrosionsart (wie z.B. Flächen-, Mulden- oder Lochkorrosion) abhängig von Bodenzusammensetzung unterschiedlich beeinflussen. Detaillierte Beschreibungen zu diesen Thematiken werden beispielsweise von Nürnberger (1995a) gegeben.

3.2 Korrosionsschutz

Um die im vorhergehenden Kapitel beschriebene, sich in Bezug auf die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit negativ auswirkende Veränderung des Metalls durch eine Korrosionsreaktion in gewissem Maße kontrollieren bzw. verlangsamen zu können, ist der Einsatz unterschiedlicher Korrosionsschutzmethoden möglich.

3.2.1 Notwendigkeit von Korrosionsschutz

Die verschiedenen Korrosionsschutzsysteme bzw. deren Notwendigkeit für ein geotechnisches Element sind vor allem von der geplanten Nutzungsdauer des Bauwerkes sowie der Aggressivität oder aber auch der Korrosionsbereitschaft eines Bodens gegenüber den Zugelementen abhängig. Die Aggressivität eines Bodens oder auch des umliegenden Grundwassers kann mittels unterschiedlicher Parameter, wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, klassifiziert werden. Werden österreichische Richtlinien für die in dieser Arbeit behandelten geotechnischen Zugelemente hinsichtlich dieser Klassifizierung der Bodenaggressivität betrachtet, so verweisen sie alle auf eine Einstufung nach der Betonnorm ÖNORM EN 206 (2017). Zusätzlich dazu verweist die österreichische Norm für Bodenvernagelungen in Bezug auf Bodenaggressivität auf die Richtlinie Clouterre, welche eine ausführliche Klassifizierung beinhaltet (sh. Abb. 11: Korrosivitätsindex und Klassifizierung nach Clouterre (Presses de l'ENPC, 1991, S. 230–233)).

Wird die Einstufung des Bauwerks hinsichtlich der Nutzungsdauer betrachtet, so unterscheiden sich die Definitionen je nach geotechnischem Element. Verpressanker werden in der internationalen Literatur beispielsweise sehr genau definiert. In der benachbarten Schweiz spricht man von einem Permanentanker sobald die geplante Nutzungsdauer länger als 2 Jahre beträgt (ungespannt länger als 5 Jahre). Geplante Nutzungsdauern unterhalb dieser Grenze sind als temporäre Anker bezeichnet (vgl. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation - Bundesamt für Strassen, 2009, S. 24). Ähnlich dazu ist die Thematik beispielsweise in Australien definiert, wo ebenso die Grenze von zwei Jahren als Unterscheidungsmerkmal für temporäre und permanente Anker ausschlaggebend ist. Jedoch wird dazu eine obere Grenze von ‚normalerweise 100 Jahren‘ beschrieben (vgl. RMS SPECIFICATION D&C B114 Ground Anchors, 2012, S. 11).

Criterion	Features	Weight A of Criterion
Type of Soil	• Texture	
	- heavy, plastic, sticky impermeable	2
	- clayey-sand	1
	- light, permeable, sandy, cohesionless soils	
	• Peat and bog/marshlands	0
	• Industrial waste	
- clinker, cinders, coal	8	
- builders' waste (plaster, bricks)		
• Polluted liquids		8
- waste water, industrial		4
- water containing de-icing salts		
		6
		8
Resistivity	$p < 1000 \Omega \text{ cm}$	5
	$1\ 000 < p < 2\ 000$	3
	$2\ 000 < p < 5\ 000$	2
	$5\ 000 < p$	0
Moisture Content	Water table - brackish water (variable or permanent)	8
	Water table - pure water (variable or permanent)	4
	Above water table moist soil (water content > 20%)	2
	Above water table - dry soil (water content < 20%)	0
pH	< 4	4
	4 à 5	3
	5 à 6	2
	> 6	0
	Global index	Sum of above: ΣA

Index ΣA	Soil Features	Classification
> 13	Highly corrosive	I
9 to 12	Corrosive	II
5 to 8	Average corrosiveness	III
< 4	Slightly corrosive	IV

Abb. 11: Korrosivitätsindex und Klassifizierung nach Clouterre (Presses de l'ENPC, 1991, S. 230–233)

Auch die österreichische Norm verwendet die Zeitspanne von 2 Jahren um zwischen temporärer und dauerhafter Nutzung zu unterscheiden. So sind Verpressanker mit einer geplanten Nutzungsdauer kürzer 2 Jahren als Kurzzeitanker, mit einer längeren Lebensdauer als Daueranker definiert (vgl. ÖNORM EN 1537, 2015, S. 10). Unterschiedliche Zulassungen oder auch Literaturen definieren zusätzlich noch semipermanente Anker, welche eine

dazwischenliegende Nutzungsdauer anstreben können, wie beispielsweise von Wichter und Meiniger (2009) beschrieben wird: „*In der Praxis kommt es vor, dass Verpressanker für temporäre Zwecke länger als 2 Jahre benötigt werden, z.B. bei großen Bauvorhaben. [...] Wenn Bauherr und Bauaufsicht einverstanden sind, können sog. Semipermanentanker eingesetzt werden, bei denen im Kopfbereich ein im Vergleich zu Temporärankern verbesserter Korrosionsschutz hergestellt wird.*“ (Wichter und Meiniger, 2009, S. 313). Bei Bodennägeln wiederum verweist die zugehörige österreichische Norm u.a. in Bezug auf die Lebensdauer auf die Richtlinie Clouterre (vgl. Presses de l'ENPC (1991)), welche eine internationale Empfehlung für Bodenvernagelungen darstellt und im Allgemeinen den ‚Grundstein‘ der heutigen Bodenvernagelungsnorm ÖNORM EN 14490 (2010) bildet. Presses de l'ENPC (1991) teilt die Nutzungsdauer in drei Kategorien ein. Beginnend bei kurzzeitigen Strukturen, welche für eine Einsatzzeit von maximal 18 Monaten vorgesehen sind, über mittelzeitigen Strukturen, die eine Lebensdauer zwischen 18 Monaten und 30 Jahren aufweisen bis hin zu Langzeitstrukturen mit einer geplanten Nutzungsdauer zwischen 30 und 100 Jahren (vgl. Presses de l'ENPC, 1991, S. 247).

Bei Verpresspfählen hingegen definiert die österreichische Norm keine Klassifizierung nach der geplanten Lebensdauer, verlangt jedoch, den Korrosionsschutz in Abhängigkeit der geplanten Nutzungsdauer der Struktur auszulegen (vgl. ÖNORM EN 14199, 2016, S. 21).

Neben den gültigen Normen sind in Österreich in Bezug auf den Korrosionsschutz und die Dauerhaftigkeit von Zugelementen auch die Angaben und Anforderungen nach den Zulassungen dieser Systeme zu beachten. In diesen sind zum einen die systembedingten Korrosionsschutzmaßnahmen angeführt. Zum anderen werden darin auch die für eine sach- und zulassungskonforme Herstellung erforderlichen Bauteile und Elemente definiert. Auf Grund der weiten Bandbreite dieser Angaben wird jedoch nachfolgend nicht genauer auf die unterschiedlichen Systeme eingegangen. Stattdessen werden in Kapitel 3.2.2 unterschiedliche Arten von Korrosionsschutzmaßnahmen beschrieben, welche als Stand der Technik zu definieren sind. Für eine explizite Auflistung der, zum Zeitpunkt dieser Arbeit, vorhandenen Systeme wird auf Hehn (2021) verwiesen.

3.2.2 Arten von Korrosionsschutzmaßnahmen

Nach Nürnberger (1995a) kann generell zwischen aktivem und passivem Korrosionsschutz unterschieden werden. Vereinfacht dargestellt, liegt der Unterschied dabei in den verschiedenen Ansätzen zur Beeinflussung eines Korrosionsprozesses. Beim aktiven Korrosionsschutz wird direkt der Korrosionsprozess bzw. die Reaktionsfolge selbst beeinflusst, beispielsweise durch elektrochemische Potentialveränderung des Stahls. Bei passiven Schutzmaßnahmen hingegen liegt der Ansatz im Fernhalten korrosionsfördernder Stoffe vom metallischen Werkstoff. Da die Korrosionsschutzmaßnahmen für die

in Kapitel 2.2 beschriebenen Zugelemente in der Geotechnik aufgrund der praktischeren Anwendbarkeit meist passiver Art sind, werden diese im Folgenden detaillierter erläutert. Anwendbare Beispiele des aktiven Korrosionsschutzes werden in der Arbeit zum Einfluss von Rissbreiten auf das Korrosionsverhalten von Mikropfählen (vgl. Hehn, 2021) ausgeführt.

Werden die in der Literatur sowie in den österreichischen Normen genannten passiven Korrosionsschutzmaßnahmen, unabhängig vom jeweiligen Zugelement, betrachtet, wird meist in zwei Kategorien, den einfachen und den doppelten Korrosionsschutz, unterschieden. Eine – zum Zeitpunkt dieser Arbeit – noch in Entwurf befindliche, österreichische Norm, welche sich der Thematik der Dauerhaftigkeit von Verankerungen und den dafür erforderlichen Korrosionsschutzsystemen annimmt, fügt den beiden eben genannten Kategorien noch eine dritte hinzu und unterteilt die Korrosionsschutzmethoden somit in die folgenden drei Korrosionsschutzsysteme (vgl. ÖNORM B 4456 (Entwurf - Stand 07.09.2020)):

- SCP - einfacher Korrosionsschutz (single corrosion protection)
- DCP - doppelter Korrosionsschutz (double corrosion protection)
- MCP - materialbedingter Korrosionsschutz (material related corrosion protection),

Letzteres Korrosionsschutzsystem (MCP) kann dabei nicht direkt dem passiven Korrosionsschutz zugeordnet werden. Nachfolgend werden diese drei Korrosionsschutzarten sowie deren weitere Differenzierung nach ÖNORM B 4456 (Entwurf - Stand 07.09.2020) beschrieben.

3.2.2.1 SCP – Einfacher Korrosionsschutz

Wie der Name es erwarten lässt, bedient sich der einfache Korrosionsschutz einer einzigen Schutzschicht, welche zum Ziel hat, den Korrosionsangriff entweder zu verhindern, zeitlich zu verzögern oder zumindest die statisch erforderliche Tragfähigkeit des Traggliedes zu gewährleisten. In der sich damit befassenden Norm ÖNORM B 4456 (Entwurf - Stand 07.09.2020) werden im Kontext mit SCP wiederum vier Unterscheidungen definiert. So kann demzufolge ein einfacher Korrosionsschutz durch Korrosionszugabe (SCA), Beschichtung des Stahls (CCP), Verzinkung (ZCP) oder durch Einkapselung (GCP) erfolgen.

- **SCA – Korrosionszugabe (sacrificial corrosion allowance)**

Bei dieser Methode wird grundlegend nicht davon ausgegangen, dass das Tragglied durch eine Einkapselung o.Ä. vor einem Korrosionsangriff geschützt wird. Das Tragelement aus Stahl wird hingegen um einen gewissen Faktor, bzw. eine gewisse Querschnittstärke, überdimensioniert. Der für die Überdimensionierung vorgegebene Zuschlag hängt einerseits von der Lebensdauer, andererseits von Faktoren wie sie in Kapitel 3.1.1 beschrieben wurden sowie der Bauwerksklasse ab (vgl. Presses de l'ENPC, 1991;

ÖNORM EN 14490, 2010, S. 51). Diese Art ‚Korrosionspuffer‘ verhindert weder den Korrosionsangriff noch wird er verzögert, es findet lediglich eine Vergrößerung des Stahlquerschnittes und somit eine Verzögerung der tragwerksrelevanten Querschnittsreduktion statt (vgl. ÖNORM B 4456 (Entwurf - Stand 07.09.2020)).

Normativ erwähnt wird dieses Verfahren jedoch nicht für alle in dieser Arbeit behandelten geotechnischen Elemente, lediglich für Mikropfähle und Vernagelungen (vgl. ÖNORM EN 14199, 2016; ÖNORM EN 14490, 2010). Während bei Bodenvernagelungen die Korrosionszugabe detaillierter behandelt sowie tabellarische Angaben zum Stahldickenverlust, mit weiteren Verweisen auf Clouterre (1991), gemacht werden, beschreibt die Norm für Mikropfähle nur die Möglichkeit, eine Abrostungsrate zu berücksichtigen, geht aber nicht genauer darauf ein. Zulassungen unterschiedlicher Anbieter hinsichtlich der jeweiligen Systeme hingegen, beinhalten strukturierte Angaben bzw. Richtwerte zur Abrostrate für Mikropfähle und Bodennägel, wie sie beispielsweise in Abb. 12 dargestellt sind.

Nutzungsdauer in Jahren	Pfahl Typ	Richtwert Abrostrate in mm bei einer Korrosionsbelastung		
		niedrig	mittel	hoch
2 - 7	A	0,2	0,2	0,5
	B	0	0	0,4
	A+C	0	0	0
	B+C	0	0	0
7 - 30	A	0,4	0,6	DCP
	B	0	0	
	A+C	0,2	0,4	
	B+C	0	0	
30 - 50	A	0,5	1,0	DCP
	B	0,2	0,7	
	A+C	0,4	0,8	
	B+C	0	0,5	

- A blanker Stahl, unverpresst
 B verzinkter Stahl, Zinkschichtdicke $\geq 85\mu\text{m}$, unverpresst
 C Zementmörtelüberdeckung $\geq 15\text{mm}$
 DCP Korrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

Abb. 12: Beispiel für Richtwerte der Abrostrate lt. Zulassung (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b; Anlage 2)

- **CCP – Beschichtung (coating corrosion protection)**

Beim Aufbringen von Korrosionsschutzschichten (früher als ‚Anstrich‘ bezeichnet) ist generell keine Begrenzung hinsichtlich einer bestimmten Dicke der Schicht oder an ein spezifisches Material gegeben, jedoch sind laut Nürnberger (1995b) die häufigsten Korrosionsschutzbeschichtungen organischer Natur. Trotz einer Vielzahl an unterschiedlichen Beschichtungen kann bei organischen Beschichtungen anhand deren Bindemittel zwischen Naturstoffen, welche ein Bindemittel aus Naturprodukten enthalten, rein synthetischen Kunststoffen oder einer Mischung dieser beiden unterschieden werden. Zur Klasse der Naturstoffe können beispielsweise Öle oder Bitumen gezählt werden. Die Klasse der Kunststoffe beinhaltet hingegen eine große Menge an Beschichtungsmitteln, wie beispielsweise Alkydharz, Polyurethan und Epoxidharz, um nur einige wenige zu nennen (vgl. Nürnberger, 1995b, S. 647 ff). Neben den genannten Beschichtungsmitteln gibt es auch neuartige, teils vielversprechende Beschichtungen – wie beispielsweise die EnduroTM Beschichtung – welche mittels moderner Technik aufgetragen werden (vgl. Sainsbury *et al.*, 2016).

Korrosionsschutzbeschichtungen können in einem oder mehreren Arbeitsschritten und, abhängig vom vorgesehenen Beschichtungsmittel, vor Ort oder im Werk aufgetragen werden. Ebenso kann in der Anwendungsart zwischen Nassbeschichtungen – also einem Aufbringen mittels z.B. Streichen oder Aufspritzen – Pulverbeschichtung, thermoplastifizierenden Umhüllungsrohren u.a. unterschieden werden. Detaillierte Aufzählungen und Anwendungsarten sind von Nürnberger, (1995b, S. 648–651) aufgelistet und beschrieben.

Im Zusammenhang mit den in dieser Arbeit beschriebenen geotechnischen Elementen wird dieses Korrosionsschutzverfahren in allen vier Normen behandelt. Es sei jedoch anzumerken, dass bei einer Beschädigung der Beschichtung der gewünschte Korrosionsschutz nicht gewährleistet werden kann.

Der Einbau eines beschichteten Zugelements kann – unter Berücksichtigung der oberhalb erwähnten Aspekte – ähnlich dem eines nicht verzinkten Zugelements beschrieben werden (sh. Abb. 13, Nr.1).

- **ZCP – Verzinkung (zinc corrosion protection)**

Klar von der oben beschriebenen Korrosionsschutzmaßnahme einer Beschichtung ist zu unterscheiden, wenn die Korrosionsschutzschicht metallisch ist. In diesem Fall spricht man von metallischen Überzügen wie etwa einer Zinkschicht, welche durch Feuerverzinken hergestellt wird. Bei diesem Verfahren wird das zu verzinkende Metall nach entsprechender Aufbereitung der Metalloberfläche in geschmolzenes Zink getaucht. Durch das Anpassen der Temperatur des kühleren Metalls an die des flüssigen Zinks bildet sich eine Zink-Eisen-Legierung an der Metalloberfläche. Abhängig von

den angewandten Verfahren und Bedingungen können sich Aufbau, Farbe und Stärke der Verzinkung unterscheiden (vgl. Nürnberger, 1995b, S. 784).

Eine große und daher nennenswerte Einschränkung verzinkter Bewehrung ist ein schlechteres Verbundverhalten zwischen Bewehrung und Beton im Gegensatz zu jenem mit üblicher, nicht verzinkter Bewehrung. Dieses schlechtere Verhalten ist im Allgemeinen auf eine Reaktion des Zinks mit dem Frischbeton, bzw. dem darin vorhandenen Zementleim, zurückzuführen. Dies hat eine aufgelockerte Verbundoberfläche und somit eine Reduktion der mechanischen Verbundeigenschaften zur Folge. Zusätzlich kann festgestellt werden, dass sich bei verschiedenen Längszugversuchen mit zentrisch betonierten Zugstäben, klare Unterscheidungen im Rissbild zwischen Zugstäben mit verzinkter und zwischen jenen mit üblicher Bewehrung erkennen lassen. So ist im Vergleich die Anzahl der auftretenden Risse bei einem Zugstab mit verzinkter Bewehrung tendenziell geringer, ebenso ist aber auch die ‚Verästelung‘ der entstehenden Risse geringer und daraus resultierend ein vermehrtes Entstehen von größeren und durchgehenden Trennrissen festzustellen (vgl. Neugebauer *et al.*, 2015). Der oben angeführte Einfluss einer Verzinkung auf das Verbundverhalten ist jedoch bisher lediglich bei Betonstählen untersucht worden. In Bezug auf die Verwendung von verzinkten Stäben für Mikropfähle kann hier ebenfalls ein Einfluss erkannt werden, dieser hat jedoch durch die im Regelfall größeren Querschnitte der Bewehrungselemente einen weniger signifikanten Einfluss auf das Tragverhalten. (vgl. Burkert *et al.*, 2010)

Bezugnehmend auf die in dieser Arbeit beschriebenen geotechnischen Elemente wird eine Verzinkung nur in ÖNORM EN 14490 (2010), also im Zusammenhang mit Bodenvernagelungen, als mögliche Beschichtung des Zugelements angeführt. In unterschiedlichen Zulassungen wird eine Verzinkung jedoch auch für Mikropfähle und andere Zugelemente genannt. Hier wird oftmals auf die Inhalte der ÖNORM EN ISO 1461 (2009) verwiesen. Daraus resultiert, dass eine Zinkschicht mit einer Dicke von mindestens 85 µm durch eine Stückverzinkung aufzubringen ist (vgl. ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b). Ebenso wie im Zusammenhang mit einer Beschichtung angeführt, ist auch bei der Anwendung einer Zinkschicht, auf die Unversehrtheit nach der Herstellung zu achten. Vor allem bei drehschlagend eingebauten Traggliedern (z.B. Hohlbohrstäben) sollte dies bei der Installation bedacht werden. Aktuell sind hierzu keine Untersuchungen vorhanden, jedoch ist nach Nürnberger (1995b) bei Beschädigung der Zinkschicht davon auszugehen, dass es zu einer Lochfraßkorrosion – also zu einem lokalen Korrosionselement – kommt und somit ein rascheres Fortschreiten der Korrosion stattfindet.

Der Einbau eines verzinkten Zugelements kann – unter Berücksichtigung der oberhalb erwähnten Aspekte – ähnlich dem eines nicht verzinkten Zugelements beschrieben werden (sh. Abb. 13, Nr.1).

- **GCP – Einkapselung (grout cover protection)**

Wie bereits in vorhergehenden Kapiteln erwähnt, steht die Funktionsweise vieler im Spezialtiefbau, aber auch im konstruktiven Ingenieurbau, eingesetzten Baumaßnahmen mit dem Verbundverhalten von Stahl und Beton in Verbindung. Neben statischen Aspekten dieses Verbundes kommt dem das Bewehrungsglied (z.B. Stab- oder Mattenbewehrung im Betonbau, aber auch Tragglieder) umschließenden Beton auch eine Korrosionsschutzwirkung zu. Nürnberger (1995a) unterteilt den Korrosionsschutzmechanismus von Beton (als Überdeckung) in einen chemischen (aktiven) und einen physikalischen (passiven) Korrosionsschutz. Obwohl der umschließende Beton ein feinporiger – und damit ein mit bedingten Öffnungen und Wegbarkeiten versehener – Baustoff ist, kann bei korrekt gewählten Parametern, wie Betonüberdeckung, Gesamtporosität oder auch der Rissbreitenbegrenzung, das Stahlzugglied vor Korrosionsprozessen geschützt werden (vgl. Nürnberger, 1995a, S. 327 f).

Einkapselungen mittels Beton bzw. Verfüllmörtel werden in den jeweiligen Normen mit unterschiedlicher Genauigkeit behandelt. Bodenvernagelungen beinhalten diesbezüglich eine Leitlinie, welche, in Abhängigkeit von der Bodenaggressivität und der geplanten Nutzungsdauer, eine Mindesteinkapselungsstärke vorgeben (vgl. ÖNORM EN 14490, 2010, S. 52). Des Weiteren wird dabei angemerkt: *„Die Forschung hat gezeigt, dass überprüfte Rissbreiten von weniger als 0,1 mm als selbstheilend betrachtet werden können. Deshalb wird Einpresszement als eine annehmbare, undurchlässige Schutzeinkapselung erachtet, vorausgesetzt, die Rissbreite im Einpressmittelkörper von 0,1 mm wird nachweislich nicht überschritten.“* (ÖNORM EN 14490, 2010, S. 52). Für Ortbeton-Mikropfähle und Verdrängungspfähle wird einerseits eine Mindestbetonüberdeckung für Bewehrungselemente sowie jeweils eine Mindestüberdeckung für Tragglieder, welche in Abhängigkeit von Zug- oder Druckbeanspruchung und Expositionsklassen steht, nicht aber in Abhängigkeit der geplanten Nutzungsdauer, empfohlen (vgl. ÖNORM EN 14199, 2016, S. 22 u. 53; ÖNORM EN 12699, 2015, S. 29 u. 63). Ebenso wird für beide angemerkt: *„Der Korrosionsschutz für ein in den Beton eingebettetes, auf Zug beanspruchtes Tragglied hängt nicht davon ab, ob das Tragglied zur Verankerung oder als Pfahl angewendet wird, sondern lediglich von der Größe der Zugspannungen im Tragglied“* (ÖNORM EN 14199, 2016, S. 22; ÖNORM EN 14490, 2010, S. 29). Bei Verpressankern hingegen muss der Korrosionsschutz für die jeweiligen Bereiche, wie sie in Kapitel 2.2.1 erklärt sind, separiert betrachtet werden. Wird die Methode der reinen Einkapselung des Stahlzugglieds über die gesamte Länge des Ankers angewandt, muss garantiert sein, dass die freie Länge des Stahlzugglieds ungezwungen ist. Normativ ist ein einfacher Korrosionsschutz mittels Einkapselung des Zugglieds nur dann zulässig, wenn dies für Kurzzeitanker bzw. vorübergehenden Korrosionsschutz angedacht und die Umgebung nicht aggressiv ist (vgl. ÖNORM EN 1537, 2015, S. 17).

Nachfolgend, in Abb. 13, dargestellt ist ein Mikropfahl (ANP – SAS550) mit einfachem Korrosionsschutz in Form einer Einkapselung (GCP) inklusive Aufbau, Bestandteilen und der Mindestzementmörtelüberdeckung laut Zulassung. Ebenso wird in der Zulassung angemerkt: „Der Korrosionsschutz des Dauerpfahles wird durch Einkapselung in einen Verpresskörper mit ausreichender Zementmörtelüberdeckung erreicht. In Abhängigkeit von den Bodenklassen wird auf der Grundlage einschlägiger europäischer geotechnischer Normen eine erforderliche Zementmörtelüberdeckung festgelegt. Die Rissbreiten unter Zugbeanspruchung sind dabei mit $\leq 0,2$ mm begrenzt.“ (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b, S. 14)

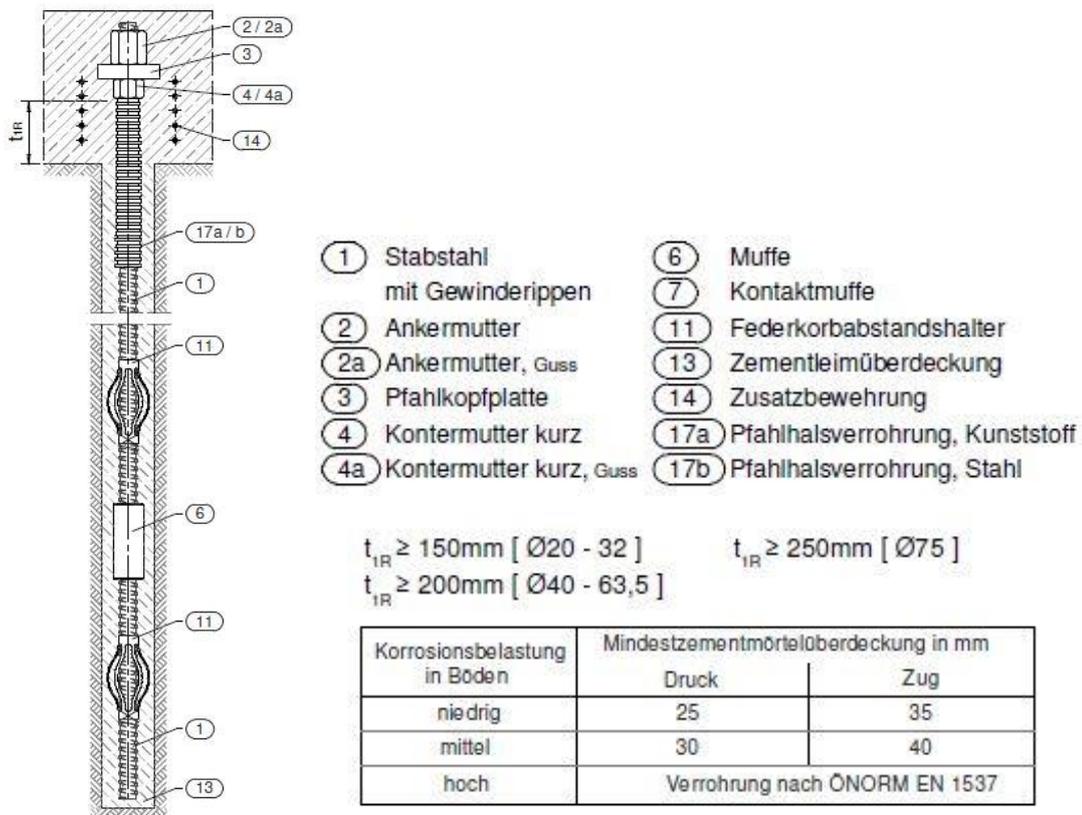


Abb. 13: Schemazeichnung Dauerpfahl SAS 550 mit GCP lt. Zulassung (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b; Anlage 3)

Der in Abb. 13 dargestellte Aufbau eines Korrosionsschutzes mittels GCP ist dabei ident zu den anderen in Kapitel 3.2.2.1 angeführten und beschriebenen Korrosionsschutzmaßnahmen.

3.2.2.2 DCP – Doppelter Korrosionsschutz

Doppelter Korrosionsschutz findet seine Anwendung meist bei Verpressankern, kann in seinem grundlegenden System aber auch für andere Zuelemente in der Geotechnik eingesetzt werden. Wie der Name dieser Korrosionsschutzmethode bereits andeutet, wird ein doppelter Korrosionsschutz einerseits durch eine Einkapselung, vergleichbar mit GCP erreicht, welche zusätzlich mit einer weiteren Umhüllung ergänzt wird.

„Gemäß ÖNORM EN 1537:2015, Nationales Vorwort, ist der doppelte Korrosionsschutz für Spannstahl im Bereich von Verankerungstrecken in der Regel durch Zementstein von mindestens 5 mm Dicke innerhalb eines Schutzmantels (Hüllrohr) aus korrosionsbeständigem, mechanisch widerstandsfähigem und dichtem Material und einer Zementsteinüberdeckung außerhalb des Schutzmantels von mindestens 10 mm gegeben. Der Schutzmantel darf z.B. aus einem Kunststoff-Wellrohr mit einer Dicke von mindestens 1 mm oder Gleichwertigem bestehen. Sonstige tragende Stahlteile sind zusätzlich zur Zementsteinüberdeckung von 10 mm mit einem Korrosionsschutz zu versehen. Der Schutzmantel darf beim Spannen nicht beschädigt werden und muss geeignet sein, die Scherkräfte der Verankerungslänge zu übertragen.“ (ÖNORM B 4456 (Entwurf - Stand 07.09.2020))

Nicht derart explizit und nicht unter dem Namen ‚doppelter Korrosionsschutz‘ wird diese Korrosionsschutzmethode in anderen Normen beschrieben. ÖNORM EN 14490 (2010, S. 40) zeigt einen möglichen Korrosionsschutz mit Hilfe eines Kunststoffhüllrohres, verfüllt mit Verpressmittel.

Nachfolgend, in Abb. 14, ist der Aufbau eines Mikropfahls (ANP – SAS 550) mit doppeltem Korrosionsschutz dargestellt.

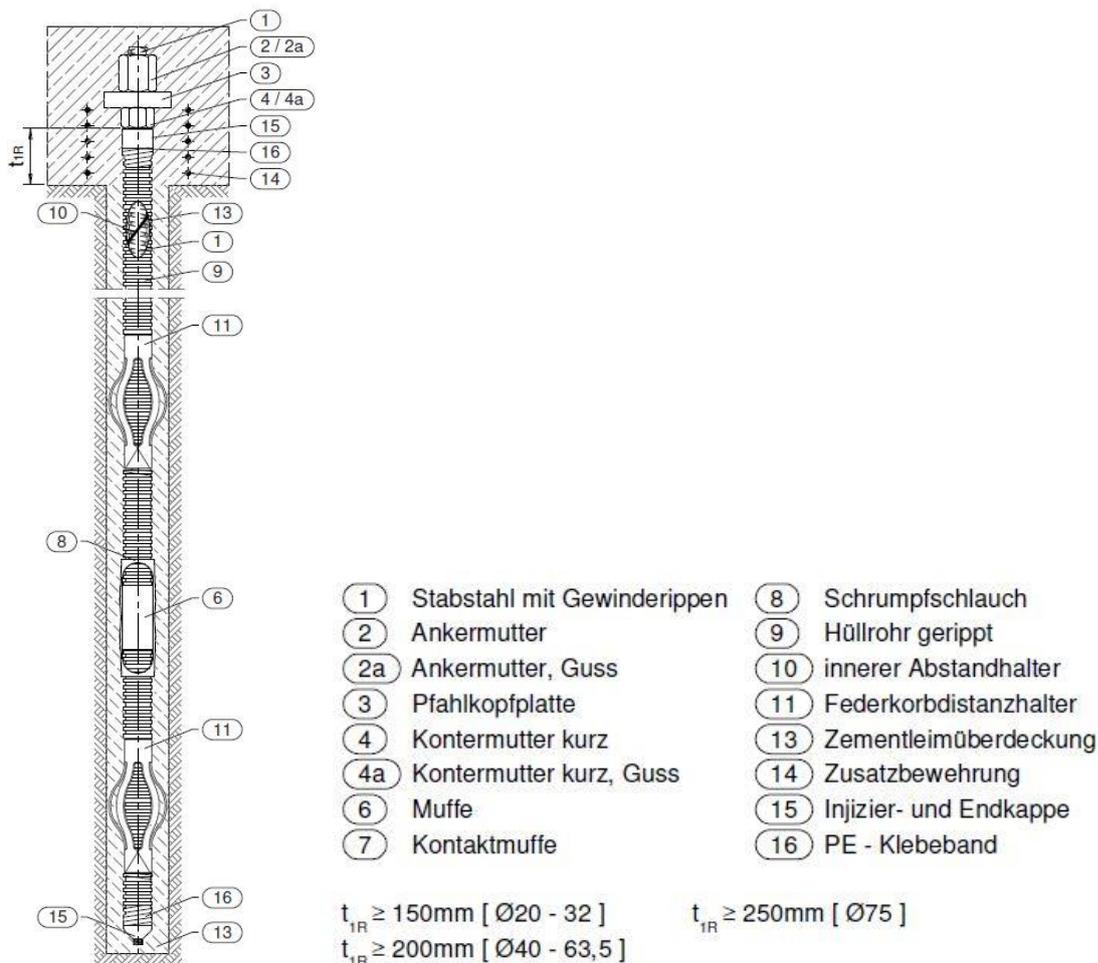


Abb. 14: Schemazeichnung Dauerpfahl SAS 550 mit DCP lt. Zulassung (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b; Anlage 4)

3.2.2.3 MCP – Materialbedingter Korrosionsschutz

Neben passiven Maßnahmen zum Korrosionsschutz welche entweder mittels Überdimensionierung eine gewisse Abrostung zulassen oder ein – zeitlich eingeschränktes oder dauerhaftes – Fernhalten von Korrosionsauslösern erzielen, bedient sich das Bauwesen immer öfter nichtrostender Materialien. Eine derartige Korrosionsschutzmaßnahme wird in der in Ausarbeitung befindlichen ÖNORM B 4456 (Entwurf - Stand 07.09.2020) als materialbedingter Korrosionsschutz (MCP - material related corrosion protection) bezeichnet. Spezialstähle, welche durch Legierungsverfahren in manchen Eigenschaften optimiert werden können, eignen sich durch voranschreitende Materialtechnologie immer häufiger als Baustähle. So sind unterschiedliche Stähle verfügbar, welche durch erhöhte Chromanteile einen höheren Korrosionswiderstand und dadurch eine wesentlich längere Lebensdauer aufweisen. Der Einsatz dieser Bewehrungsstähle eignet sich laut Hersteller auch für die Geotechnik (vgl. SCHMOLZ + BICKENBACH AG - Swiss Steel AG, 2020). Neben legierten Stählen entsprechen auch andere Materialien, wie z.B. glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), den Anforderungen an MCP und sind für den Einsatz in der Geotechnik verfügbar (vgl. Minova International Ltd, 2020a). Bei der Verwendung dieser Materialien als Tragglied ist jedoch immer auf deren Anwendbarkeit zu achten. Zum einen betrifft dies das Verbundverhalten mit dem Verpresskörper und zum anderen müssen bestimmte Tragglieder (z.B. Nägel) auch Querkräfte aufnehmen können. Aus diesem Grund sind – sich spröde oder wenig duktil verhaltende – Baustoffe wie GFK oder CFK (kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe) im Regelfall auf rein zugbeanspruchte Bauteile beschränkt. Neben dem Einsatz von nicht korrodierenden Traggliedern wäre jedoch auch der Einsatz von dichten und dauerhaften Verpress- und Verfüllmitteln, wie beispielsweise Kunststoffen oder Polymeren, möglich. Beispiele hierfür sind Klebeanker, welche im Tunnelbau zum Einsatz kommen (vgl. Minova International Ltd, 2020b). Diesen steht jedoch zum einen die Einbringbarkeit (z.B. Verarbeitungszeit, Erfordernis einer verrohrten Bohrung) und zum anderen der oftmals hohe Materialpreis mit den Anforderungen im Widerspruch.

3.3 Korrosionsschutz bei Zuelementen

Wie die obigen Ausführungen zur Korrosion und im Speziellen der Randbedingungen zur Korrosion bei Zuelementen zeigen, sind hier in der Planung und dem Entwurf einer geotechnischen Maßnahme eine Vielzahl an Effekten und Einflüssen zu beachten. Dies spiegelt sich auch in den unterschiedlichen, zur Verfügung stehenden und anwendbaren Korrosionsschutzmaßnahmen wider, welche neben den Anforderungen an die Korrosion zudem die baupraktischen Randbedingungen berücksichtigen müssen.

4 Betonbautechnische Hintergründe

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Einblick in die Thematik der Rissbreitenberechnungen im Betonbau. Auf diesen Bereich wird näher eingegangen, da wie in den Kapiteln zum Korrosionsschutz (vgl. Kapitel 3) beschrieben, trotz der Verwendung von Korrosionsschutzmaßnahmen eine Korrosionsschädigung vor allem im Bereich von Rissen stattfinden kann. Die nachfolgenden Ausführungen sollen jedoch lediglich einen Abriss der wichtigsten Grundlagen geben. Vertiefte Ausführungen hierzu sind in Literaturen wie Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (2016); Empelmann und Waldemar (2015) sowie Zilch und Zehetmaier (2010) zu finden.

4.1 Grundlagen zur Rissentstehung

Wie bereits mehrfach in vorhergehenden Kapiteln erwähnt, werden beim Verbund von Beton und Stahl zwei wesentliche Baustoffeigenschaften kombiniert:

- die verhältnismäßig hohe Druckfestigkeit (jedoch geringe Zugfestigkeit) in Zusammenhang mit einfacher Verarbeitbarkeit und Formgebung von Beton bzw. von Verpressgut, sowie
- eine hohe, größtenteils elastische, Zugfestigkeit von Stahl.

Durch das Kombinieren dieser Eigenschaften in ein Tragelement kann dieses einerseits über das Verpressgut große Druckkräfte, andererseits über das Stahlzugglied auch große Zugkräfte aufnehmen und in den Untergrund ableiten. Wird dieses Verhalten bei Zugelementen in der Geotechnik genauer betrachtet, ist vor allem das Verhalten des Bauteils bei Zugbeanspruchung, also einer Aufnahme der Kraft vom Stahlzugglied, maßgebend. Durch die – von den Materialeigenschaften bedingten – unterschiedlichen Arbeitslinien der beiden Werkstoffe Stahl und Beton (bzw. Verpressgut) ist eine Rissbildung im Verpresskörper bei einer elastischen Dehnung des Stahls ein bekannter und unausweichlicher Vorgang bei Zug- bzw. Biegebeanspruchung.

Wird ein Verbundkörper einer solchen Belastung ausgesetzt, so lassen sich – abhängig von der Beanspruchungsgröße – drei Zustände unterscheiden. Beginnend mit einer sehr geringen Beanspruchung, ohne ein Reißen der Betonzugzone zu erwirken, spricht man von Zustand I. Bei einer Laststeigerung entwickelt sich nach einer bestimmten Belastung eine komplett gerissene Betonzugzone, dies entspricht Zustand II. Wird die Laststeigerung bis zur Fließgrenze des Stahls fortgesetzt, ist von Zustand III zu sprechen. Der im Betonbau übliche Fall einer Rissentwicklung entspricht Zustand II (vgl. Kaufmann, 2017, S. 3–6). Erst in Zustand II kann im Allgemeinen von einer wirtschaftlichen betonbautechnischen Konstruktion gesprochen werden.

Für eine genauere Betrachtung und ein besseres Verständnis müssen die reine Zugbeanspruchung sowie die Biege- oder auch Biegezug-Beanspruchung getrennt betrachtet werden.

4.2 Reine (zentrische) Zugbeanspruchung

Wird ein Stahlbetonkörper unter reiner Zugbeanspruchung belastet, so gilt im Zustand I grundsätzlich die Verformungskompatibilität mit

$$\varepsilon_S = \varepsilon_C, \quad (1)$$

welche eine identische Dehnung des Stahls und des Betons voraussetzt und somit keine Rissentstehung zulässt. Um Zustand II zu erreichen, muss die Anrisskraft (F_A) im Verpresskörper, welche sich aus

$$F_A = A_C * f_{c,t,eff} \quad (2)$$

mit:

A_C Betonzugfläche

ergibt, überwunden werden. Unabhängig vom Querschnitt, tritt also nach Überschreitung der Betonzugfestigkeit ($f_{c,t,eff}$) der erste Riss an der schwächsten (bzw. der am höchsten beanspruchten) Stelle des Stahlbetonkörpers auf. Bei ansteigender Last folgen weitere Risse, jeweils nach Erreichen der Betonzugfestigkeit. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis ein abgeschlossenes Rissbild entstanden ist und sich in weiterer Folge eine reine Stahldehnung fortsetzt (sh. Abb. 15). Unter der Annahme eines konstanten Querschnitts und konstanten Werkstoffeigenschaften des Verpressguts, und somit keiner gezwungenen Rissbildung an einer Stelle, sollte der Rissabstand ($2 \cdot l_{es}$) der einzelnen Risse einen konstanten Wert annehmen. Nach der abgeschlossenen Rissbildung ist im System eine abweichende Verformungskompatibilität gegeben (vgl. Baumgart, 2020):

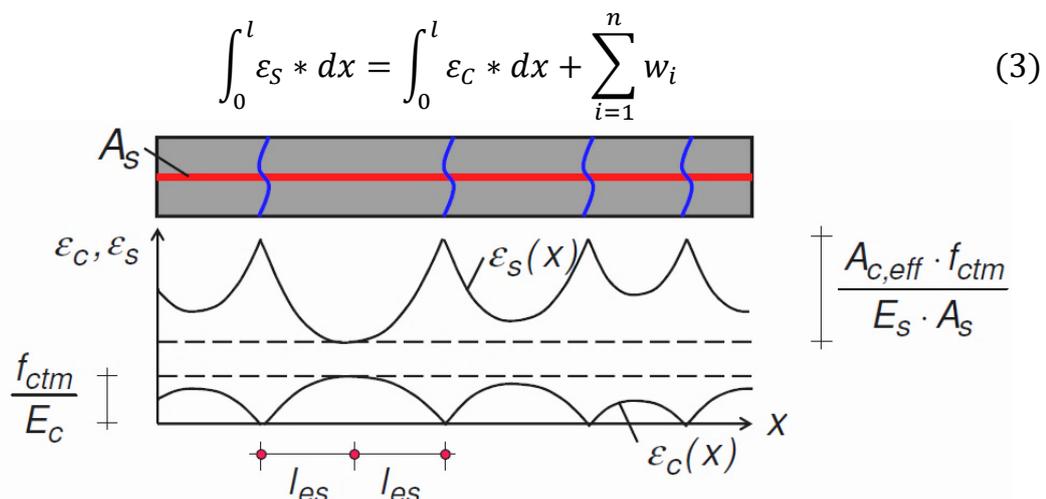


Abb. 15: Schematischer Dehnungsverlauf bei abgeschlossenem Rissbild (Schlicke, 2017)

mit:

w	.....	Rissbreite
A_s	.....	Fläche des Stahlzugliedes
$f_{c,t,m}$	.....	mittlere Betonzugfestigkeit
A_s	.....	Fläche des Stahlzugliedes
E	.....	E-Modul des Materials

Daraus lässt sich anschließend ein maximaler Rissabstand $s_{r,max}$ und eine mittlere Dehnungsdifferenz von Stahl und Beton ermitteln:

$$s_{r,max} = 2 * l_{es} = 2 * \frac{A_c * f_{c,t,m}}{\tau_{sm} * U_s} \quad (4)$$

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s}{E_s} - 0,6 * \frac{f_{c,t,m}}{E_s * \rho_{s,eff}} * (1 + \alpha_e * \rho_{s,eff}) \quad (5)$$

und

$$\rho_{s,eff} = \frac{A_s}{A_c} \text{ und } \alpha_e = \frac{E_s}{E_c} \quad (6)$$

mit:

τ_{sm}	.....	mittlere Verbundspannung
U_s	.....	Umfang des Stahlzugliedes
σ_s	.....	Stahlspannung
$\rho_{s,eff}$	.....	effektiver Bewehrungsgrad
α_e	.....	Verhältnis der E-Moduln

Mit diesen Zusammenhängen und der jeweiligen Verbundspannung eines Verpresskörpers mit dem Stahlzugglied kann wie folgt die Rissbreitengleichung formuliert werden (vgl. Schlicke, 2017):

$$w_k = s_{r,max} * (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (7)$$

$$w_k = 2 * \frac{A_c * f_{c,t,m}}{\tau_{sm} * U_s} * \left[\frac{\sigma_s}{E_s} - 0,6 * \frac{f_{c,t,m}}{E_s * \rho_{s,eff}} * (1 + \alpha_e * \rho_{s,eff}) \right] \quad (8)$$

Die Verbundspannung wiederum steht generell in Abhängigkeit der Betongüte sowie des verwendeten Stahlzugliedes. Für die im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführten Laboruntersuchungen merkt die entsprechende Zulassung an: „Bei einem Verpressmörtel mit einer Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ ist eine charakteristische Verbundspannung von 6 N/mm^2 anzusetzen.“ (ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b, S. 12)

4.3 Biegezugbeanspruchung

Bei einer kombinierten Beanspruchung von Biegung und Zug können die Überlegungen aus Kapitel 4.2 nicht in direkter Form übernommen werden. Zu dieser Thematik, also der Rissentwicklung von einem in dieser Arbeit behandelten geotechnischen Zugelement, mit der dafür üblichen Bewehrungsart, nämlich einem zentrischen Stahlzugglied, unter Biegezugbeanspruchung sind weitere Überlegungen notwendig. Aufgrund der Moment-Normalkraft-Interaktion sowie eines späten zur Geltung Kommens des Stahlzuggliedes für die entstehenden Kräfte durch Biegung ist keine Erstellung eines – verhältnismäßig einfachen – analytischen Modells möglich.

4.4 Rissbreitenbeschränkung bei Zugelementen

Wie die beiden obigen Ausführungen zu Zugkraft- und Biegebeanspruchung zeigen, ist der Nachweis einer Rissbreitenbeschränkung bei Mikropfählen mit einer Vielzahl an Einschränkungen verbunden. Diese werden nachfolgend kurz zusammengefasst bzw. diskutiert:

- Entgegen des klassischen Betonbaus befindet sich das Zugelement (die Bewehrung) zentrisch im Querschnitt und nicht – wie bei biegebeanspruchten Elementen üblich – in der entstehenden Betonzugzone;
- Der Verbund zwischen dem Zugelement und dem Verpresskörper kann auf Grund der unterschiedlichen Gewindeformen stark von jenem einer klassischen Bewehrung abweichen;
- Eine mögliche Inhomogenität sowohl des Materials als auch der Geometrie muss in der Ermittlung der Rissbreiten berücksichtigt werden können;
- Der Einfluss des Bodens auf den Spannungszustand des Verpresskörpers und damit dem Verbund sowie die Rissbildung ist aktuell nicht bekannt, bzw. sind hierzu lediglich unzureichende mechanische Modelle vorhanden.

Es sollten hierzu erweiterte Überlegungen wie beispielsweise eine FE-Analyse, eine Starrkörperverdrehung u.ä. durchgeführt werden, um die oben angeführten Fragestellungen näher zu erläutern. Hierzu sollten neben den Anforderungen aus dem Betonbau auch die Randbedingungen des Untergrundes mitberücksichtigt werden, um ein schlüssiges und vollständiges Abbild dieser Problemstellung zu ermöglichen. Derartige Ausführungen sind jedoch nicht Teil dieser Arbeit, wurden hier jedoch angeführt, da sie im Zuge der Erarbeitungen der Inhalte dieser Arbeit kurz betrachtet wurden.

5 Versuchsaufbau des Laborversuchs

Nachfolgend wird der Versuchsaufbau für die, in Kapitel 1 bereits kurz erwähnten, Laborversuche näher erläutert. Dafür wird einleitend das Ziel der Laborversuche beschrieben sowie die dafür verwendeten Versuchskörper und die Prüfkonstruktion detailliert erklärt. Darauffolgend werden Ergebnisse einer durchgeführten Voruntersuchung dargestellt und aufbereitet.

Die Ergebnisse der Versuchsdurchführung sind in den nachfolgenden Kapiteln, 6 sowie 7, veranschaulicht.

5.1 Ziel des Laborversuchs

Wie bereits vorab erwähnt und im Titel der Arbeit beschrieben, ist der Grundgedanke dieser Arbeit, mit Hilfe eines Laborversuches eine Aussage über das Rissbild sowie das Rissverhalten von Verpresskörpern bei geotechnischen Zugelementen treffen zu können.

Die Laborversuche erfolgten mittels Versuchskörpern, welche in einem Prüfraumen eingebaut wurden. Der Rahmen ermöglicht eine zentrische Zugbeanspruchung sowie die Beaufschlagung der Versuchskörper durch eine Biegebeanspruchung mittels Querkrafteinleitung. Durch die Testung dieser Prüfkörper werden die Risse, welche sich nach den Grundlagen des Betonbaus, wie in Kapitel 4 beschrieben, zuerst an einzelnen Stellen entlang des Prüfkörpers ausbilden und nach der abgeschlossenen Rissbildung mit zunehmender Kraft vergrößern, unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet. So werden einerseits die an der Oberfläche erkennbaren Risse (bzw. deren Rissbreite) dokumentiert und fotografisch festgehalten (sh. Anhang 3 – Bilder zum Laborversuch), andererseits werden computertomographische Scans der Prüfkörper unter unterschiedlichen Beanspruchungsniveaus vorgenommen und dabei die im Inneren des Verpresskörpers stattfindende Rissentwicklung analysiert (sh. Anhang 2 - CT-Bilder).

Dies soll einerseits eine grundsätzliche Machbarkeitsstudie der Rissbeobachtung mittels eines Computertomographen darstellen, vor allem aber die Frage beantworten, ob mittels einfachen analytischen Methoden eine maximale Rissbreite bestimmt werden kann und inwiefern sich die Rissbilder für verschiedene Korrosionsschutzmaßnahmen (vgl. Kapitel 3.2.2) unterscheiden. Dafür werden im Zuge der Versuche normativ definierte Festigkeitsprüfungen von Rückstellproben zu sämtlichen Probekörpern durchgeführt, um mit Hilfe der Festigkeitswerte des Verpressguts, des Stahlzugglieds und den Erkenntnissen der oberflächennahen Rissbreite sowie der Rissentwicklung im Inneren des Verpresskörpers die eben formulierte Fragestellungen bestmöglich beantworten zu können.

5.2 Versuchskörper

Die für diese Arbeit verwendeten Versuchskörper wurden alle unter Laborbedingungen hergestellt und ähneln somit, vor allem hinsichtlich ihrer Geometrie und Oberfläche, nur bedingt einem real im Baugrund hergestellten, mit einem mehr oder weniger unregelmäßig mittels Mörtel umhüllten Zugelement. Wobei bei den hier vorliegenden Versuchskörpern von einer höheren und gleichmäßigeren Qualität des Verpressguts und auch einer gleichmäßigeren Überdeckung der Zugelemente ausgegangen werden kann, als dies unter baupraktischen Bedingungen der Fall ist. Die für die Laborversuche herangezogenen Prüfkörper können in drei unterschiedliche Chargen (V1, V2 und V3) mit unterschiedlichen Herstellungsdaten unterteilt werden, wobei die erste Charge lediglich die Herstellung eines einzelnen Prüfkörpers mit der Prüfkörperbezeichnung V1_DAT_GCP_01 beinhaltet, welcher ausschließlich für Voruntersuchungen und zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit des Prüfrahmens herangezogen wurde. Dadurch konnte in weiterer Folge ein reibungsloser Ablauf der darauffolgenden Untersuchungen garantiert werden. Daher werden in den nachfolgenden Kapiteln nur zwei der Chargen (V2_DAT_XXX_Y & V3_DAT_XXX_Y) für eine qualitative Untersuchung herangezogen.

Untersucht und getestet wurden zwei unterschiedliche Arten von Korrosionsschutzmaßnahmen bei Mikropfählen. Hierbei wurden zum einen Mikropfähle mit einfachem Korrosionsschutz (SCP – GCP vgl. Kapitel 3.2.2.1) und zum anderen Mikropfähle mit doppeltem Korrosionsschutz, in Form eines DCP (vgl. Kapitel 3.2.2.2) untersucht. Quer- und Längsschnitte beider Varianten sind in Abb. 16 dargestellt.

Für den Prüfkörperaufbau wurde das grundlegende System ANP – Mikropfahl SAS 550 nach der Zulassung der Firma *ANP-SYSTEMS* gewählt (vgl. ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b), siehe Anhang 4 - Zulassungen. Ebenso wurden die für die Versuche herangezogenen Prüfkörper von der Firma *ANP-SYSTEMS* hergestellt und für die Versuchsdurchführung zur Verfügung gestellt. Als Tragglied des Versuchskörpers wurde ein Betonstahl SAS 550 (Vollstab) mit Gewinderippen (kurz: GEWI) und einem Nenndurchmesser von 28 mm eingesetzt. Das Verpressgut wurde in die stehende Schalung mit einem Innendurchmesser DN100 eingepresst. Aufgrund von Erkenntnissen hinsichtlich der Korrosionsproblematik in der Nähe der Abstandhalter, welche, in einer parallel laufenden Masterarbeit gewonnen wurden (vgl. Hehn (2021)) erfolgte die Zentrierung der Schalung zum Tragglied ohne innere Abstandhalter. Resultierend aus der Schalform ergibt sich, wie in Abb. 16 ersichtlich, ein kreisförmiger Verpresskörper mit einer Stärke von 36 mm um das Tragglied. Die Länge des Verpresskörpers war mit 600 mm gewählt, um das Gewicht sowie die Gesamtabmessungen des Prüfkörpers und somit der gesamten Prüfkonstruktion niedrig zu halten. Dieser Faktor war, wie auch im nachfolgenden Kapitel

beschrieben, im Sinne der Prüfbarkeit in einem Computertomographen ein grundlegender Aspekt bei der Versuchsplanung.

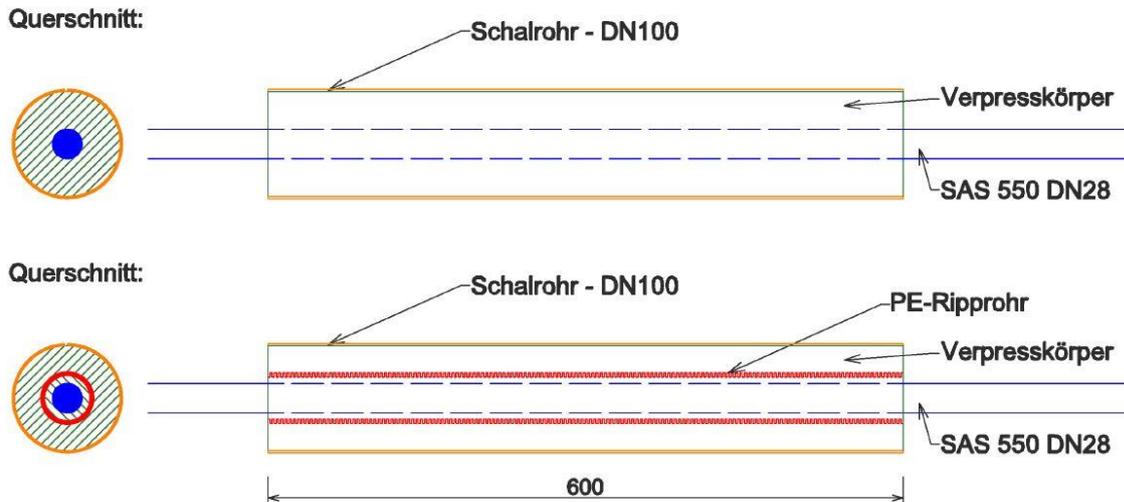


Abb. 16: Schematische Prüfkörper für Laborversuche GCP (oben) – DCP (unten)

Der detaillierte Herstellungsplan der Prüfkörper ist in Anhang 1 - Planunterlagen zu finden.

5.3 Prüfraumen und Pressen

Neben dem Versuchskörper wurde auch ein eigens geplanter und angefertigter Prüfraumen (sh. Abb. 17) eingesetzt, welcher einerseits die entstehenden Belastungen durch die Spannvorgänge bei den Laborprüfungen aufnehmen konnte, aber auch in Dimension und Gewicht den an die Konstruktion gestellten Anforderungen entsprach. Eine Voraussetzung für den Scanvorgang in einem Computertomographen war eine unkomplizierte Mobilität der gesamten Apparatur sowie die Möglichkeit des Anhebens und lagegenauen Positionierens des Versuchsaufbaus auf der CT-Liege. Der Stahlrahmen der Prüfkonstruktion (in Abb. 17 blau dargestellt) setzt sich aus zwei annähernd quadratischen Endlagern (sh. Abb. 17 - S1&S3) sowie einem Mittellager (sh. Abb. 17 - S2) zusammen, welches die Knicklänge der vier Druckstäbe DN20 (sh. Abb. 17 – A4) verkürzt und zusätzlich eine Auflagefläche der mittig am Verpresskörper angebrachten Querkraftpresse (sh. Abb. 17 – P2) darstellt.

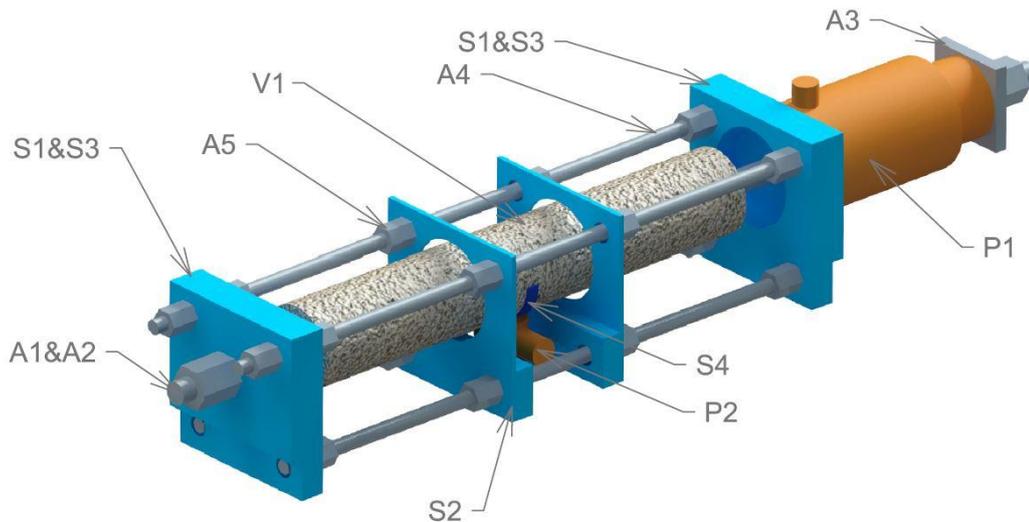


Abb. 17: 3D Darstellung des Prüfrahmens inkl. Verpresskörper und Pressen

Zusätzlich zur bereits erwähnten Querkraftpresse wurde an der Rückseite des Prüfrahmens eine Axialpresse (sh. Abb. 17 – P1), welche der Einleitung der Normalkraft in den Versuchskörper diente, angebracht. Beide Pressen wurden über ein Hydrauliksystem und einen Ventilregler mit der Hydraulikpumpe verbunden und konnten getrennt voneinander angesteuert werden. Nachfolgend werden die beiden Pressen und deren Spezifikationen ausführlicher beschrieben. Zulassungen zu den jeweiligen Hydraulikpressen sind dem Anhang 4 - Zulassungen zu entnehmen.

- **Axialpresse Enerpac RACH302 (Enerpac Tool Group, 2020(a))**

Als Axialpresse wurde eine Hohlkolbenpresse mit einem maximal möglichen Betriebsdruck von 700 bar eingesetzt. Da der gewählte Versuchskörper mit einer Streckgrenze von 340 kN limitiert ist (vgl. ANP - SYSTEMS GMBH, 2016b), begrenzt sich dahingehend auch der maximal aufzubringende Betriebsdruck der RACH302 auf 34 Tonnen bzw. 665 bar. Aufgrund der passgenauen Einspannmöglichkeit des Versuchskörpers durch die Kopfplatte (sh. Abb. 17 – A3) und Anker Mutter, ist die maximal mögliche Hubhöhe der RACH302 von 50 mm ausreichend. Um von der jeweilig resultierenden Kraft der einzelnen Laststufen eines Spannvorganges auf den erforderlichen Öldruck schließen zu können, musste der Öldruck über die wirksame Zylinderfläche der jeweiligen Presse in eine Kraft umgerechnet werden. Diese Umrechnungstabelle zwischen Kraft [kN] und zwei Druckeinheiten [bar] bzw. [psi] ist nachfolgend dargestellt.

Tab. 1: Umrechnung zwischen [kN], [bar] und [psi] für die Axialpresse

ENERPAC - RACH 302 (Axial)									
						25%			
[kN]	1	5	10	20	50	85	100	125	150
[bar]	2	10	20	39	98	166	196	245	294
[psi]	28	142	284	568	1419	2413	2838	3548	4257
		50%				75%			100%
[kN]	170	200	225	255	275	300	325	340	
[bar]	333	391	440	499	538	587	636	665	
[psi]	4825	5677	6386	7238	7805	8515	9225	9650	

- **Querkraftpresse RC50 (Enerpac Tool Group, 2020(b))**

Eine wichtige Voraussetzung der Querkraftpresse war der unkomplizierte Einbau in den klein gehaltenen Prüfraumen. Dies, sowie die benötigte geringe Querkraftbelastung auf den Probekörper, ermöglichten den Einsatz einer sehr kleinen Presse mit einer eingefahrenen Gesamthöhe von 41 mm und einer maximalen Hubhöhe von 16 mm. Der bei den Versuchen aufgebrauchte Betriebsdruck entsprach bei dieser Presse nur einem Bruchteil des maximal möglichen Betriebsdrucks von 700 bar. Wie bereits für die Axialpresse beschrieben, wird nachfolgend die Umrechnungstabelle zwischen Kraft [kN] und zwei Druckeinheiten [bar] bzw. [psi] für die Querkraftpresse RC50 dargestellt.

Tab. 2: Umrechnung zwischen [kN], [bar] und [psi] für die Querkraftpresse

ENERPAC - RC 50 (Quer)									
[kN]	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7
[bar]	15	23	31	39	46	62	77	93	108
[psi]	224	336	448	560	673	897	1121	1345	1569
[kN]	8	9	10	15	20	25	30	35	40
[bar]	124	139	155	232	309	386	464	541	618
[psi]	1794	2018	2242	3363	4484	5605	6726	7847	8968

5.4 Zusammenfassung des Prüfaufbaus

Um den gesamten Umfang der Prüfapparatur deutlich darzustellen, wird in diesem Unterpunkt eine zusammenfassende Übersicht über die Prüfkonstruktion, wie sie in Abb. 18 abgebildet ist, gegeben.

Der Prüfraum aus Stahl misst in Breite und Höhe rund 200 mm, in der Länge rund 850 mm. In diesen Rahmen wird der Prüfkörper eingespannt, einseitig mit

einer Anker Mutter befestigt und auf der anderen Seite in die in Kapitel 5.3 beschriebene axiale Hohlkolbenpresse eingespannt. Zusätzlich dazu kann in der Mitte des Verpresskörpers eine Querkraftpresse angebracht werden, um den Versuchskörper zusätzlich zu einer Normalkraft auch durch eine Querkraft belasten zu können.

Der Prüfkörper selbst ist ein Verpresskörper bzw. ein Mikropfahl mit einem Außendurchmesser (Verpresskörper) von 100 mm, welcher zentrisch einen Gewindestab ummantelt. Der Verpresskörper misst eine Länge von 600 mm, wobei der GEWI-Stab aufgrund der Einbaubedingungen in den Prüfrahen und die Axialpresse eine Länge von 1250 mm besitzt.



Abb. 18: Aufgebaute Prüfkonstruktion im Labor

Zusätzlich zu den zwei verbauten Pressen wurden rund sieben Meter Hydraulikschlauch, ein Hydraulikverteiler inkl. zwei Manometer zum Steuern der jeweiligen Presse sowie eine Hydraulikpumpe – alle Komponenten mit entsprechendem maximalen Betriebsdruck – der Firma Enerpac verbaut. Die Gesamtdimensionen des zusammengebauten und eingespannten Prüfaufbaus belaufen sich folglich auf rund 20 cm in Breite und Höhe sowie 125 cm in der Länge. Abschließend kann das Gewicht der Gesamtkonstruktion inkl. Prüfkörper wie folgt aufgeteilt werden:

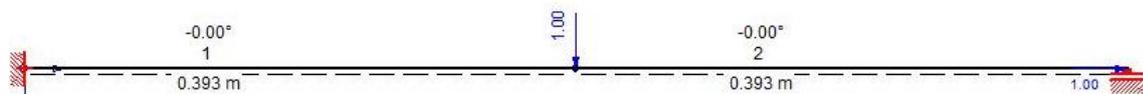
Tab. 3: Auflistung des Gewichts der Prüfkonstruktion

Bauteil	[kg]
Prüfkörper	17
Prüfrahmen (inkl. Ankermuttern)	43
RACH302	8
RC50	1
Hydraulikbauteile	6
Gesamtgewicht	75

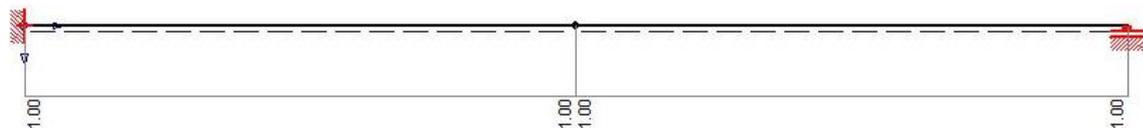
5.5 Schnittgrößen des Versuchskörpers

Nachfolgend dargestellt werden die Schnittgrößen für den Lastfall "1" unter Vernachlässigung des Eigengewichts. Für eine entsprechende Schnittkraft ist nach dem Superpositionsprinzip der Wert der in Abb. 19 dargestellten Schnittgröße mit der tatsächlich aufgebrachten Normal- bzw. Querkraft zu multiplizieren. Als statisches System wurde ein beidseitig eingespannter, auf Seite der Axialpresse horizontal frei gelagerter Stab mit einer Länge von 0,785 m gewählt. Diese Länge entspricht dem Abstand zwischen der Mitte beider Endlager.

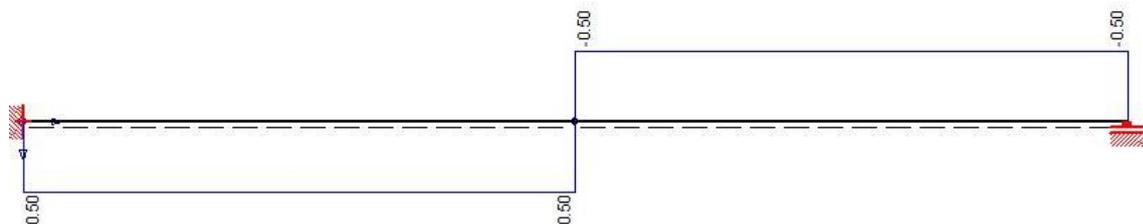
Systemdetails:



Normalkraftbild:



Querkraftbild:



Momentenverlauf:

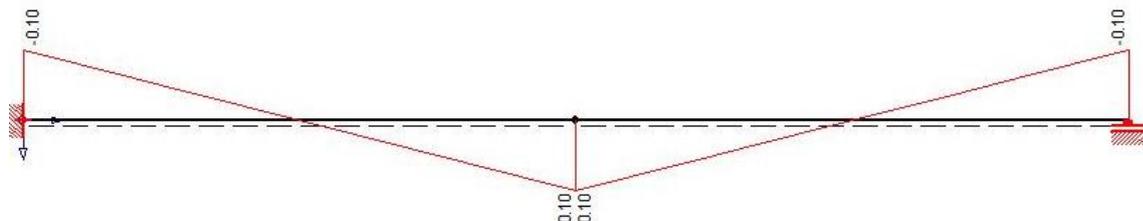


Abb. 19: Schnittgrößendarstellung für "1"-System in [kN] durch RuckZuck®

Aufgrund der Anzeigeeinstellungen des Statikprogramms sind Längenwerte, aber auch die exakte Größe der Schnittkräfte, teils nicht exakt dargestellt und werden aus diesem Grund noch tabellarisch angeführt.

Tab. 4: Tabellarische Übersicht der Schnittgrößen für "1"-System

Länge Stab 1 / Länge Stab 2 [m]	Normalkraft Systemmitte [kN]	Querkraft Systemmitte [kN]	Moment Systemmitte [kNm]
0,3925 / 0,3925	+1,0	+/- 0,5	+0,0981

5.6 Ablauf der Voruntersuchung und CT-Parameter

Um einen reibungslosen Ablauf der Testungen garantieren zu können, wurde vorab ein Versuchskörper mit denselben geometrischen Eigenschaften in einem ähnlichen Verfahren wie in Kapitel 5.2 beschrieben hergestellt. Der eingefüllte Zementmörtel wurde keiner Festigkeitsbestimmung unterzogen.

Zu Beginn wurde der Versuchskörper der ersten Charge (V1_DAT_GCP_01) in den in Kapitel 5.3 beschriebenen Versuchsrahmen eingebaut und mit den Laststufen $25\% \cdot F_{\max}$, $50\% \cdot F_{\max}$, $75\% \cdot F_{\max}$ und F_{\max} belastet und beobachtet. In diesem Zuge wurde die Stabilität des Prüfrahmens bestätigt, jedoch, um die Einbaubarkeit und das Beobachten sowie Ablesen des Rissbildes bzw. der Rissbreite zu erleichtern, das Mittellager des Prüfrahmens (sh. Abb. 17 – S2) überarbeitet und durch ein neues Mittellager, wie in Abb. 20 dargestellt, getauscht.

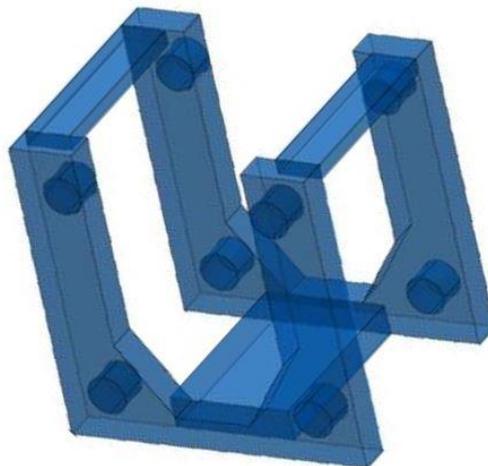


Abb. 20: Ausgetauschtes Mittellager für den Prüfrahmen

Des Weiteren konnten bei diesem ersten Schritt der Voruntersuchung die Dichtigkeit des Hydrauliksystems überprüft und etwaige undichte Anschlüsse nachgebessert werden.

Als zweiten Schritt wurde ein computertomographischer Scan in *der Privatklinik der Kreuzschwestern GmbH* in Graz, Österreich, durchgeführt. Bei diesem ersten Scan wurde die Machbarkeit sowie sämtliche mit dem Scan verbundenen Randbedingungen des Versuches überprüft. Ebenso wurde eine Feinabstimmung der CT-Parameter vorgenommen. Die für die weiteren Scans verwendeten Daten des Computertomographen werden nachfolgend angeführt:

- Verwendeter Computertomograph: Siemens Somaton Definition AS
- Verwendete Scan-Parameter:
 - Eff. mAs (effektive Milliamperesekunden): 500 mAs
 - kV (Kilovolt): 140 kV
 - Slice (Schichtdicke): 0,6 mm
 - CTDI_{vol} (Energiedosis vgl. Böning, 2018): 50,91 mGy
 - DLP (Dosislängenprodukt vgl. Böning, 2018): 3783 mGy*cm
 - Tilt (Neigung): 0,0°
 - Rotation Time (Umdrehungszeit): 1,0 s
 - Scan-Größe: 367 * 823 mm
 - Kernel (convolution algorithm): B70s very sharp

Jeder in weiterer Folge durchgeführte CT-Scan lieferte Bilder der folgenden Schnittführungen in 0,6 mm Abständen:

- Längsschnittführung horizontal (Coronal), rund 200 Bilder
- Längsschnittführung vertikal (Sagittal), rund 200 Bilder
- Querschnittführung (Transverse), rund 1000 Bilder

5.7 Voruntersuchung – Ergebnisse

Die im Zuge der Voruntersuchung erhaltenen Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Versuchskörper V1_DAT_GCP_01, welcher im Gesamtbild dieser Arbeit nicht als repräsentativ erachtet wird. Dieser soll lediglich einen Überblick über die Bewertungsmethode und die zu erwartenden Ergebnisse geben.

Die Ergebnisse der Voruntersuchung lassen sich wiederum in zwei Teilergebnisse, wie nachfolgend aufgelistet, unterteilen.

- Allgemeine bzw. augenscheinliche Ergebnisse durch Belastung des Versuchskörpers mit Normalkraft oder mit Normalkraft und Querkraftbeaufschlagung, sowie eine
- Bildauswertung der Computertomographie.

Beide Punkte werden nachfolgend präsentiert.

5.7.1 Allgemeine Ergebnisse

Die Erstrissbildung des Versuchskörpers bei Erstbelastung entstand bei etwa 70 kN Axialbelastung. Nach abgeschlossener Rissbildung konnte eine adäquate Zunahme der Rissbreiten in den entstandenen Rissen, jedoch keine bzw. quasi keine erneute Rissbildung festgestellt werden. An zwei Stellen traten in höheren Belastungsstufen Haarrissverästelungen zwischen den Rissen auf. Ein für diesen Versuchskörper repräsentativer Ausschnitt, inkl. der Haarrissverästelung, unter der Belastungsstufe $50\% \cdot F_{\max}$ ist in Abb. 21 dargestellt.



Abb. 21: Voruntersuchung – Rissentwicklung unter $50\% \cdot F_{\max}$

Für den Belastungsfall unter Zugkraft und Biegebeanspruchung ist bereits bei einer geringen Querkraft von rund 4 kN, welche einem Biegemoment von 0,39 kNm (vgl. Abb. 19) entspricht, ein – augenscheinlich – absoluter Risschluss in der Betondruckzone des Verpresskörpers festzustellen. Die Rissbreite in der Betonzugzone hingegen vergrößert sich merklich.

Ebenso musste beim Ausbau des Versuchskörpers festgestellt werden, dass bereits kleinere dynamische Belastungen, wie leichte Hammerschläge auf die Anker Mutter zum Lösen dieser, negative Folgen, wie das Sprengen des Zementkörpers bzw. das segmentierte Ablösen von Verpresskörperelementen, mit sich führte.

5.7.2 Bildauswertung der Computertomographie

Im Anschluss an die in Kapitel 5.6 beschriebene Prüfung wurde derselbe Prüfkörper (V1_DAT_GCP_01) eingebaut und mit zwei Laststufen unter reiner Zugbelastung gespannt und gescannt.

- 1. Scan: 100 kN, maximale oberflächliche Rissbreite $w_0=0,35$ mm
- 2. Scan: 200 kN, maximale oberflächliche Rissbreite $w_0=0,45$ mm

Aufgrund der großen Anzahl der aus den Scans erhaltenen Bildern, werden in diesem Kapitel nur einzelne Bilder dargestellt. Weitere, für die Auswertung verwendete Bilder sind dem Anhang 2 - CT-Bilder zu entnehmen. Um für den Lesenden eine gute Verständlichkeit der sichtbaren Merkmale in den jeweiligen Fotos zu erzielen, werden nachfolgend noch wesentliche Punkte eines Bildes veranschaulicht:

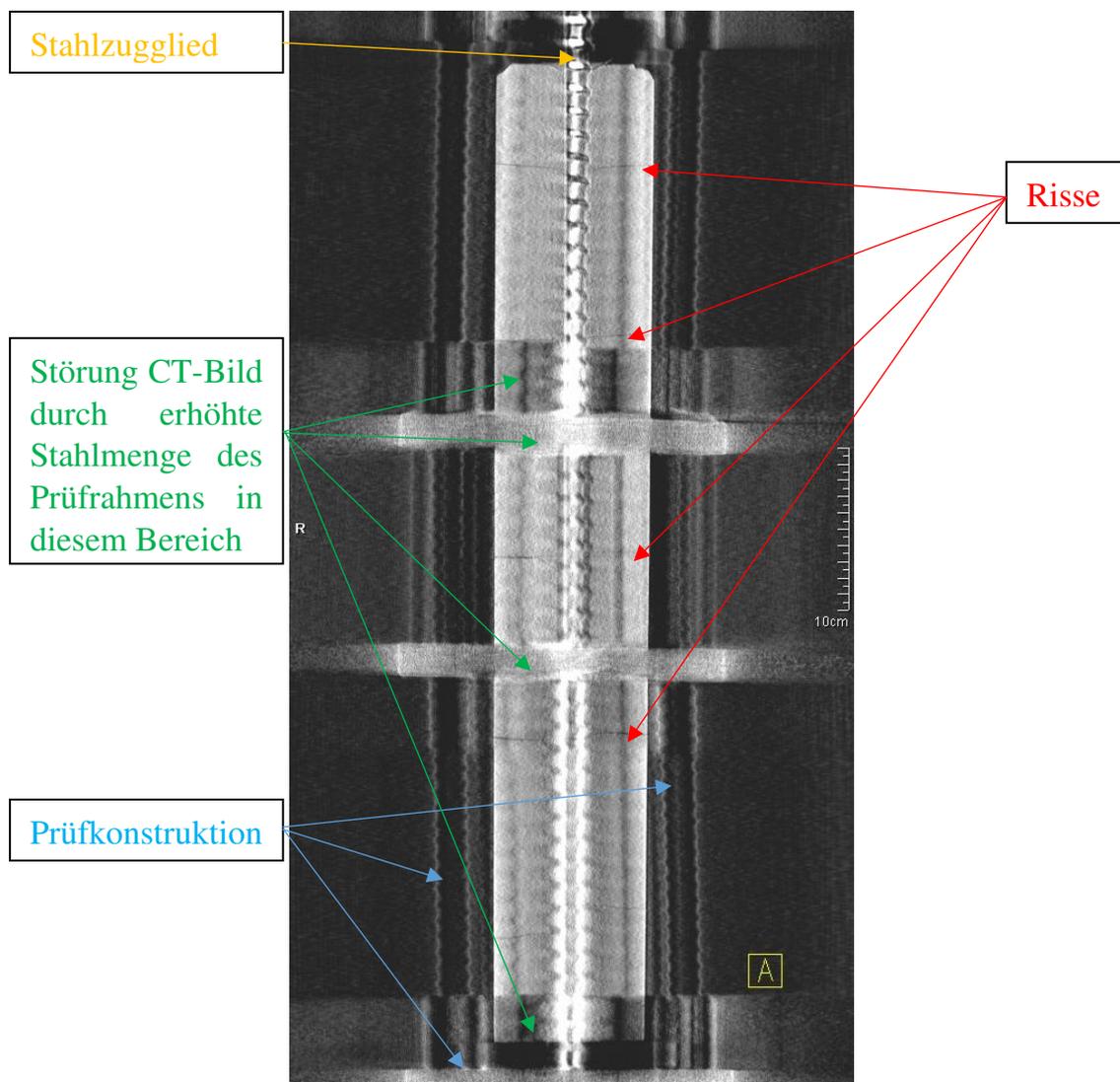
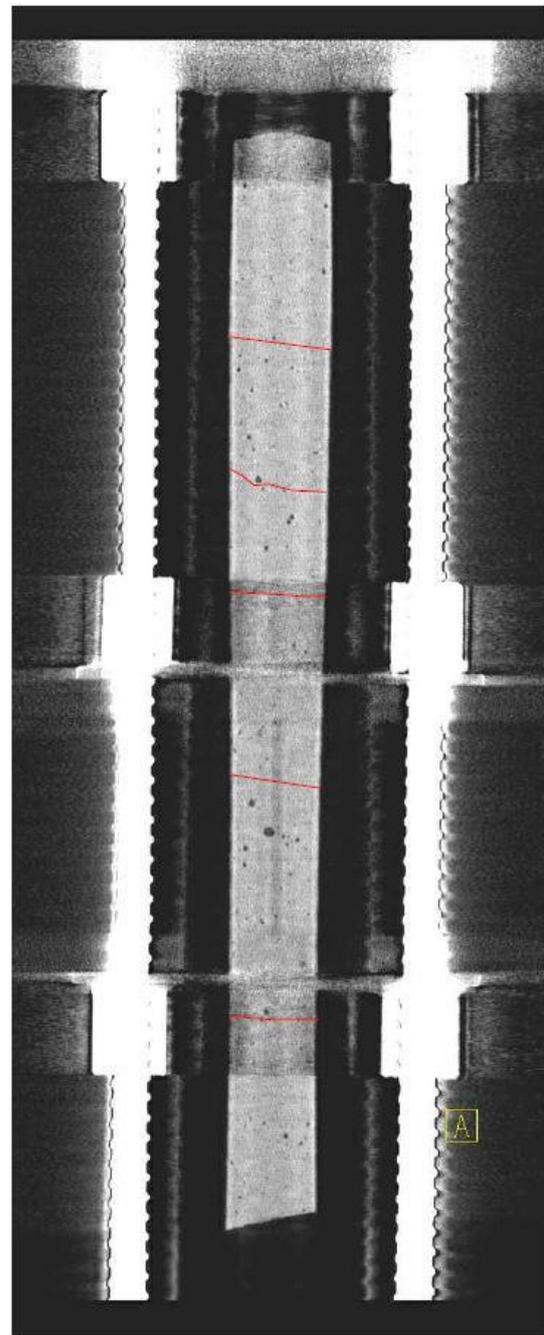
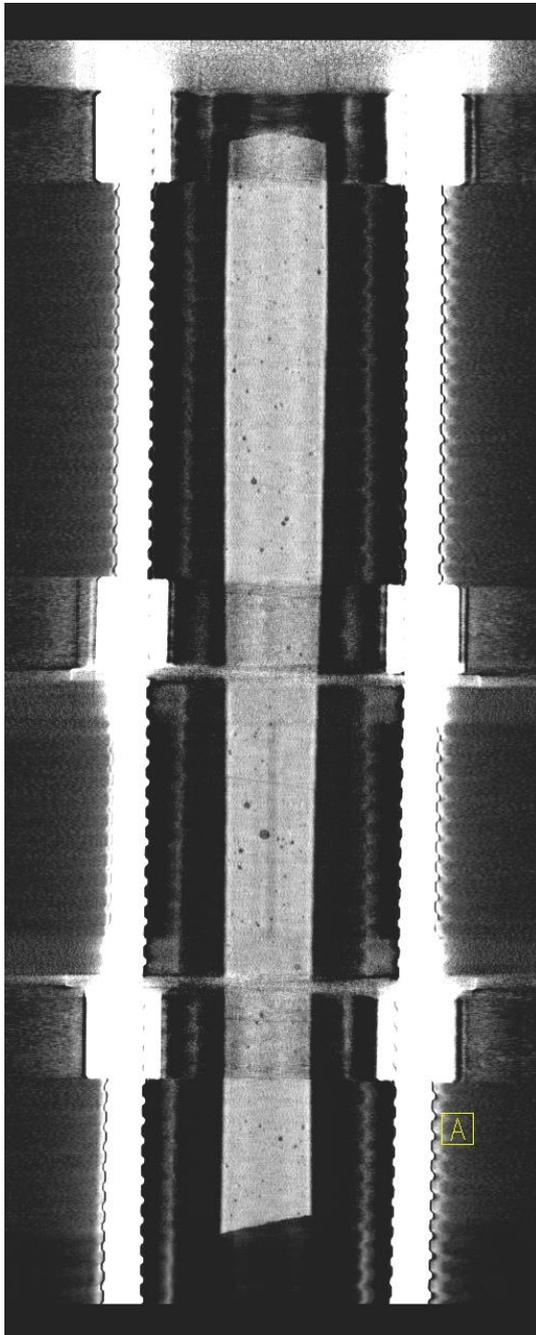


Abb. 22: Beispielbild zur Veranschaulichung einer CT-Aufnahme

In den nachfolgenden Tabellen sind jeweils zwei idente Bilder dargestellt, wobei im rechten Bild die Risse zur Veranschaulichung deutlich gekennzeichnet wurden.

Tab. 5: Auswertung CT-Bild V1_DAT_GCP_01_COR(30) – 100 kN

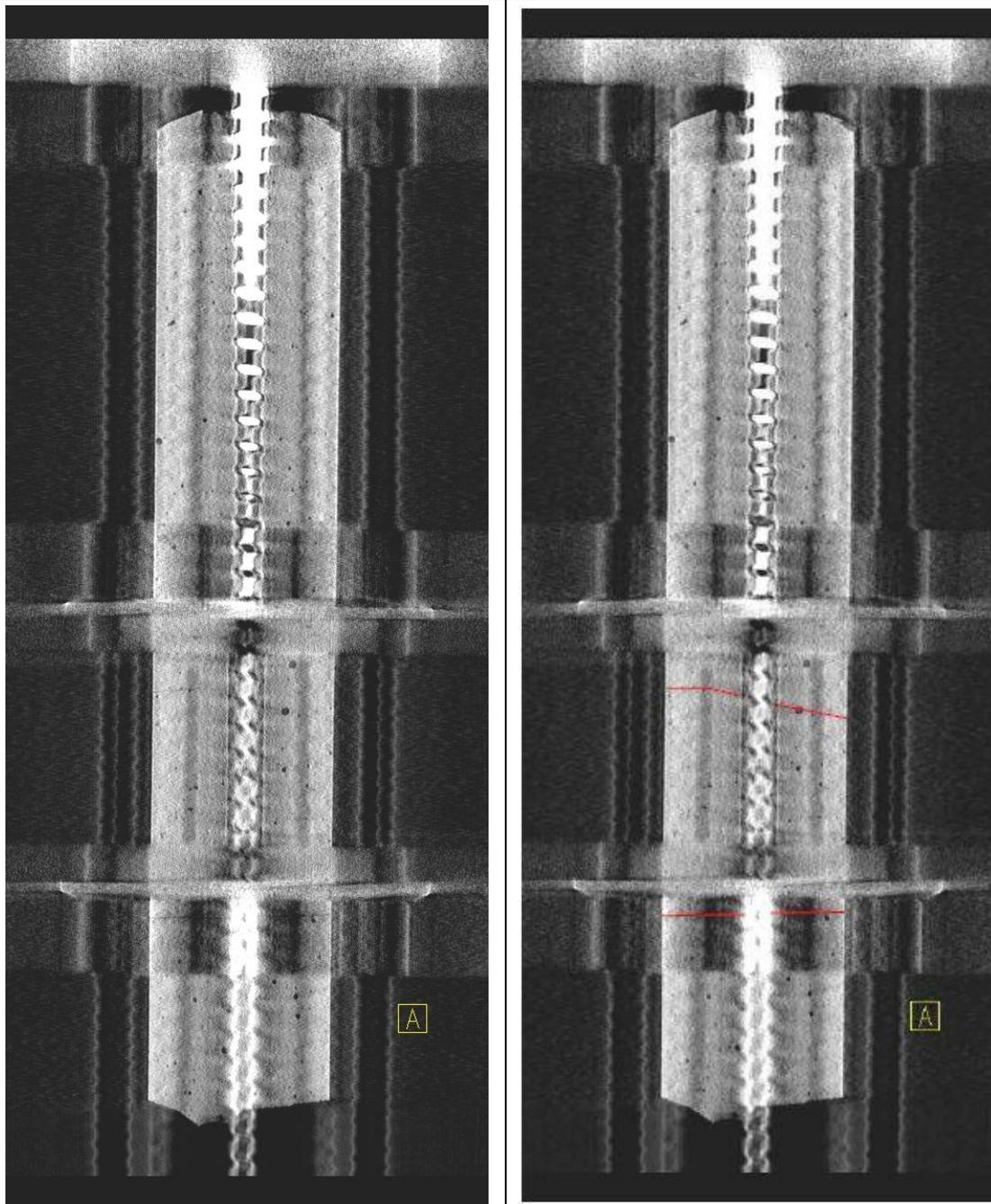
Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V1_DAT_GCP_01_COR(30) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	6,6 mm	29.10.2020

**Bewertung:**

Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung nicht möglich.
Rissbreitenbestimmung nicht möglich.

Tab. 6: Auswertung CT-Bild V1_DAT_GCP_01_COR(30) – 100 kN

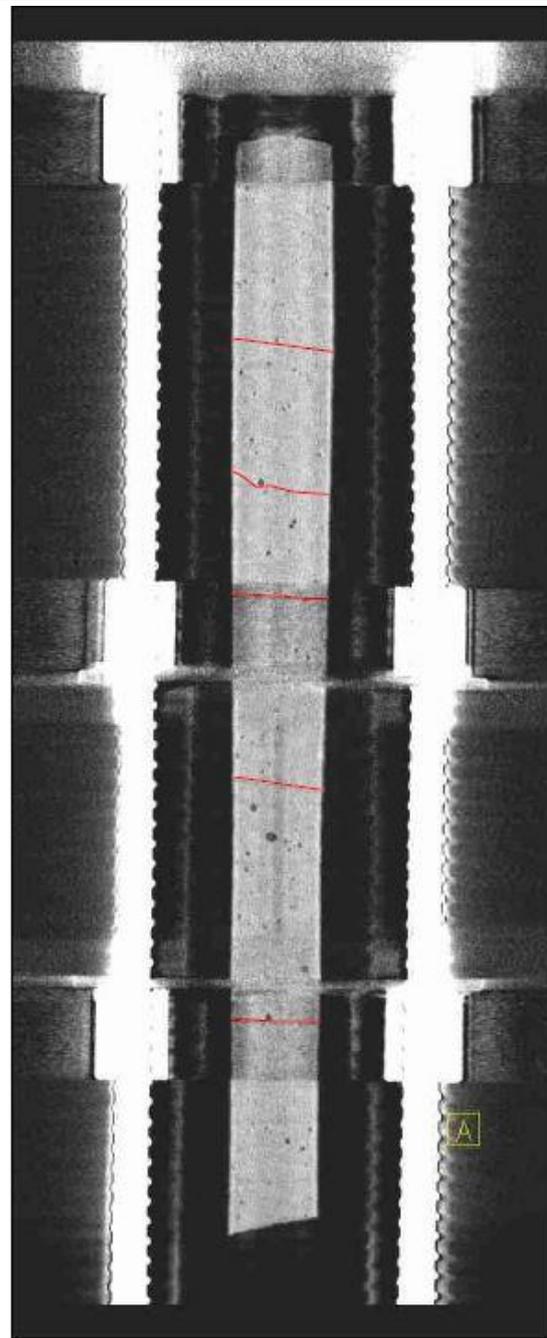
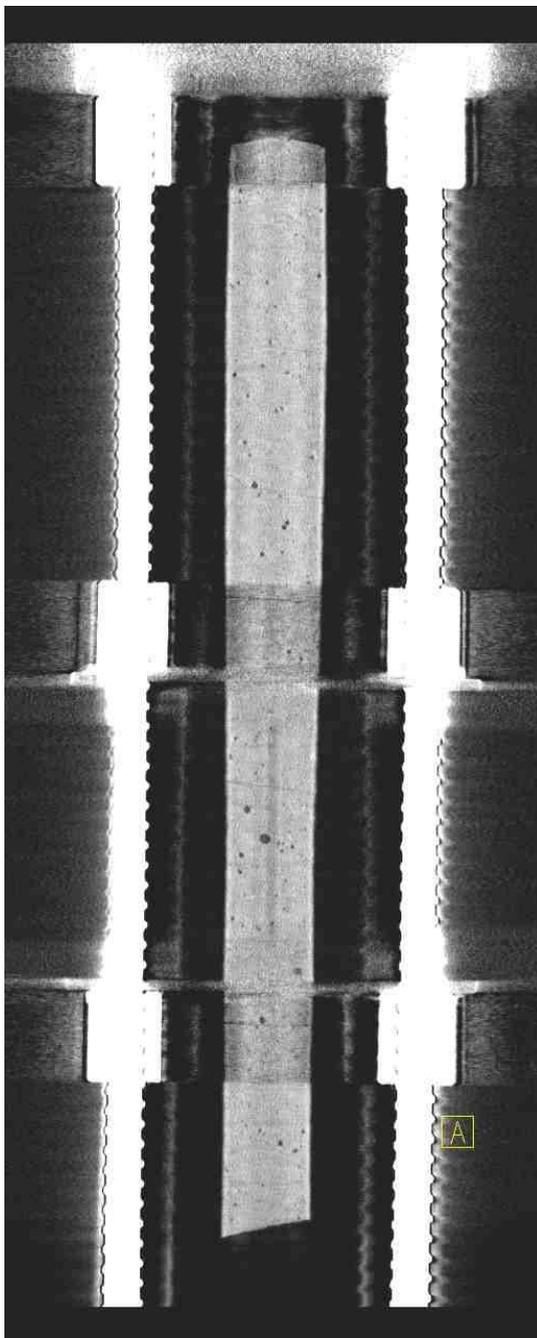
Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V1_DAT_GCP_01_COR(80) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	36,6 mm	29.10.2020

**Bewertung:**

Nur 2 Risse erkennbar, exakte Rissverfolgung nicht möglich.
Rissbreitenbestimmung nicht möglich.

Tab. 7: Auswertung CT-Bild V1_DAT_GCP_01_COR(29) – 200 kN

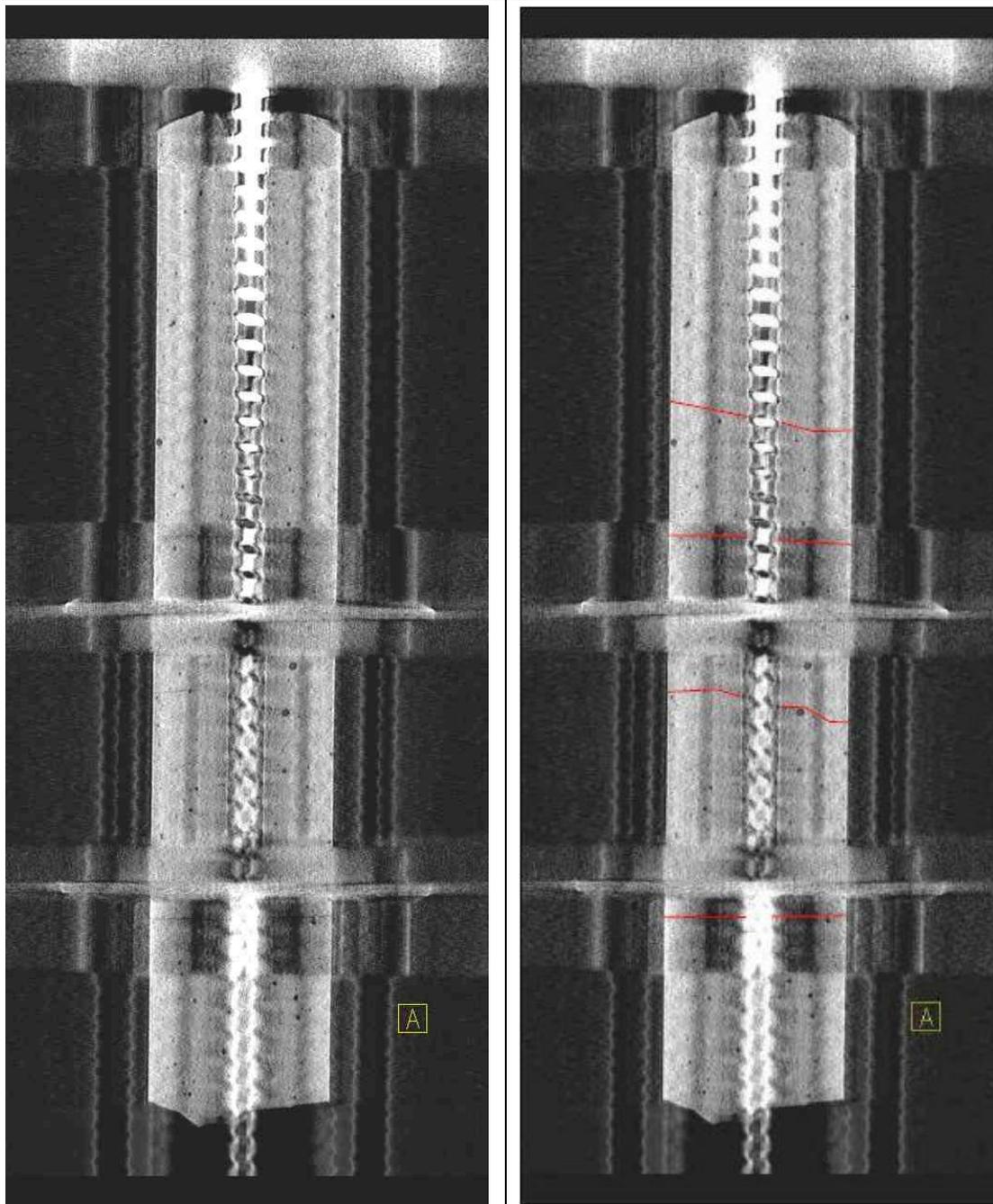
Bildname/Prüflast	Schnittrichtung:	Schnitttiefe	Scan-Datum
V1_DAT_GCP_01_COR(29) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	6,6 mm	29.10.2020

**Bewertung:**

Risse teils besser erkennbar als bei 100 kN Zugkraft, da breiter. Exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.

Tab. 8: Auswertung CT-Bild V1_DAT_GCP_01_COR(79) – 200 kN

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V1_DAT_GCP_01_COR (79) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	36,6 mm	29.10.2020

**Bewertung:**

Nur 4 Risse erkennbar, diese teils besser erkennbar als bei 100 kN Zugkraft, da breiter. Exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.

6 Auswertung der CT-Scans

Dieses Kapitel beinhaltet die Ergebnisse der computertomographischen Scans der Prüfkörper der zweiten Charge. Zu Beginn werden die Prüfkörper sowie Prüfbedingungen kurz angeführt, bevor anschließend die Bildauswertung der einzelnen Prüfkörper mit den jeweiligen Laststufen erfolgt.

6.1 Prüfkörper und Randbedingungen

Die Scans der beiden Prüfkörper erfolgten – ebenso wie die in Kapitel 5 beschriebene Voruntersuchung – in der *Privatklinik der Kreuzschwestern GmbH* in Graz. Vor der Versuchsdurchführung wurde die Prüfkonstruktion, wie in Abb. 23 dargestellt, auf der CT-Liege installiert und deren Funktionstüchtigkeit überprüft.



Abb. 23: Prüfaufbau im Computertomographen

Getestet wurden die beiden Versuchskörper

- V2_DAT_GCP_01 und
- V2_DAT_DCP_01

der zweiten Charge. Bei Versuchskörper V2_DAT_GCP_01 handelte es sich um eine Ausführung mit einfachem Korrosionsschutz mittels Einkapselung (GCP, sh. Kapitel 3.2.2.1), der Versuchskörper V2_DAT_DCP_01 war in doppeltem Korrosionsschutz mittels Ripprohr (DCP, sh. Kapitel 3.2.2.2) ausgeführt. Der exakte Aufbau der Versuchskörper sowie der Prüfapparatur ist in Kapitel 5.2 und 5.3 beschrieben. Die gewählten CT-Parameter für beide Versuchskörper sind in Kapitel 5.6 aufgelistet.

Die Versuchskörper wurden jeweils in den folgenden Schritten belastet und gescannt:

- 1. Scan: 0 kN Axial; 0 kN Querkraft
zur Dokumentation des Ausgangszustandes, keine oberflächlichen Risse
- 2. Scan: 170 kN Axial ($50\% * F_{\max}$); 0 kN Querkraft
maximale oberflächliche Rissbreite $w_{0,GCP}=0,20$ mm, $w_{0,DCP}\leq 0,10$ mm
- 3. Scan: 340 kN Axial ($100\% * F_{\max}$); 0 kN Querkraft
maximale oberflächliche Rissbreite $w_{0,GCP}=0,45$ mm, $w_{0,DCP}=0,20$ mm
- 4. Scan: 170 kN Axial ($50\% * F_{\max}$); 4 kN Querkraft
maximale oberflächliche Rissbreite oben $w_{0,GCP}=0,35$ mm, $w_{0,DCP}=0,2$ mm

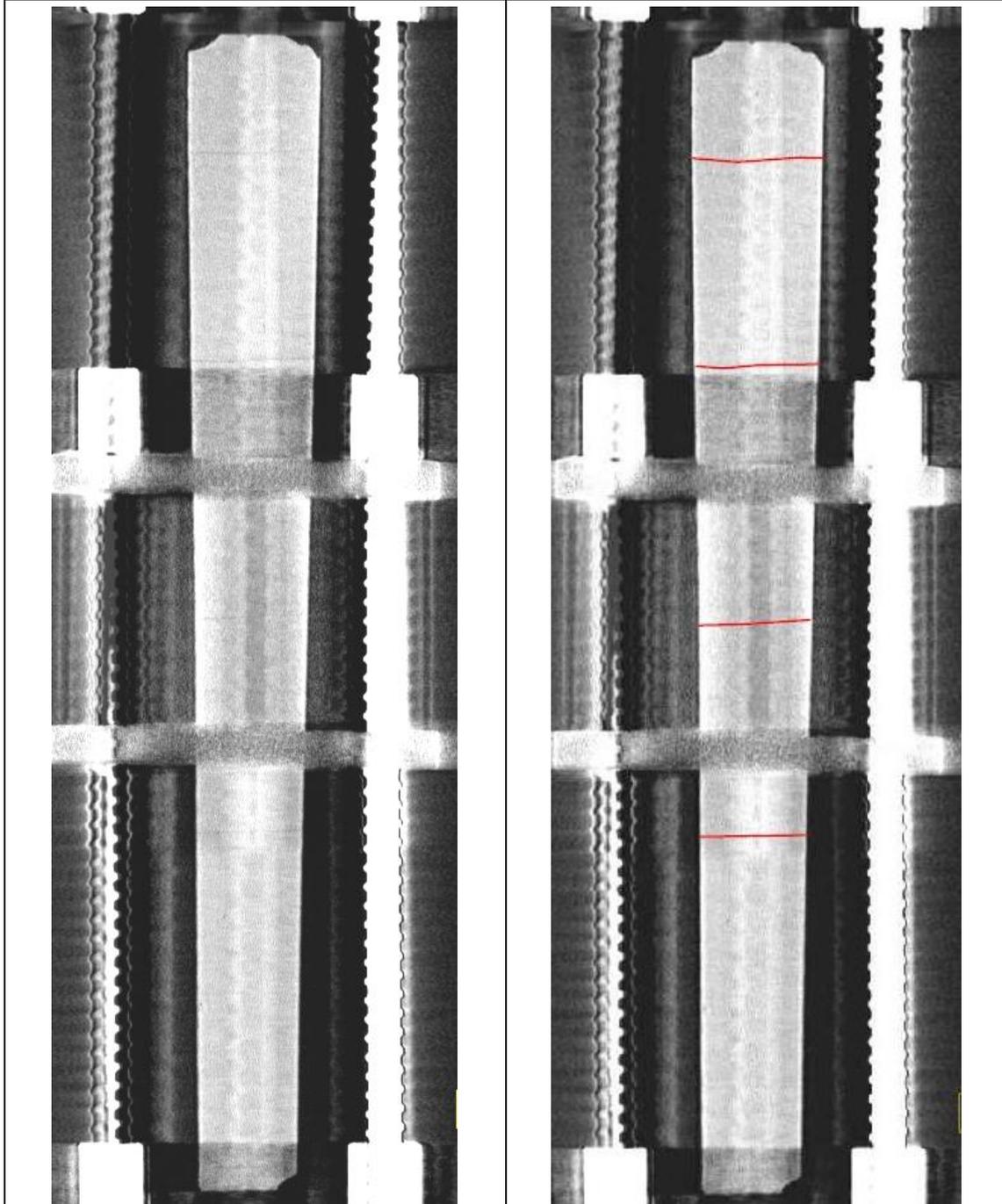
F_{\max}	maximale Prüflast des Prüfkörpers auf Zug (340 kN)
$w_{0,GCP}$	maximale oberflächliche Rissbreite der GCP-Versuchskörper
$w_{0,DCP}$	maximale oberflächliche Rissbreite der DCP-Versuchskörper

Nachfolgend werden nun – nach identem Schema wie in Kapitel 5.7.2 – die Bildauswertungen der sechs relevanten CT-Scans dargestellt und bewertet. Weitere für die Auswertung verwendete Bilder, sowie die Bilder des ,0‘-Scans und die Fotodokumentation der CT-Untersuchung sind in Anhang 2 - CT-Bilder gegeben.

6.2 Bildauswertung V2_DAT_GCP_01

Tab. 9: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01A_COR(29) - 170kN Axial, 0kN Quer
Quer

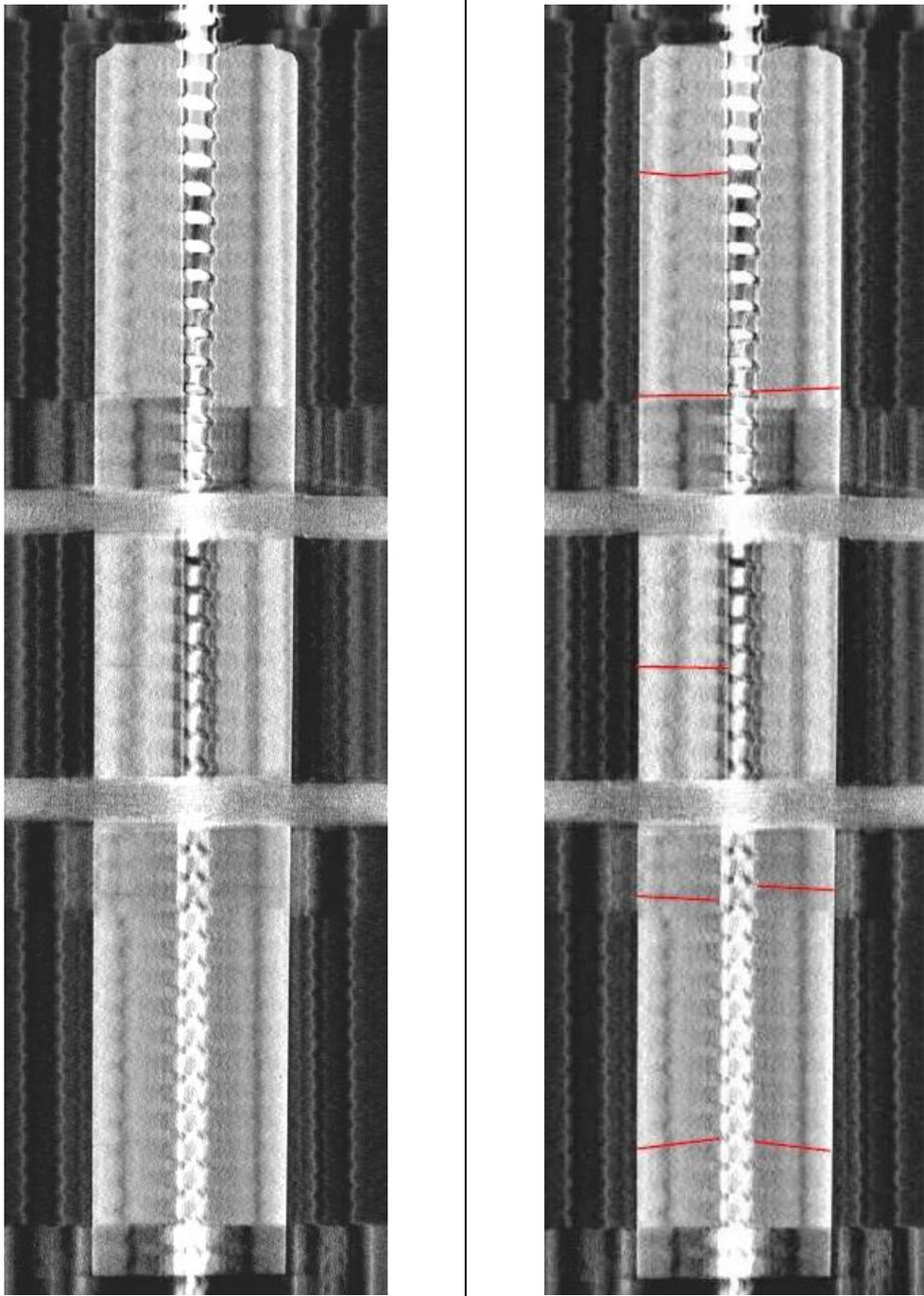
Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01A_COR (29) – 170kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020



Bewertung:

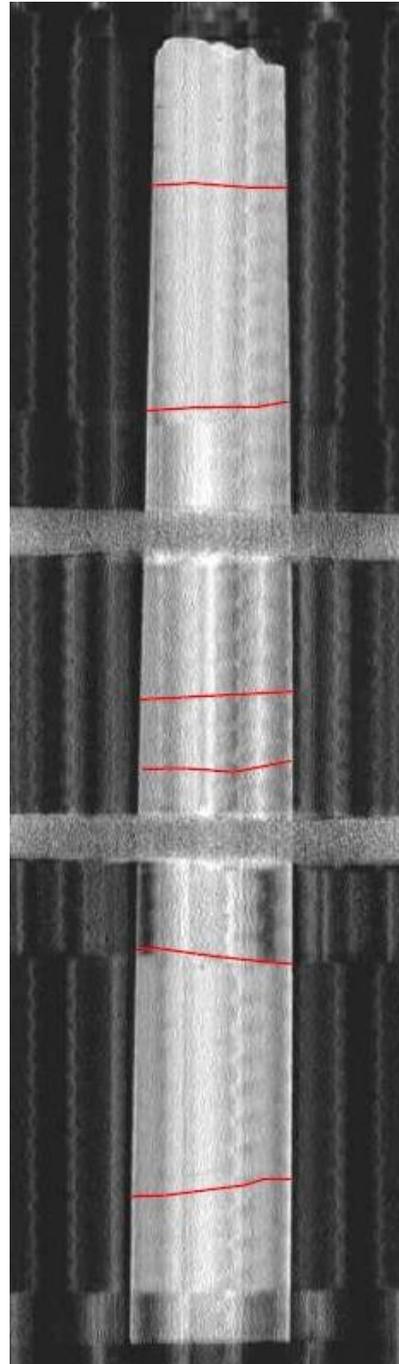
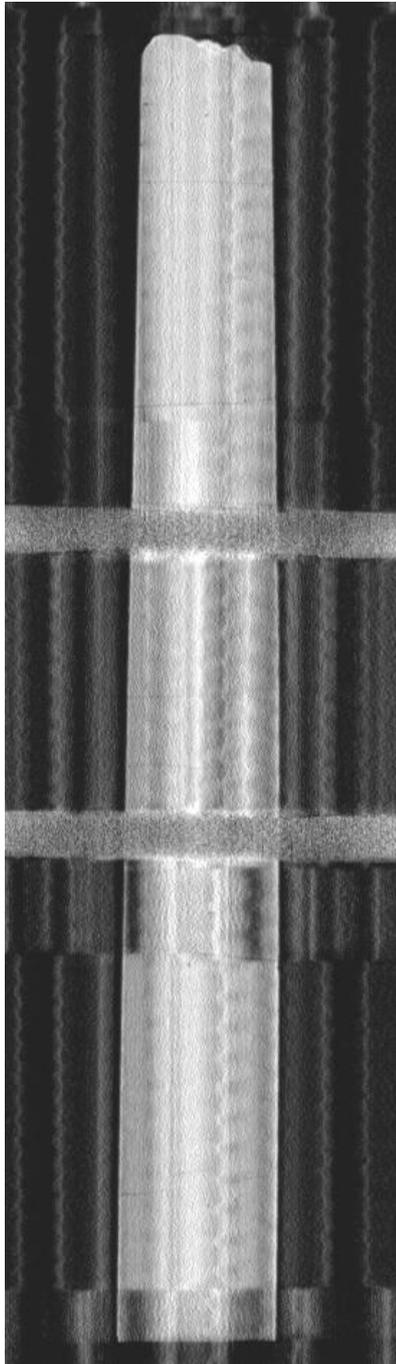
4 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich.
Rissbreitenbestimmung nicht möglich.

Tab. 10: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01A_COR(69) - 170kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01A_COR(69) – 170kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 5 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, 2 nur auf linker Seite. Exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.</p>			

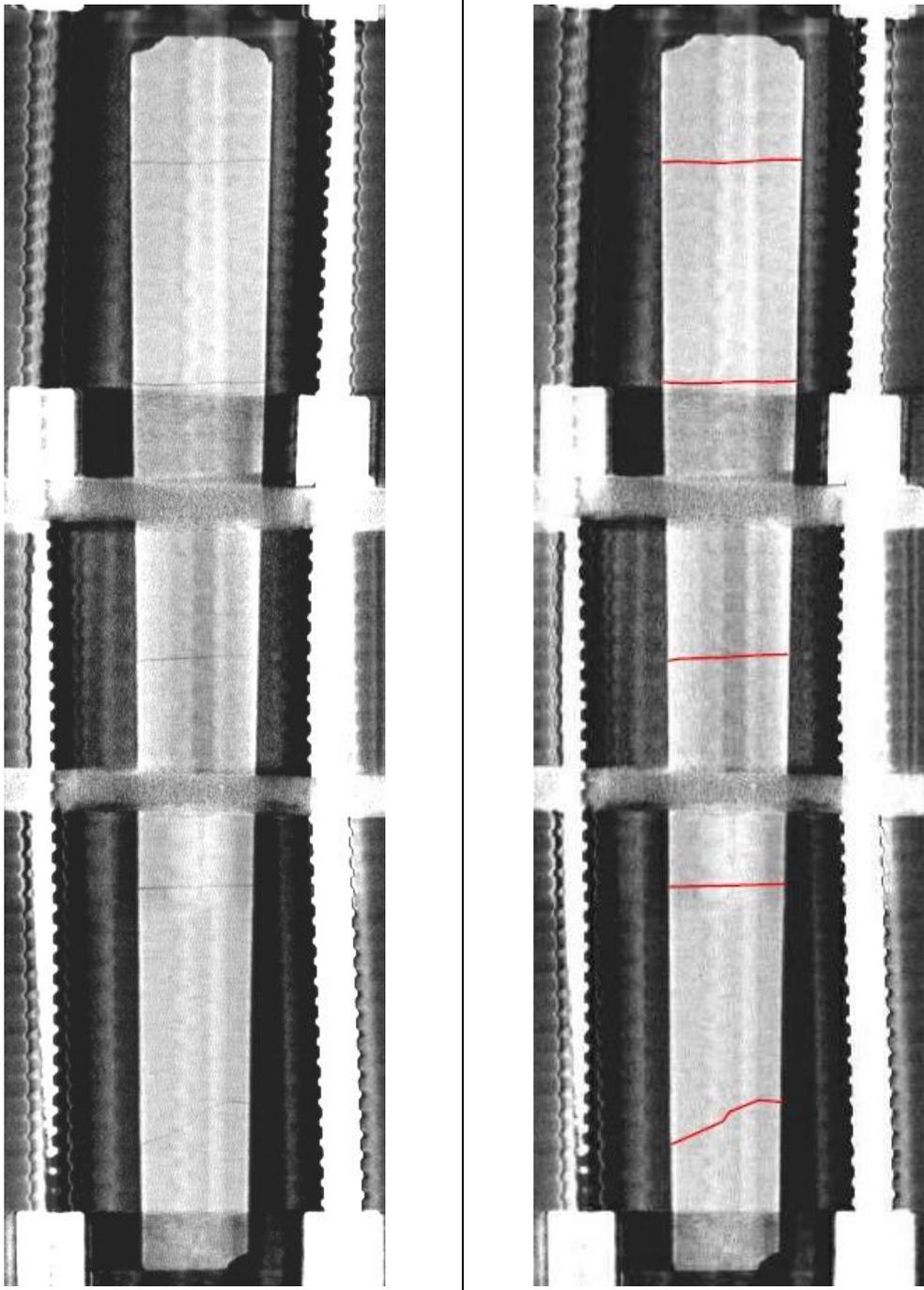
Tab. 11: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01A_COR(159) - 170kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01A_COR (159) – 170kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020

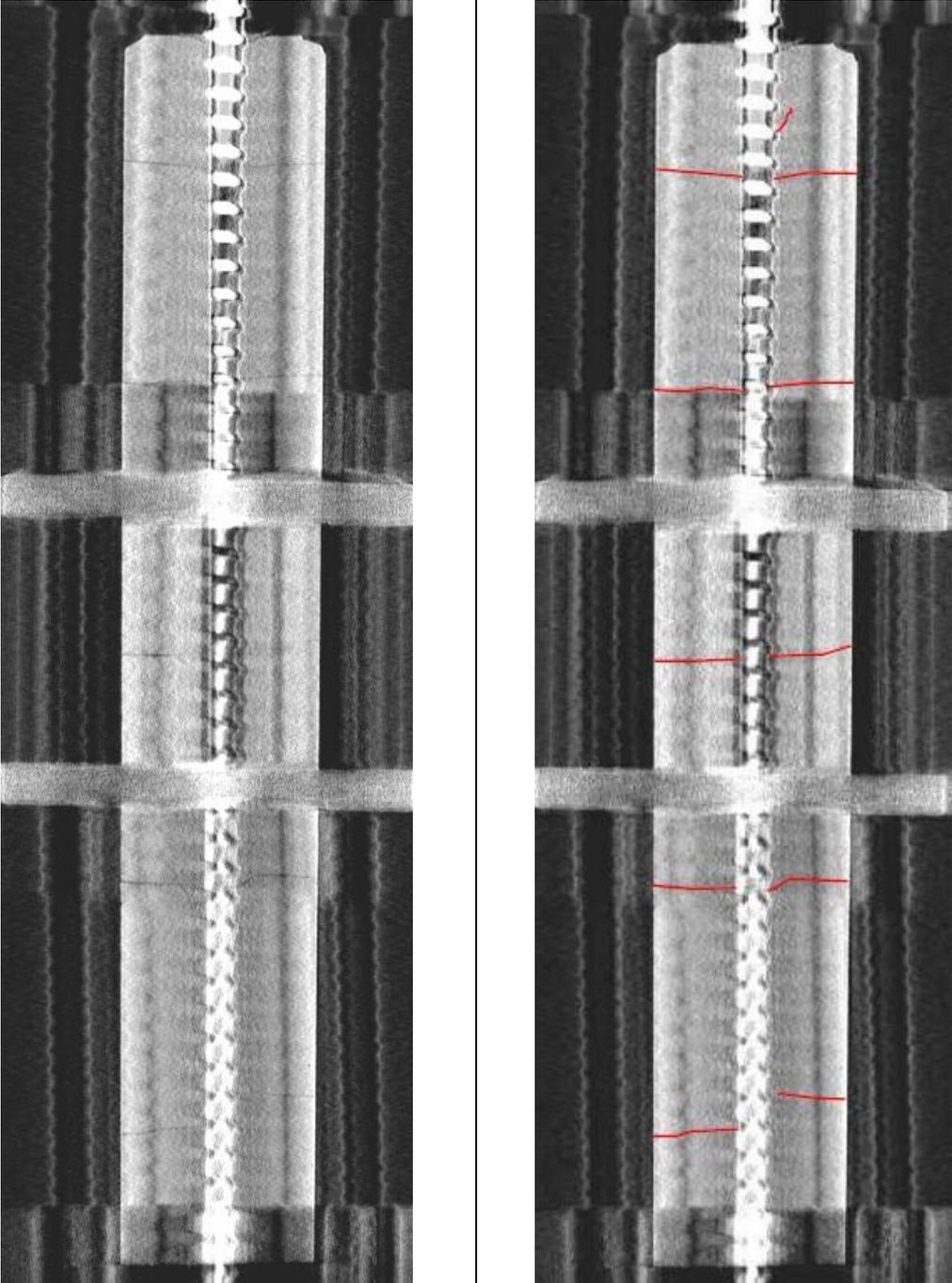
**Bewertung:**

6 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.

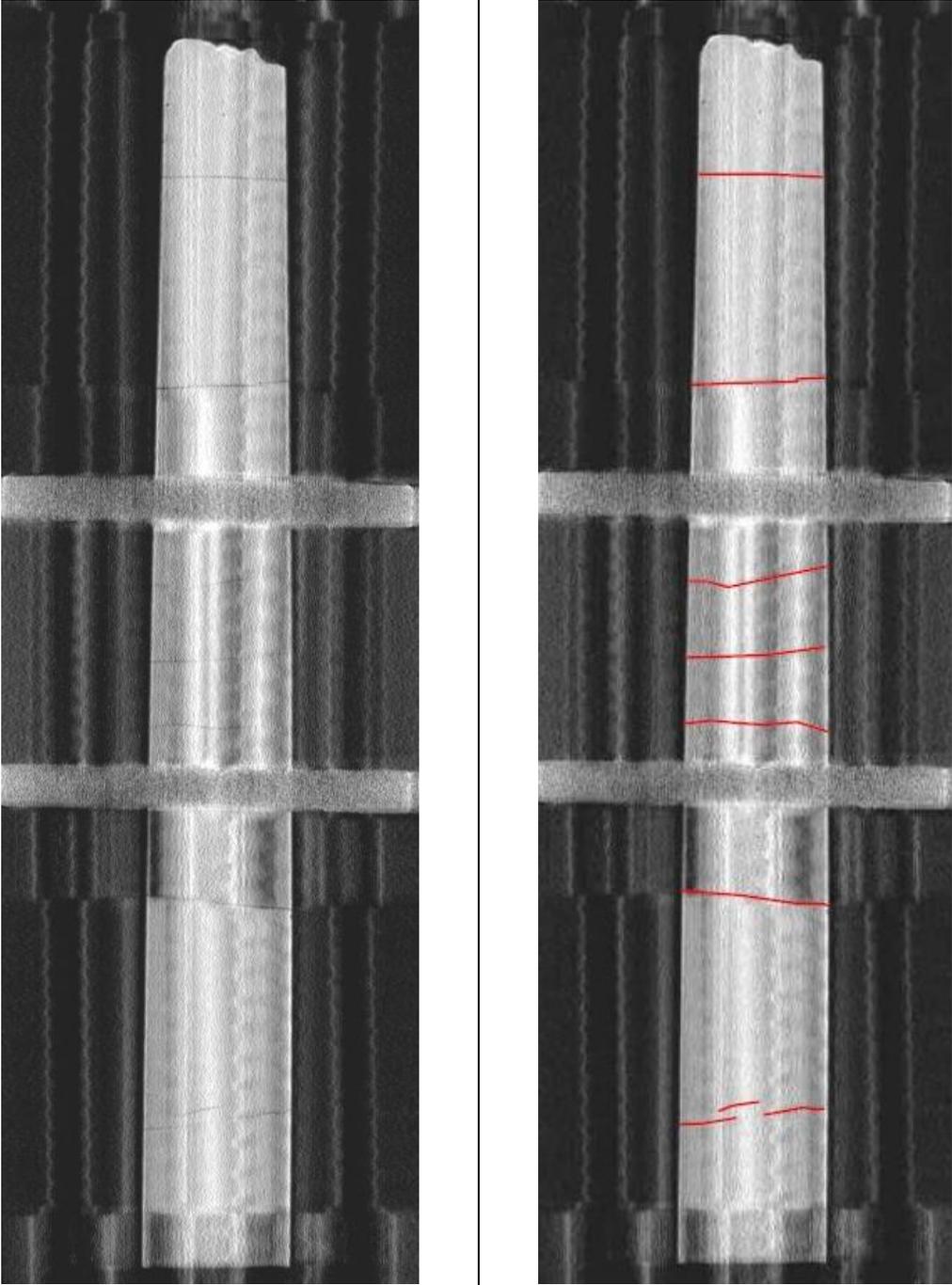
Tab. 12: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01B_COR(60) - 340kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01B_COR(60) – 340kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			
Bewertung: 5 Risse eindeutig erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.			

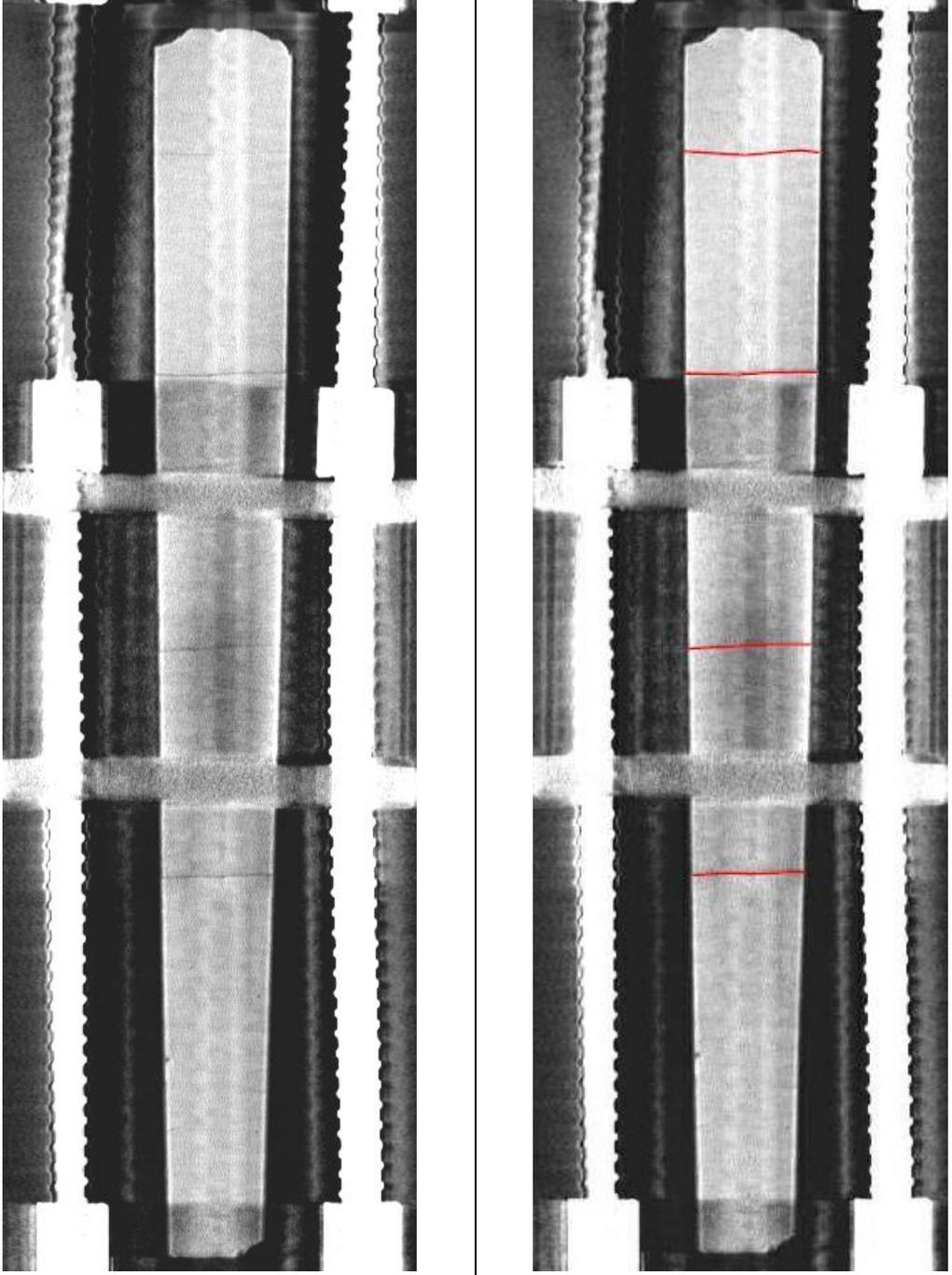
Tab. 13: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01B_COR(100) - 340kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnitttrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01B_COR (100) – 340kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 5 Risse eindeutig erkennbar, exakte Rissverfolgung möglich. Zusätzlicher Riss im oberen Bereich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich, augenscheinlich aber geringere Rissbreite in Richtung Zentrum.</p>			

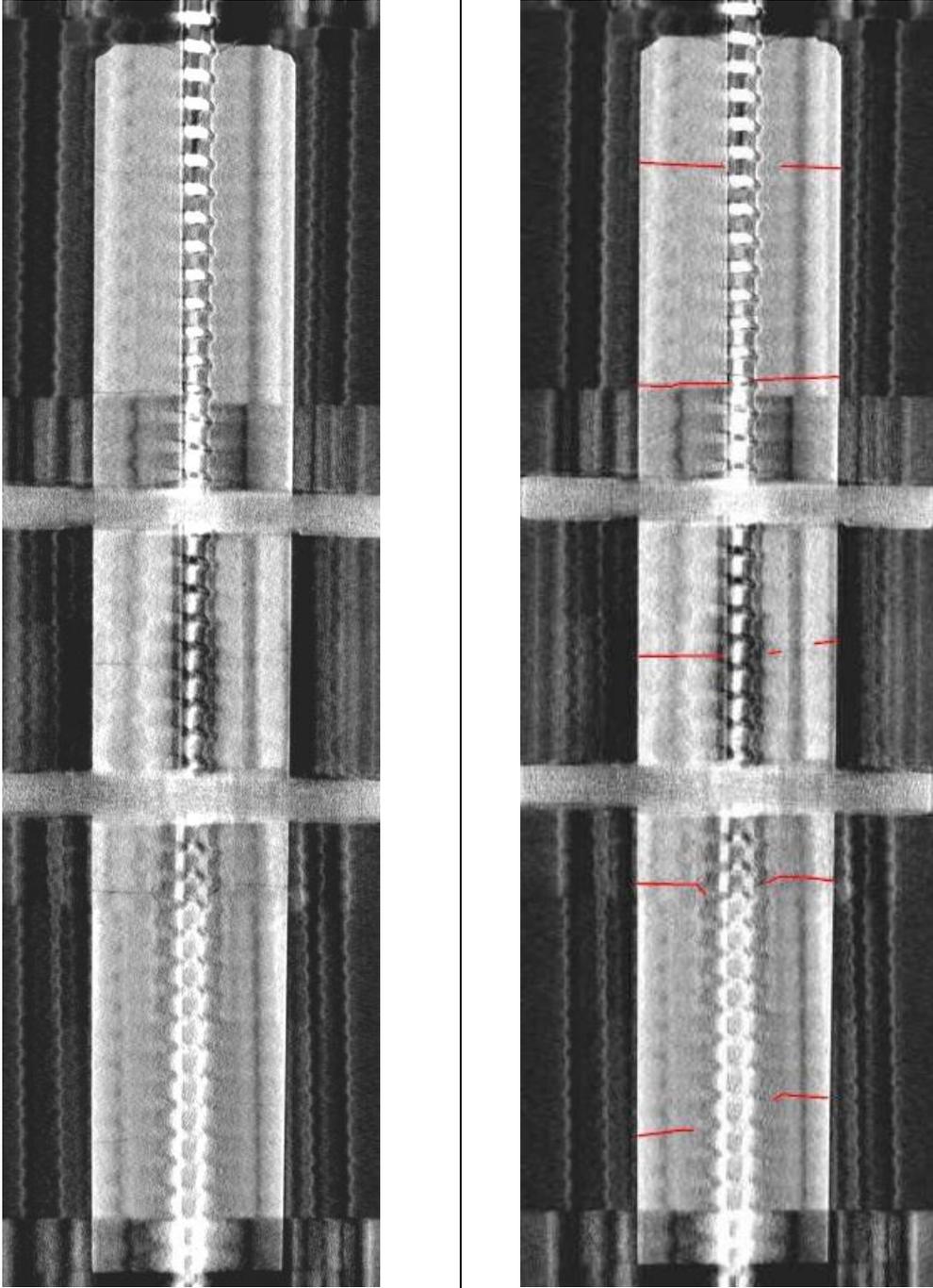
Tab. 14: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01B_COR(190) - 340kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01B_COR (190) – 340kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 7 Risse eindeutig erkennbar, exakte Rissverfolgung meist möglich. Abweichendes Rissbild zu anderen Schnittebenen im mittleren Bereich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.</p>			

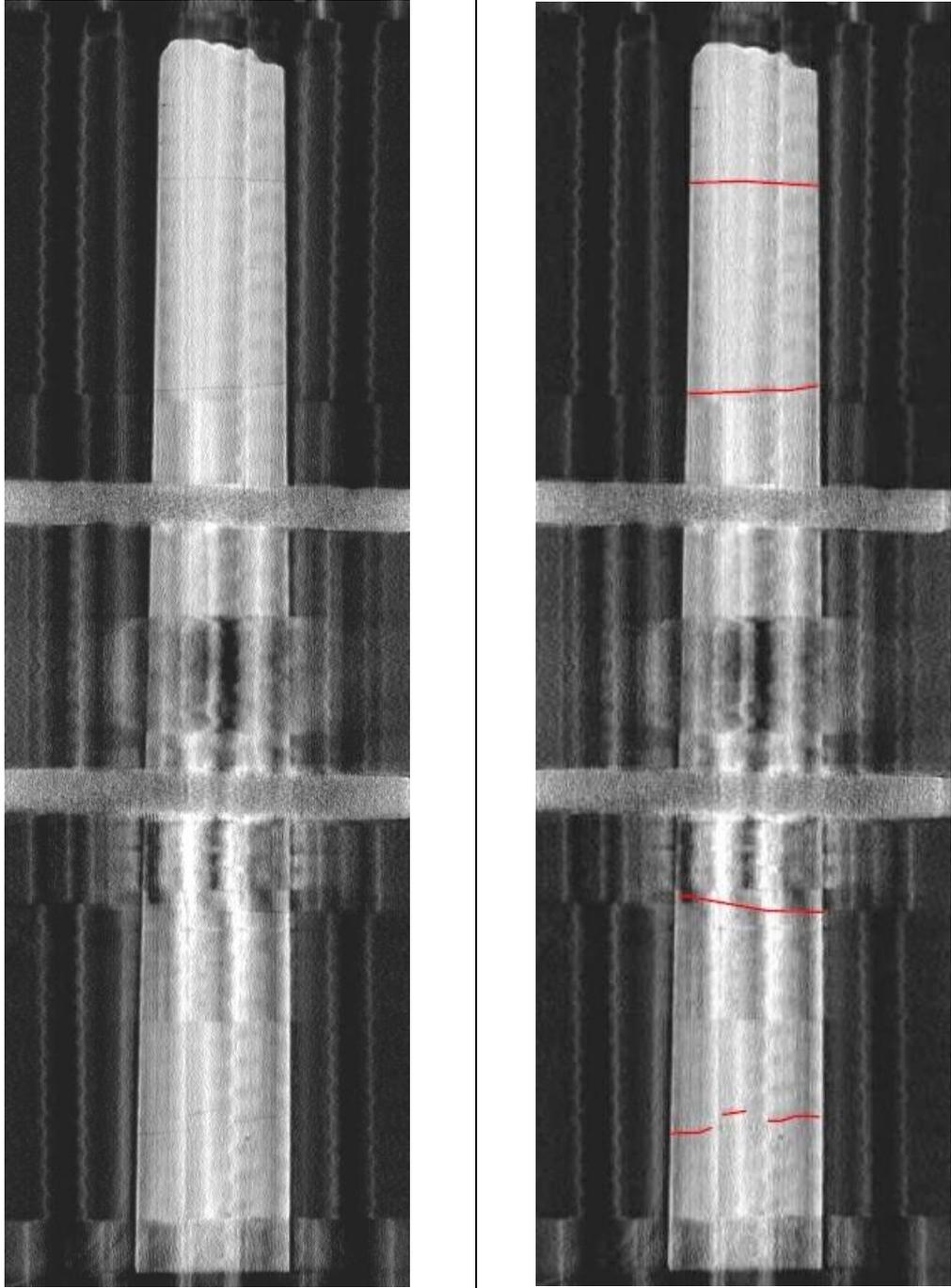
Tab. 15: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01C_COR(93) - 170kN Axial, 4kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01C_COR(93) – 170kN Axial, 4kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			
Bewertung: 4 Risse eindeutig erkennbar, exakte Rissverfolgung meist möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.			

Tab. 16: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01C_COR(133) - 170kN Axial, 4kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01C_COR (133) – 170kN Axial, 4kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 5 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich. Rissbreite augenscheinlich kleiner als bei höherer Schnittebene.</p>			

Tab. 17: Auswertung CT-Bild V2_DAT_GCP_01C_COR(223) - 170kN Axial, 4kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_GCP_01C_COR(223) – 170kN Axial, 4kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 4 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich. Rissbreite augenscheinlich kleiner als bei höherer Schnittebene, Risse im mittleren Bereich geschlossen.</p>			

6.3 Bildauswertung V2_DAT_DCP_01

Bereits beim Spannvorgang des doppelt korrosionsgeschützten Versuchskörpers, war eine, abweichend zu dem in Kapitel 6.2 beschriebenen Versuchskörper mit einfachem Korrosionsschutz, wenig systematische Rissausbildung, vorwiegend im Mittelbereich des Versuchskörpers, festzustellen. Ebenso zeichnete sich das Rissbild durch eine Vielzahl an kleinen Verästelungen an der Oberfläche aus, welche großteils Rissbreiten $\leq 0,10$ mm aufwiesen.

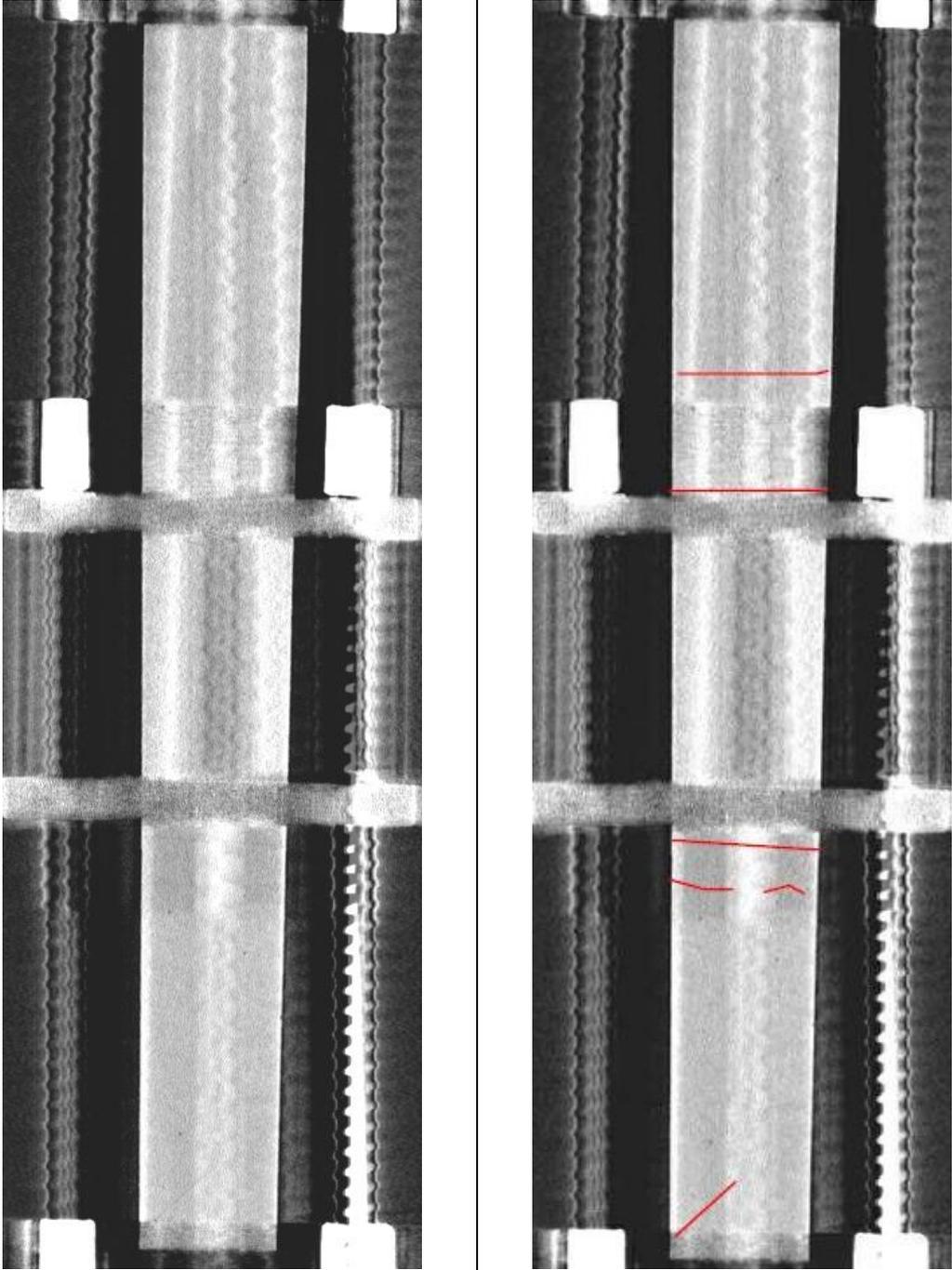
Diese Umstände, wie sie in Abb. 24 ersichtlich sind, erschwerten bei der Auswertung der CT-Aufnahmen eine präzise Detektion der Risse und Rissverläufe. Ebenso kann, bedingt durch den Aufbau eines DCP Versuchskörpers, die Rissbestimmung in der inneren Verpressmörtelschicht nur bei Schnittebenen nahe dem Bewehrungsstab durchgeführt werden.



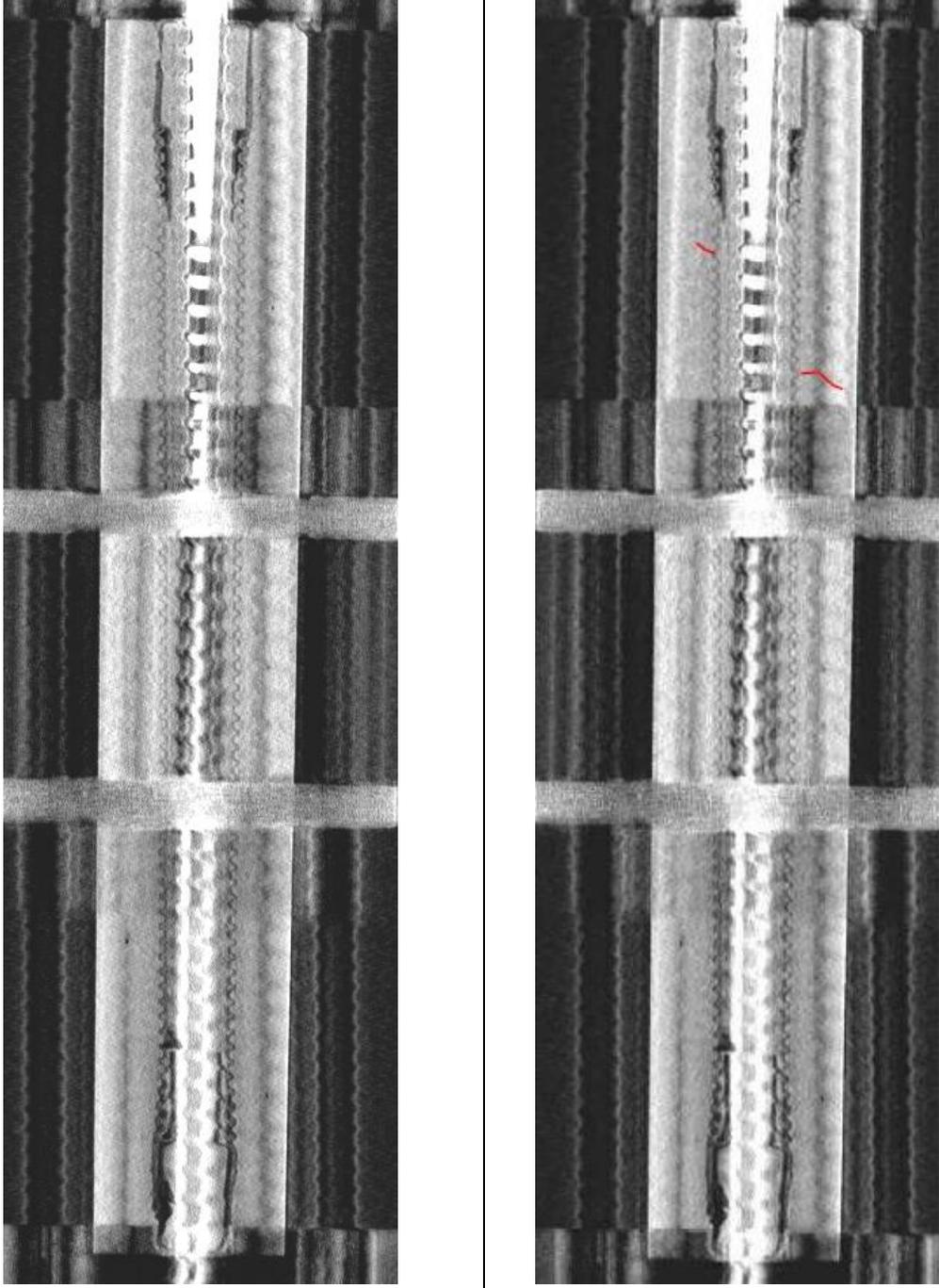
Abb. 24: Rissbild in V2_DAT_DCP_01 mit $100\% * F_{\max}$

Da sich bei der in Kapitel 6.1 beschriebenen Laststufe mit 4kN Querkraft eine – im Vergleich zum Prüfkörper V2_DAT_GCP_01 – wesentlich geringere Rissbreitenveränderung entwickelte, wurde der Prüfkörper V2_DAT_DCP_01 abschließend mit einer Querkraft von 11,5 kN und einer Axialkraft von 170 kN ($50\% * F_{\max}$) belastet. Da auch diese Belastung keine nennenswerte Veränderung im Rissbild ergab, werden die Bilder dieser Laststufe nicht explizit in diesem Kapitel angeführt, sind aber in Anhang 2 - CT-Bilder zu finden.

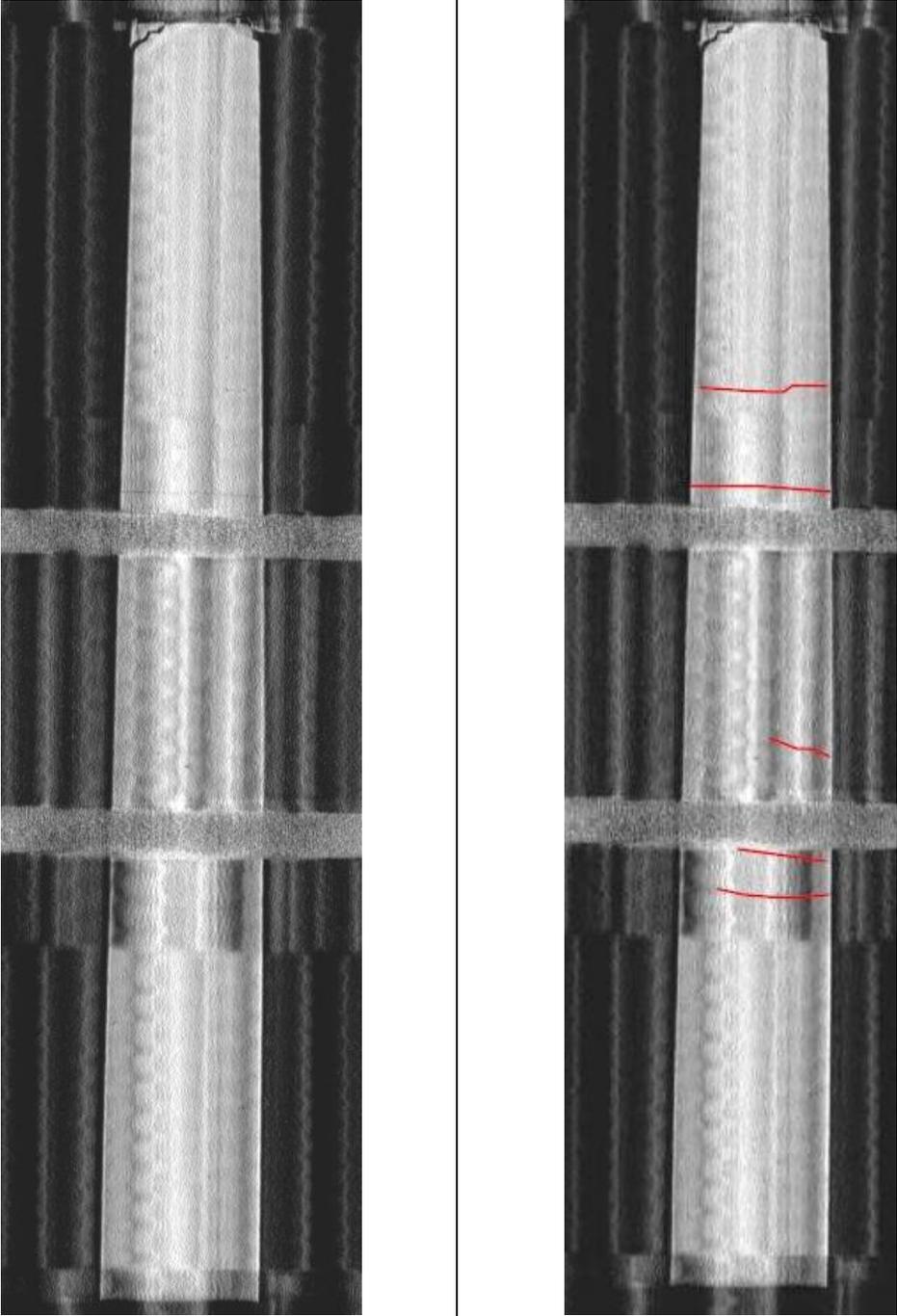
Tab. 18: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01A_COR(100) - 170kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01A_COR (100) – 170kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 5 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung nicht möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.</p>			

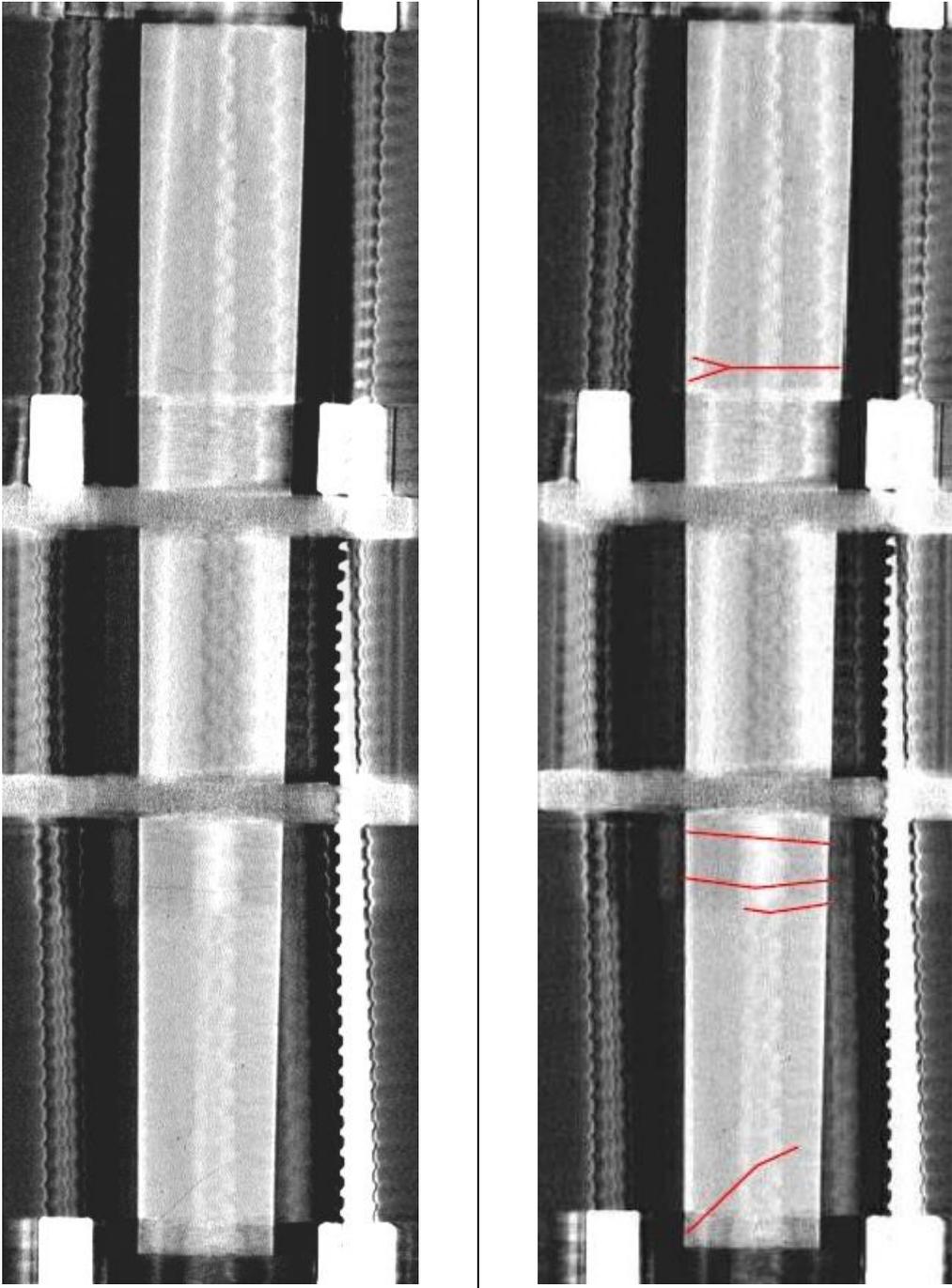
Tab. 19: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01A_COR(130) - 170kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnitttrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01A_COR (130) – 170kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 2 Rissansätze bei genauer Betrachtung erkennbar, keine auffallende bzw. durchgehende Risse erkennbar, keine Risse im Inneren des Ripprohrs erkennbar.</p>			

Tab. 20: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01A_COR(220) - 170kN Axial, 0kN Quer

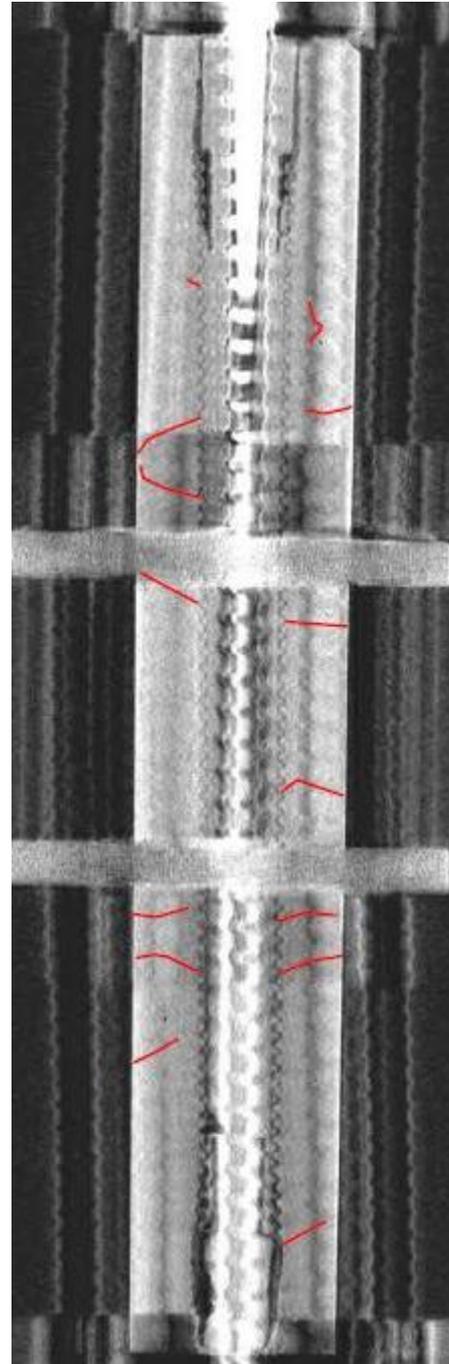
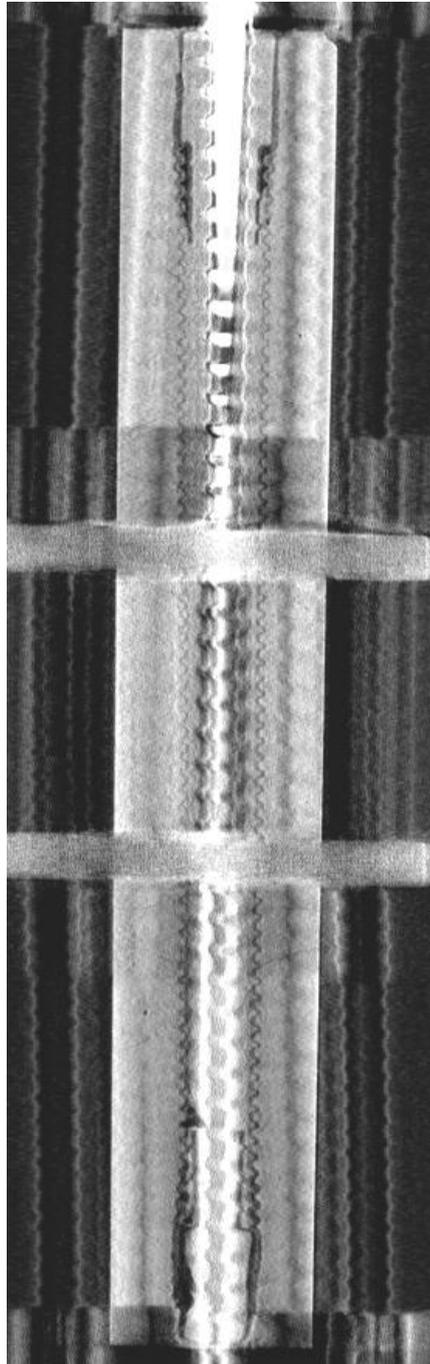
Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01A_COR(220) – 170kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bewertung: 5 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich.			

Tab. 21: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01B_COR(95) - 340kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01B_COR(95) – 340kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 5 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich. Rissbreite augenscheinlich nur geringfügig größer als bei 50% * F_{max}</p>			

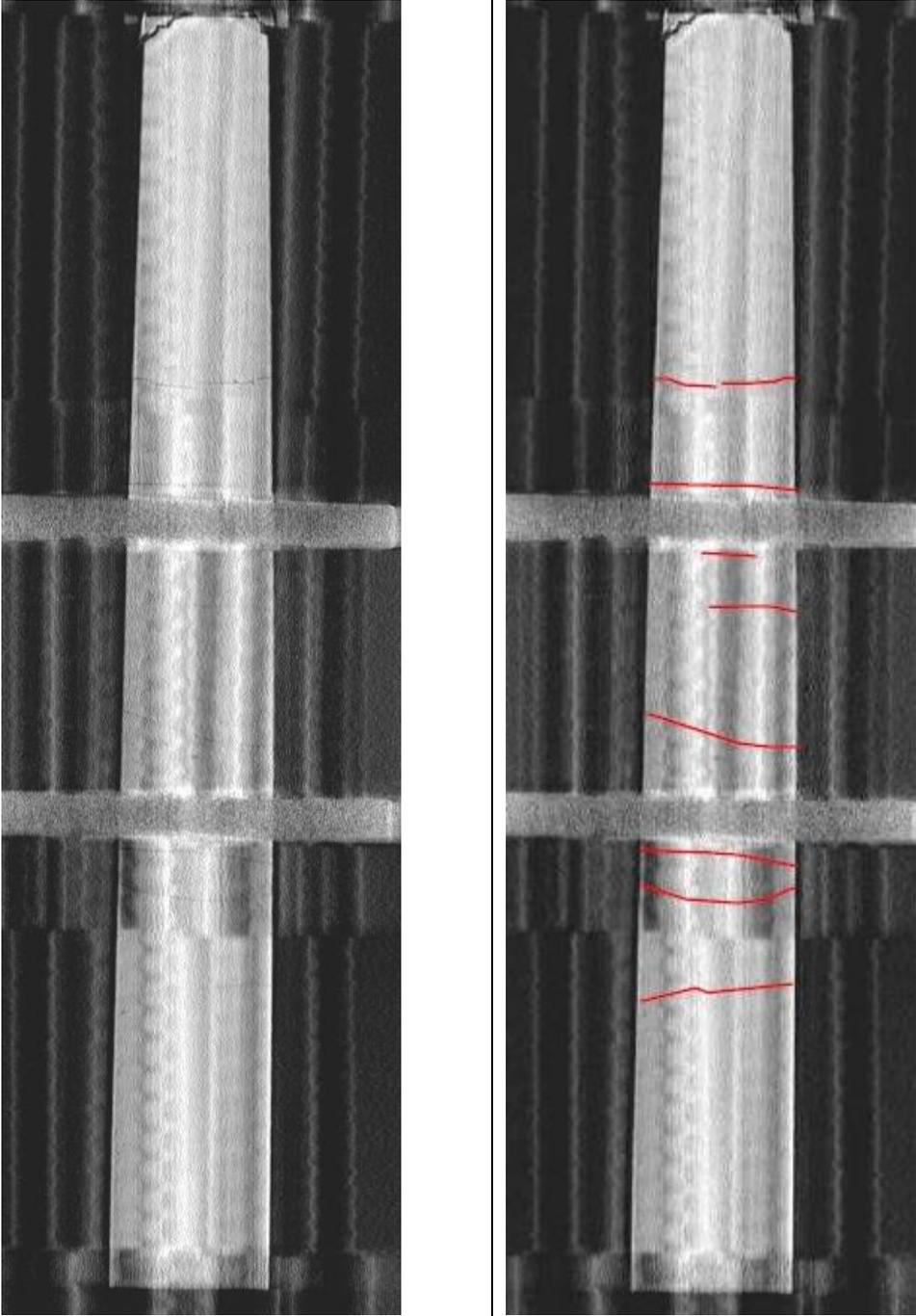
Tab. 22: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01B_COR(125) - 340kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01B_COR (125) – 340kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020

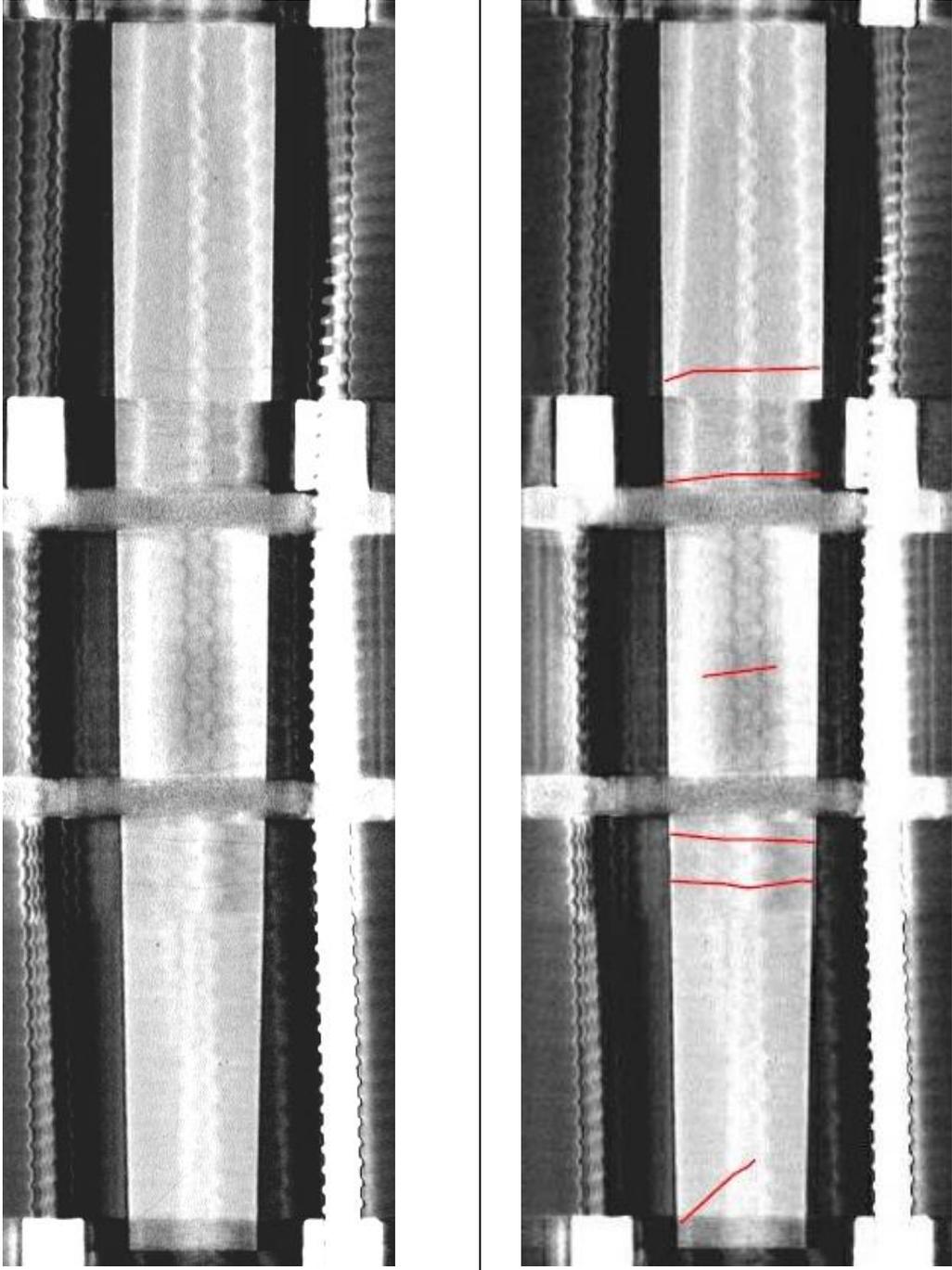
**Bewertung:**

Viele Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich. Rissbreite augenscheinlich nur geringfügig größer als bei $50\% \cdot F_{\max}$, keine auffälligen Risse im Inneren des Ripprohrs erkennbar.

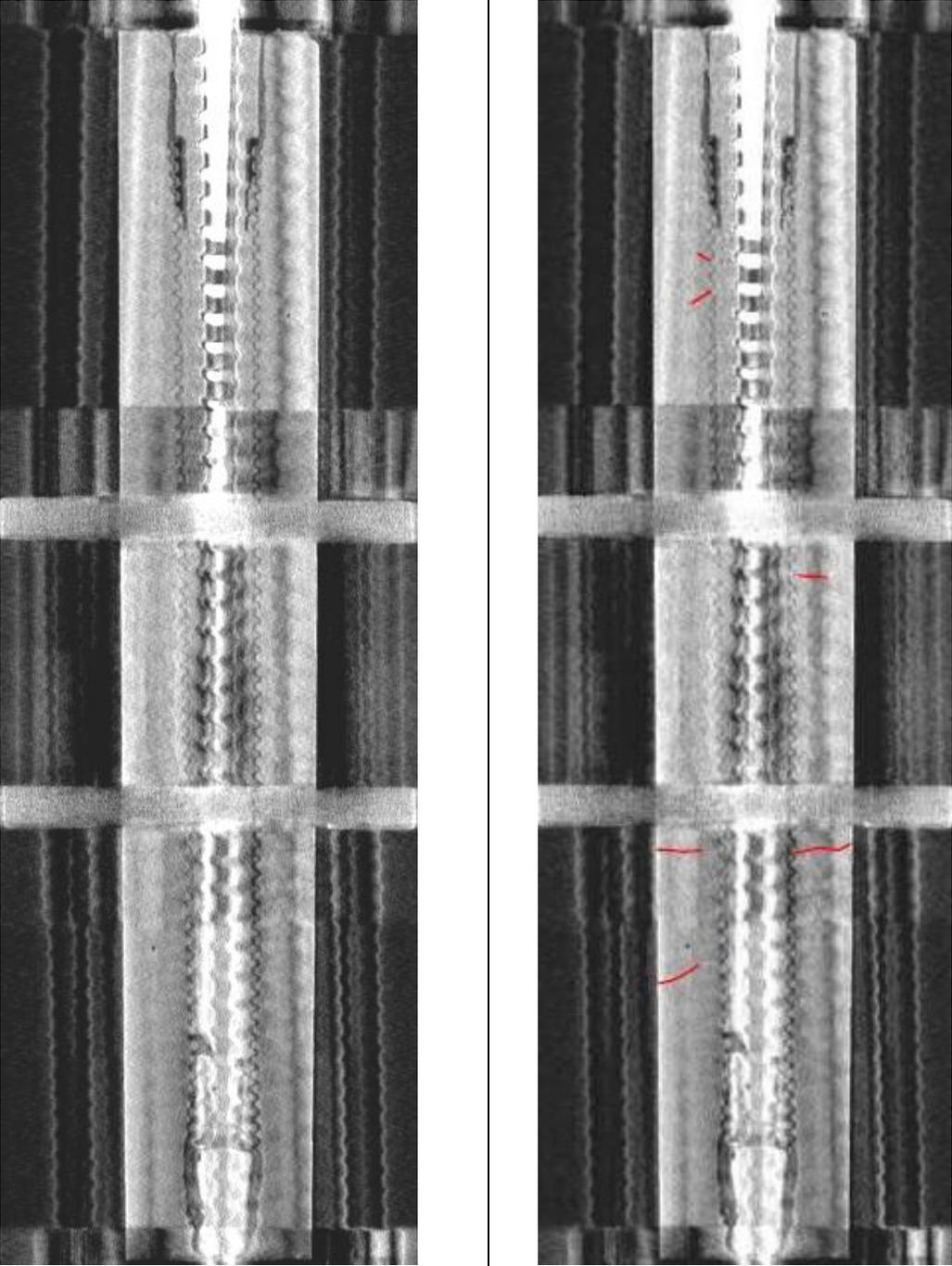
Tab. 23: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01B_COR(215) - 340kN Axial, 0kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01B_COR (215) – 340kN Axial, 0kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: 8 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich. Abweichendes Rissbild zu anderen Schnittebenen. Rissbreitenbestimmung nicht möglich, Rissbreite augenscheinlich nur geringfügig größer als bei $50\% \cdot F_{\max}$</p>			

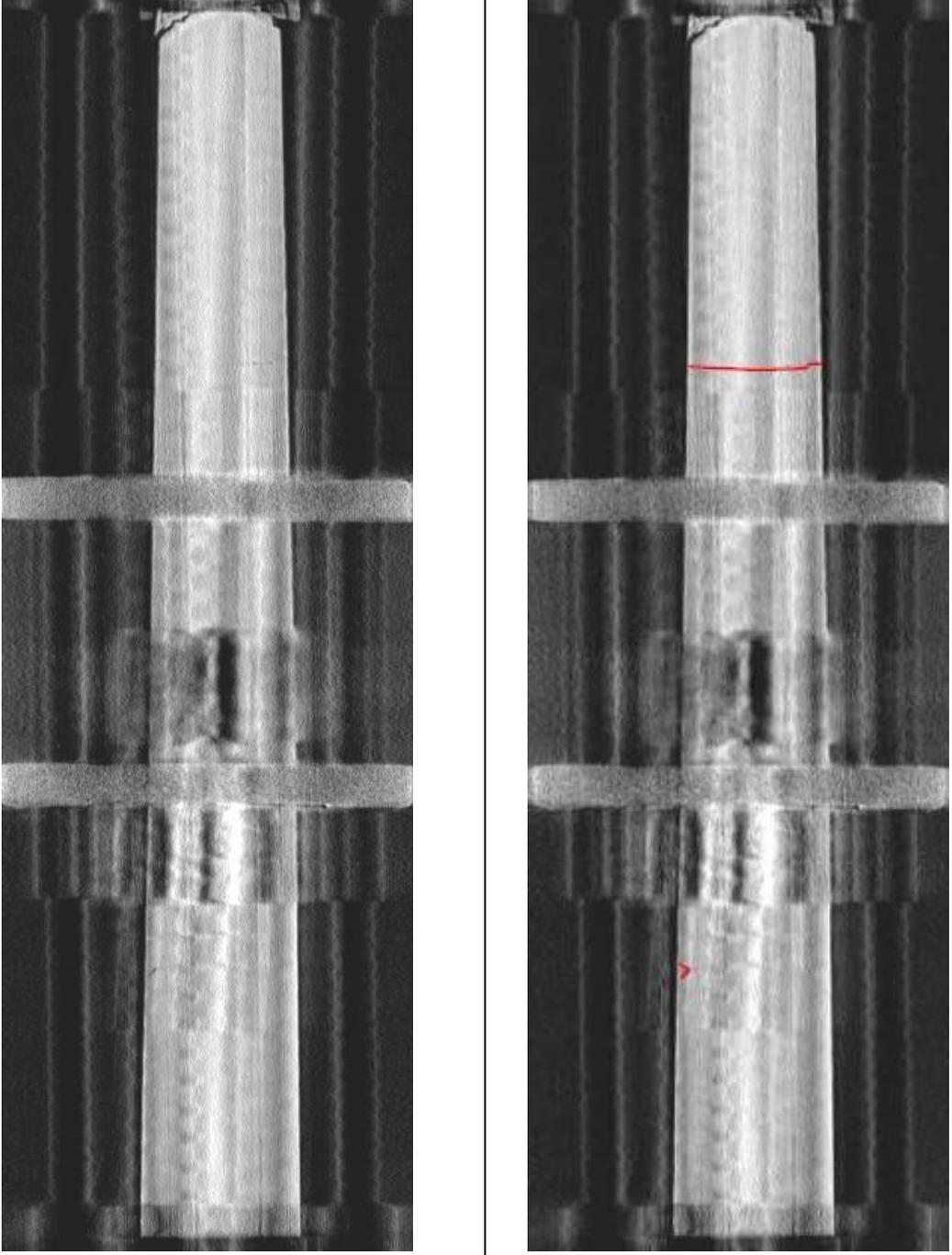
Tab. 24: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01C_COR(117) - 170kN Axial, 4kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnittrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01C_COR (117) – 170kN Axial, 4kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bewertung: 6 Risse bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung teils möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich. Mittig liegender Riss erkennbar, dieser ist bei reiner Axialkraft nicht sichtbar.			

Tab. 25: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01C_COR(147) - 170kN Axial, 4kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnitttrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01C_COR (147) – 170kN Axial, 4kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			
<p>Bewertung: Mehrere Rissansätze bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung nicht möglich, keine Risse im Inneren des Ripprohrs erkennbar. Rissbreitenbestimmung nicht möglich. Mehr Rissansätze als bei reiner Axialkraft sichtbar.</p>			

Tab. 26: Auswertung CT-Bild V2_DAT_DCP_01C_COR(237) - 170kN Axial, 4kN Quer

Bildname/Prüflast	Schnitttrichtung	Schnitttiefe	Scan-Datum
V2_DAT_DCP_01C_COR (237) – 170kN Axial, 4kN Quer	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bewertung: 1 Riss bei genauer Betrachtung erkennbar, exakte Rissverfolgung möglich. Rissbreitenbestimmung nicht möglich. Andere, bei reiner Axialkraft erkennbare Risse sind in dieser Schnittebene nicht sichtbar.			

7 Auswertung der Laborversuche

Zusätzlich zu den in Kapitel 6 beschriebenen Untersuchungen mittels Computertomographen, wurden weitere Versuchskörper der zweiten und dritten Charge (GCP und DCP) im Labor getestet und untersucht. Dieses Kapitel soll zuerst einen Überblick über die Prüfmethode und den Ablauf geben, bevor anschließend eine Auswertung der Rissbilder und Rissbreiten dieser Versuche tabellarisch dargestellt werden. Abschließend findet sich eine Zusammenfassung der Prüfergebnisse.

7.1 Prüfmethode und Prüfkörper

Getestet und dokumentiert wurden insgesamt acht Prüfkörper, wobei zwei davon die bereits getesteten Prüfkörper aus Kapitel 6 waren. Ebenso wurde aus praktischen Gründen im Laufe der Laborprüfung von dem in Kapitel 5.3 beschriebenen Prüfrahmen auf einen größeren und massiveren Prüfrahmen, wie in Abb. 25 (rechts) dargestellt, gewechselt, da dieser die Durchführung der Prüfungen einfacher gestaltete. Zur Testung wurden folgende Prüfkörper herangezogen:

- V2_DAT_GCP_02 (kleiner Prüfrahmen)
- V2_DAT_DCP_02 (kleiner Prüfrahmen)
- V2_DAT_GCP_01 (großer Prüfrahmen, vorab bereits im CT getestet)
- V2_DAT_DCP_01 (großer Prüfrahmen, vorab bereits im CT getestet)
- V3_DAT_GCP_01 (großer Prüfrahmen)
- V3_DAT_GCP_02 (großer Prüfrahmen)
- V3_DAT_DCP_01 (großer Prüfrahmen)
- V3_DAT_DCP_02 (großer Prüfrahmen)

Dabei wurde jeder Prüfkörper im Prüfrahmen gespannt und unter folgenden Laststufen belastet, dokumentiert und das Rissbild (inkl. Rissbreiten) gemessen und skizziert:

- 1. Laststufe: 0 kN Axial; 0 kN Querkraft (Ausgangszustand)
- 2. Laststufe: 85 kN Axial ($25\% * F_{\max}$); 0 kN Querkraft
- 3. Laststufe: 170 kN Axial ($50\% * F_{\max}$); 0 kN Querkraft
- 4. Laststufe: 255 kN Axial ($75\% * F_{\max}$); 0 kN Querkraft
- 5. Laststufe: 340 kN Axial ($100\% * F_{\max}$); 0 kN Querkraft
- 6. Laststufe: 170 kN Axial ($50\% * F_{\max}$); 4 kN Querkraft

Zusätzlich wurden die Prüfkörper der dritten Charge, V3_DAT_GCP_01, V3_DAT_DCP_01, V3_DAT_GCP_02 und V3_DAT_DCP_02 abschließend noch mit einer weiteren Laststufe belastet:

- 7. Laststufe: 170 kN Axial ($50\% * F_{\max}$); 8 kN Querkraft



Abb. 25: Laboruntersuchungen; Links: kleiner Versuchsrahmen; Rechts: großer Versuchsrahmen

Die in den nachfolgenden Kapiteln dargestellten Auswertungen entsprechen der tabellarischen Form aller, während der Laborversuche dokumentierten und fotografierten Risse am Prüfkörper. Die jeweiligen Rissbilder wurden nach der Erstrissbildung skizziert und nach jeder Laststufe kontrolliert und falls notwendig ergänzt. Die Rissbreitenbestimmung erfolgte mittels einem Rissbreitenlineal. Dieses wurde auf den jeweiligen Riss gehalten und anschließend mit einem hochauflösenden Makroobjektiv fotografiert. Die Auswertung dieser Rissbreitenbilder erfolgte anschließend am Computer.

Zusätzlich zu den beschriebenen Rissbreiten- und Rissbildversuchen wurde, aufgrund einiger im CT-Scan erhaltenen Ergebnisse – nämlich keine erkennbaren Risse im inneren Verpresskörper des DCP – ein solcher freigelegt und begutachtet. Dafür wurde der Prüfkörper V2_DAT_DCP_02 im Anschluss an die Prüfung aus der Prüfkonstruktion ausgebaut und die äußere Verpressmörtelschicht vorsichtig entfernt. Ebenso wurde das freigelegte Ripprohr mittels Säge und Messer behutsam aufgeschnitten und entfernt. Die dazu erhaltenen Ergebnisse sind in Kapitel 7.11 dargestellt.

Die in Kapitel 7.2 bis 7.9 enthaltenen Tabellen beschreiben den Abstand der Risse im Verpresskörper von der Prüfkörperunterkante (der Presse gegenüberliegende). Des Weiteren wird die Risseigenschaft (z.B. Rissrichtung bzw. Anmerkung) beschrieben. Hierbei wurde in horizontale Risse (ca. 90° zur Bewehrungsachse), links bzw. rechts geneigten Rissen und verästelten Rissen unterschieden. War ein Riss bei einer bestimmten Laststufe noch nicht erkennbar, so wurde dies in den Tabellen mit einem ‚X‘ gekennzeichnet.

Bei der Angabe der Rissbreite (in mm) wurde versucht eine eindeutige Zuordnung der Rissbreite vorzunehmen. War dies nicht möglich, wurde die auf Grund der Auswertung zu erkennende Schwankungsbreite der Rissbreite (z.B. 0,3 – 0,35) angeführt. Ident wurde auch bei sehr kleinen Rissen vorgegangen. Waren diese erkennbar, jedoch nicht messbar (auf Grund einer Rissbreite kleiner 0,10 mm) wurde dies ebenfalls vermerkt.

7.2 Laborauswertung V2_DAT_GCP_02

Tab. 27: Laborauswertung V2_DAT_GCP_02

Alter des Probekörpers: >28 Tage

Riss-Nr.	3	4	4a	5	2	6	1	
Abstand von Unterkante [cm]	10,5	19,5		28,5	37,5	43	49,5	
Rissrichtung	Horizontal	Horizontal	Verästelung von 4	Horizontal	Horizontal	Horizontal mit Verästelung	Horizontal	
Rissbreiten [mm]	0% * F_{\max} - 0kN	<0,1	X	X	X	<0,1	X	<0,1
	25% * F_{\max} - 85kN	0,1	0,1	X	<0,1	0,1	X	<0,1
	50% * F_{\max} - 170kN	0,2	0,1 - 0,2	X	0,1	0,1 - 0,2	X	0,1
	75% * F_{\max} - 255kN	0,2	0,2	X	0,2	0,2 - 0,3	X	0,1 - 0,2
	100% * F_{\max} - 340kN	0,2	0,35	>0,1	0,35	0,3 - 0,35	<0,1	0,2
	50% * F_{\max} + 4 Quer - 170kN / 4kN	0,2	0,1 - 0,2	<0,1	0,5	0,1 - 0,2	<0,1	0,1
Anmerkungen	Gemessene Rissbreiten entsprechen maximaler Rissbreiten, Riss 5 zeigte Risschluss nahe der Querkraftpresse.							

7.3 Laborauswertung V2_DAT_DCP_02

Tab. 28: Laborauswertung V2_DAT_DCP_02

Alter des Probekörpers: >28 Tage

Riss-Nr.	3	2	5	1	4
Abstand von Unterkante [cm]	14,5	26	34	40	48
Rissrichtung / Eigenschaft	Horizontal	links geneigt	Horizontal	rechts geneigt	Horizontal
Rissbreiten [mm]	0% * F _{max} - 0kN	X	X	X	X
	25% * F _{max} - 85kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	50% * F _{max} - 170kN	0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	75% * F _{max} - 255kN	0,1 - 0,2	0,1	<0,1	0,1
	100% * F _{max} - 340kN	0,1 - 0,2	0,1	<0,1	0,1
	50% * F _{max} + 4 Quer - 170kN / 4kN	0,1 - 0,2	0,3	<0,1	0,1
Anmerkungen	Gemessene Rissbreiten entsprechen maximaler Rissbreiten, Riss 2 zeigte Risschluss nahe der Querkraftpresse.				

7.4 Laborauswertung V2_DAT_GCP_01

Tab. 29: Laborauswertung V2_DAT_GCP_01

Alter des Probekörpers: >28 Tage

Riss-Nr.	1	2	3	6	4	5
Abstand von Unterkante [cm]	5	16,5	29,5	33	41	52,5
Rissrichtung / Eigenschaft	Horizontal	Horizontal	links geneigt, verästelt	Horizontal, nur halbseitig	Horizontal	links geneigt
Rissbreiten [mm]	0% * Fmax - 0kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	25% * Fmax - 85kN	0,1	0,1 - 0,2	0,1	<0,1	<0,1
	50% * Fmax - 170kN	0,1	0,2	0,1	<0,1	0,1 - 0,2
	75% * Fmax - 255kN	0,1	0,3	0,2	<0,1	0,1 - 0,2
	100% * Fmax - 340kN	0,1	0,35	0,2 - 0,3	0,35	0,3 - 0,35
	50% * Fmax + 4 Quer - 170kN / 4kN	0,1	0,2	0,3	<0,1	0,2	0,1 - 0,2
Anmerkungen	Prüfkörper wurde bereits für CT-Versuch getestet, daher Rissbild bereits abgeschlossen. Gemessene Rissbreiten entsprechen maximaler Rissbreiten, Riss 3 zeigte Risschluss nahe der Querkraftpresse. Auftreten mehrerer Haarrisse bei Querkraftbelastung					

7.5 Laborauswertung V2_DAT_DCP_01

Tab. 30: Laborauswertung V2_DAT_DCP_01

Alter des Probekörpers: >28 Tage

Riss-Nr.	1	2	3	6	4	5
Abstand von Unterkante [cm]	16	22	25	33	37	40
Rissrichtung / Eigenschaft	Horizontal, verästelt	Horizontal	rechts geneigt, verästelt	Horizontal	links geneigt	Horizontal
Rissbreiten [mm]	0% * Fmax - 0kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	25% * Fmax - 85kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	50% * Fmax - 170kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	75% * Fmax - 255kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	100% * Fmax - 340kN	<0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1
	50% * Fmax + 4 Quer - 170kN / 4kN	<0,1	<0,1	0,1	0,1 - 0,2	<0,1	<0,1
Anmerkungen	Prüfkörper wurde bereits für CT-Versuch getestet, daher Rissbild bereits abgeschlossen. Gemessene Rissbreiten entsprechen maximaler Rissbreiten, Riss 3 und 6 zeigten Risschluss nahe der Querkraftpresse.					

7.6 Laborauswertung V3_DAT_GCP_01

Tab. 31: Laborauswertung V3_DAT_GCP_01

Alter des Probekörpers: 9 Tage

Riss-Nr.	9	1	8	2	3	4	5	7	6
Abstand von Unterkante [cm]	6	15,5	22	28	33,5	37	45,5	50,5	55
Rissrichtung / Eigenschaft	unförmig von Unterkante kommend	links geneigt, verästelt	Horizontal	Horizontal	rechts geneigt	Horizontal	Horizontal, verästelt zu 7	Horizontal, verästelt zu 5	Horizontal, verästelt
Rissbreiten [mm]	0% * F_{\max} - 0kN	X	X	X	X	X	X	X	X
	25% * F_{\max} - 85kN	X	<0,1	X	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	X
	50% * F_{\max} - 170kN	X	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
	75% * F_{\max} - 255kN	<0,1	0,2	<0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
	100% * F_{\max} - 340kN	0,2	0,3	<0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,1
	50% * F_{\max} + 4 Quer - 170kN / 4kN	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1
	50% * F_{\max} + 8 Quer - 170kN / 8kN	<0,1	0,1	0,1	0,1	>0,1	>0,1	0,7	<0,1
Anmerkungen	Gemessene Rissbreiten entsprechen maximaler Rissbreiten, Riss 3 bis 5 zeigten Risschluss nahe der Querkraftpresse erst bei 8kN Querkraft.								

7.7 Laborauswertung V3_DAT_DCP_01

Tab. 32: Laborauswertung V3_DAT_DCP_01

Alter des Probekörpers: 9 Tage

Riss-Nr.	9	3	11	2	10	12	4	5	1	7	6	8
Abstand von Unterkante [cm]	15,5	16,5	18,5	19,5	22,5	25	29	33	35,5	37	39	44,5
Rissrichtung / Eigenschaft	Horizontal	rechts geneigt	rechts geneigt	rechts geneigt, verästelt	rechts geneigt, halbseitig	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal, halbseitig	Horizontal, verästelt	Horizontal
Rissbreiten [mm]	0% * F _{max} - 0kN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	25% * F _{max} - 85kN	X	<0,1	X	<0,1	X	X	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	X
	50% * F _{max} - 170kN	X	<0,1	X	<0,1	X	X	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	X
	75% * F _{max} - 255kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	X	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
	100% * F _{max} - 340kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
	50% * F _{max} + 4 Quer - 170kN / 4kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1 - 0,2	0,1 - 0,2	<0,1	<0,1	<0,1
	50% * F _{max} + 8 Quer - 170kN / 8kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,2	<0,1	0,1	<0,1
Anmerkungen	Gemessene Rissbreiten entsprechen maximaler Rissbreiten, Riss 4 bis 5 zeigten Risschluss nahe der Querkraftpresse erst bei 8kN Querkraft.											

7.8 Laborauswertung V3_DAT_GCP_02

Tab. 33: Laborauswertung V3_DAT_GCP_02

Alter des Probekörpers: 9 Tage

Riss-Nr.	6	1	12	8	2	3	9	4	7	10	5	11
Abstand von Unterkante [cm]	6	13,5	16,5	21,5	24	30	31,5	37	39	46	48	51,5
Rissrichtung / Eigenschaft	Horizontal	Horizontal	Horizontal, halbseitig	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
Rissbreiten [mm]	0% * F_{\max} - 0kN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	25% * F_{\max} - 85kN	X	<0,1	X	X	<0,1	<0,1	X	X	X	<0,1	X
	50% * F_{\max} - 170kN	<0,1	0,1	X	X	0,1	<0,1	X	0,1	<0,1	X	0,1
	75% * F_{\max} - 255kN	<0,1	0,1	X	X	0,1	0,1	X	0,1	<0,1	X	0,1
	100% * F_{\max} - 340kN	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,2	0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1
	50% * $F_{\max} + 4$ Quer - 170kN / 4kN	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,2	<0,1	0,1 - 0,2	<0,1	<0,1	0,1
	50% * $F_{\max} + 8$ Quer - 340kN / 8kN	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	>0,2	<0,1	0,1 - 0,2	<0,1	<0,1	0,1
Anmerkungen	Gemessene Rissbreiten entsprechen maximaler Rissbreiten, Riss 3 zeigte Risschluss nahe der Querkraftpresse bei 4kN Querkraft.											

7.9 Laborauswertung V3_DAT_DCP_02

Tab. 34: Laborauswertung V3_DAT_DCP_02

Alter des Probekörpers: 9 Tage

Riss-Nr.	9	7	1	2	6	11	5	3	4	8	10
Abstand von Unterkante [cm]	14,5	18,5	21	24	26	33,5	35	37	41	43	45
Rissrichtung / Eigenschaft	Horizontal, halbseitig	rechts geneigt	rechts geneigt	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal, zackig	Horizontal, zackig	Horizontal
Rissbreiten [mm]	0% * F _{max} - 0kN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	25% * F _{max} - 85kN	X	X	<0,1	<0,1	X	X	X	<0,1	X	X
	50% * F _{max} - 170kN	X	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	X	<0,1	<0,1	<0,1	X
	75% * F _{max} - 255kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	X	<0,1	<0,1	<0,1	X
	100% * F _{max} - 340kN	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
	50% * F _{max} + 4 Quer - 170kN / 4kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
	50% * F _{max} + 8 Quer - 170kN / 8kN	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	0,1	<0,1
Anmerkungen	Gemessene Rissbreiten entsprechen maximaler Rissbreiten, Riss 3 bis 5, 10 und 11 zeigten deutlichen Risschluss nahe der Querkraftpresse erst bei 8kN Querkraft.										

7.10 Zusammenfassung der Prüfergebnisse

Um die Ergebnisse der in den vorhergegangenen Kapiteln ausgewerteten Belastungsversuche veranschaulichen zu können, werden nachfolgend einige der Ergebnisse genauer betrachtet, grafisch aufbereitet und durch eine verbale Beschreibung ergänzt.

Hierzu wurde im ersten Schritt der Rissabstand (aller Risse während der Versuchsdurchführung) zur Probekörperunterkante dargestellt. In Abb. 26 ist eine Zusammenstellung sämtlicher Risse aller untersuchten Versuchskörper, über die gesamte Länge des jeweiligen Probekörpers, dargestellt. Zusätzlich dazu wurden die Daten nach deren Abbindezeit unterteilt. Aus Charge drei, die Probekörper mit einer Abbindezeit von 9 Tagen und aus Charge zwei jene mit einer Abbindezeit >28 Tagen. Der Einfachheit halber, wurden die Probekörpernamen in Abb. 26 um den Ausdruck ‚DAT‘ gekürzt.

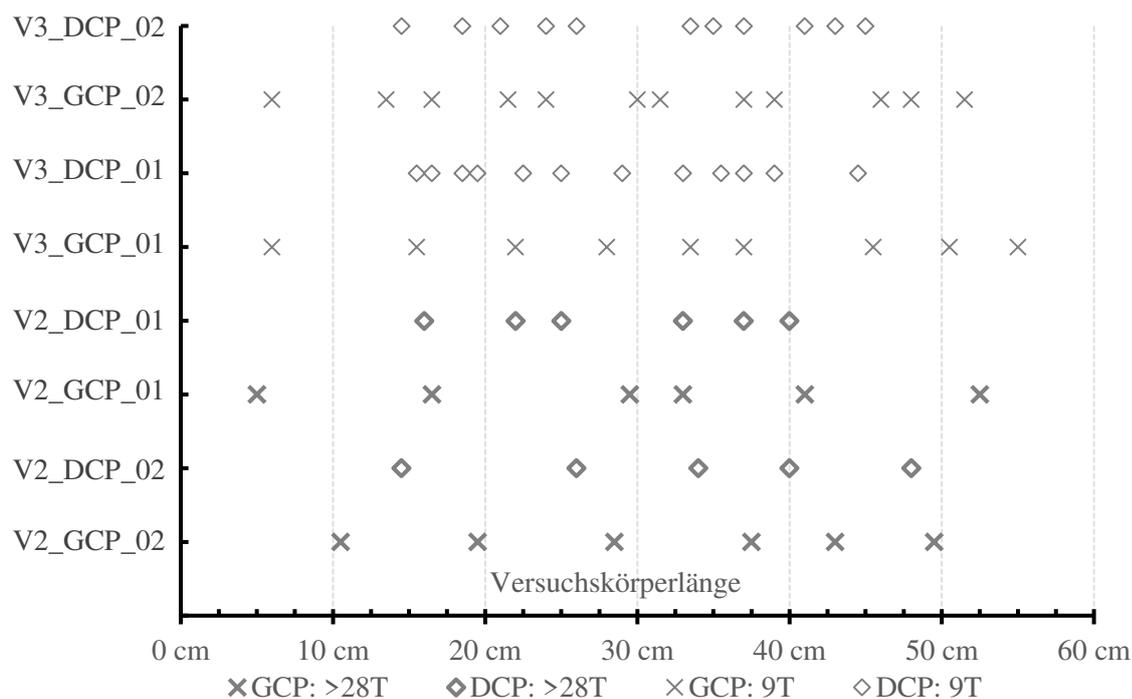


Abb. 26: Rissabstand zur Unterkante des Versuchskörpers

Die Darstellung in Abb. 26 zeigt, dass zum einen zwischen den Versuchskörper mit einer Abbindezeit von 9 Tagen und jenen mit 28 Tagen ein Unterschied in der Anzahl an Rissen zu erkennen ist. Zum anderen ist ersichtlich, dass sich die Rissbildung bei Versuchskörpern mit einfachem Korrosionsschutz regelmäßiger über die Länge des Versuchskörpers verteilt. Auf diesen Punkt wird in Kapitel 8 näher eingegangen.

Des Weiteren wurden die Rissbreiten der einzelnen Probekörper begutachtet und verglichen. Um dies darstellen zu können, wurde für die nachfolgende Auswertung

immer der ‚Maximalriss‘, also die größte, erfasste Rissbreite jedes Risses betrachtet. Daraus lässt sich, wie in Abb. 27 und Abb. 28 ersichtlich, die Rissbreitenentwicklung des Maximalrisses in Abhängigkeit der Laststufe beobachten. Sollte eine eindeutige Zuordnung der Rissbreite nicht möglich gewesen sein, wurde diese als Zwischenwert angeführt (sh. Erläuterungen in Kapitel 7.1 letzter Absatz).

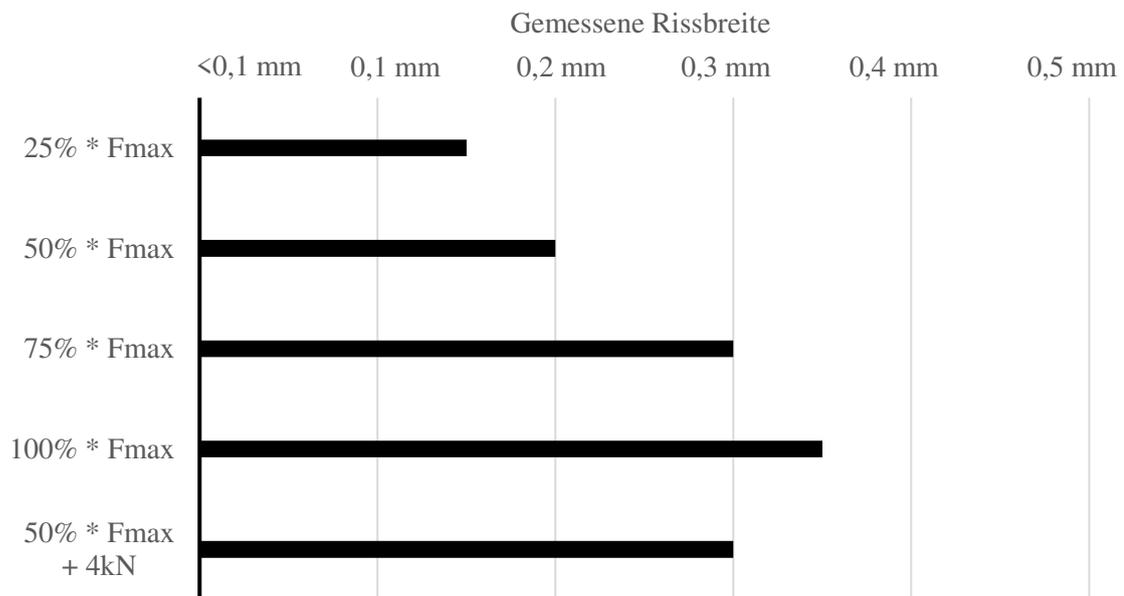


Abb. 27: Rissbreitenentwicklung V2_DAT_GCP_01

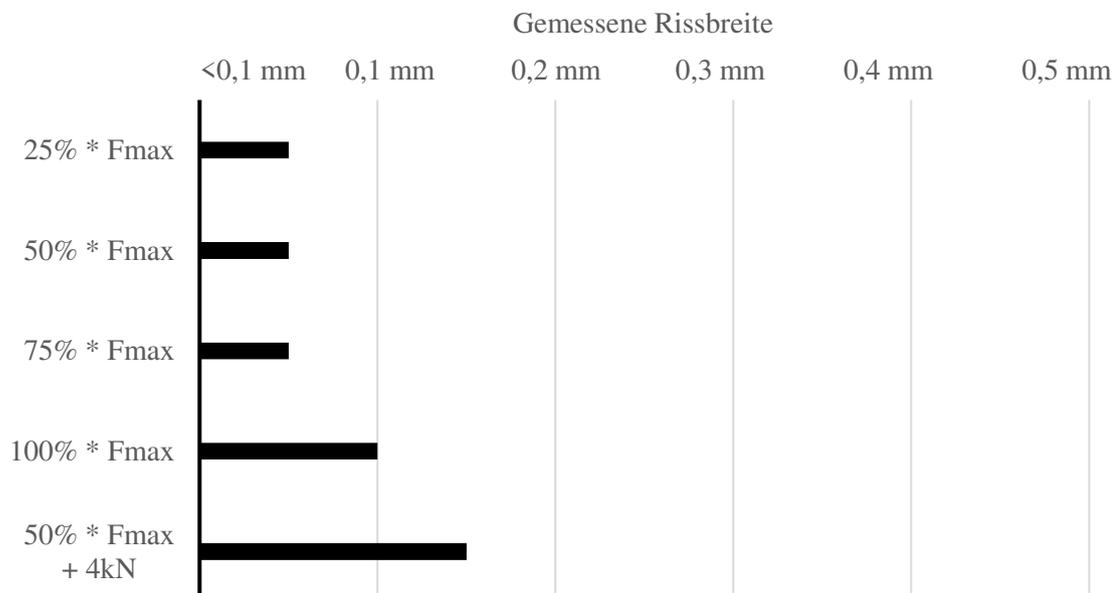


Abb. 28: Rissbreitenentwicklung V2_DAT_DCP_01

Abschließend wird in Abb. 29 ein Vergleich der Rissbreiten aller Versuchskörper für die jeweilige Laststufe, unterteilt nach GCP und DCP, dargestellt. Die roten Markierungen stellen den jeweiligen Mittelwert dar.

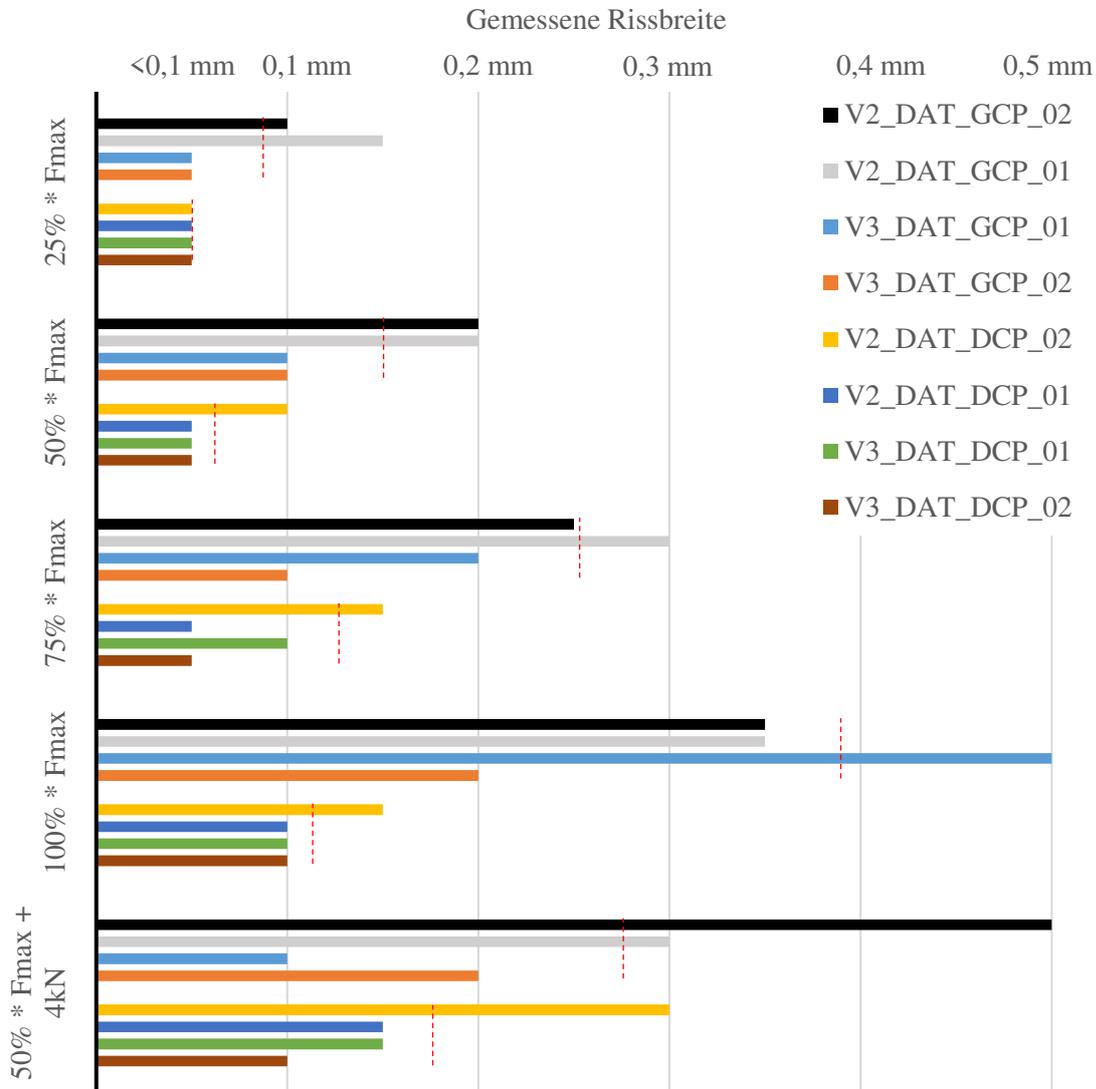


Abb. 29: Vergleich der Rissbreitenentwicklung aller Versuchskörper

7.11 Freilegung des inneren Verpresskörpers von V2_DAT_DCP_02

Wie bereits in Kapitel 7.1 kurz beschrieben, wurde im Laufe der Laborversuche der innere Verpresskörper eines DCP Versuchskörpers freigelegt und begutachtet. Ausschlaggebender Grund dafür waren die Ergebnisse der in Kapitel 6 beschriebenen CT-Scans – nämlich keine eindeutig erkennbaren Risse im inneren Verpresskörper. Nach vorsichtigem Entfernen der äußeren Verpressgutschicht mittels Meißel, wurde das Ripprohr behutsam aufgeschnitten und der Zustand des inneren Verpresskörper dokumentiert. Um eine bessere Sichtbarkeit der Haarrisse

zu erzielen, wurde der Prüfkörper vor der Fotodokumentation zusätzlich benässt. Durch diesen Arbeitsschritt wurden entlang des Verpresskörpers viele sehr dünne Haarrisse ($< 0,1$ mm) im Verpresskörper sichtbar.



Abb. 30: Bruchstück des äußeren Verpresskörpers mit Verbundrippen

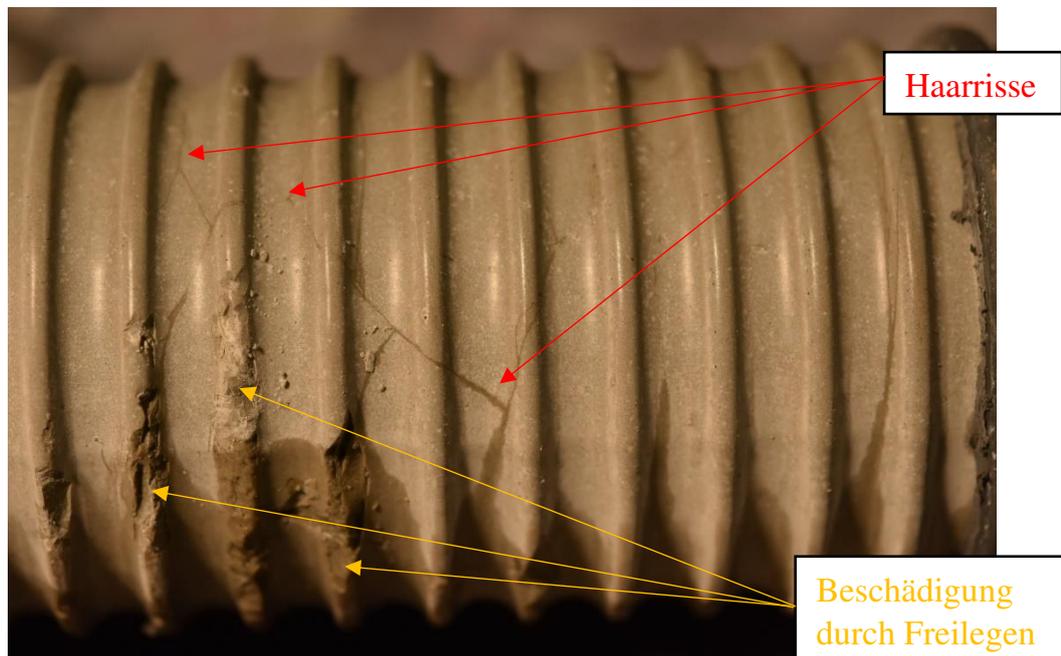


Abb. 31: Haarrisse im inneren Verpresskörper

Die in Abb. 31 erkennbaren Beschädigungen an den Betonrippen entstanden beim Freilegen. Weitere Bilder sind dem Anhang 3 – Bilder zum Laborversuch zu entnehmen.

8 Resümee

In diesem Kapitel werden abschließend die im Zuge dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Dauerhaftigkeit geotechnischer Zuelemente zusammengefasst und beurteilt.

Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden geotechnische Bauverfahren und Sicherungsmaßnahmen betrachtet und aufgelistet. Manche Literatur teilt hier in vier grundlegende Bauverfahren der Geotechnik: Pfähle, Ankertechnik, Schlitzwandtechnik und Spundwandbauweise. Detaillierter betrachtet muss jedoch festgestellt werden, dass dies eine lückenhafte Unterteilung der Verfahren darstellt, da sich die Geotechnik auch weiterer Bauverfahren, wie beispielsweise die unterschiedlichen Technologien der Baugrundverbesserung bedient. Nichts desto trotz, konnten Zuelemente in der Geotechnik aufgrund ihrer inneren Lastabtragungsart definiert und von anderen Konstruktionselementen unterschieden werden. Im Zuge der in Kapitel 2 beschriebenen Zuelemente und deren unterschiedlicher Herstellungs-, Bewehrungs- und Lastabtragungsarten konnte eine Abgrenzung des Themengebietes auf zentral (mittig) bewehrte Zuelemente – wie es beispielsweise ZVP's, Mikropfähle oder Nägel sind – vorgenommen werden. Weitergehend wurde mittels der Literaturrecherche die in Normen empfohlenen Korrosionsschutzmaßnahmen betrachtet. Vergleicht man die österreichischen Normen für Zuelemente in der Geotechnik, also die Normen für Bodenvernagelungen, Mikropfähle, Verdrängungspfähle und Verpressanker, so werden Vorgaben zum Korrosionsschutz unterschiedlich detailliert ausgeführt. Während die Norm für Verpressanker eine – größtenteils – in sich schlüssige Empfehlung darlegt, ist eine einheitliche oder übersichtliche Empfehlung zum Korrosionsschutz in den anderen Normen teils nur bedingt zu erkennen. So konnte beispielsweise unterschiedliche Namensgebungen für dieselbe Korrosionsschutzmethode in den jeweiligen Normen oder auch Verweise auf nicht vorhandene Tabellen in anderen Normen festgestellt werden. Eine übersichtliche Einschätzung des benötigten Korrosionsschutzsystems, inkl. aller damit verbundenen Anmerkungen und Regelungen ist folglich schwierig.

Klarheit schafft dabei die – zum Zeitpunkt der Arbeit noch in Entwurf stehende – ÖNORM B4456, welche die Thematik zur Dauerhaftigkeit von Verankerungen übersichtlich klärt und unterschiedliche Korrosionsschutzsysteme definiert. So werden in dieser Norm die Korrosionsschutzklassen einfache-, doppelte- und materialbedingter Korrosionsschutz definiert, wobei ersterer wiederum in Korrosionszugabe, Beschichtung, Verzinkung oder die Einkapselung in Verpressgut gliedert werden kann. Mit der bereits beschriebenen Abgrenzung der geotechnischen Zuelemente sowie den Korrosionsschutzsystemen der ÖNORM B4456 konnte eine exakte Definition der Prüfkörper, welche für die labortechnischen- und computertomographischen Untersuchungen in dieser Arbeit herangezogen wurden, erfolgen. Getestet wurden – mittig mit einem Gewindestab

armierte – geotechnische Zugelemente, welche in ihrem Aufbau einem Mikropfahl oder Bodennagel gleichen. Es galt dabei das Rissverhalten und Rissbild zweier Korrosionsschutzsysteme zu untersuchen. Einerseits dem einfachen Korrosionsschutz mittels Einkapselung (GCP), andererseits dem doppelten Korrosionsschutz mittels zwei durch ein Ripprohr getrennten Verpressmörtelschichten (DCP). Die beiden in einem Computertomographen getesteten Prüfkörper wiesen dabei sehr unterschiedliche Rissbilder und Rissbreiten auf (sh. Kapitel 6.2 bzw. 6.3). Obwohl aufgrund der hohen Dichte an Stahlbauteilen (des Prüfrahmens und dem Zugelement) im Vergleich zum Verpressgut – und daraus folglich eine ‚Strahlung‘ und gewisse Undeutlichkeit der CT-Bilder – eine exakte Rissbreitenbestimmung nicht möglich war, konnten durch die Scans einige wichtige Erkenntnisse erlangt werden.

Während bei einem einfach korrosionsgeschützten Versuchskörper (GCP) sehr deutliche, meist geradlinige und durchgehende Risse bis zum Bewehrungsstab erkennbar waren, wies der doppelt korrosionsgeschützter Versuchskörper (DCP) hingegen mehrere kleine, weniger geradlinige, verästelte und oft nicht durchgehende Risse in seiner äußeren Verpressmörtelschicht auf. In der inneren Verpressmörtelschicht der DCP Versuchskörper wurden hingegen keine Risse in den CT-Aufnahmen erkannt. Diese Ergebnisse wurden auch in den zusätzlich zu den CT-Scans durchgeführten Laboruntersuchungen, wie in Kapitel 7 beschrieben, bestätigt. Abb. 26 zeigt eine eindeutige Forcierung der Risse in den mittleren Bereichen der DCP-Versuchskörper, wohingegen die GCP-Versuchskörper ein eher homogeneres Rissbild (hinsichtlich der Rissabstände) aufwiesen. Dazu kommen die in Abb. 29 dargestellten – wesentlich geringeren – Rissbreiten, welche die Mehrzahl der DCP-Versuchskörper zeigten. Zusätzlich dazu kann in einer Kombination von Abb. 26 und Abb. 29 ein sehr deutlicher Unterschied der Rissentwicklung in Abhängigkeit des Probekörperalters festgestellt werden. Während Versuchskörper mit einem Alter >28 Tage tendenziell weniger, dafür aber größere, Risse aufweisen, waren bei Versuchskörpern mit einem Alter von 9 Tagen vermehrte kleine Risse erkennbar. Die Beaufschlagung der Versuchskörper mit einem (sehr geringen) Biegemoment verursachte zusätzlich enorme einseitige Rissaufweitungen. Auch die in den CT-Scans nicht erkennbaren Risse im inneren Verpresskörper des DCP wurden durch das Freilegen dieses inneren Verpresskörpers bestätigt (sh. Kapitel 7.11).

Die rechnerische Nachweisbarkeit einer Rissbreitenbegrenzung – vor allem bei einer Momentenbeaufschlagung – hat sich als eine sehr komplexe und im Zuge dieser Arbeit zeitlich nicht umsetzbare Aufgabenstellung herausgestellt.

Zusammenfassend kann aus den Ergebnissen dieser Arbeit formuliert werden, dass sich das Rissverhalten, vor allem bei Rissbreiten $\geq 0,1$ mm zwischen DCP und GCP stark unterscheidet. Bezugnehmend auf den Korrosionsschutz weist der DCP ein wesentlich besseres Verhalten hinsichtlich der Verhinderung des Zutritts von korrosionsfördernden Mitteln zum Stahlstab auf.

9 Literaturverzeichnis

- Adam, D., Breit, K., Stadler, J. und Kainrath, A. (2017), “Zur Wirkungsweise von vorgespannten Ankern”, TU Wien, Wien, 2017.
- ANP - SYSTEMS GMBH (2016a) *Zulassung ANP - SHS Fels- und Bodennagel*.
- ANP - SYSTEMS GMBH (2016b) *Zulassung ANP - Mikropfahl SAS 550*.
- Austrian Standards Institute *ÖNORM B 4456 (Entwurf - Stand 07.09.2020): Dauerhaftigkeit von Verankerungen*, Wien.
- Austrian Standards Institute (2009) *ÖNORM EN ISO 1461: Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgetragene Zinküberzüge (Stückverzinken) - Anforderungen und Prüfungen*, 25.220.40, Wien.
- Austrian Standards Institute (2010) *ÖNORM EN 14490: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau — Bodenvernagelung*, 93.020.
- Austrian Standards Institute (2015) *ÖNORM EN 12699: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verdrängungspfähle*, 93.020.
- Austrian Standards Institute (2015) *ÖNORM EN 1537: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau — Verpressanker*, 93.020.
- Austrian Standards Institute (2016) *ÖNORM EN 14199: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau — Mikropfähle*, 93.020.
- Austrian Standards Institute (2017) *ÖNORM EN 206: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*, Wien.
- Baumgart, R. (2020), “Vorlesungsunterlagen - Massivbau. Begrenzung der Rissbreiten”, Behelf, Hochschule Darmstadt, Darmstadt, 2020.
- Boley, C. und Adam, D. (Hrsg.) (2012) *Handbuch Geotechnik: Grundlagen - Anwendungen - Praxiserfahrungen; mit 185 Tabellen, Praxis*, 1. Aufl., Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Böning, G. (2018), “Optimierung technischer Parameter in der Computertomographie (CT) zur Qualitätssicherung in der Patientenversorgung”, Dissertation, Medizinische Fakultät Charité, Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Juni 2018.
- Burkert, A., Lehmann, J. und Ebell, G. (2010) *Korrosions- und Verbundverhalten verzinkter Betonstähle in Betonen mit chromatreduzierten Zementen*, Stuttgart.
- Burtscher, S.L., Rebhan, M.J., Marte, R. und Scharinger, F. (2017), “Neue Methoden zur Korrosionsdetektion an Litzen- und Stabankersystemen”.
- Chauvin Arnoux Group (2010) *Leitfaden zur Erdungsprüfung: Erdungsprüfung und Messung des spezifischen Erdwiderstands*, 1 Ausgabe.
- Dausch, G. und Zimbelmann, J. (2012), “Geotechnische Bauverfahren”, in Boley, C. und Adam, D. (Hrsg.), *Handbuch Geotechnik: Grundlagen - Anwendungen - Praxiserfahrungen ; mit 185 Tabellen, Praxis*, 1. Aufl., Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, S. 397–468.
- Degner, R. (2009) *pH-Messung: Der Leitfaden für Praktiker*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co; John Wiley & Sons, Weinheim.

- Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein E.V. (2016) *Begrenzung der Rissbildung im Stahlbeton- und Spannbeton*, Fassung Mai 2016.
- Deutsches Institut für Normung (2010) *DIN EN 14490: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Bodenvernagelung*, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (2015) *DIN EN 12699: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verdrängungspfähle*, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Deutsches Institut für Normung (2015) *DIN EN 1536: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Bohrpfähle*, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation - Bundesamt für Strassen (2005) *Spannglieder, Schrägseile und Anker – Beschreibung der Systeme und Erkenntnisse aus Korrosionsschäden*, Schweiz.
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation - Bundesamt für Strassen (2009), “Verbund von Spanngliedern”.
- Empelmann, M. und Waldemar, K. (2015) *Erweitertes Modell zur Berechnung der Rissbreite*, Berlin.
- Enerpac Tool Group (2020(a)) *Hollow Plunger Hydraulic Cylinders: Datenblatt* (accessed 26 November 2020).
- Enerpac Tool Group (2020(b)) *Hydraulic Cylinders: Datenblatt*.
- Grabe, J., Kalle, H.-U. und Morgen, K. (2018), “Spundwände”, in Witt, K.J. (Hrsg.), *Grundbau-Taschenbuch: Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke*, 8. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, S. 325–420.
- Haindl, A.N. (2010), “Overview of Test Methods for Ground Support”, Masterarbeit, Lehrstuhl für Bergbaukunde, Bergtechnik und Bergwirtschaft, Montanuniversität, Leoben, Juli 2010.
- Hans-Dieter Schüssele (2007) *Elektropraktiker*.
- Haugwitz, H.-G. und Pulsfort, M. (2018), “Pfahlwände, Schlitzwände, Dichtwände”, in Witt, K.J. (Hrsg.), *Grundbau-Taschenbuch: Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke*, 8. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, S. 823–907.
- Hehn, M. (2021), “Einfluss von Rissbreiten auf das Korrosionsverhalten von Mikropfählen”, Diplomarbeit, Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik, TU Graz, Januar.
- Kaufmann, W. (2017), “Vorlesungsunterlagen Stahlbeton I. Kapitel 3 - Stabtragwerke”, Behelf, ETH Zürich, Zürich, 3 Oktober.
- Kempfert, H.-G. und Moormann, C. (2018), “Pfahlgründungen”, in Witt, K.J. (Hrsg.), *Grundbau-Taschenbuch: Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke*, 8. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, S. 79–323.
- Minova International Ltd (2020a), “Glas fibre Resin Polymer (GFRP) Products”, available at: <https://www.minovaglobal.com/emea-cis/our-products/steel-and-gfrp-products/glass-fibre-resin-polymer-products/> (accessed 12 Oktober 2020).

- Minova International Ltd (2020b), “Products”, available at:
<https://www.minovaglobal.com/emea-cis/our-products/> (accessed 22 November 2020).
- Neugebauer, P., Zedler, T., Pohl, S. und Mark, P. (2015),
“Rissbreitenbegrenzung mit verzinkter Bewehrung”, *Beton- und Stahlbetonbau*, Vol. 110 No. 3, S. 191–200.
- Nürnberger, U. (1995a) *Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen - Band 1*.
Nürnberger, U. (1995b) *Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen - Band 2*.
- Presses de l'ENPC (1991) *Recommendations Clouterre: Soil Nailing Recommendations - 1991, For Designing, Calculating, Constructing and Inspecting Earth Support Systems Using Soil Nailing*, Frankreich.
- Rebhan, M.J. (2019), “Dokumentation zur Versuchsdurchführung. Ankerprüfung Rissbreitenentwicklung”.
- Roads and Maritime Service (2012) *RMS SPECIFICATION D&C B114 Ground Anchors*.
- Robert M. Ebeling, Ralph W. Strom, John E. Hite., Richard W. Haskins und James A. Evans (2013) *ERDC TR-13-3 "Assessing Corrosion Damage and Corrosion Progression in Multistrand Anchor Systems in Use at Corps Projects"*.
- Sainsbury, B.-a.L., Bolton, J. und Meikle, T. (2016), “A new corrosion resistant ground support”.
- Schlicke, D. (2017), “Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von Stahlbetonbauteilen”, Institut für Betonbau, TU Graz, 2017.
- SCHMOLZ + BICKENBACH AG - Swiss Steel AG (2020), “Spezial-Betonstahl für Bau und Geotechnik. Top12 in der Geotechnik”, available at:
<https://www.swiss-steel.com/betonstahl/top12/geotechnik/> (accessed 12 Oktober 2020).
- Wichter, L. und Meiniger, W. (2009), “Verpressanker”, in Witt, K.J. (Hrsg.), *Grundbau-Taschenbuch: Teil 2: Geotechnische Verfahren*, 7. Aufl., 1. Nachdr, Ernst, Berlin, S. 304–366.
- Zilch, K. und Zehetmaier, G. (2010) *Bemessung im konstruktiven Betonbau: Nach DIN 1045-1 (Fassung 2008) und EN 1992-1-1 (Eurocode 2)*, 2., neu bearb. und erw. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

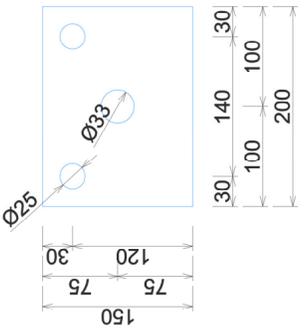
10 Anhang

10.1 Anhang 1 - Planunterlagen

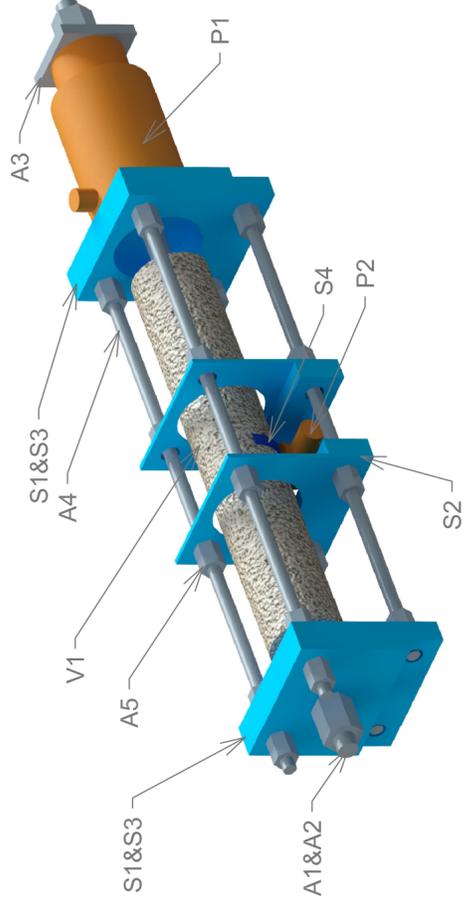
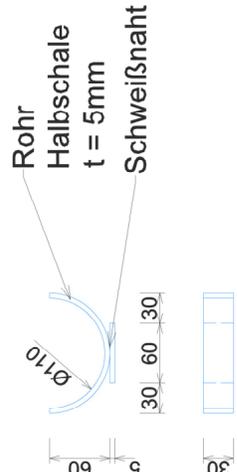
Nachfolgend:

- **Plan Versuchsrahmen** 1 Seite A4
- **Plan der herzustellenden Versuchskörper** 1 Seite A4
- **Plan neues Mittelstück Versuchsrahmen** 1 Seite A4

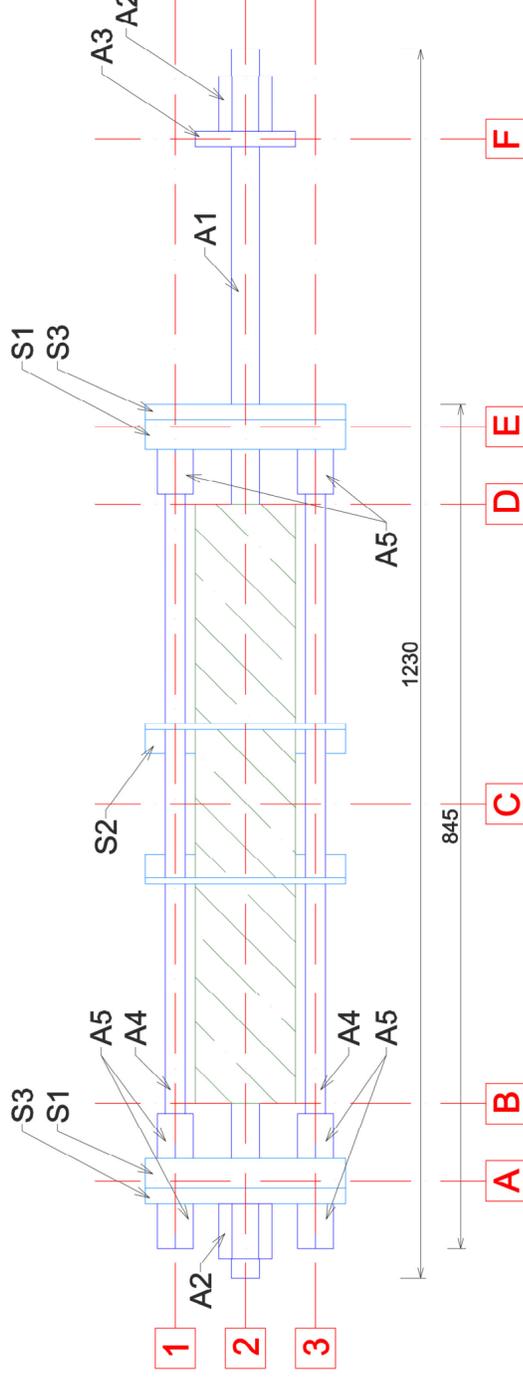
S3 - Kopfplatte
2 Stk.
150x200x15



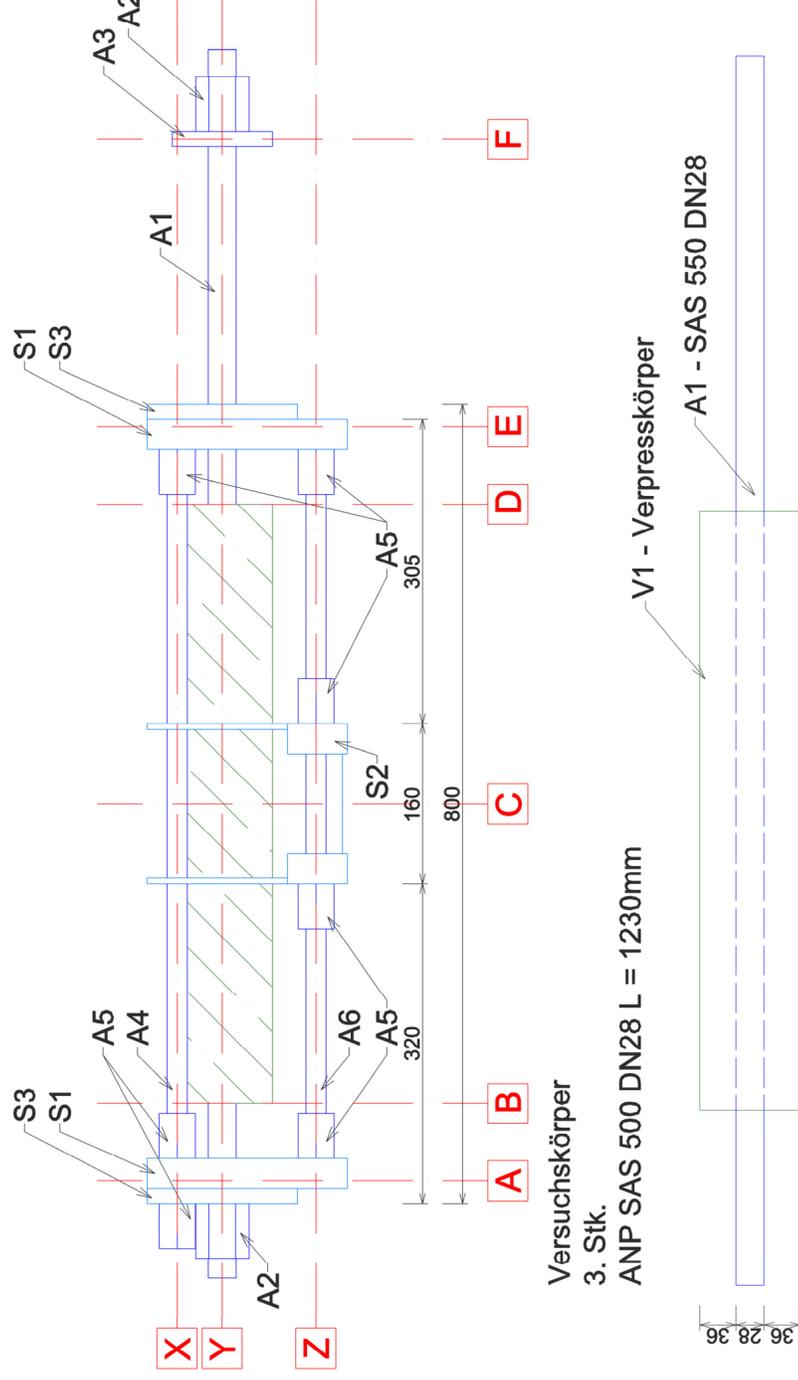
S4 - Auflagerpfanne
2 Stk.
1/2 Rohr DN110



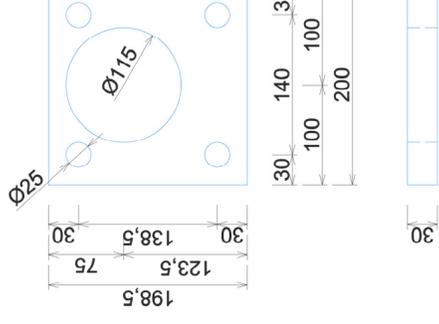
Grundriss Versuchsaufbau



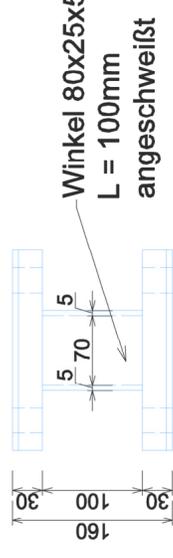
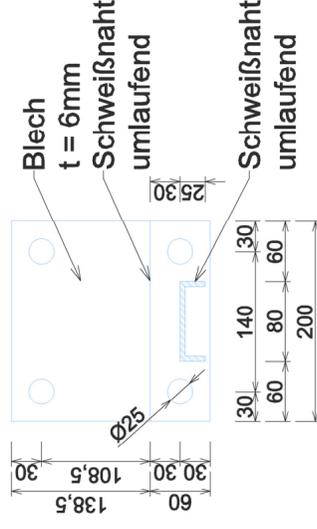
Ansicht Versuchsaufbau



S1 - Rahmen
2 Stk.
198,5x200x30



S2 - Rahmen mod.
1 Stk.
198,5x60x200x30



BAUTEILE - Stahlbau			
S235 S0 unverzinkt und unlackiert			
#	Bezeichnung	Maße [mm]	Stk.
S1	Rahmen	198,5x200x30	2
S2	Rahmen mod.	160x200x30	1
S3	Kopfplatte	150x200x15	2
S4	Auflagerpfanne	1/2 Rohr DN110	2

ANP-SYSTEMS SAS550

#	Bezeichnung	Maße [mm]	Stk.
A1	Prüfstab DN28	1230,00	5
A2	Ankermutter DN28 T2002	-	4
A3	Pfahlkopplatte DN28 T2139	-	2
A4	Druckstab DN20	845,00	4
A5	Ankermutter DN20 T2002	-	22
A6	Druckstab DN20	800,00	4

Zementkörper

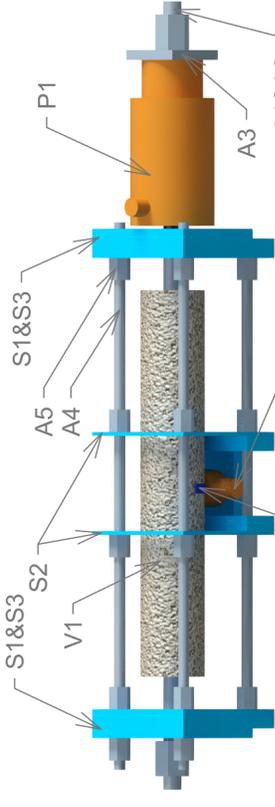
#	Bezeichnung	Maße [mm]	Stk.
V1	Verpresskörper	600,00	3

Pressentechnik

#	Bezeichnung	Typ	Stk.
P1	Zugpresse	RACH-302	1
P2	Biegepresse	RC-50	1
P3	Handpumpe	?	1
P4	Manometer	?	1
P5	Schläuche	?	2
P6	Sperr- und Verteilventil	?	1

Gewicht Versuchsaufbau

#	Bezeichnung	Gewicht [kg]
S	Stahlbau	26,81
A	ANP-Systems	20,02
V	Verpresskörper	10,86
P	Pressentechnik	13,70
Gesamt		71,39



Forschungsprojekt DAT
Dauerhaftigkeit in der Ankerentechnik
Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik
Technische Universität Graz

Prüfaufbau Rissbildung Verpresskörper

Schema Prüfaufbau Planung

Revision / Änderung

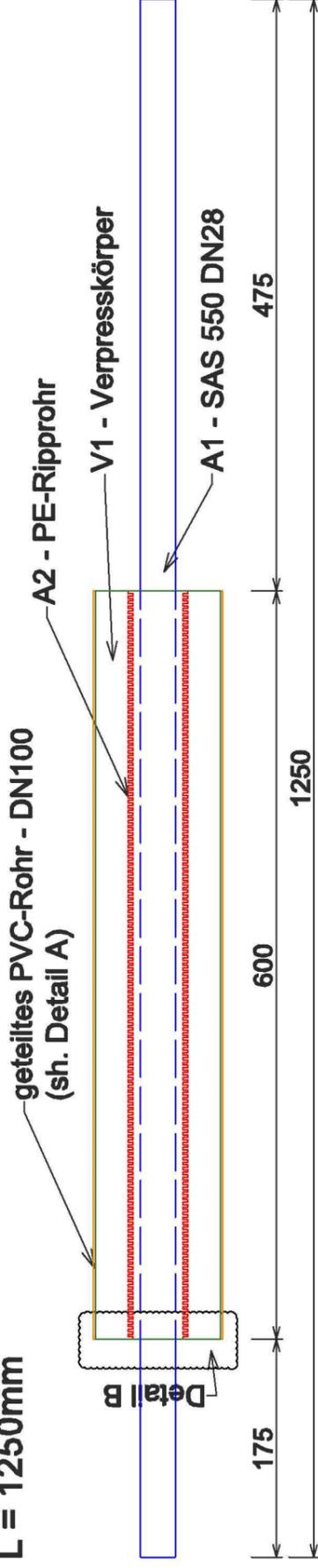
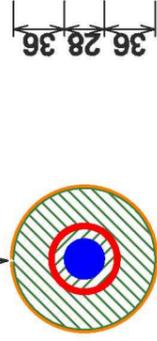
erste Ausarbeitung 06.08.2020

Maßstab	Datum	Ersteller	Geprüft	Plan. Nr.
1:5	06.08.2020	Reb		DAT_KV_20a

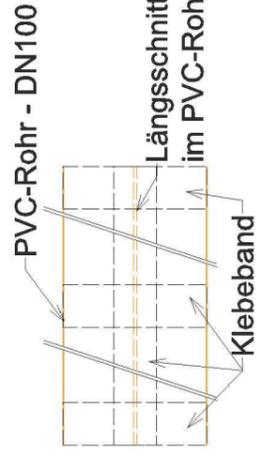
Versuchskörper 1 (2 Stk.) - DAT-RB-DCP a/b
ANP SAS 550 DCP DN28
L = 1250mm

Querschnitt:

Längsschnitt
im PVC-Rohr



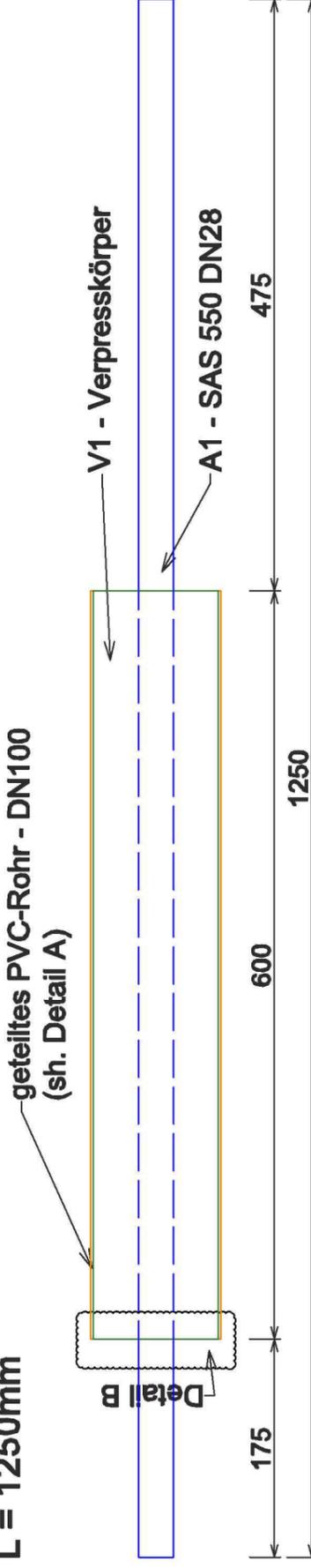
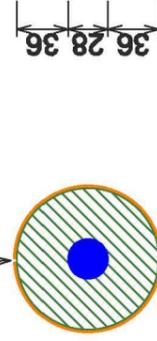
Detail A:
Schalrohr mit Längsschnitt,
wiederverklebt für verfüllen



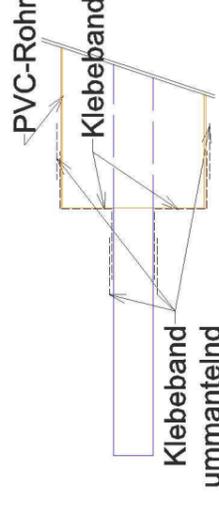
Versuchskörper 2 (2 Stk.) - DAT-RB-GCP a/b
ANP SAS 550 GCP DN28
L = 1250mm

Querschnitt:

Längsschnitt
im PVC-Rohr



Detail B:
Alternative der Endkappe



LIEFERADRESSE:

Technische Universität Graz
 Wasserbaulabor Inffeldgasse
 z.H. Matthias Rebhan
 Inffeldgasse 26
 8010 Graz
 Tel. 0316 873 6738

**Telefonische Voranmeldung 1h vor
Ankunft**

Anmerkung:
 - **Stehend** verfüllen.
 - Einbau von Stabstahl in PVC-Schalrohr DN100 **ohne Abstandhalter**.
 - **Rückstellproben von Verpressgut lt. Norm.**

Stückliste

ANP-SYSTEMS SAS550

#	Bezeichnung	Maße [mm]	Stk.
A1	Prüfstab DN28	1230,00	4
A2	PE-Ripprohr (DCP)	600,00	2
	PVC-Rohr	600,00	4
	Klebeband		

Zementkörper

#	Bezeichnung	Maße [mm]	Stk.
V1	Verpresskörper	600,00	4
	Rückstellproben lt. Norm		



Prüfkörper Rissbildung Verpresskörper

Prüfkörperplan für ANP-SYSTEMS GmbH

Revision / Änderung

erste Ausarbeitung		25.09.2020
Maßstab	Datum	Ersteller
1:5	25.09.2020	Reb/Dol
		Geprüft
		Plan. Nr.
		DAT_KV_20b

Forschungsprojekt DAT
 Dauerhaftigkeit in der Ankerstechnik

Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik
 Technische Universität Graz

10.2 Anhang 2 - CT-Bilder

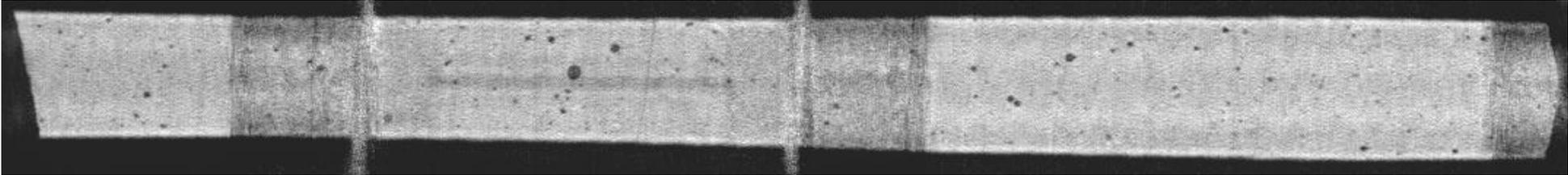
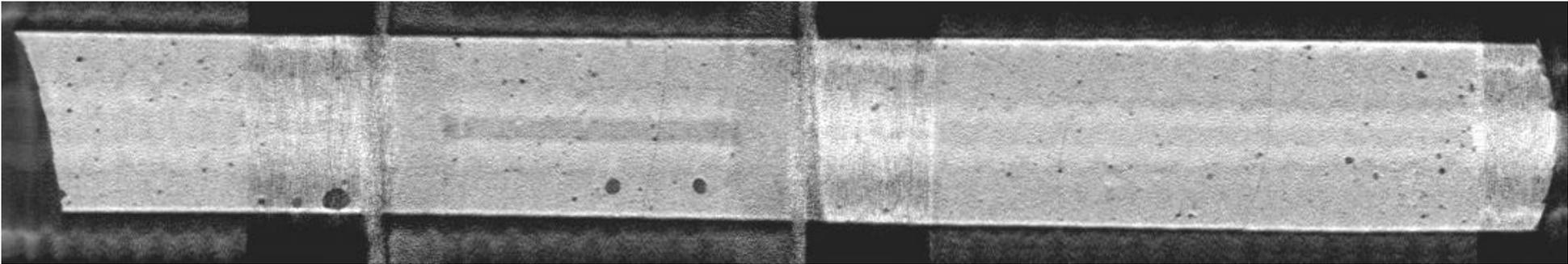
Nachfolgend:

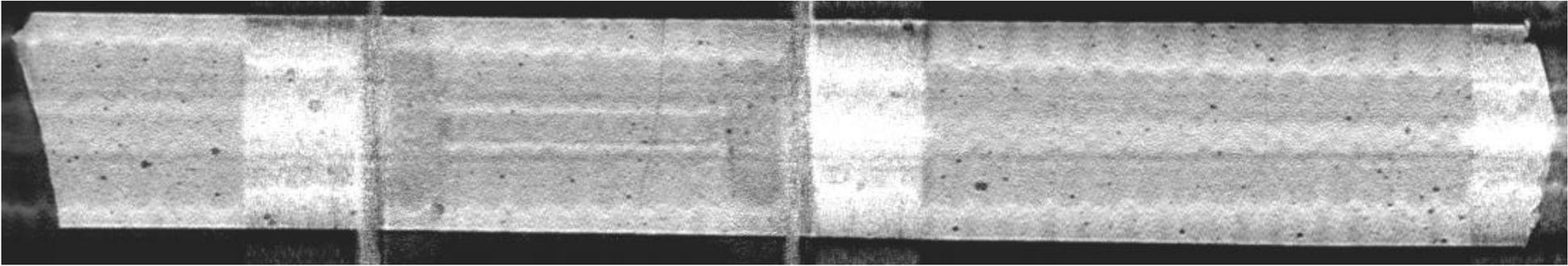
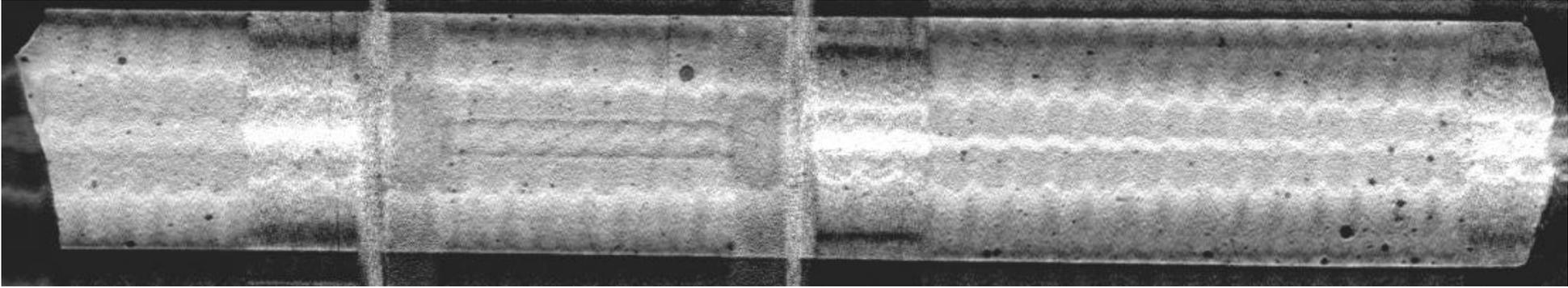
- **Bilder CT-Scan, Probekörper V1_DAT_GCP_01 unter folgenden Laststufen:**
 - 100 kN Axial 8 Seiten A4
 - 200 kN Axial 8 Seiten A4

- **Bilder CT-Scan, Probekörper V2_DAT_GCP_01 unter folgenden Laststufen:**
 - 0% * F_{\max} Axial 8 Seiten A4
 - 50% * F_{\max} Axial 8 Seiten A4
 - 100% * F_{\max} Axial 8 Seiten A4
 - 50% * F_{\max} Axial + 4 kN Querkraft 8 Seiten A4

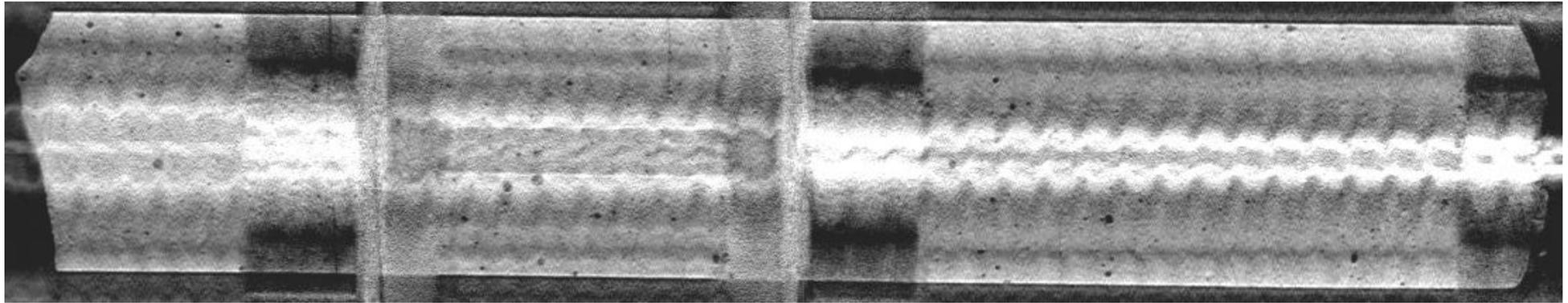
- **Bilder CT-Scan, Probekörper V2_DAT_DCP_01 unter folgenden Laststufen:**
 - 0% * F_{\max} Axial 8 Seiten A4
 - 50% * F_{\max} Axial 8 Seiten A4
 - 100% * F_{\max} Axial 8 Seiten A4
 - 50% * F_{\max} Axial + 4 kN Querkraft 8 Seiten A4
 - 50% * F_{\max} Axial + 11,5 kN Querkraft 8 Seiten A4

CT-Scan Probekörper V1_DAT_GCP_01 mit Belastungsstufe 100kN

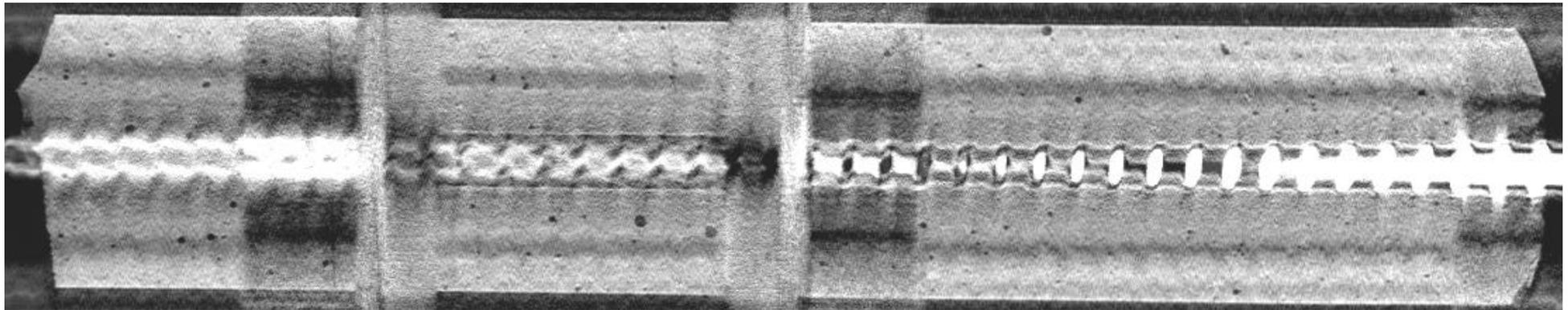
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(30) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	6,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(40) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	12,6 mm	29.10.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(50) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	18,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(60) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	24,6 mm	29.10.2020
			

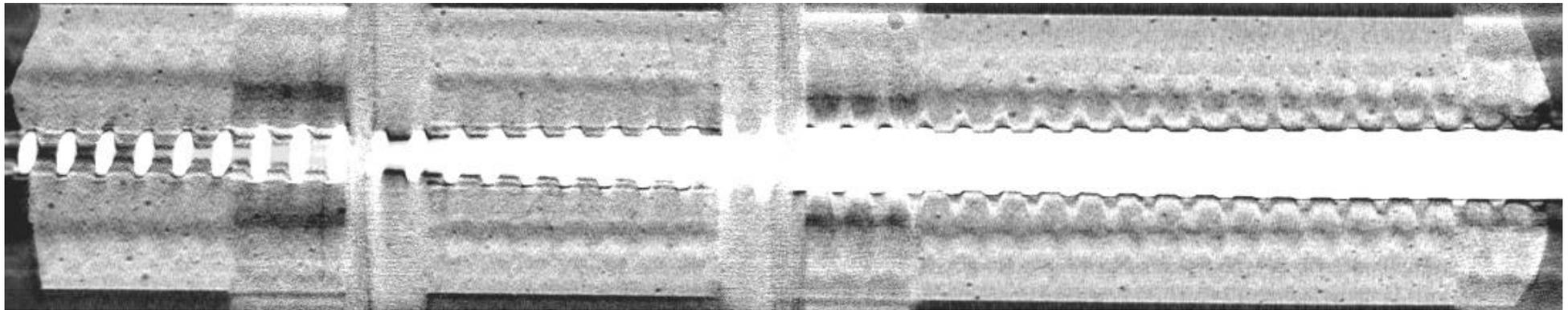
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(70) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	30,6 mm	29.10.2020



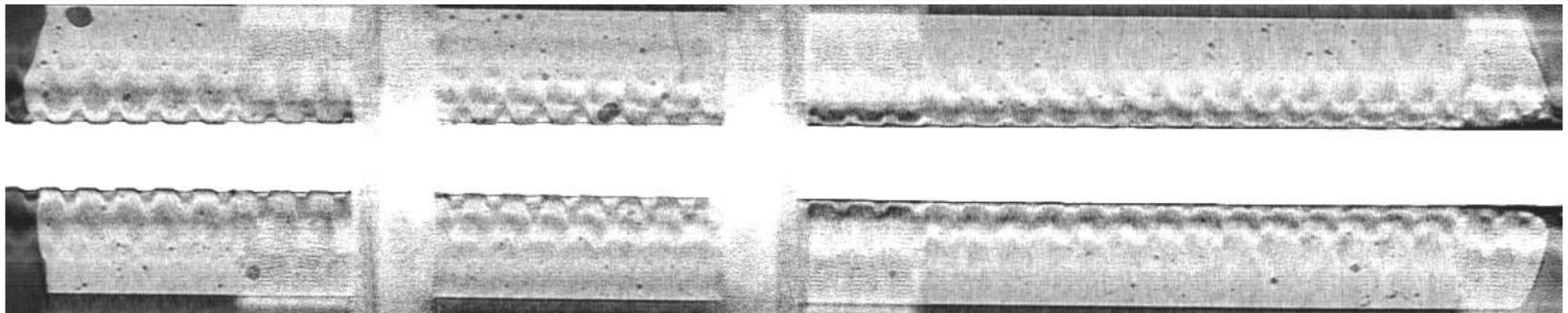
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(80) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	36,6 mm	29.10.2020

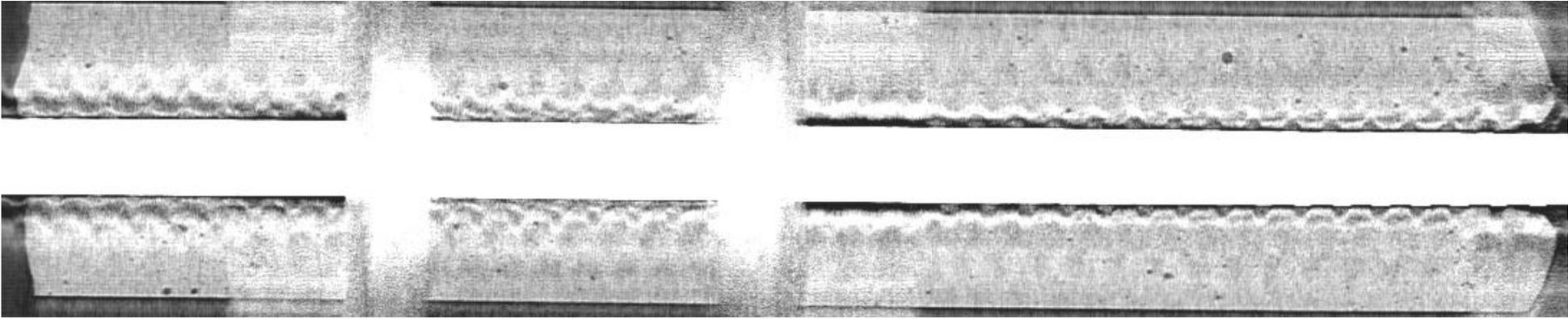
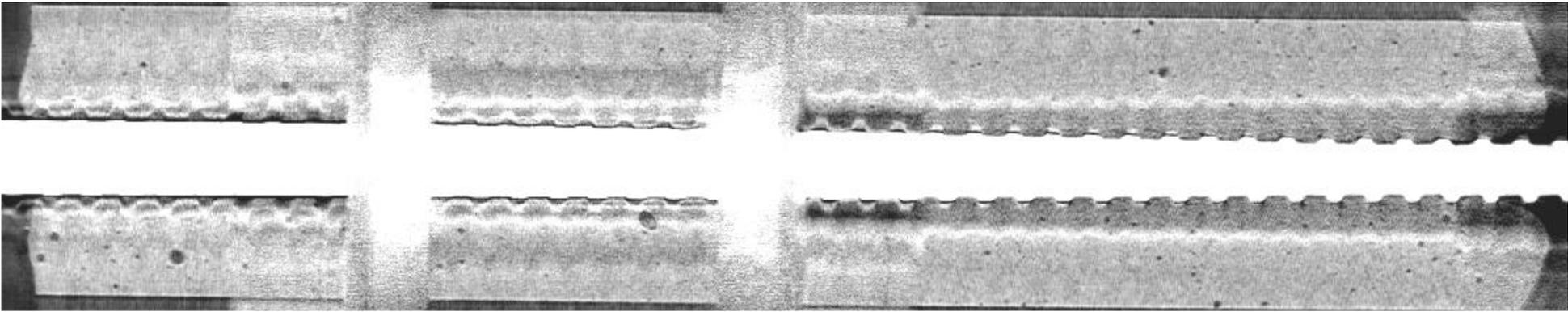


Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(90) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	42,6 mm	29.10.2020

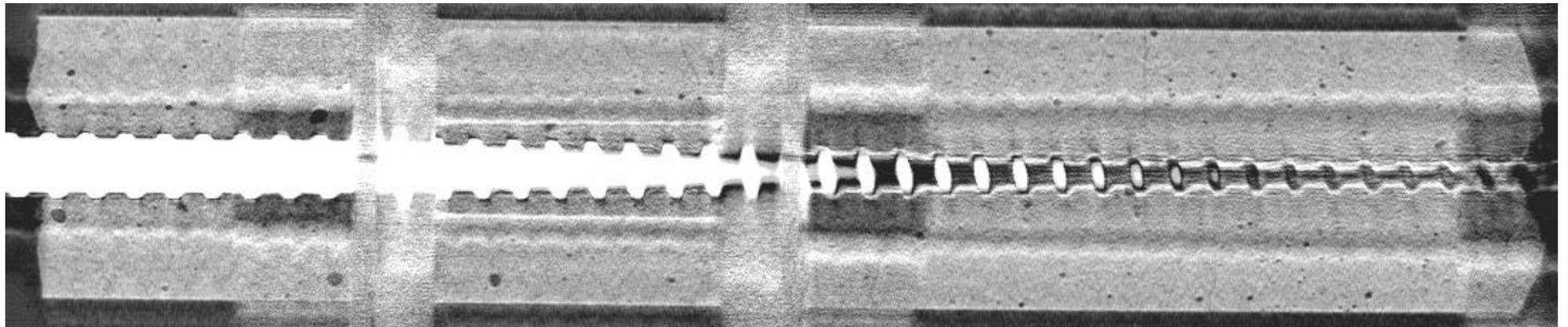


Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(100) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	48,6 mm	29.10.2020

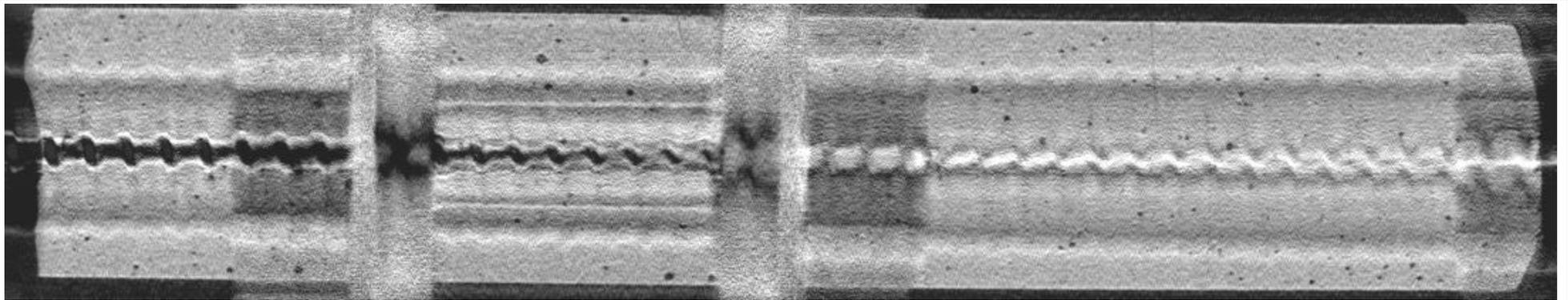


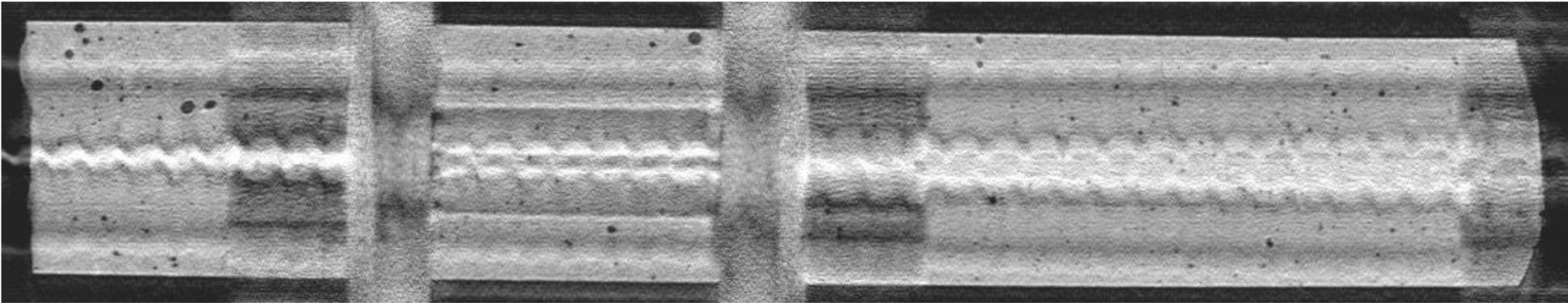
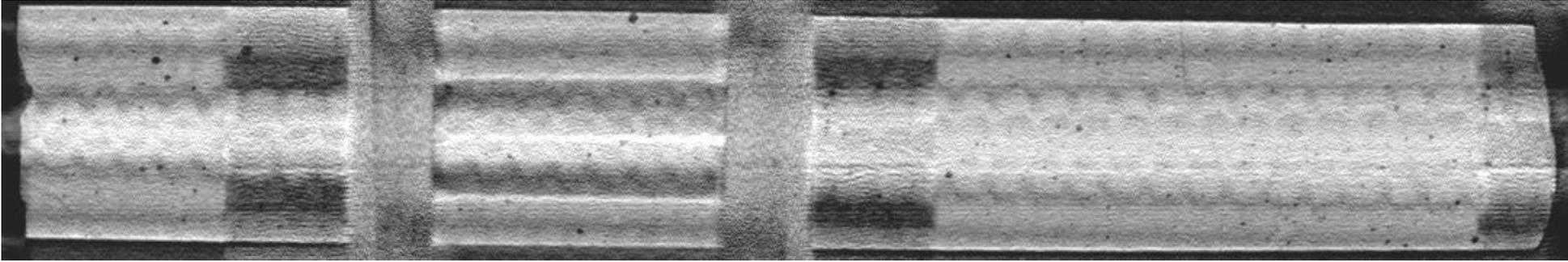
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(110) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	54,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(120) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	60,6 mm	29.10.2020
			

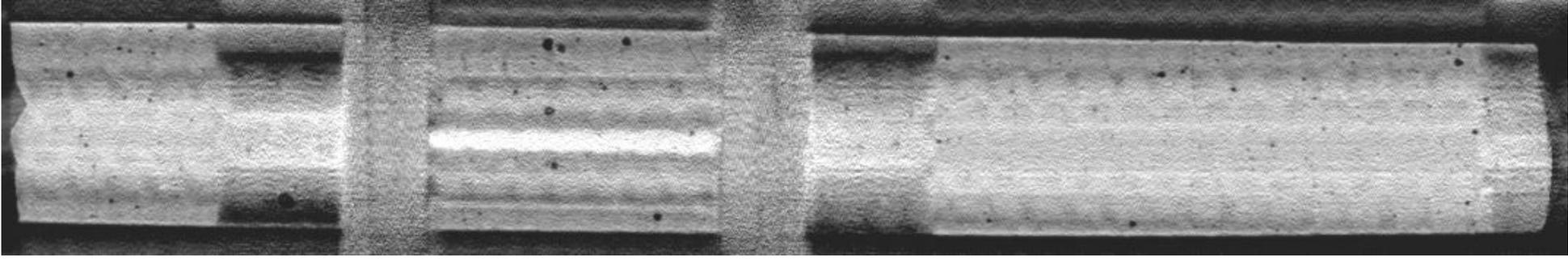
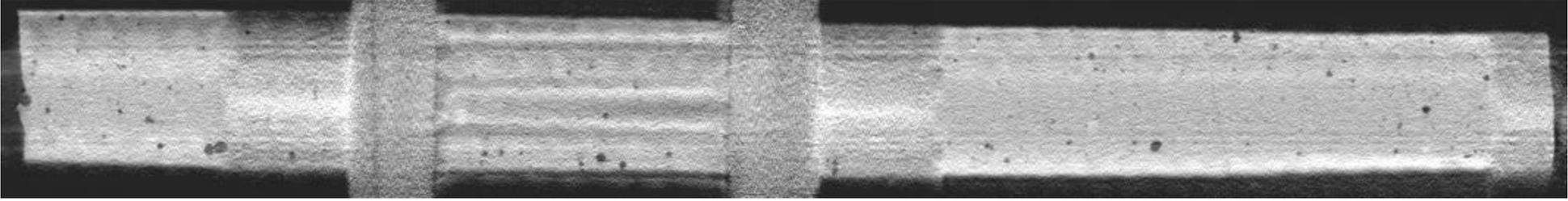
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(130) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	66,6 mm	29.10.2020



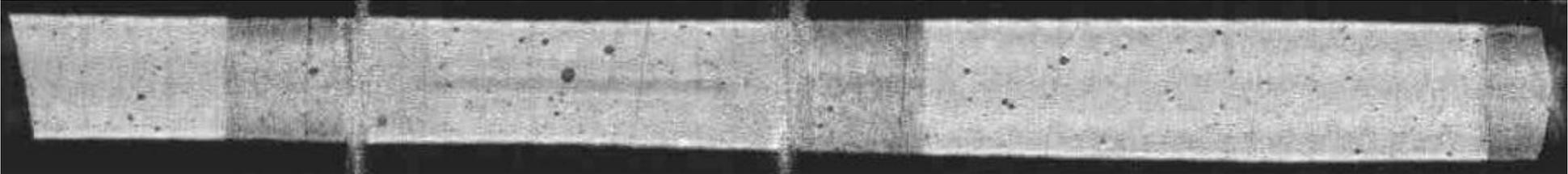
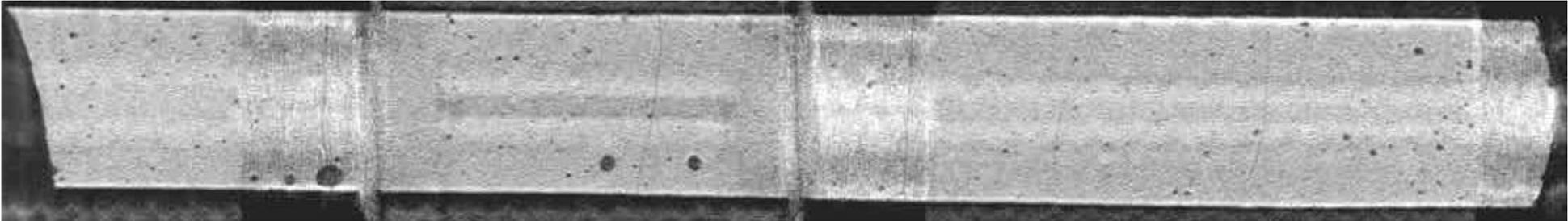
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(140) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	72,6 mm	29.10.2020

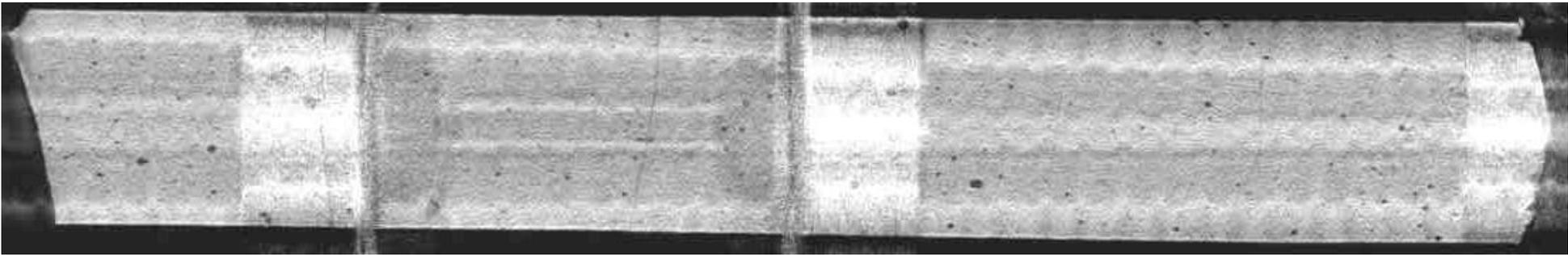
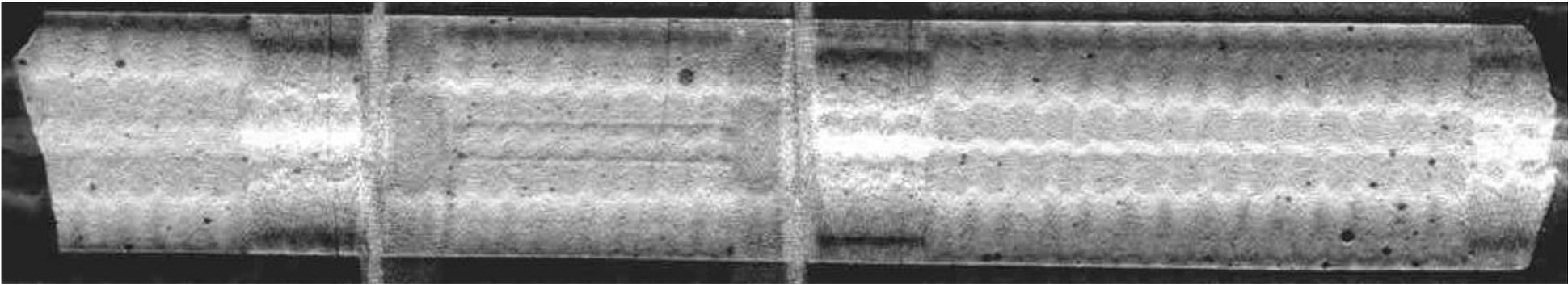


Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(150) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	78,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(160) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	84,6 mm	29.10.2020
			

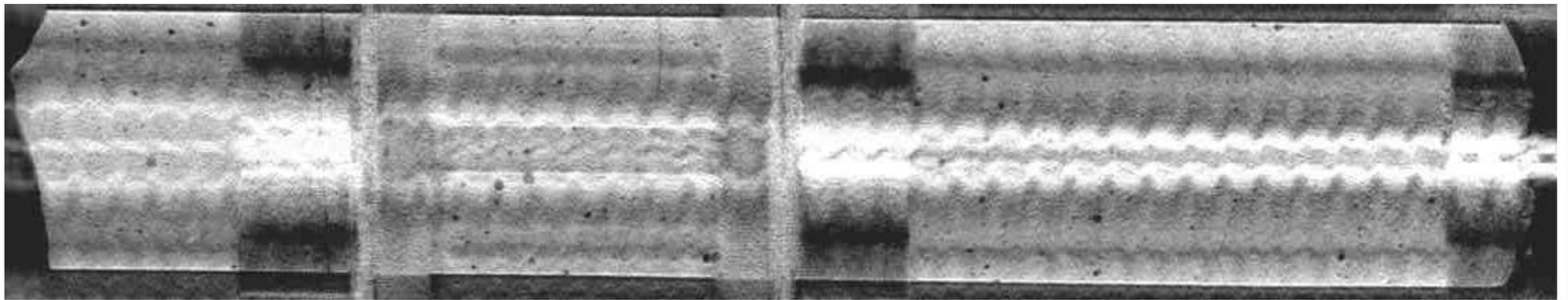
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(170) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	90,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(180) – 100kN	Coronal (von oben nach unten)	96,6 mm	29.10.2020
			

CT-Scan Probekörper V1_DAT_GCP_01 mit Belastungsstufe 200kN

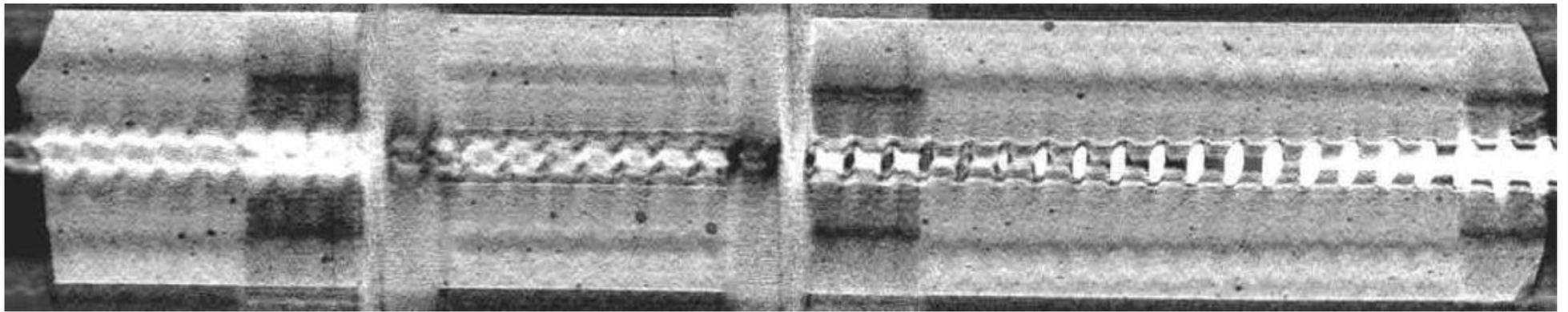
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(29) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	6,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(39) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	12,6 mm	29.10.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(49) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	18,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(59) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	24,6 mm	29.10.2020
			

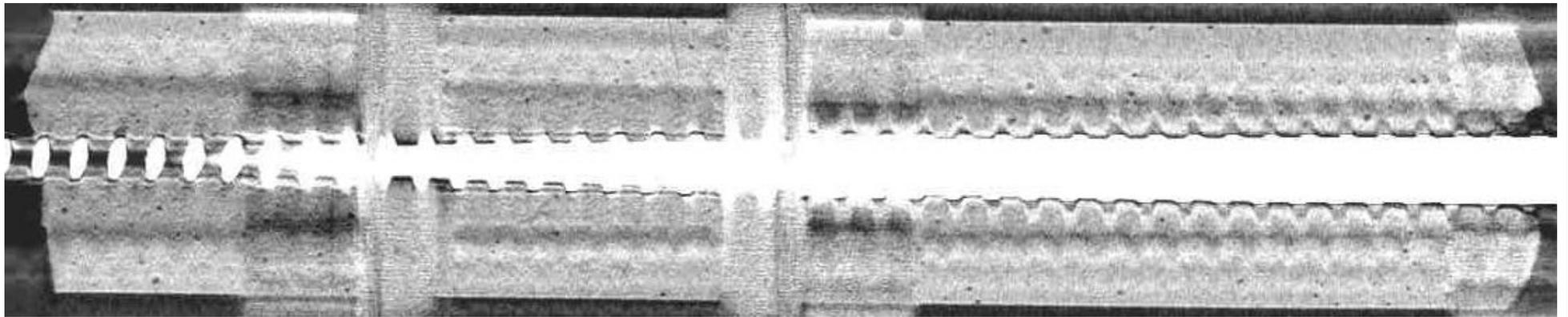
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(69) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	30,6 mm	29.10.2020



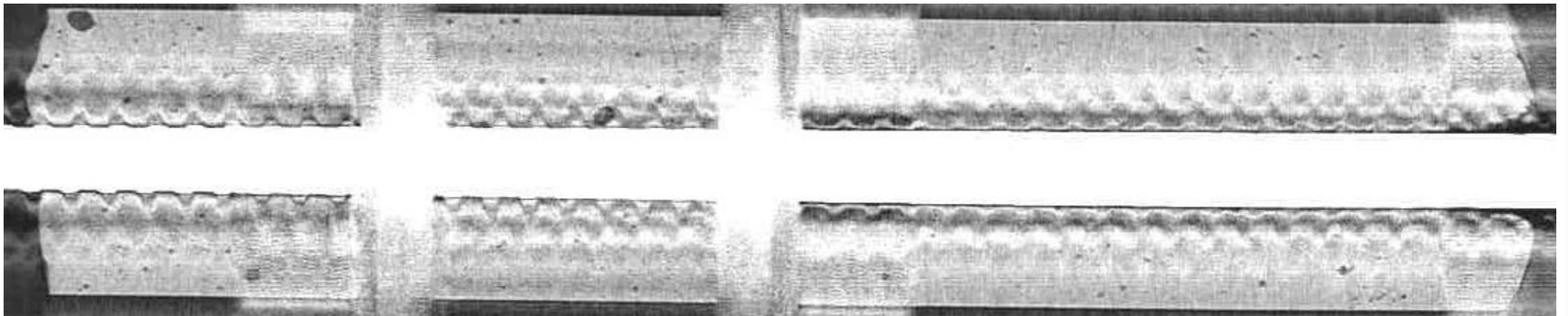
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(79) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	36,6 mm	29.10.2020

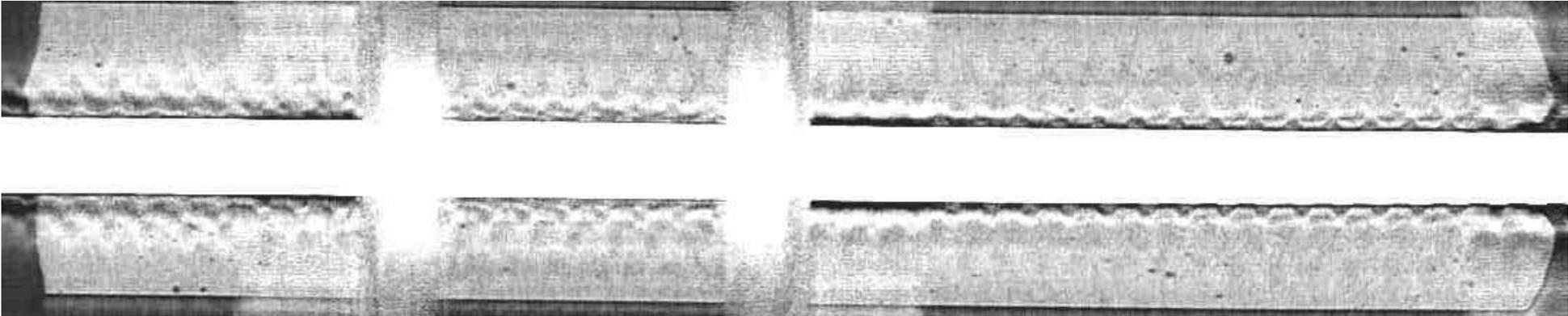
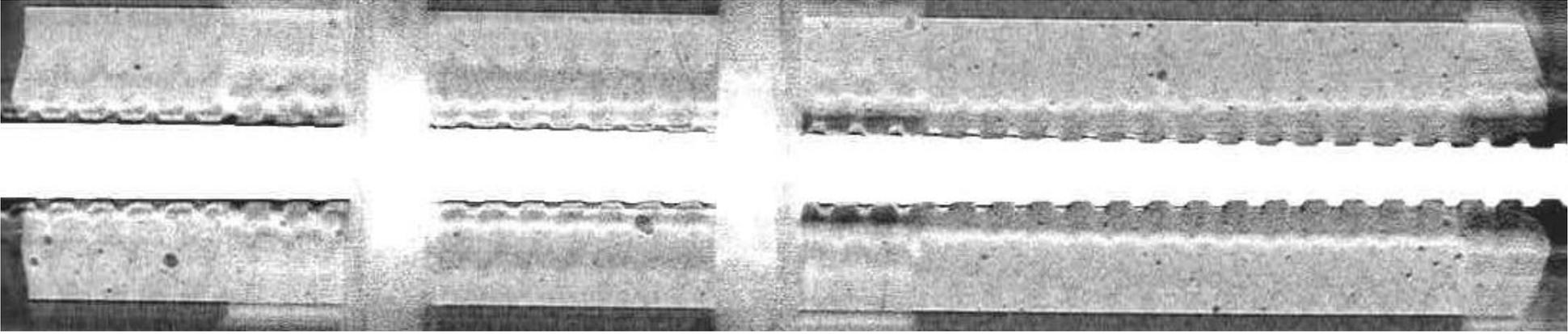


Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(89) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	42,6 mm	29.10.2020

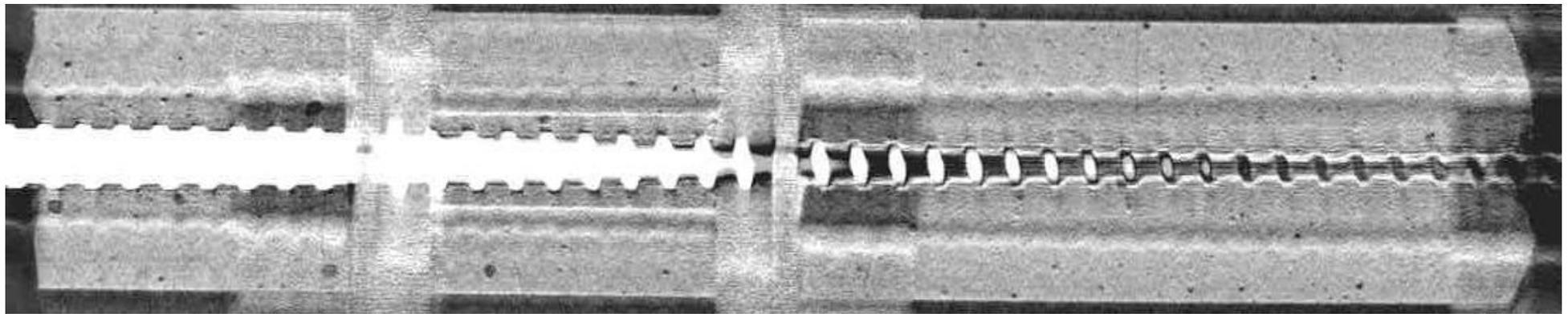


Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(99) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	48,6 mm	29.10.2020

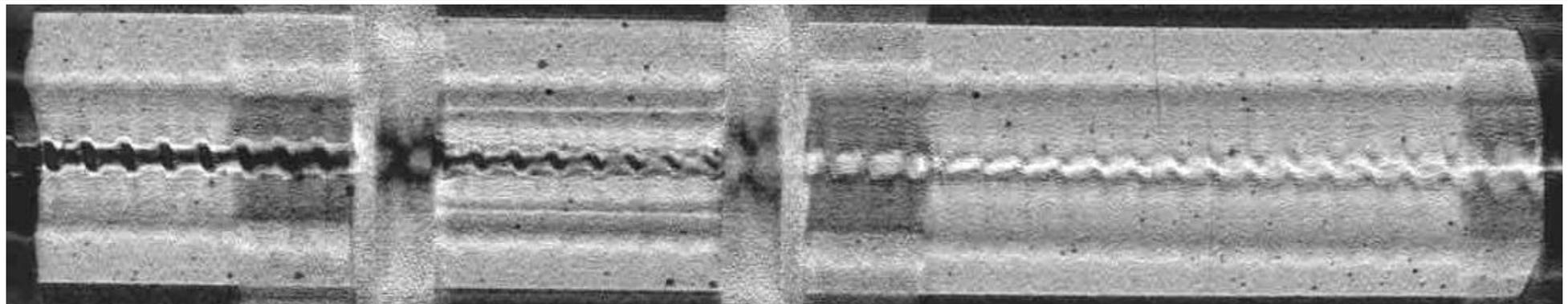


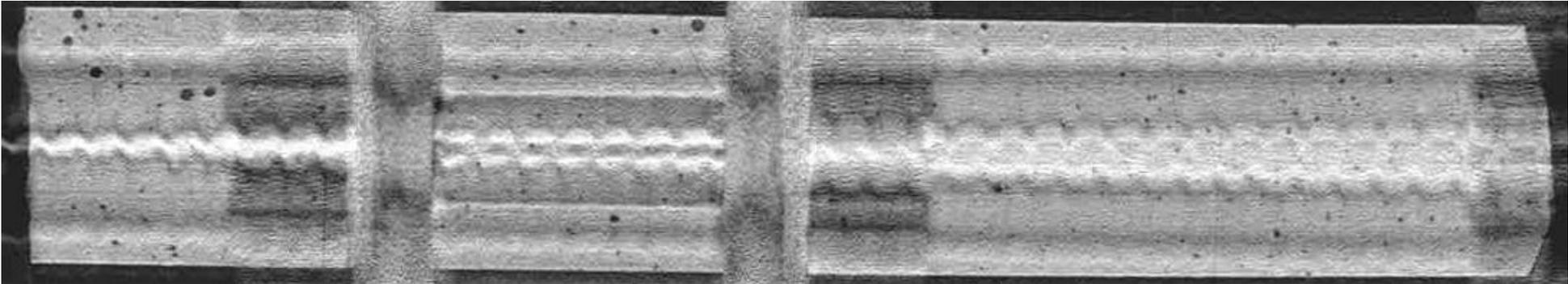
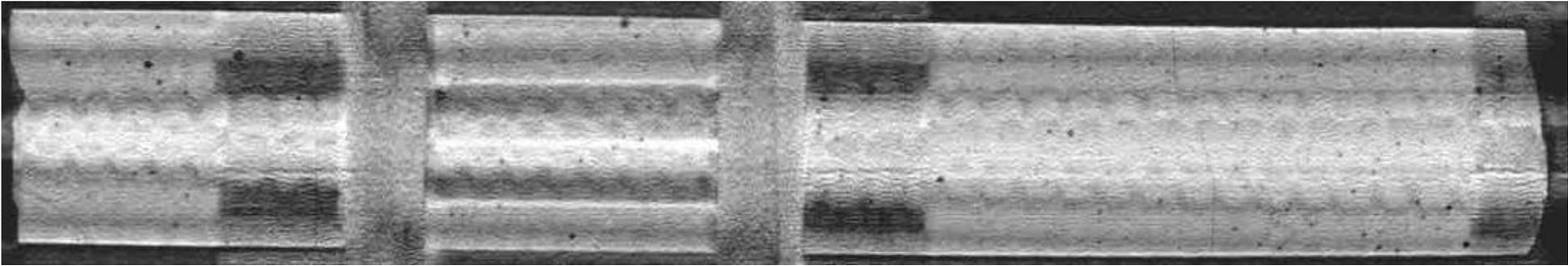
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(109) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	54,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(119) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	60,6 mm	29.10.2020
			

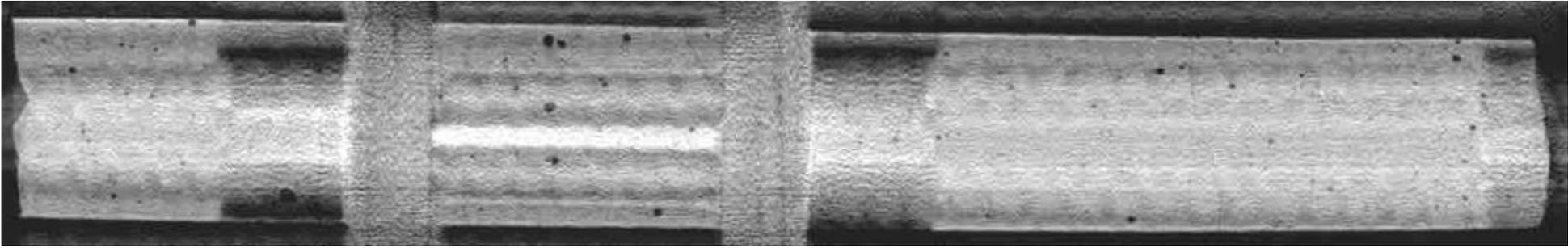
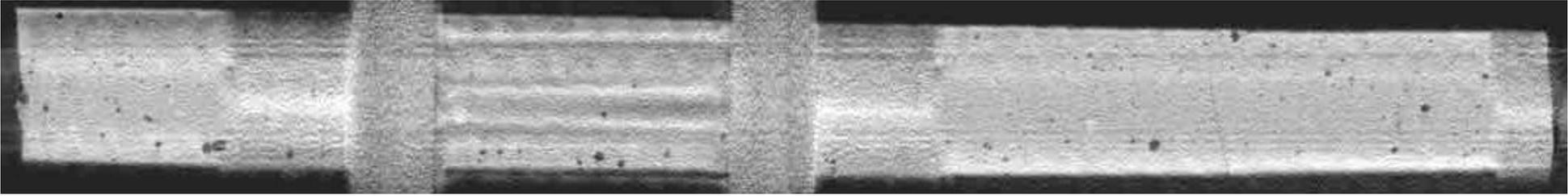
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(129) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	66,6 mm	29.10.2020



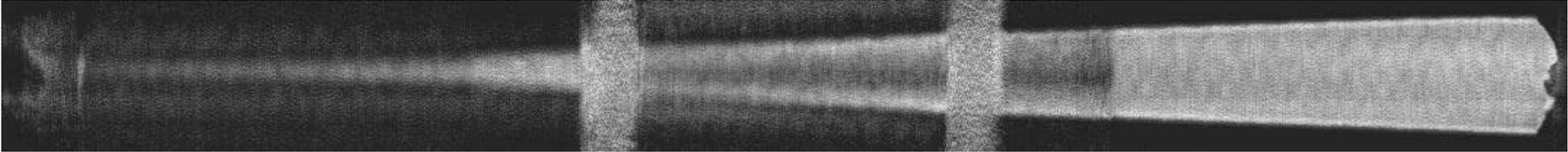
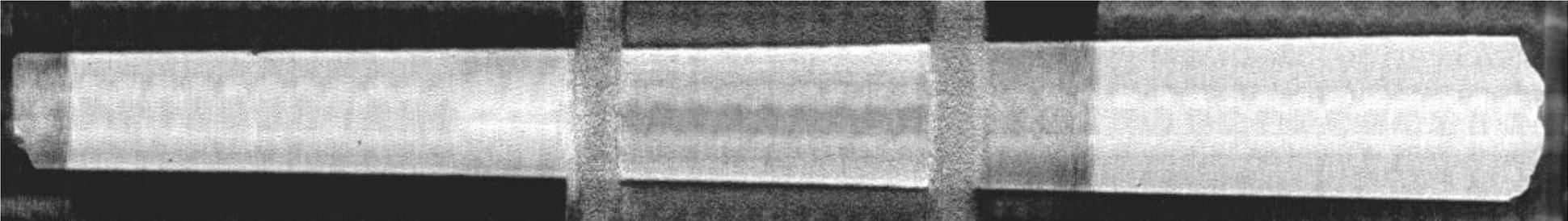
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(139) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	72,6 mm	29.10.2020

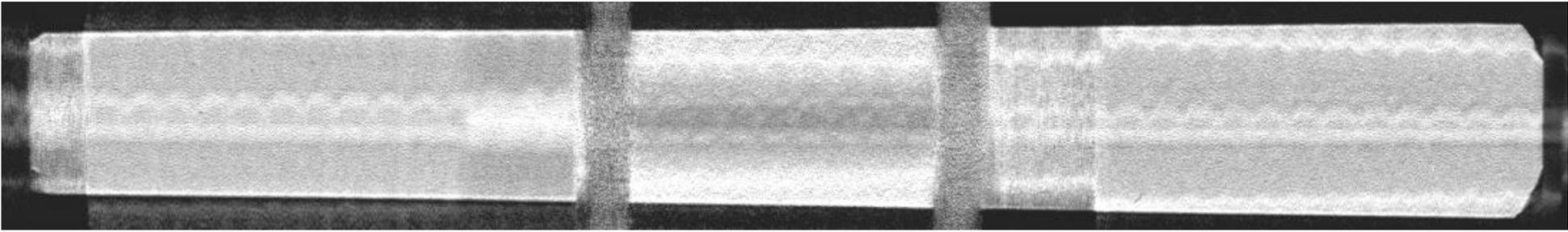
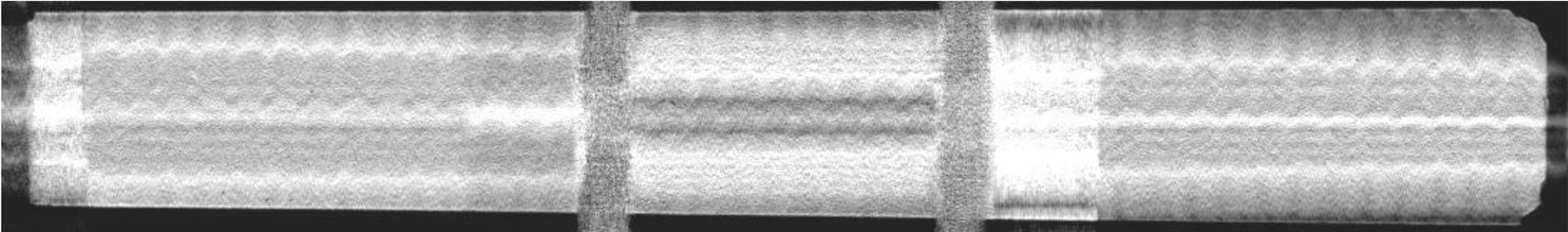


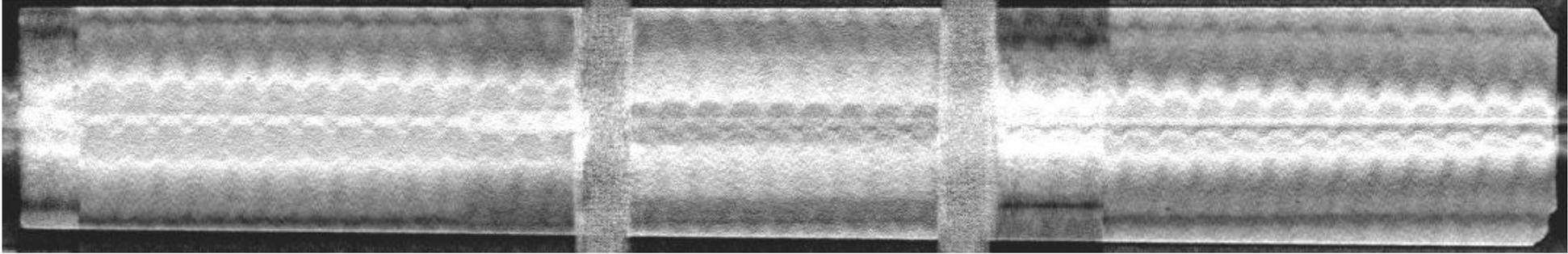
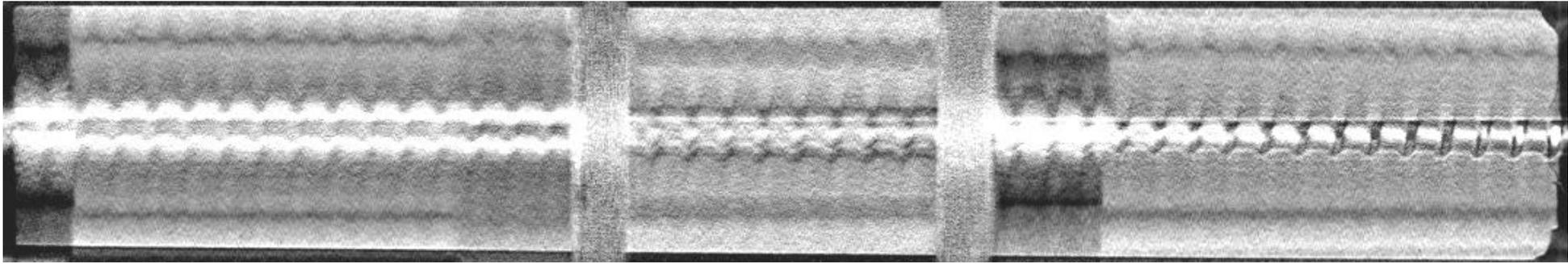
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(149) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	78,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(159) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	84,6 mm	29.10.2020
			

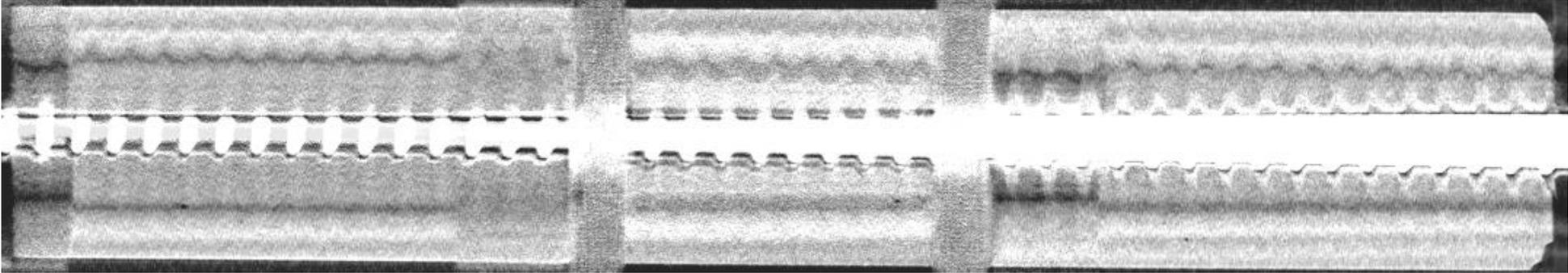
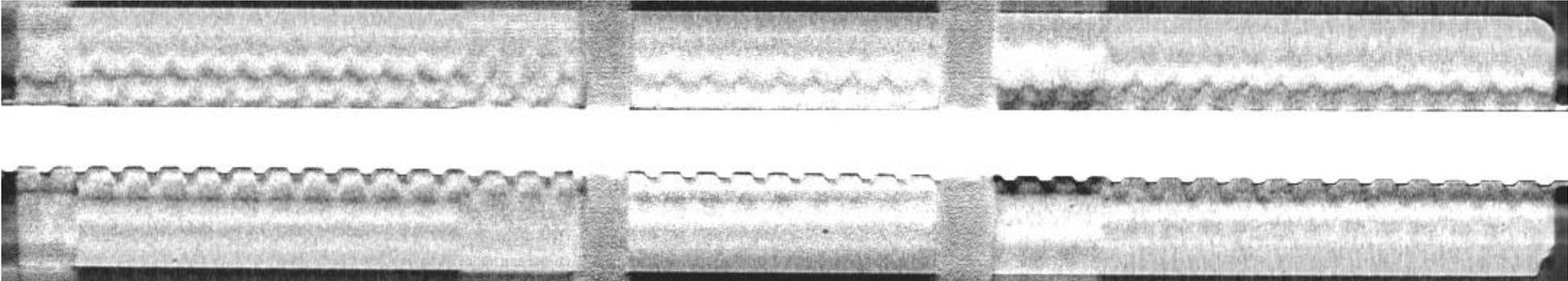
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(169) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	90,6 mm	29.10.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V1_DAT_GCP_01_COR(179) – 200kN	Coronal (von oben nach unten)	96,6 mm	29.10.2020
			

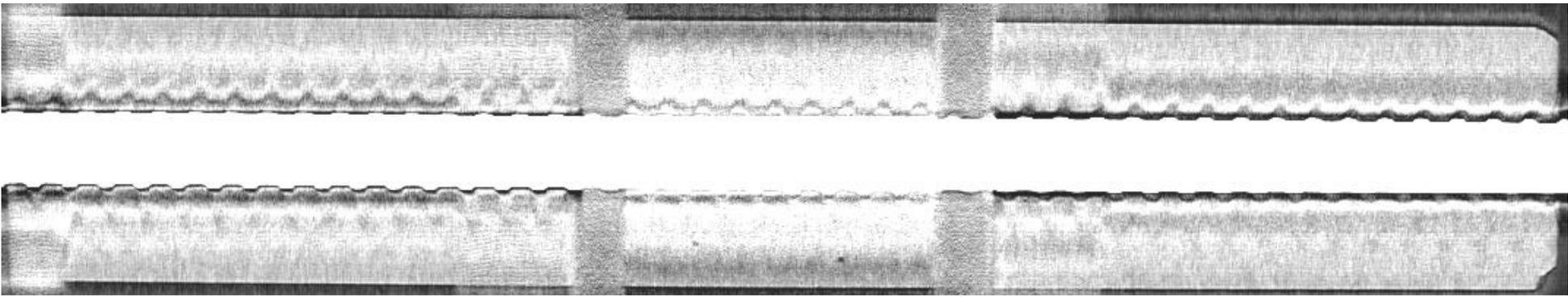
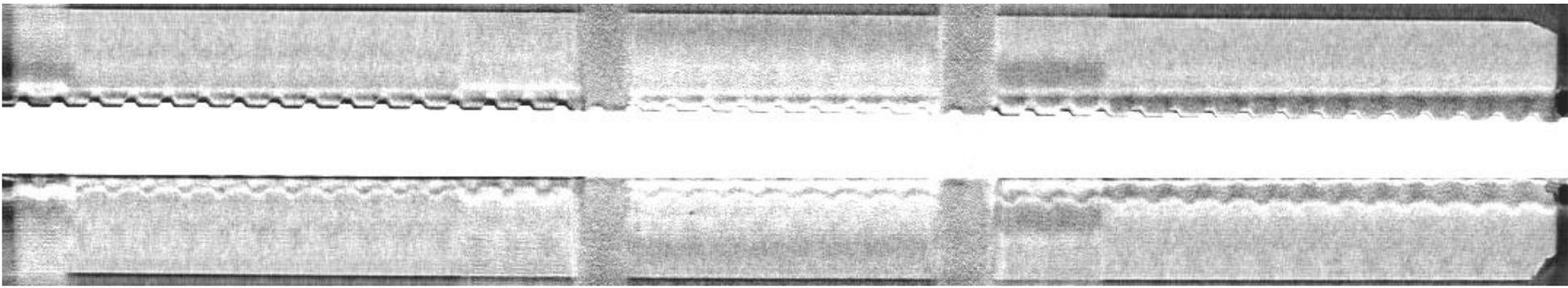
CT-Scan Probekörper V2_DAT_GCP_01 mit Belastungsstufe 0% * F_{max}

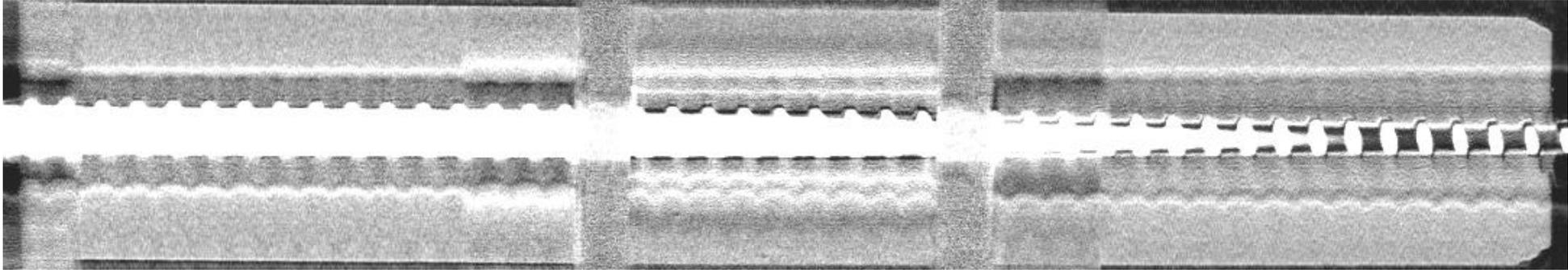
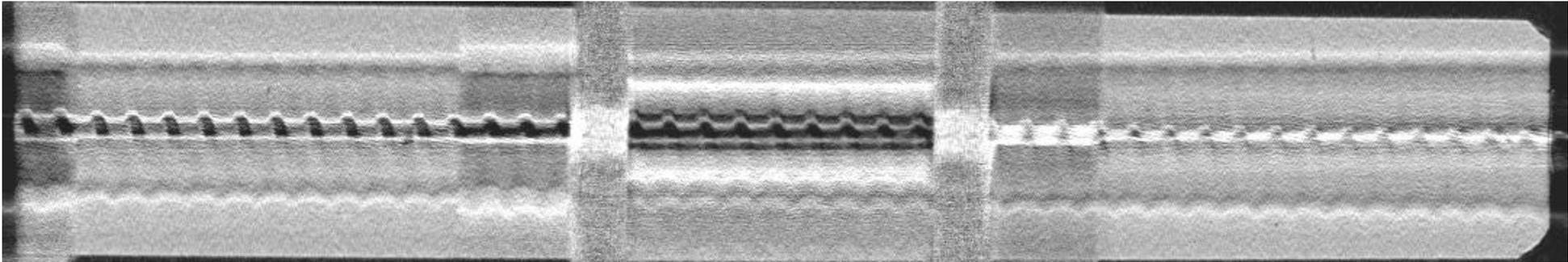
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(28) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(38) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

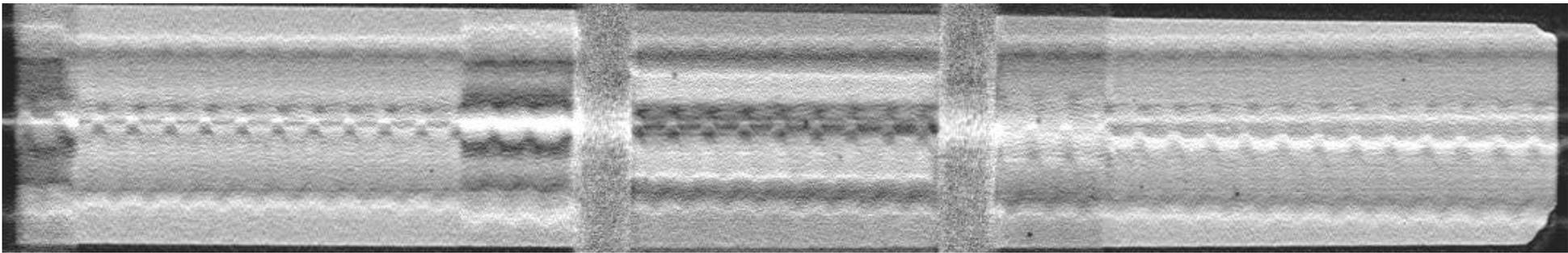
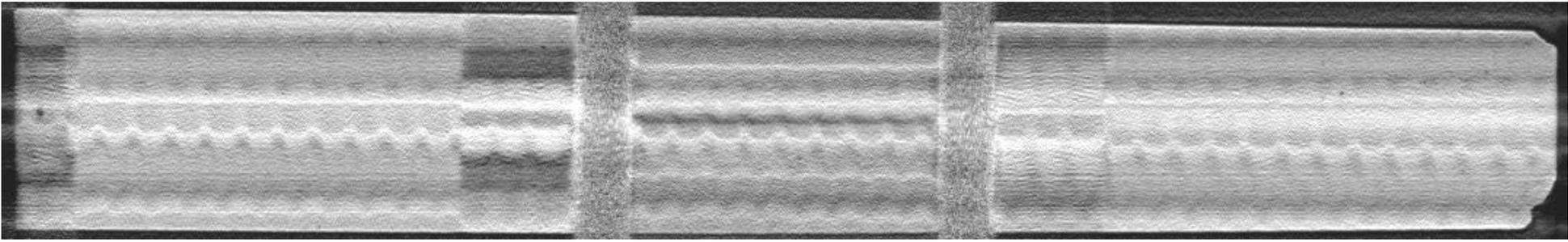
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(48) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(58) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020
			

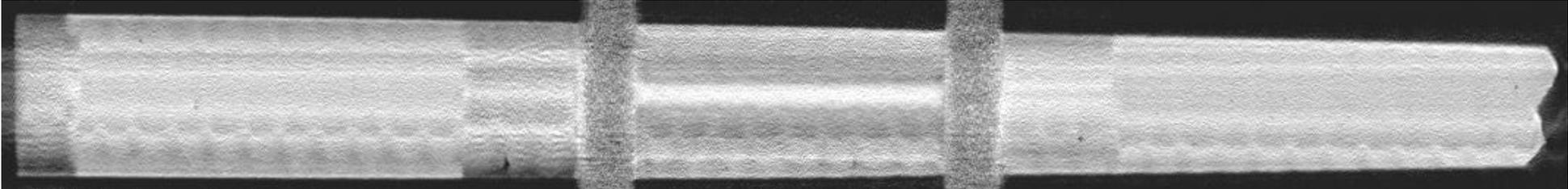
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(68) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(78) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(88) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(98) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020
			

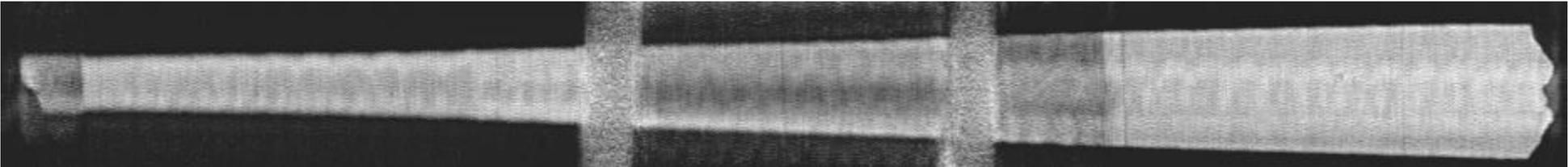
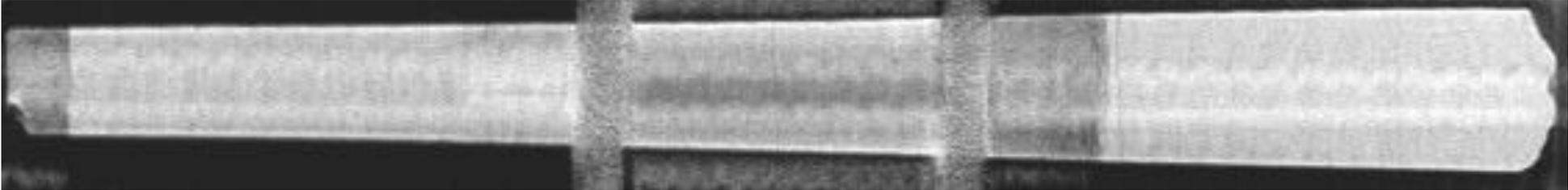
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(108) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(118) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020
			

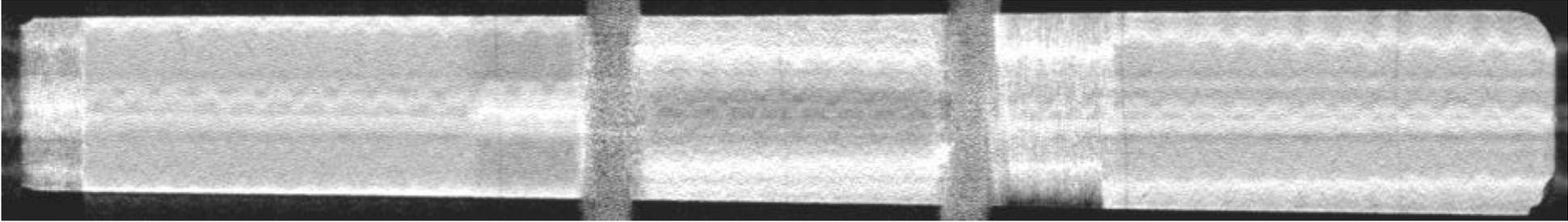
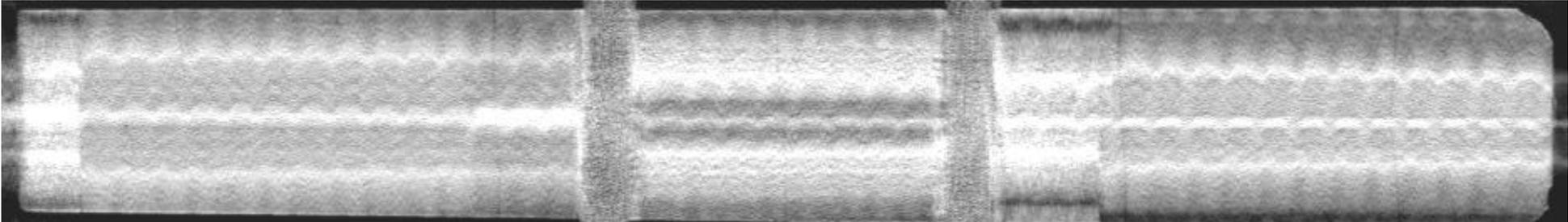
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(128) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(138) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

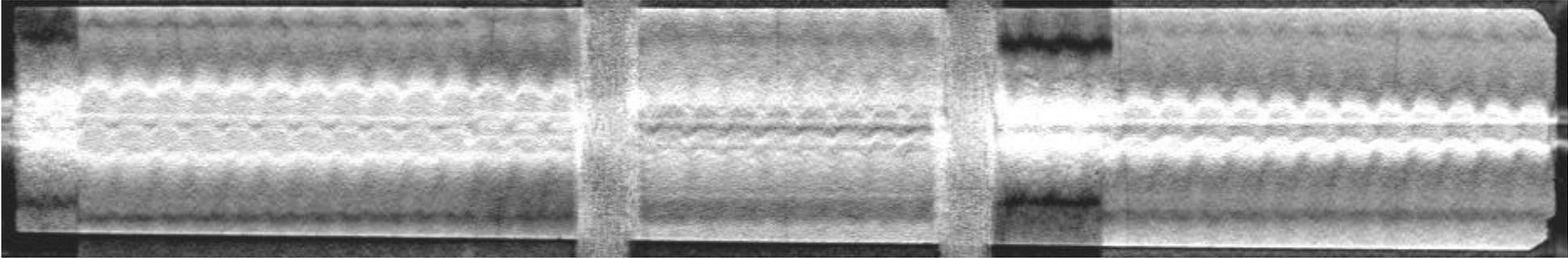
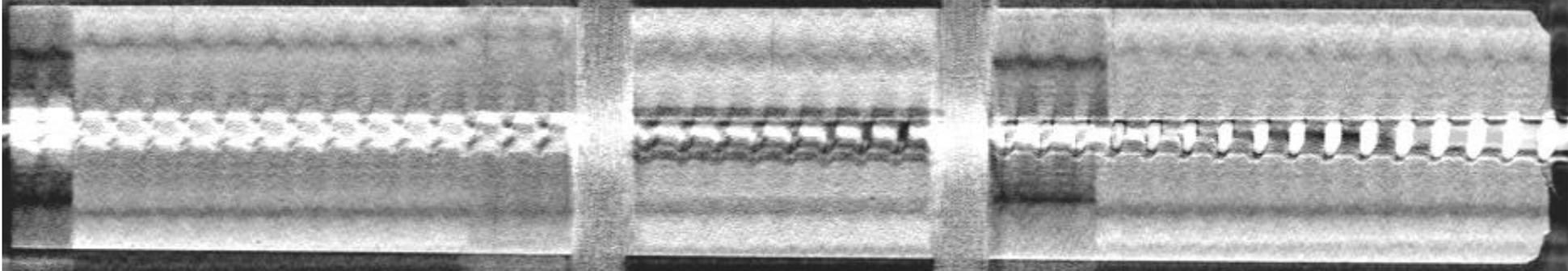
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(148) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(158) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

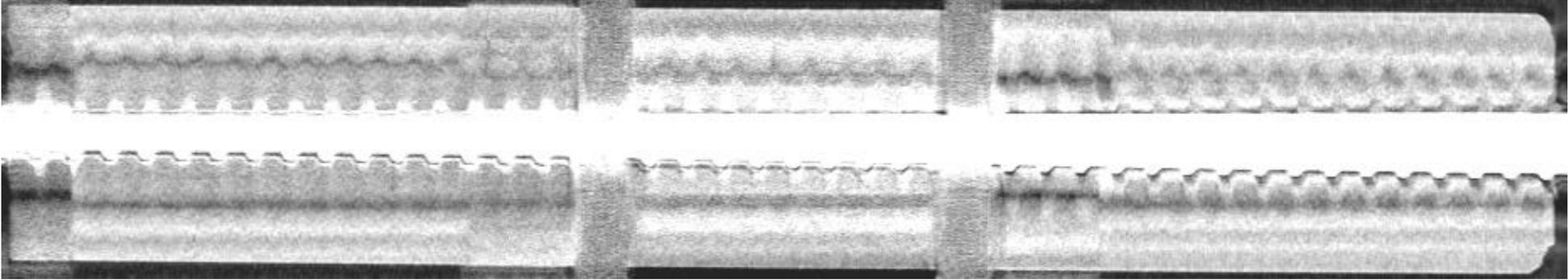
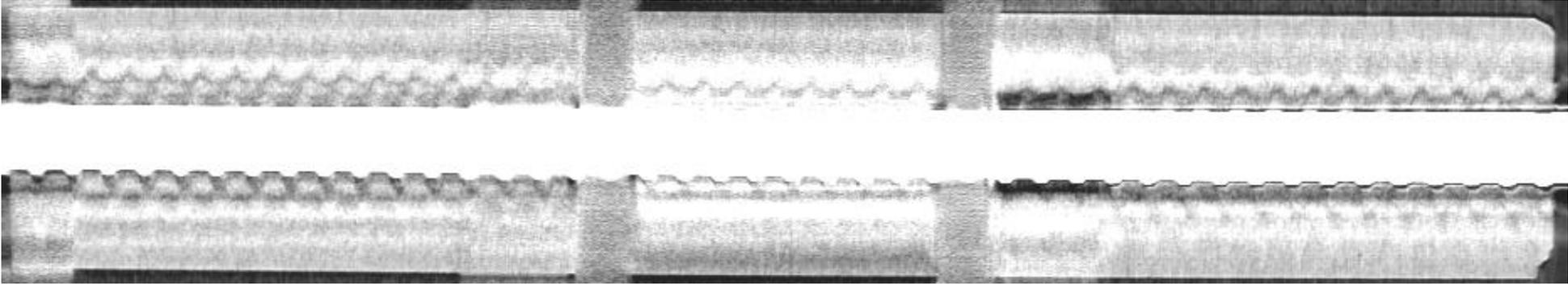
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(168) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01_COR(178) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

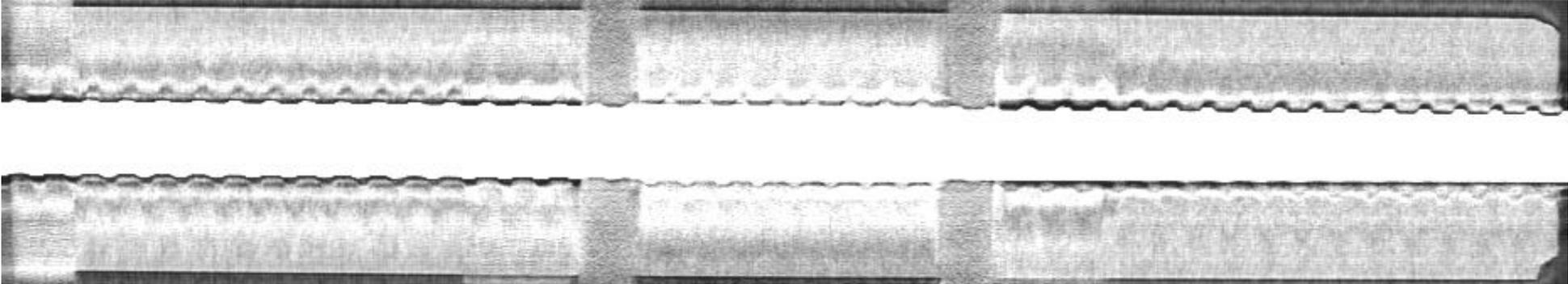
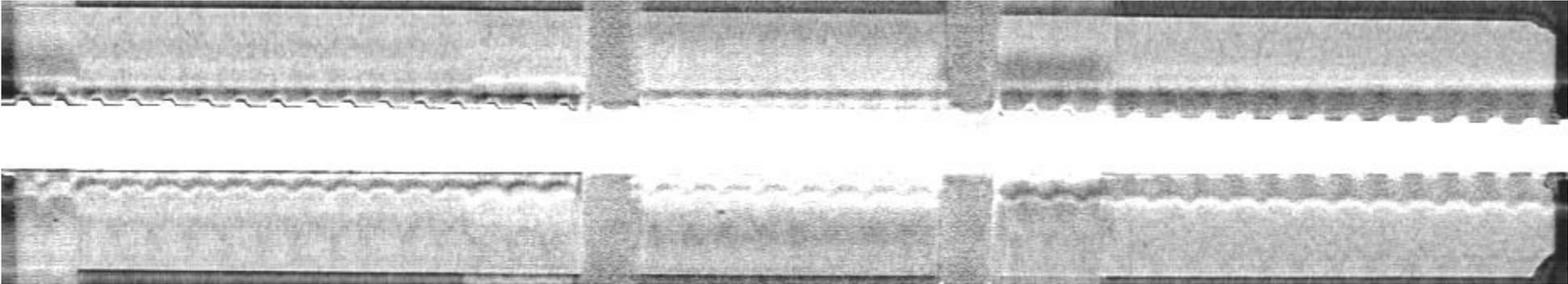
CT-Scan Probekörper V2_DAT_GCP_01 mit Belastungsstufe 50% * F_{max}

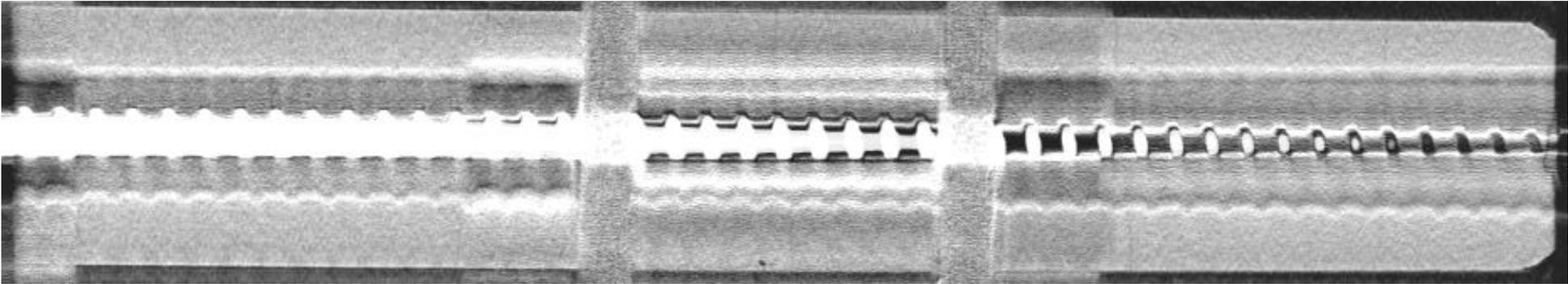
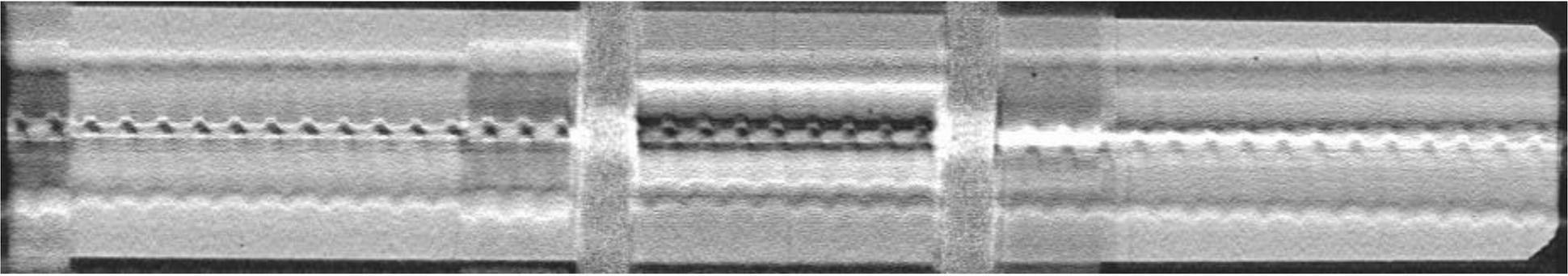
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(19) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(29) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

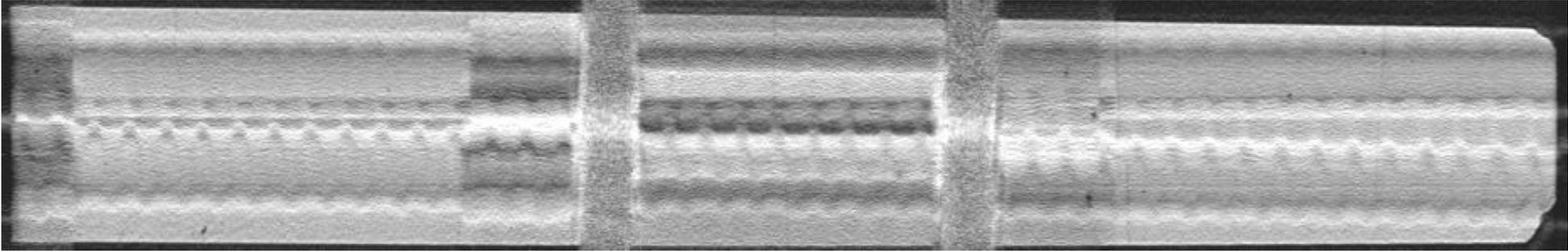
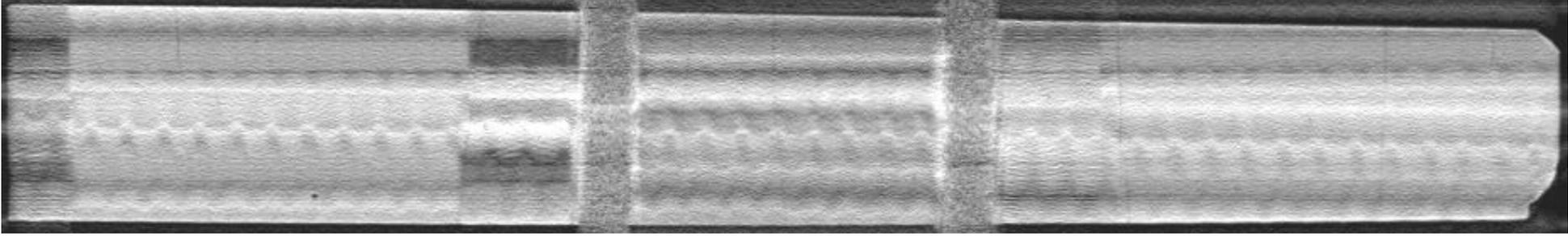
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(39) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(49) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020
			

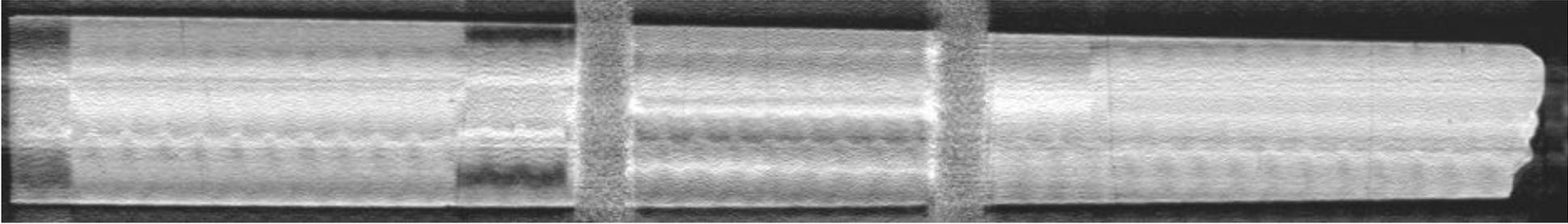
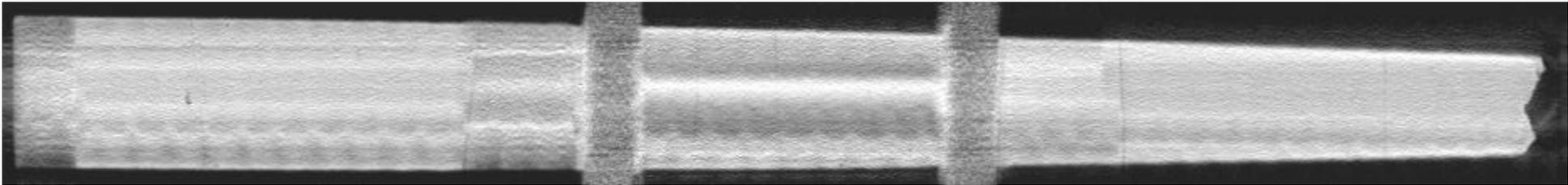
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(59) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
 A grayscale CT scan image showing a cross-section of a rebar. The rebar is positioned horizontally and is surrounded by a concrete matrix. The image shows the internal structure of the rebar, including the longitudinal bars and the surrounding concrete. The scan is taken at a depth of 30.0 mm.			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(69) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
 A grayscale CT scan image showing a cross-section of a rebar. The rebar is positioned horizontally and is surrounded by a concrete matrix. The image shows the internal structure of the rebar, including the longitudinal bars and the surrounding concrete. The scan is taken at a depth of 36.0 mm.			

Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(79) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(89) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020
			

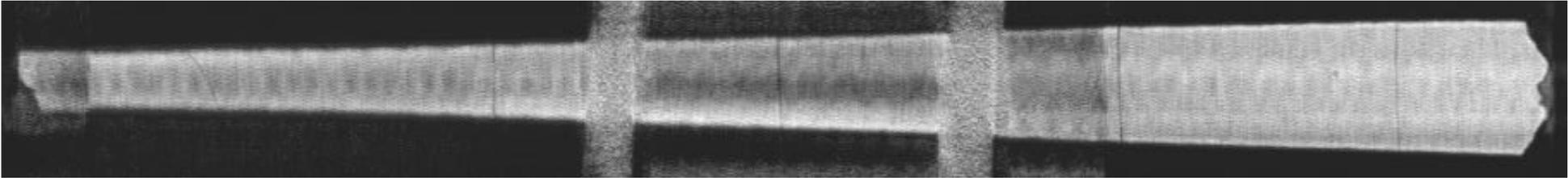
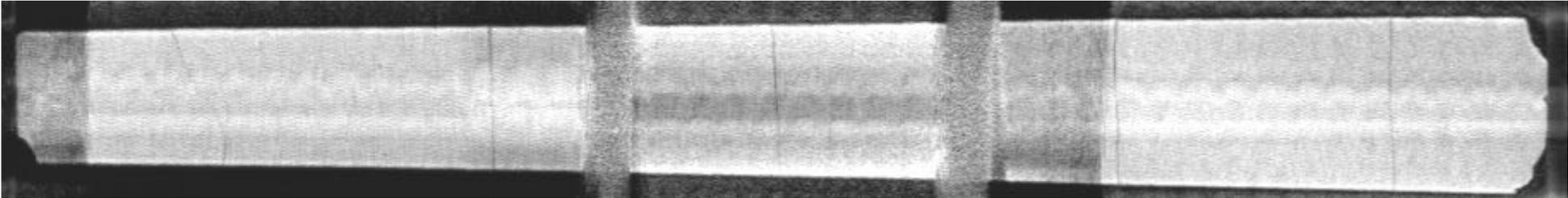
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(99) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(109) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020
			

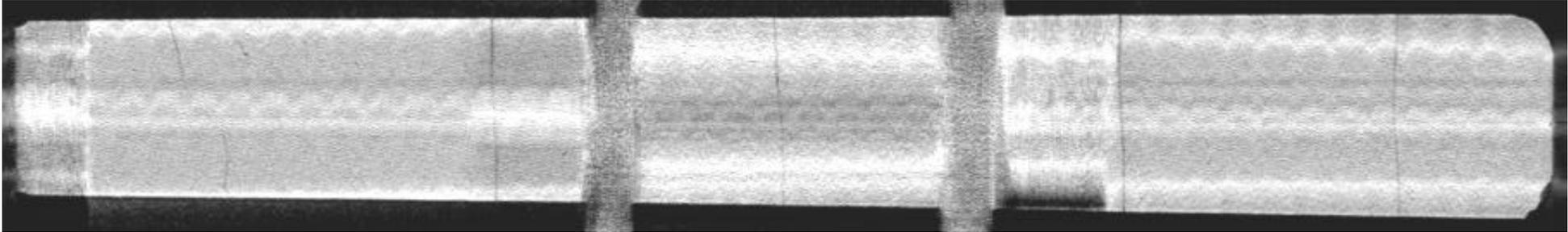
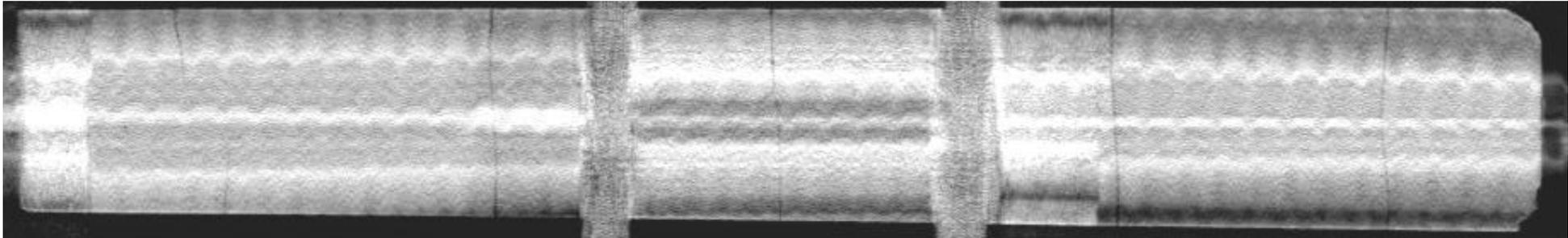
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(119) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(129) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

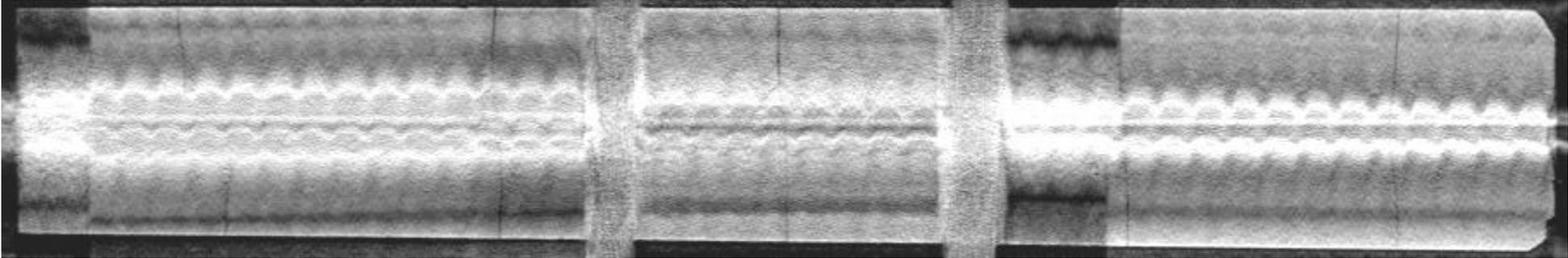
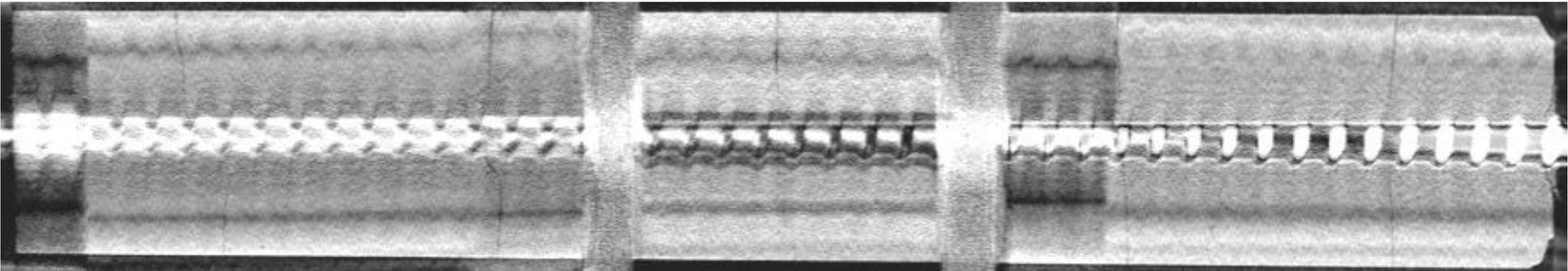
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(139) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(149) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

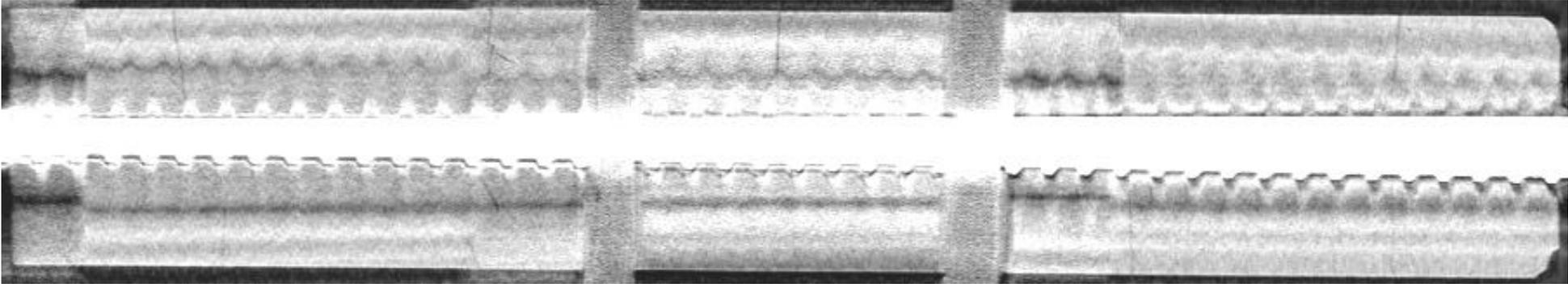
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(159) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01A_COR(169) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

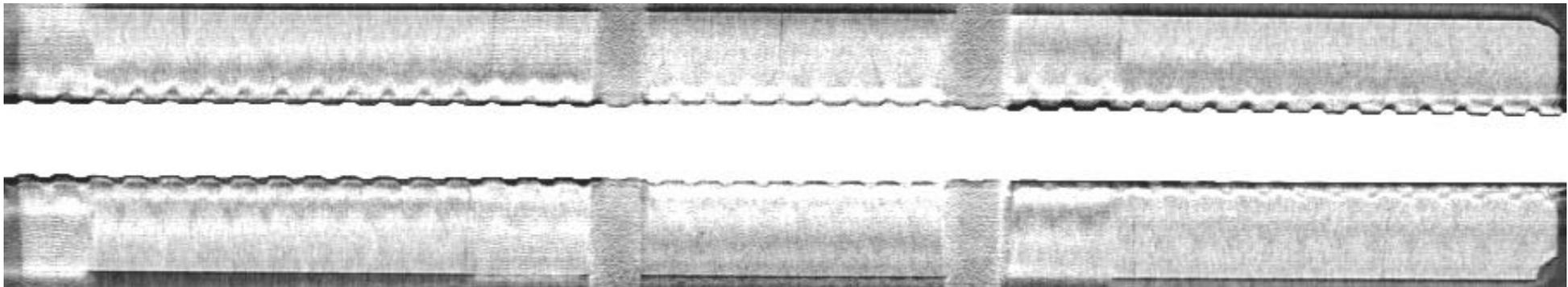
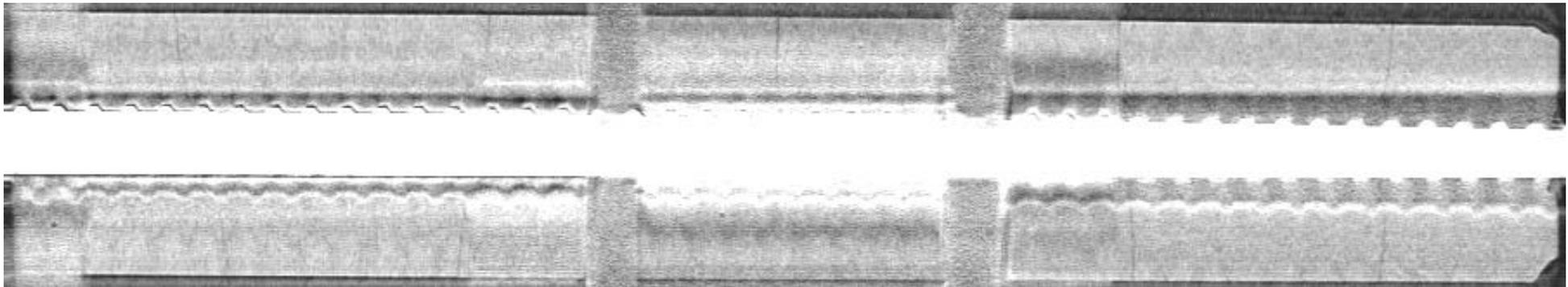
CT-Scan Probekörper V2_DAT_GCP_01 mit Belastungsstufe 100% * F_{max}

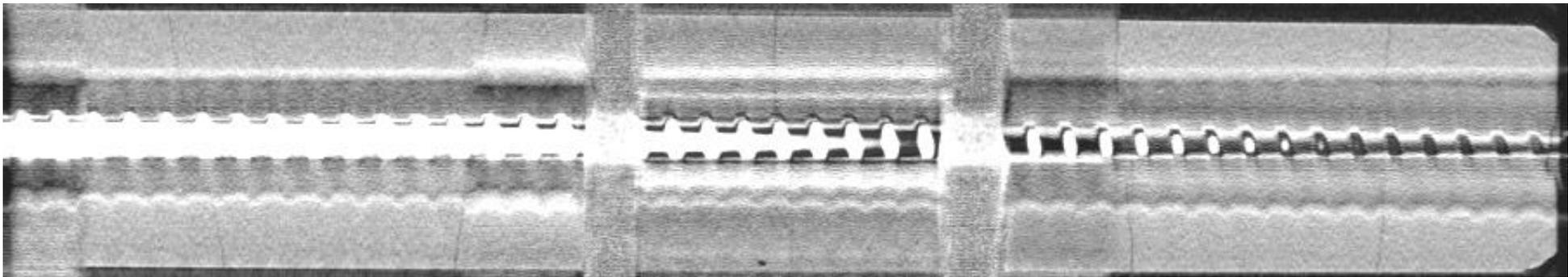
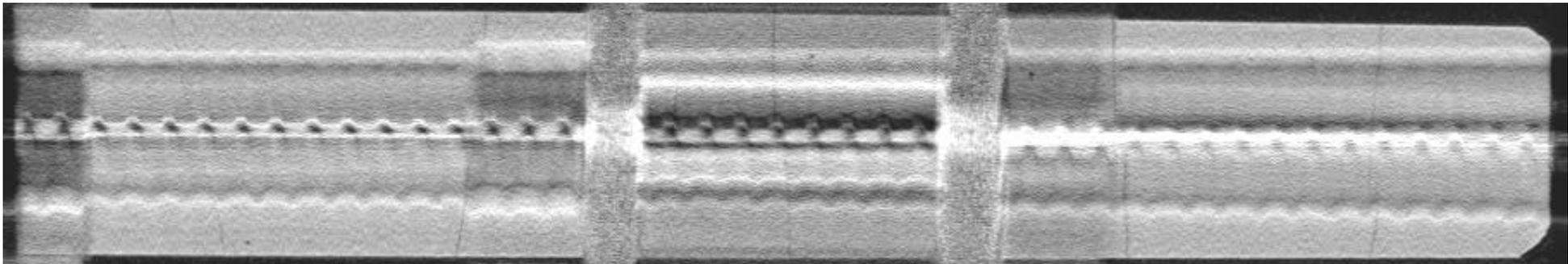
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(50) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(60) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

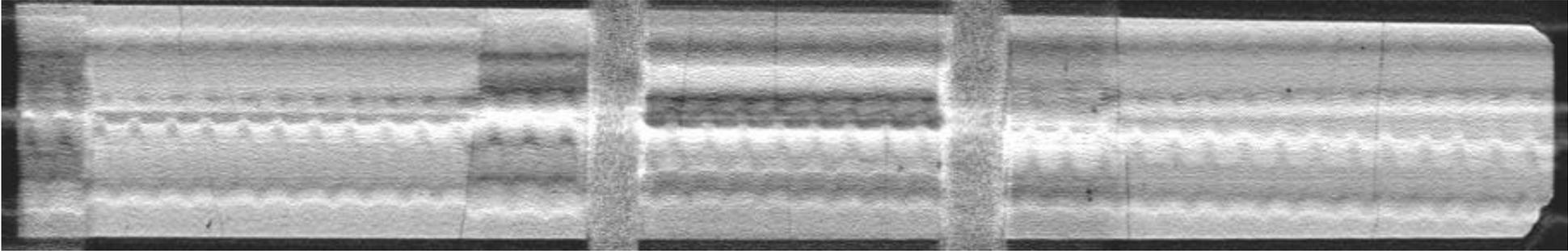
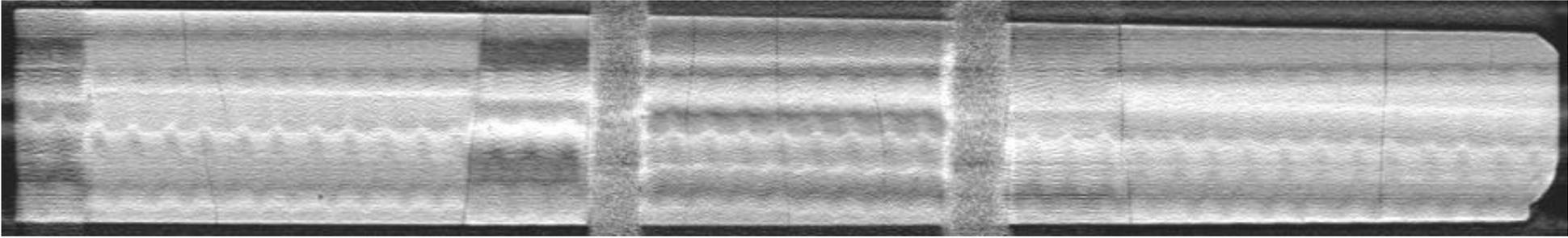
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(70) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(80) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020
			

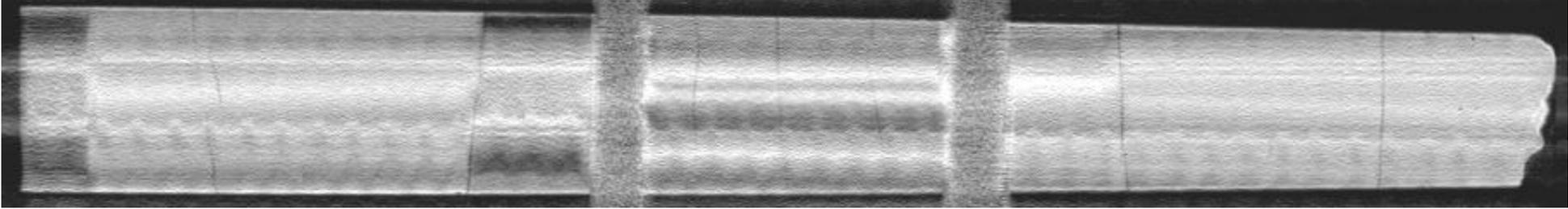
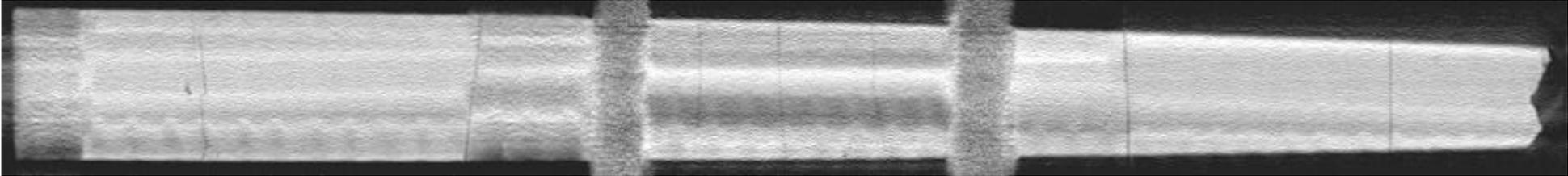
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(90) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(100) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(110) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(120) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020
			

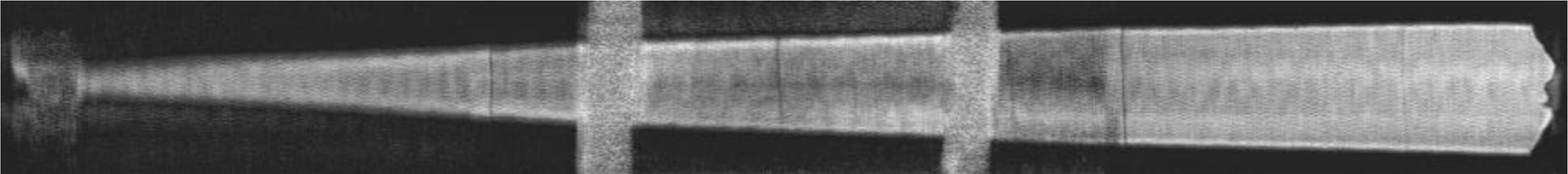
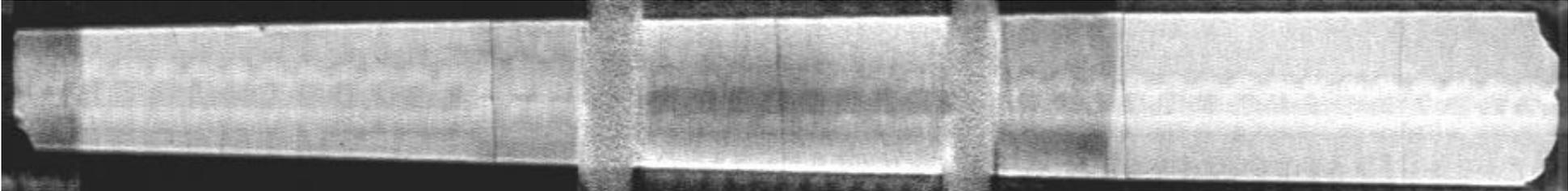
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(130) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(140) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(150) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(160) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

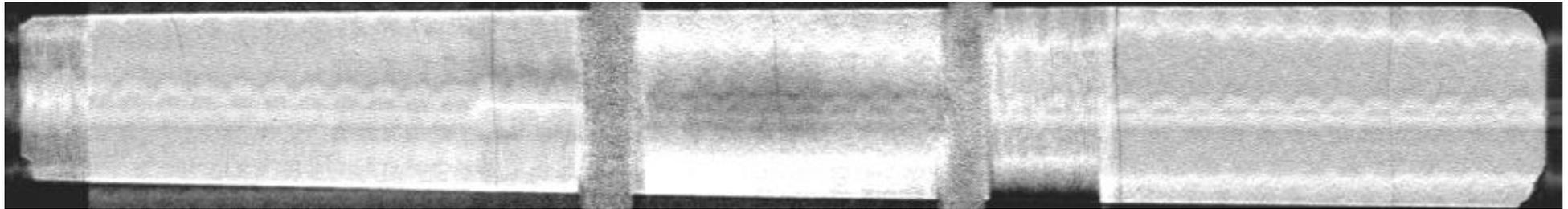
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(170) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(180) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(190) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01B_COR(200) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

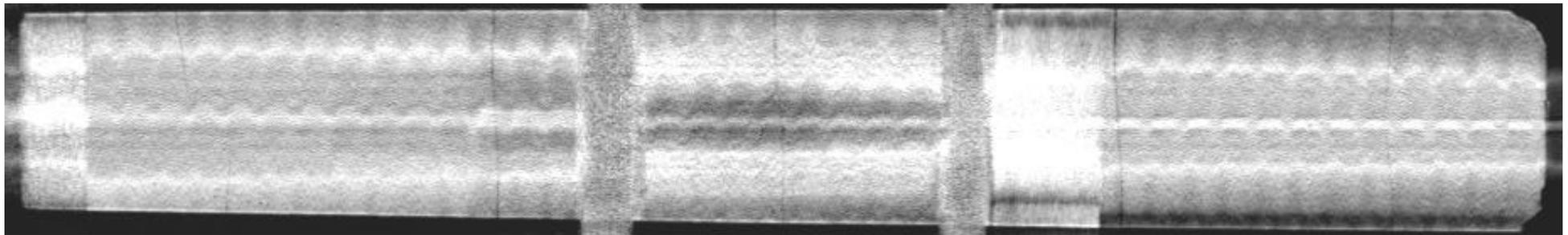
CT-Scan Probekörper V2_DAT_GCP_01 mit Belastungsstufe 50% * F_{\max} Axial, 4kN Querkraft

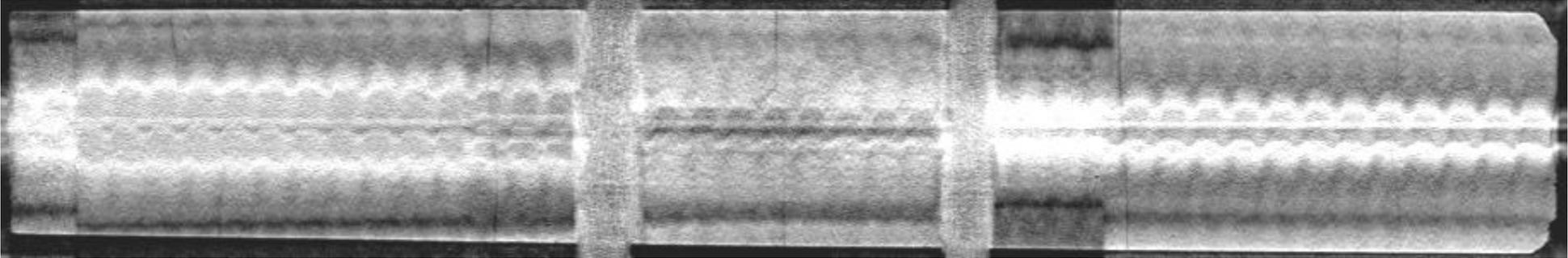
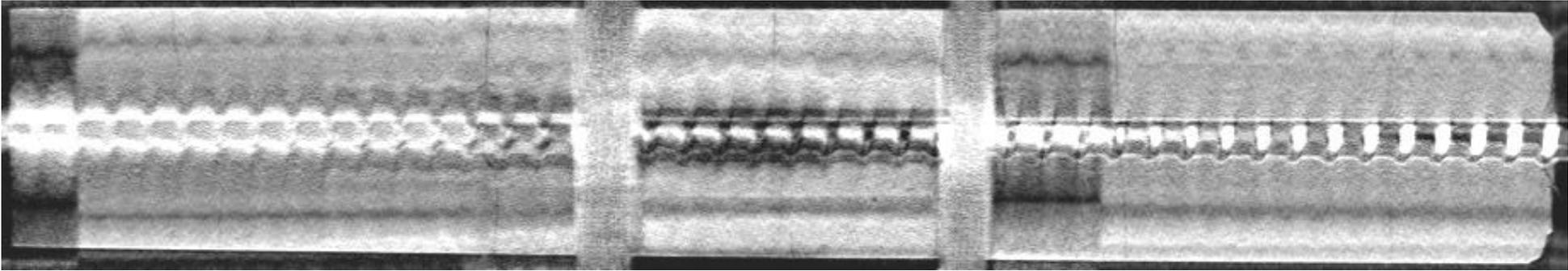
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(83) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(93) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

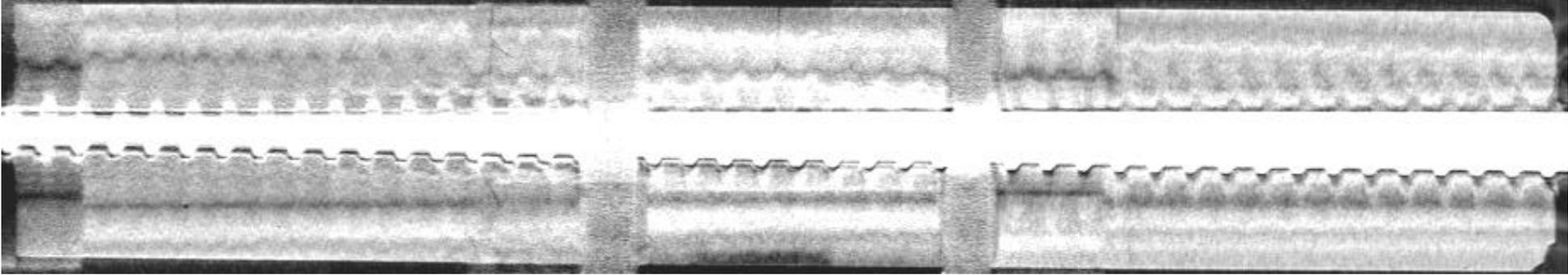
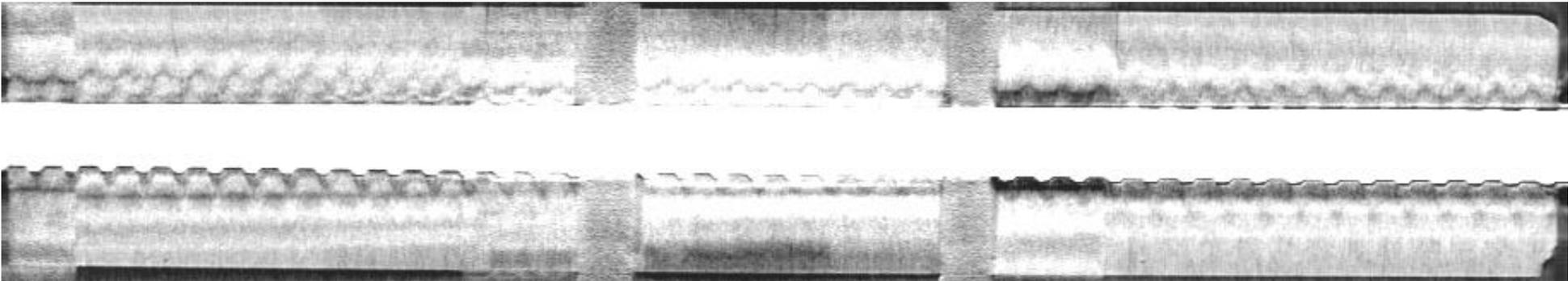
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(103) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020

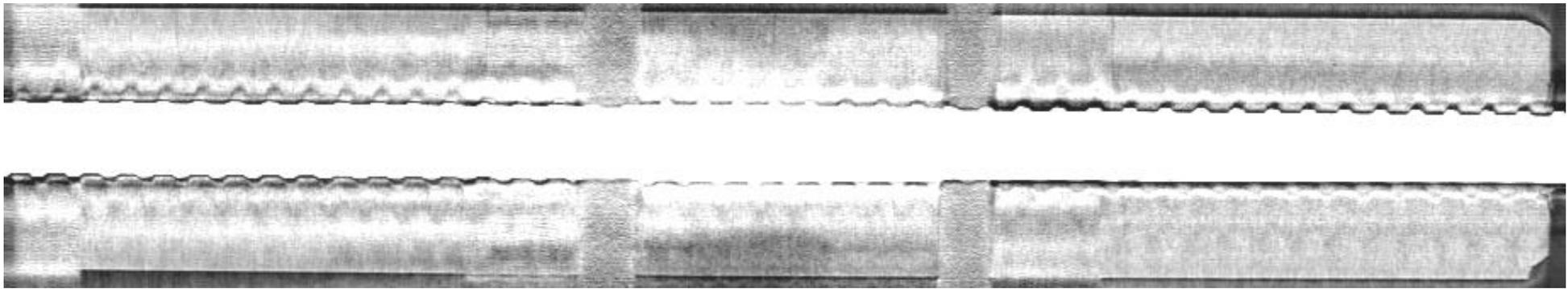
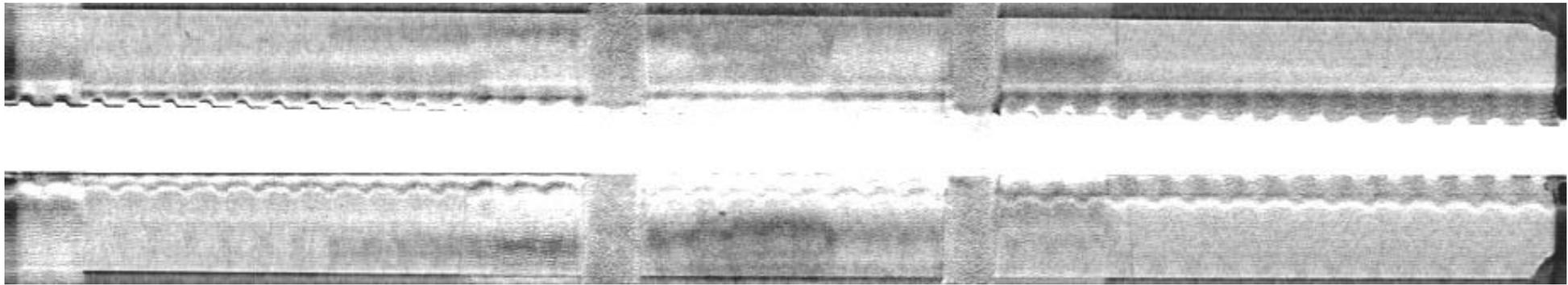


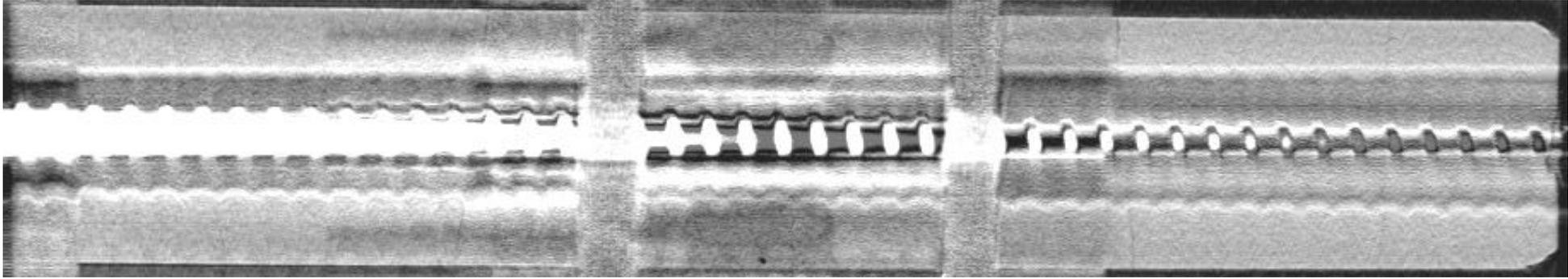
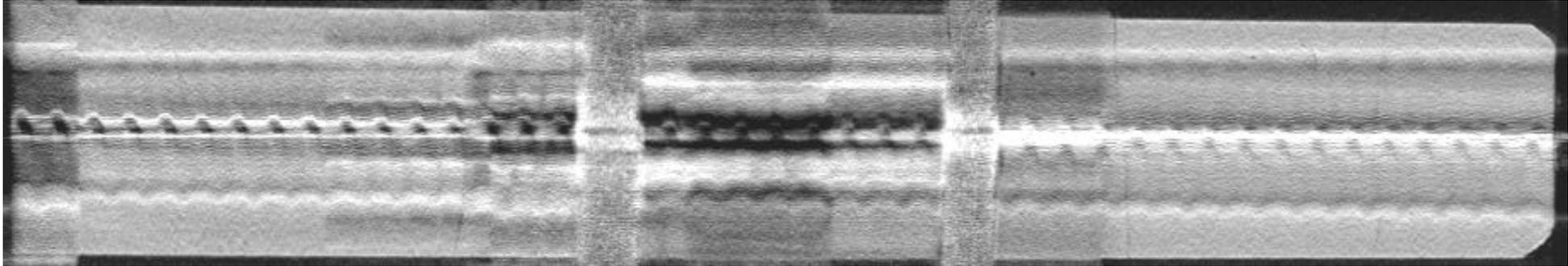
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(113) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020

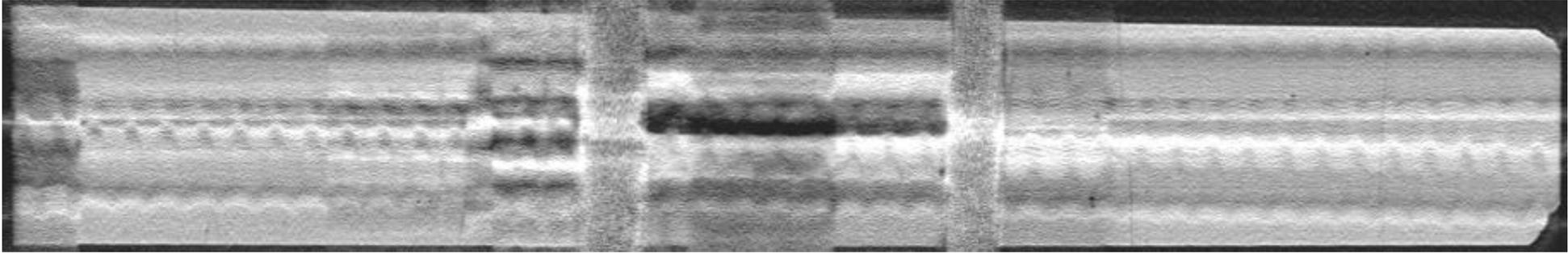
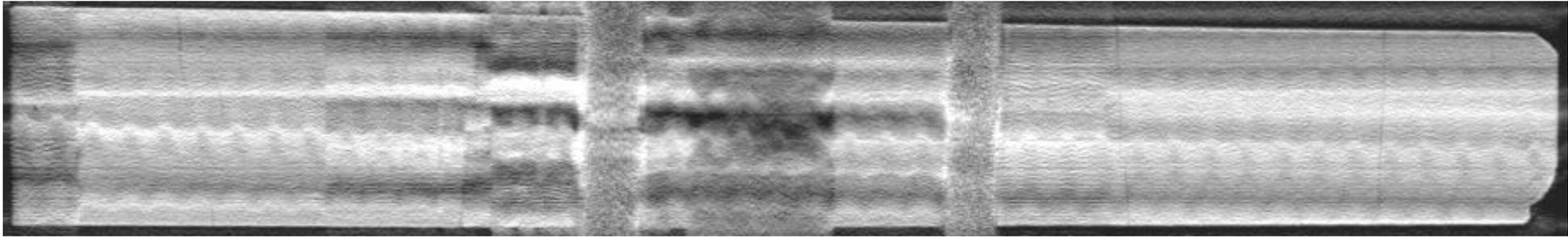


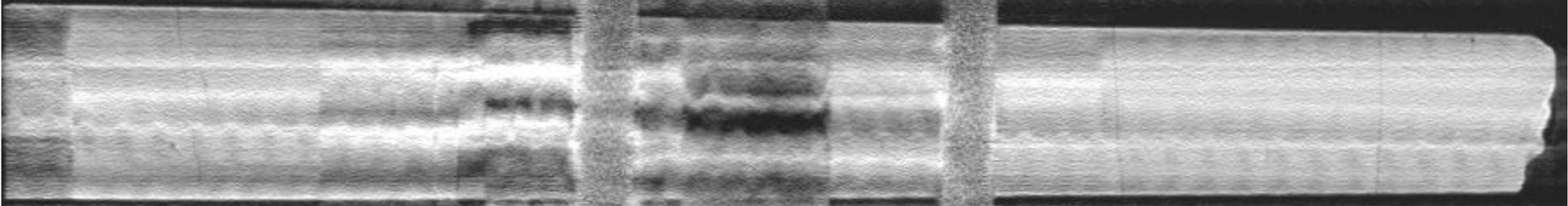
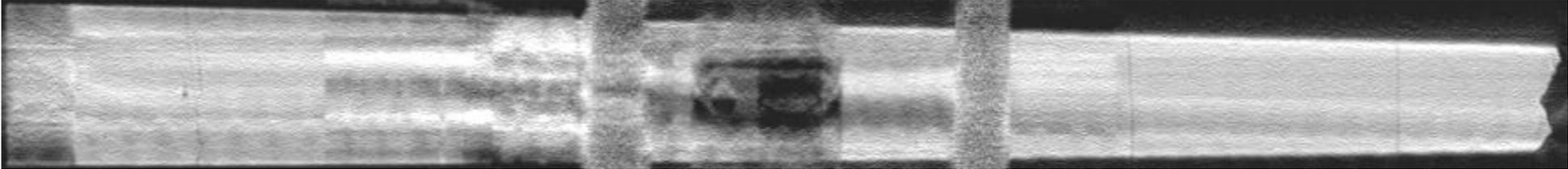
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(123) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(133) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(143) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(153) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020
			

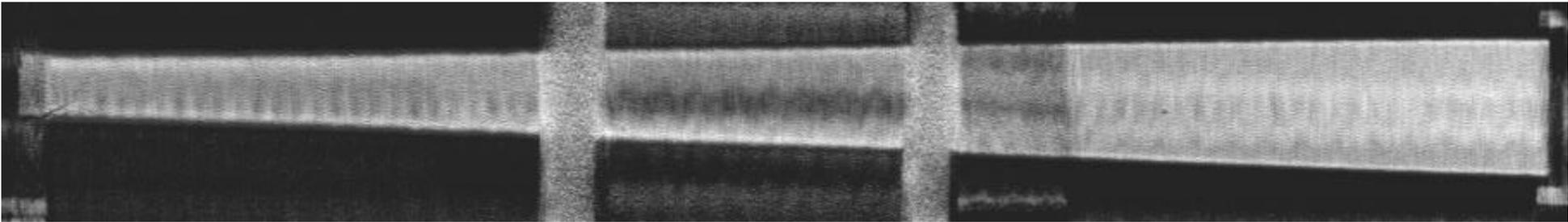
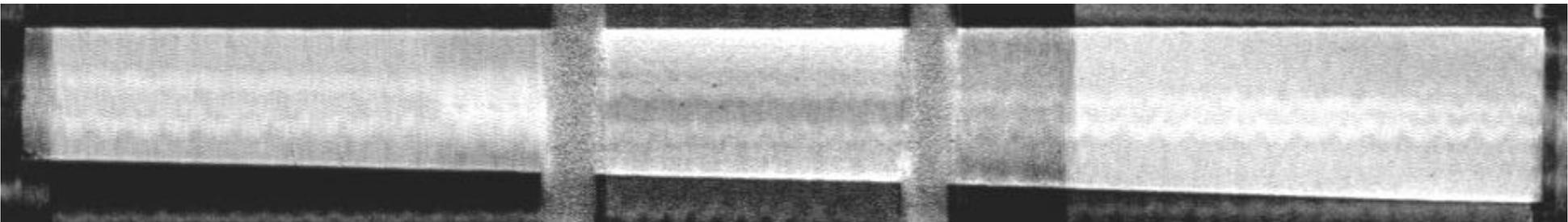
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(163) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(173) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020
			

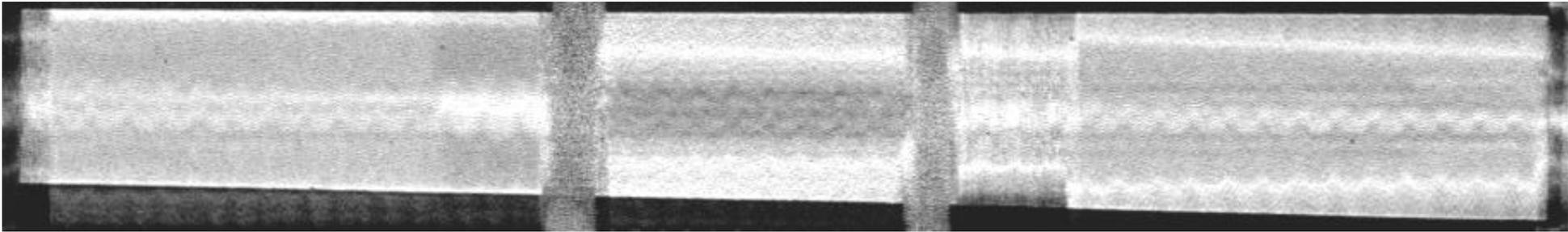
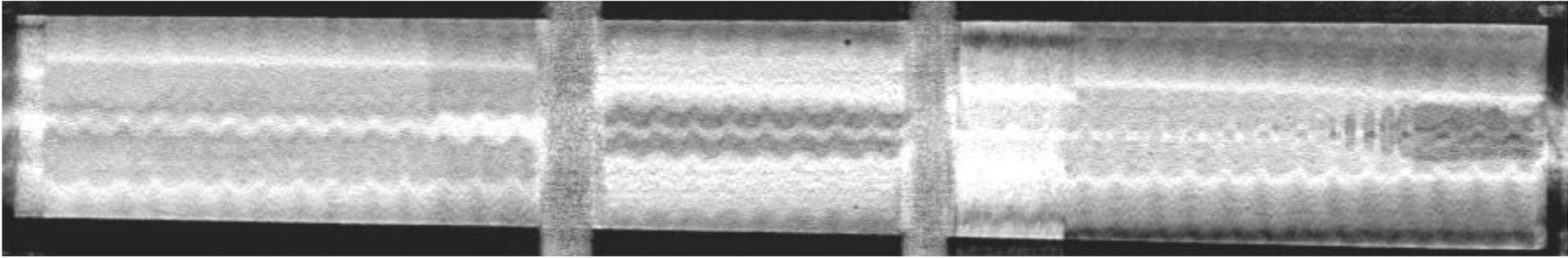
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(183) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(193) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

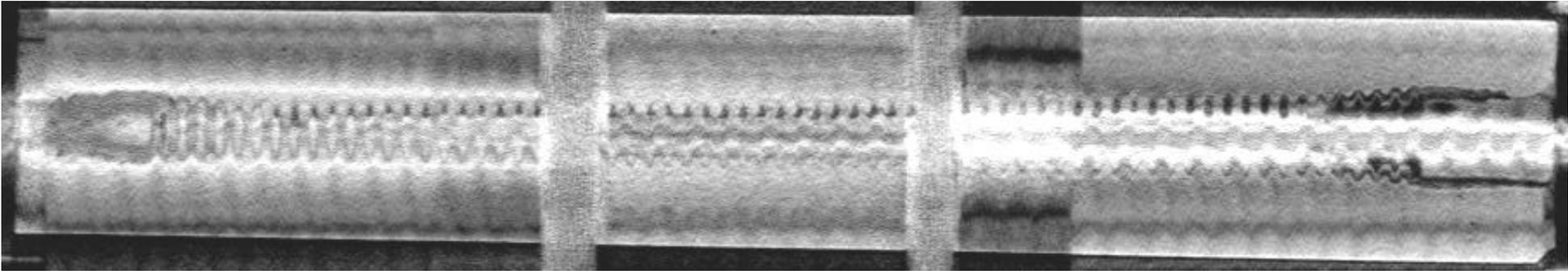
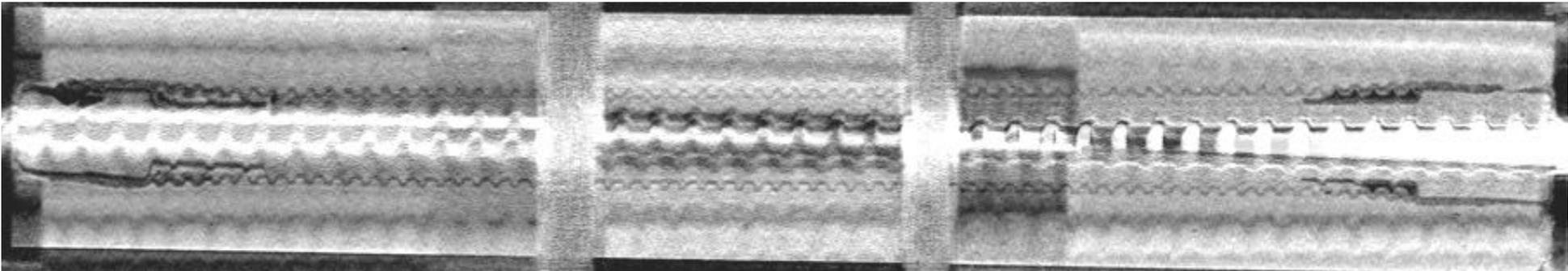
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(203) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(213) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

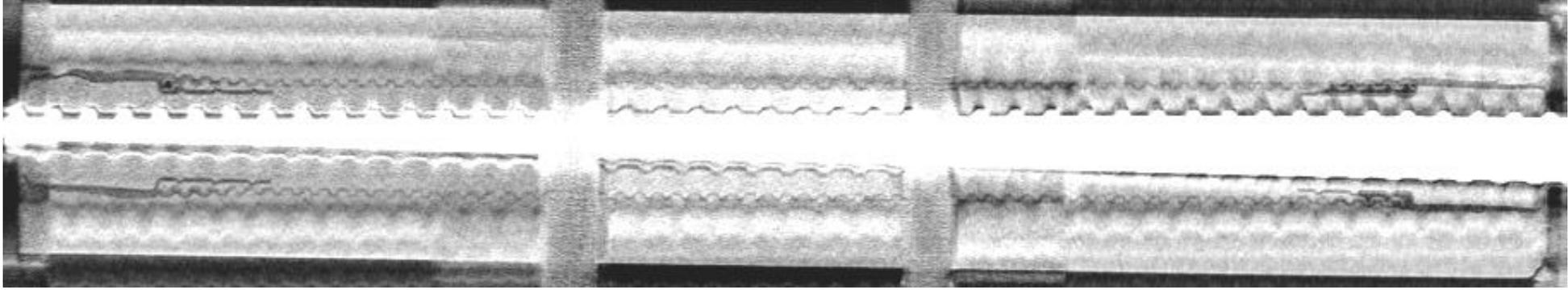
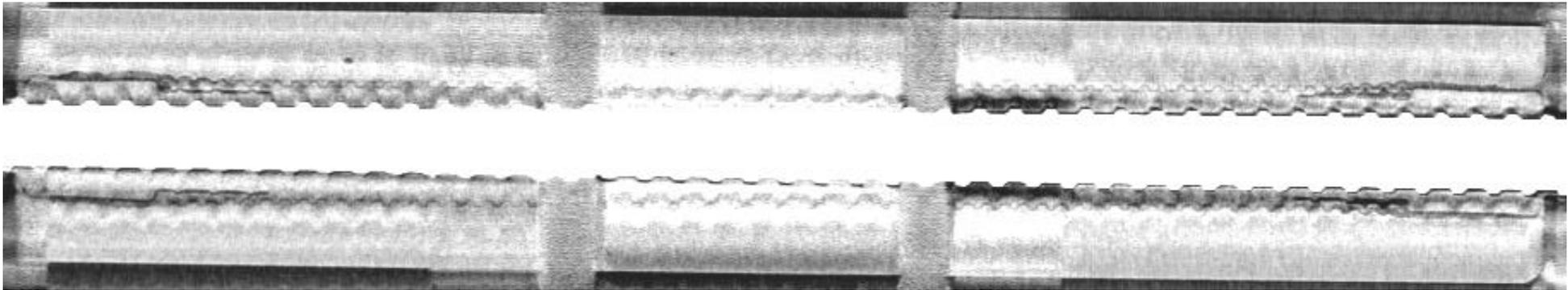
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(223) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_GCP_01C_COR(233) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

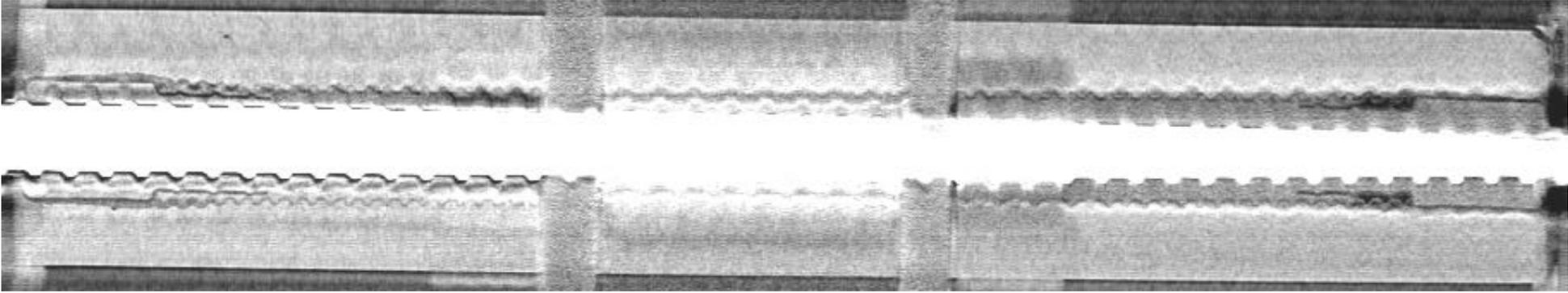
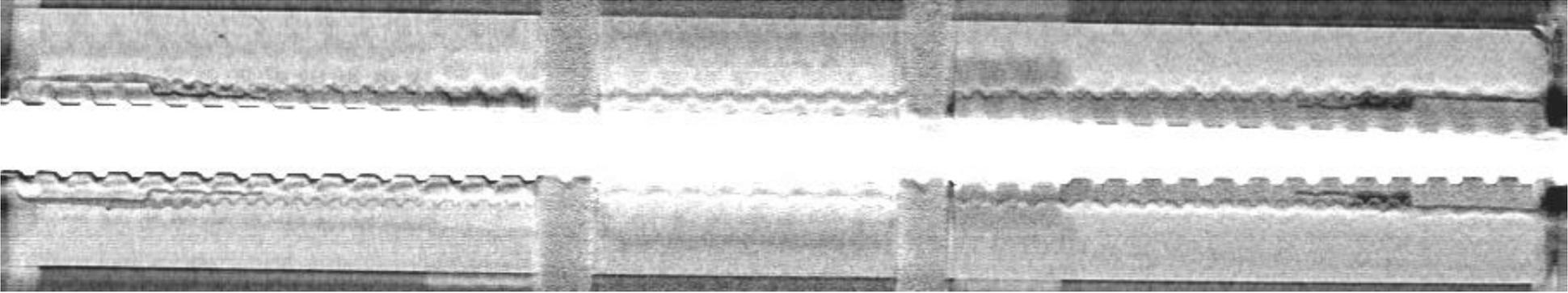
CT-Scan Probekörper V2_DAT_DCP_01 mit Belastungsstufe 0% * F_{max}

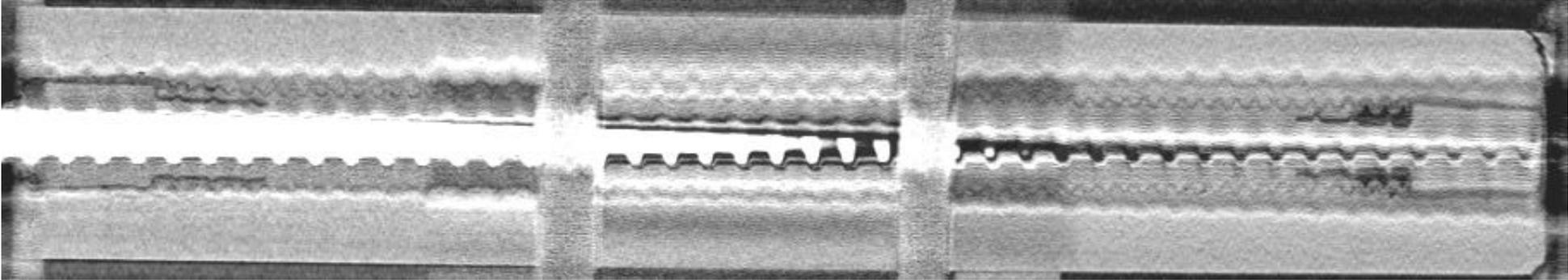
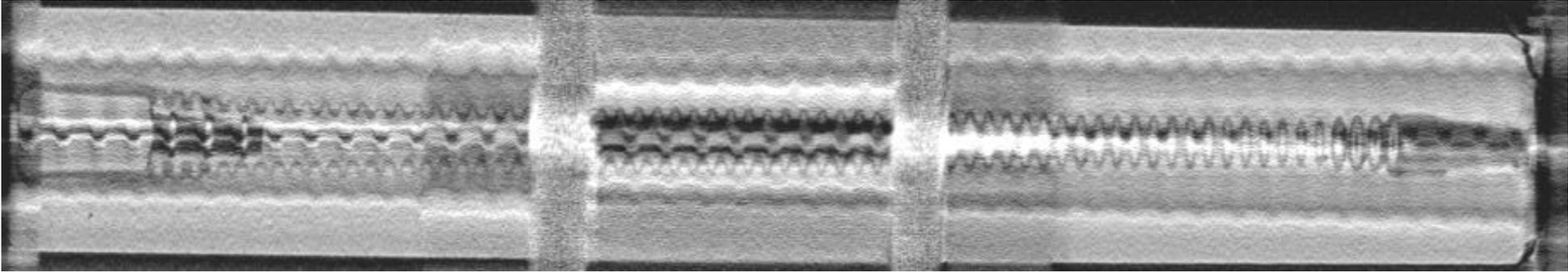
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(67) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(77) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

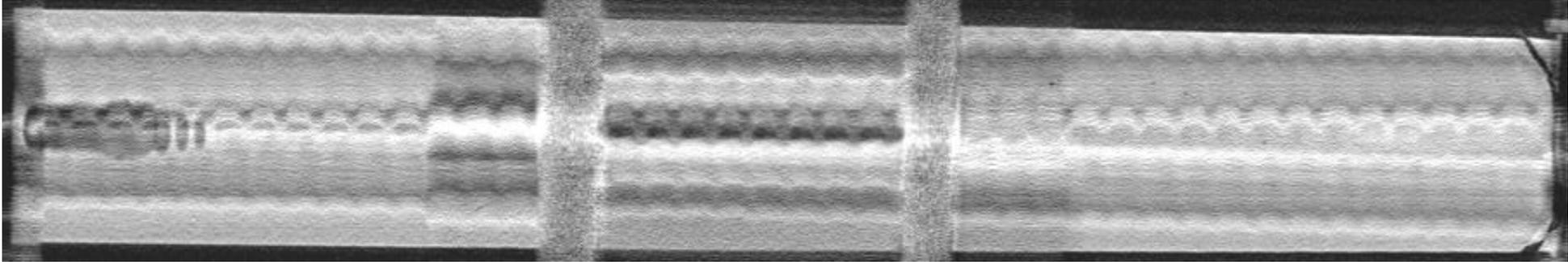
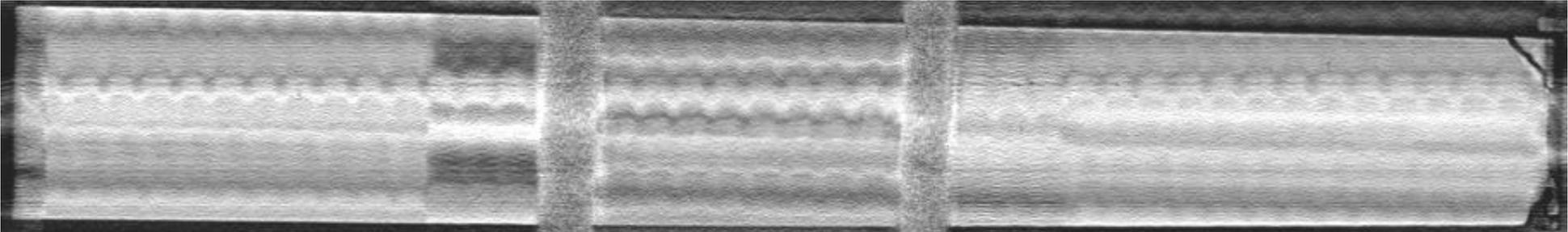
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(87) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(97) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020
			

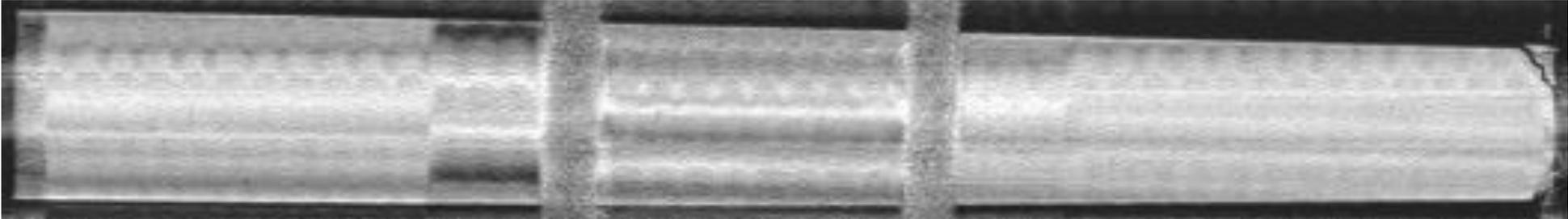
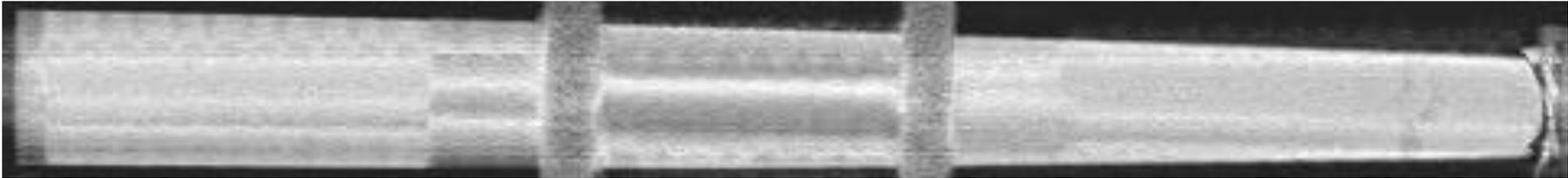
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(107) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(117) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(127) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(137) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020
			

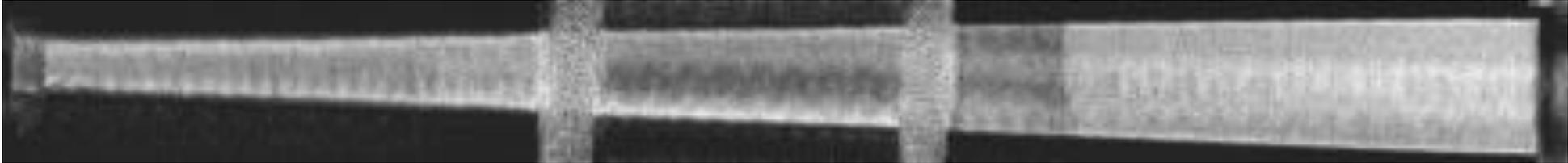
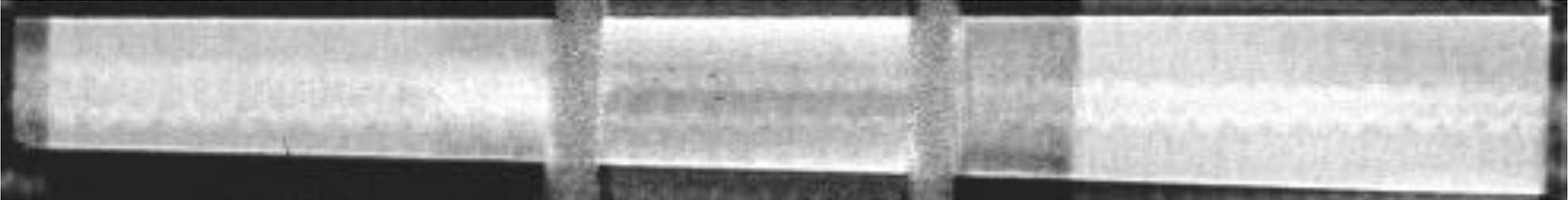
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(147) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(157) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020
			

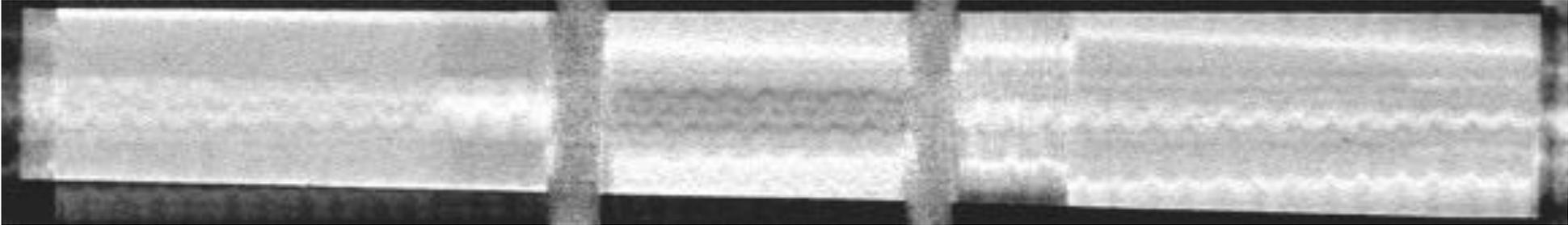
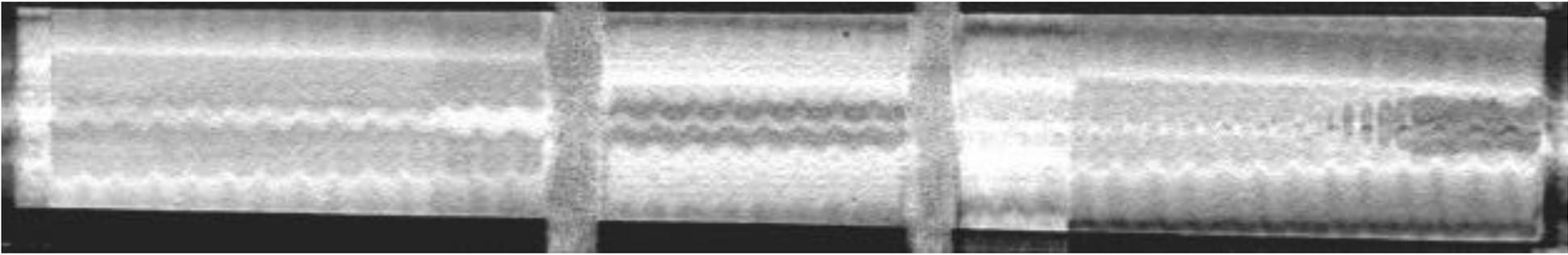
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(167) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(177) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

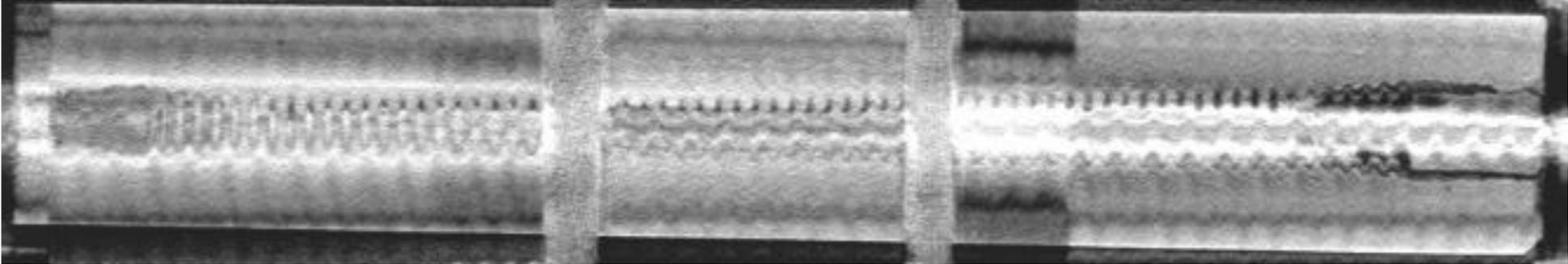
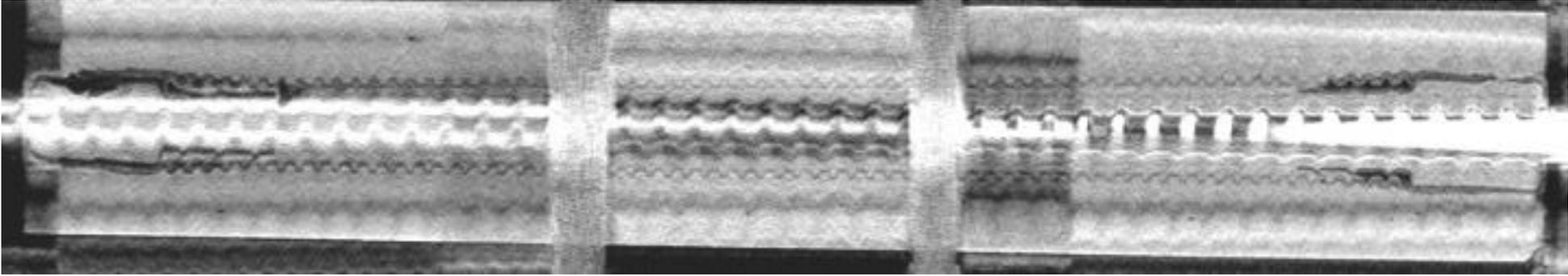
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(187) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(197) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

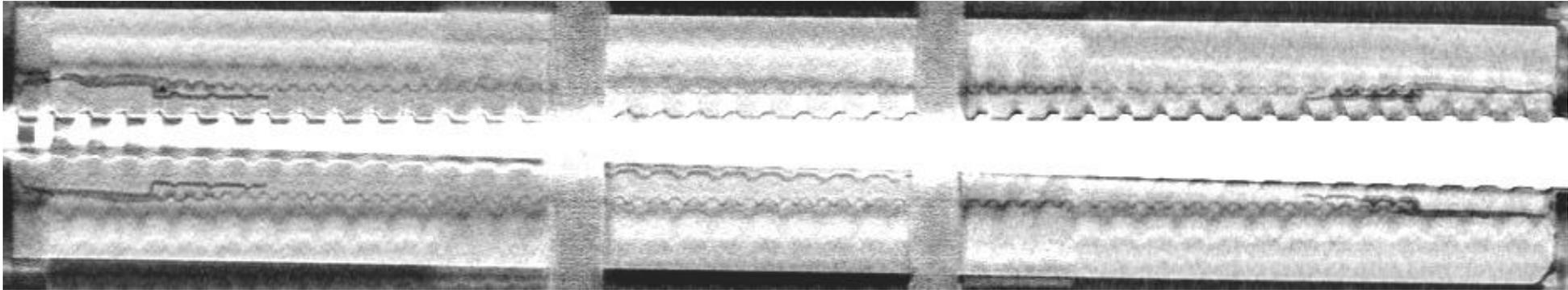
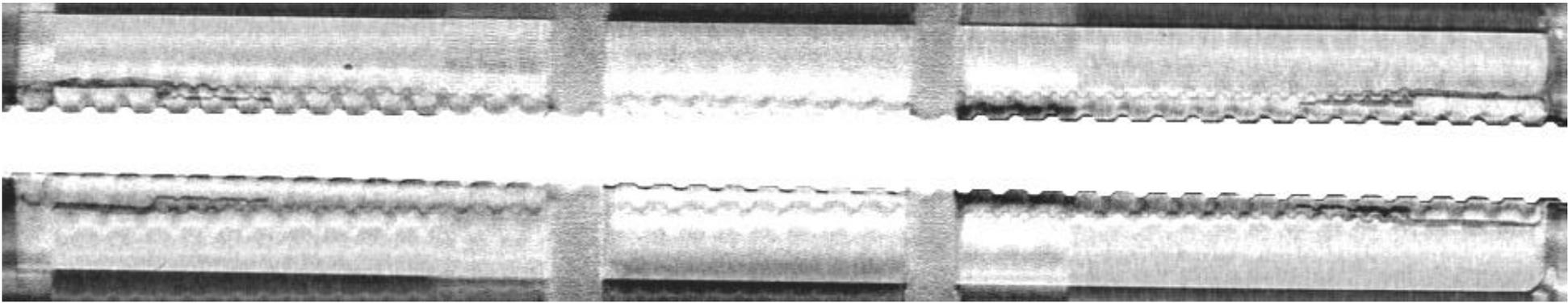
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(207) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01_COR(217) – 0kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

CT-Scan Probekörper V2_DAT_DCP_01 mit Belastungsstufe 50% * F_{max}

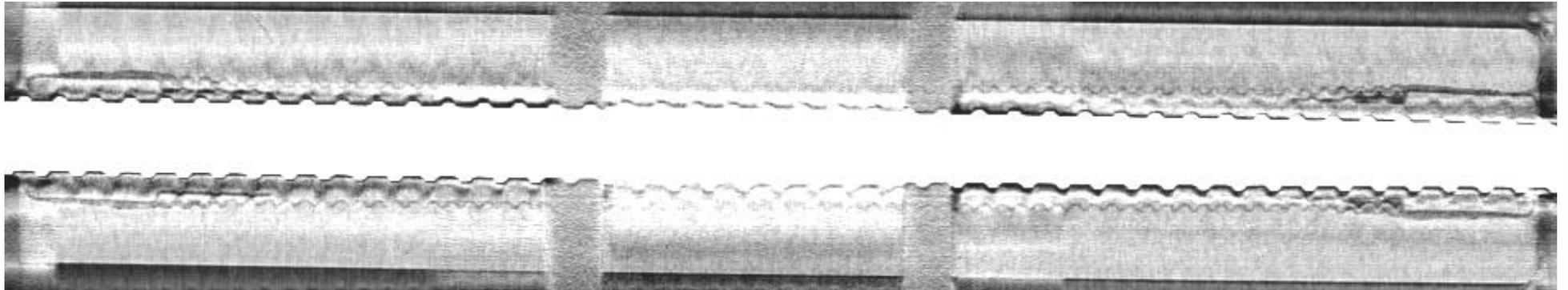
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(80) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(90) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(100) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(110) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020
			

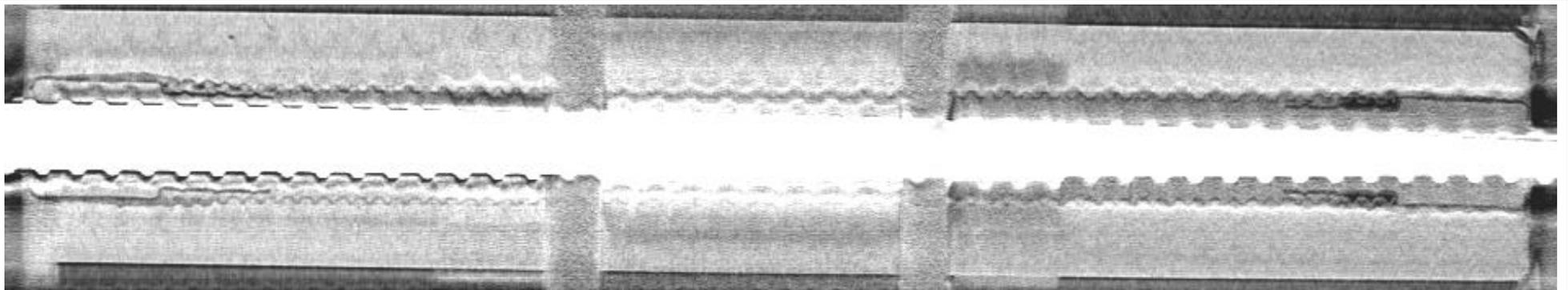
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(120) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(130) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			

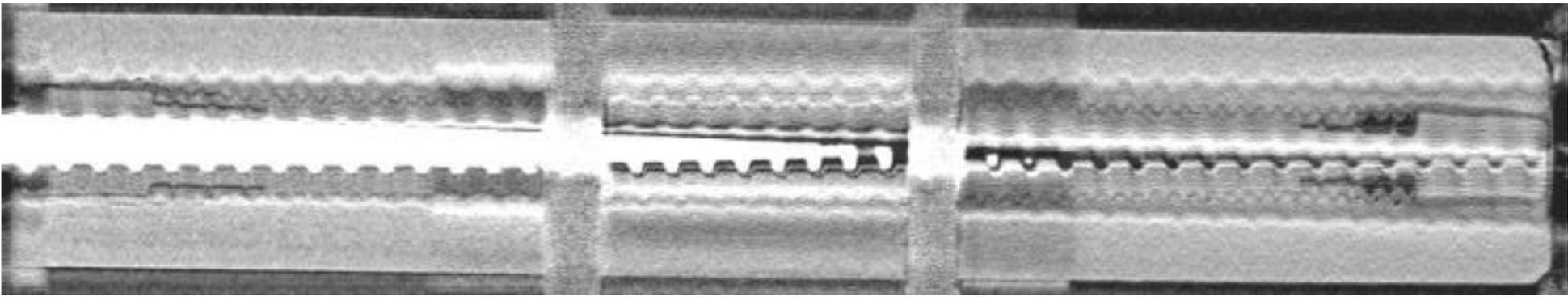
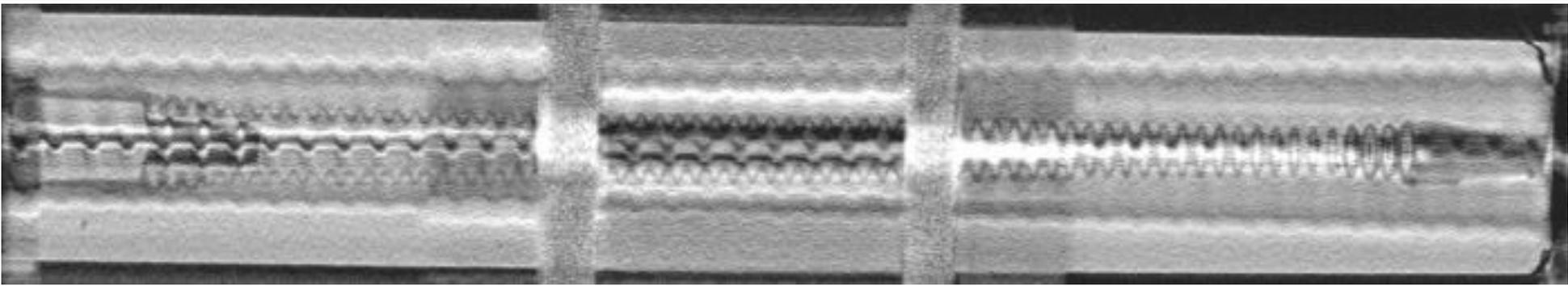
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(140) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(150) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020
			

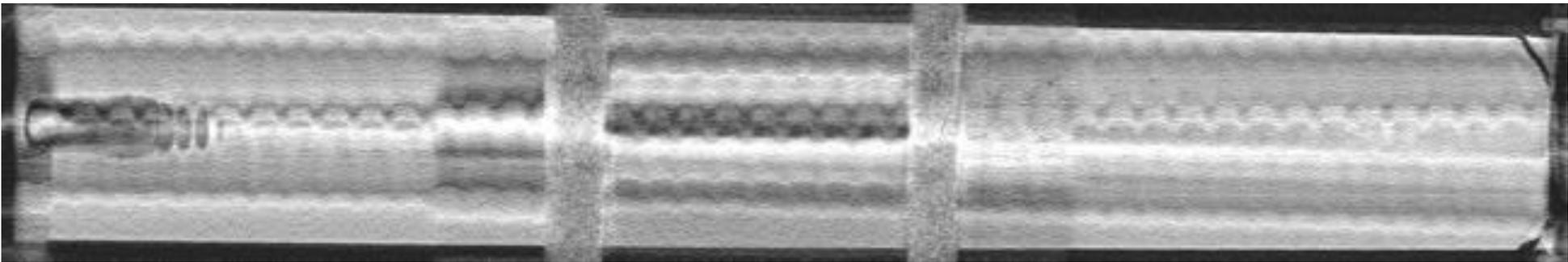
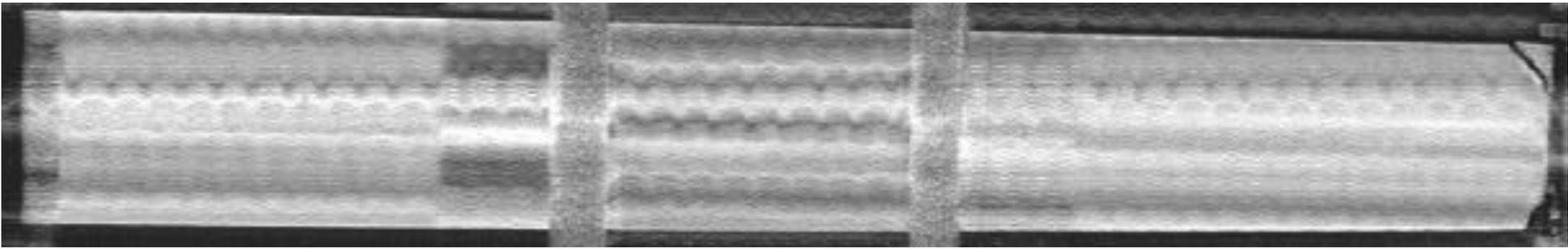
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(160) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020

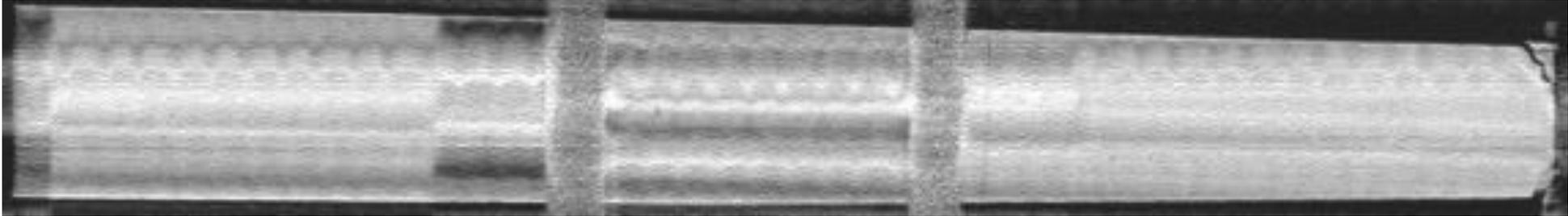
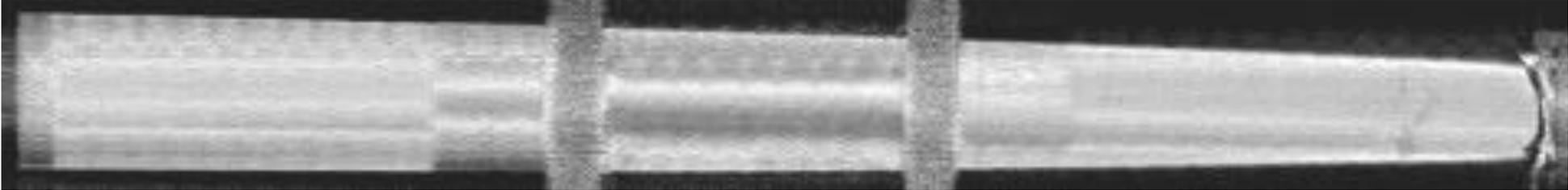


Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(170) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020

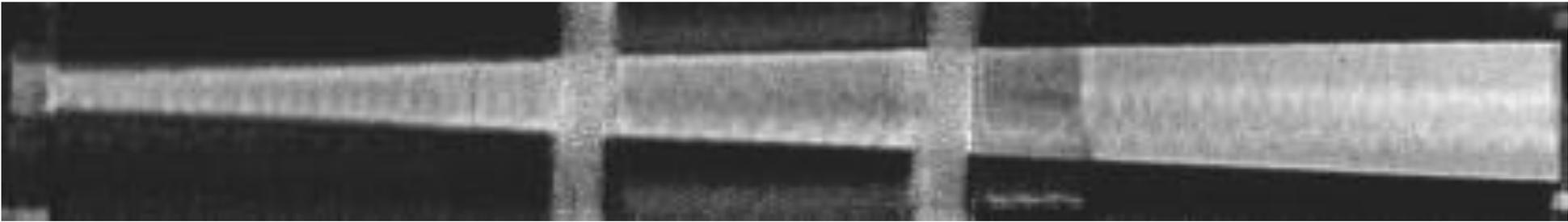
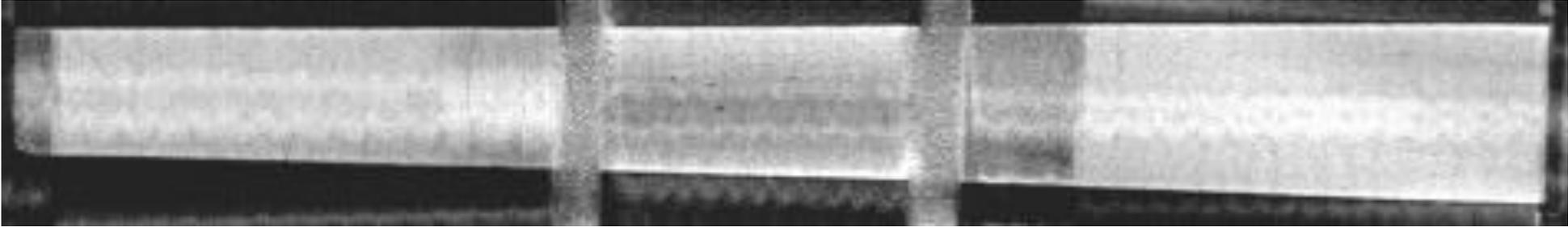


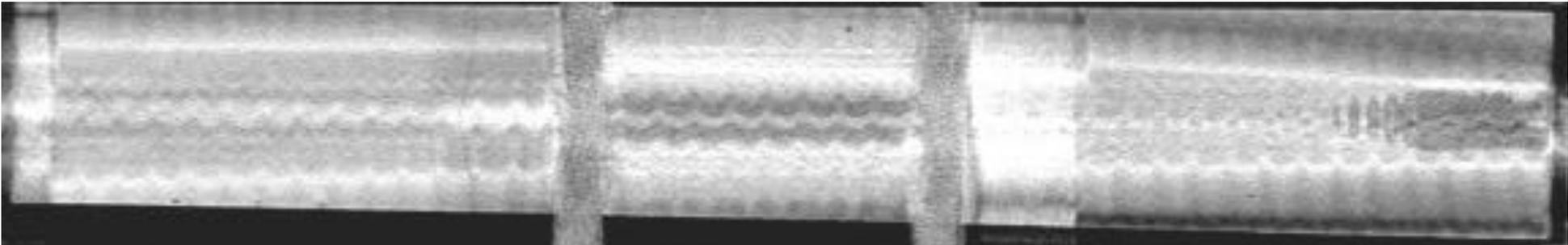
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(180) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(190) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

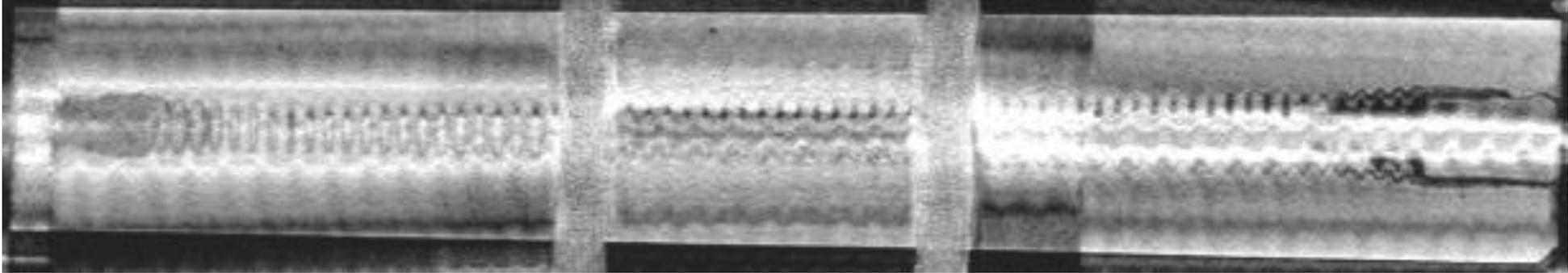
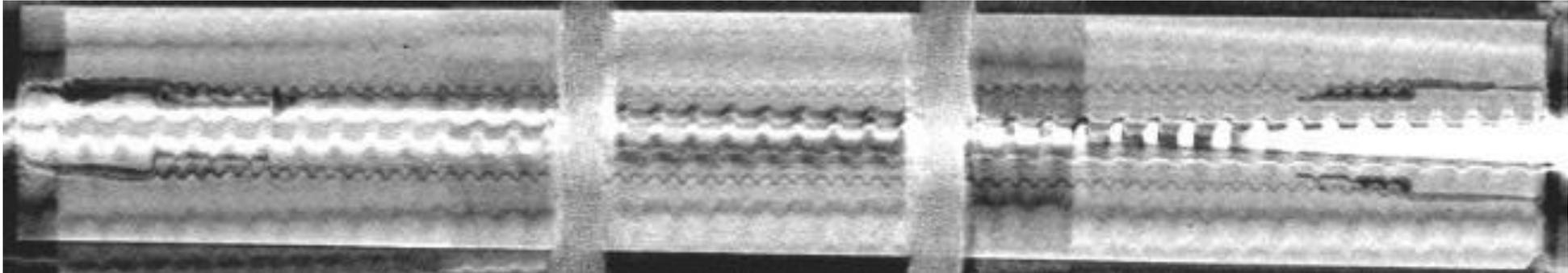
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(200) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(210) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(220) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01A_COR(230) – 170kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

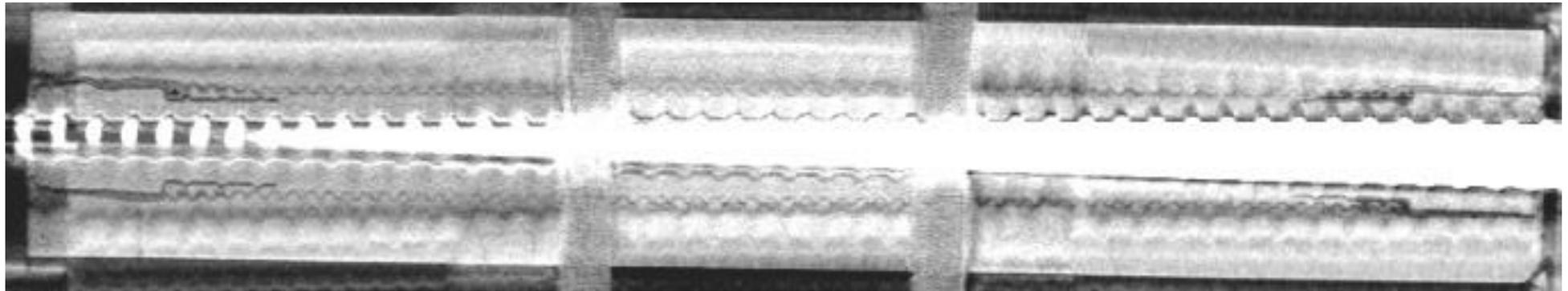
CT-Scan Probekörper V2_DAT_DCP_01 mit Belastungsstufe 100% * F_{max}

Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(75) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(85) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

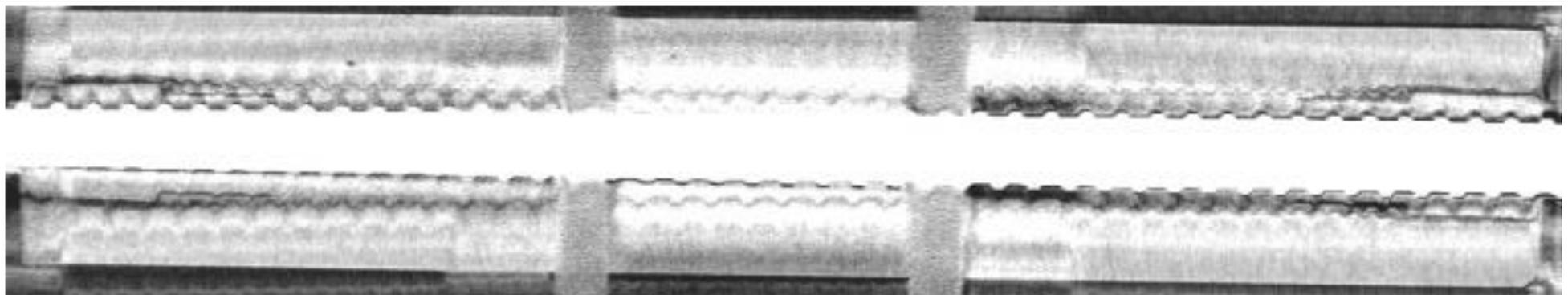
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(95) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(105) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020
			

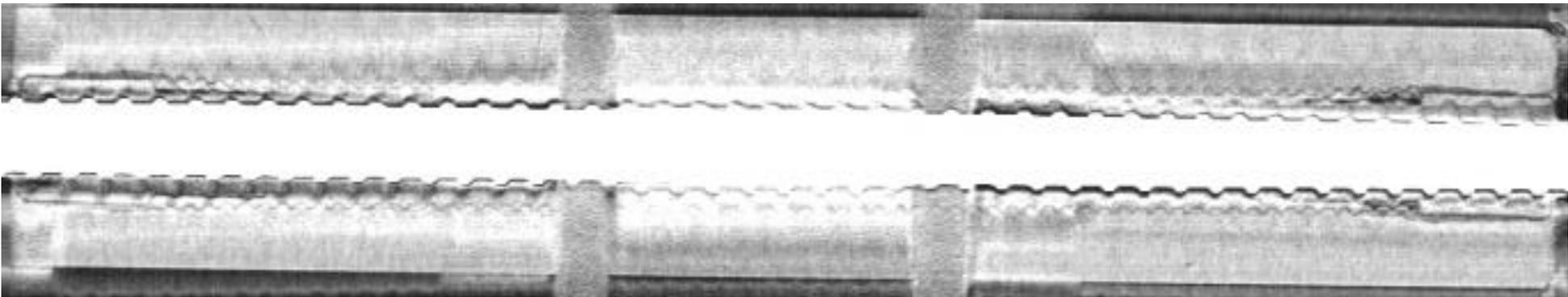
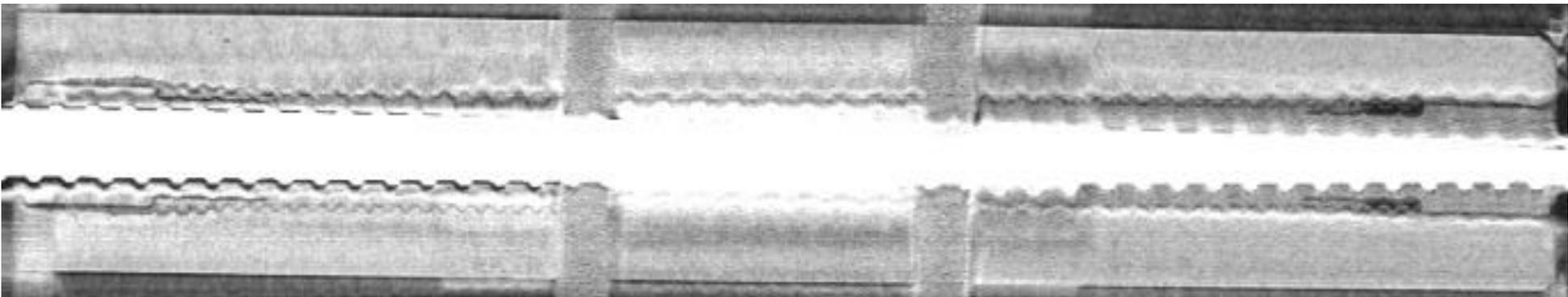
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(115) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(125) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			

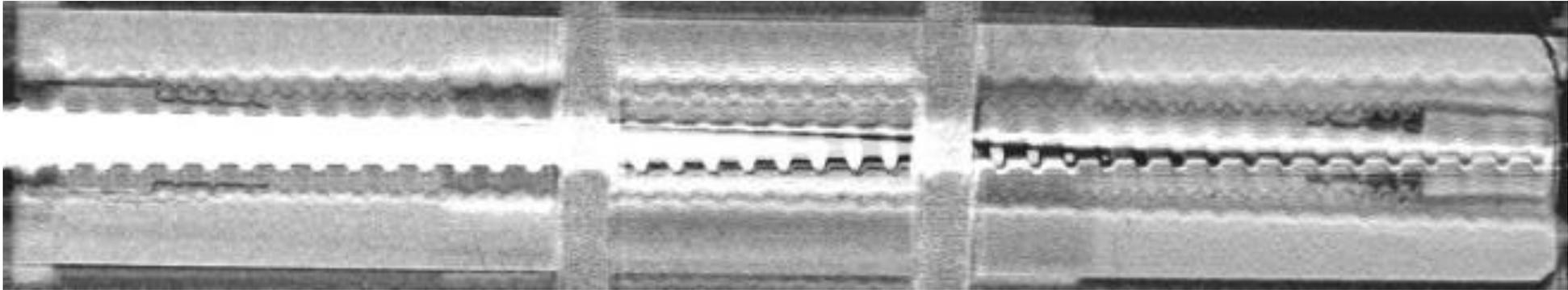
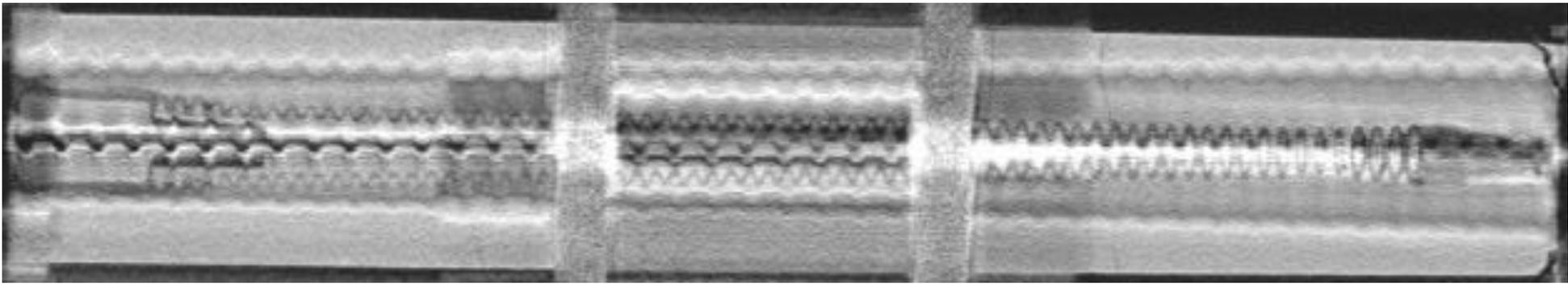
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(135) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020

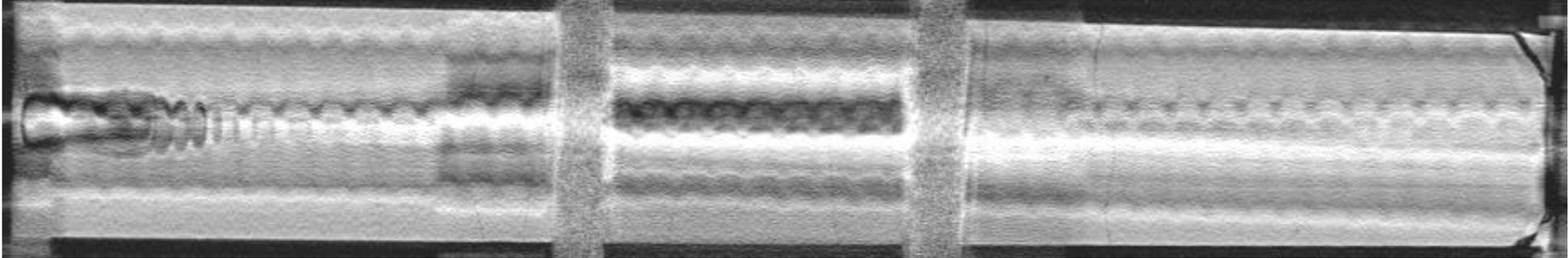
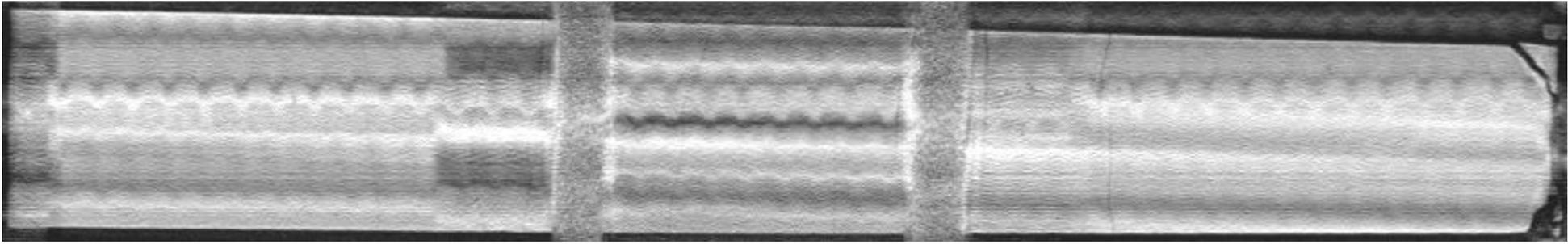


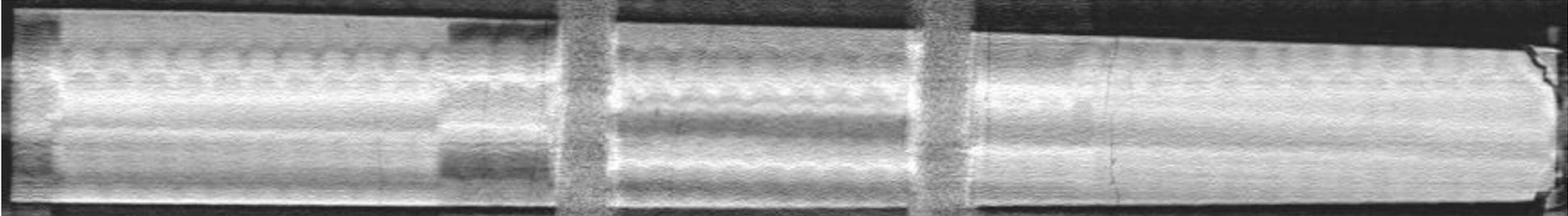
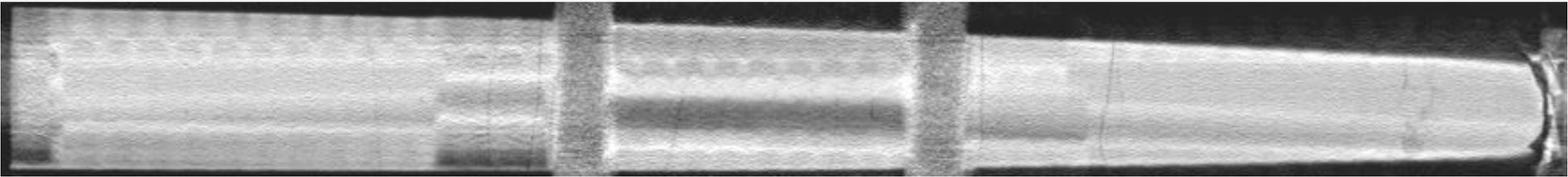
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(145) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020



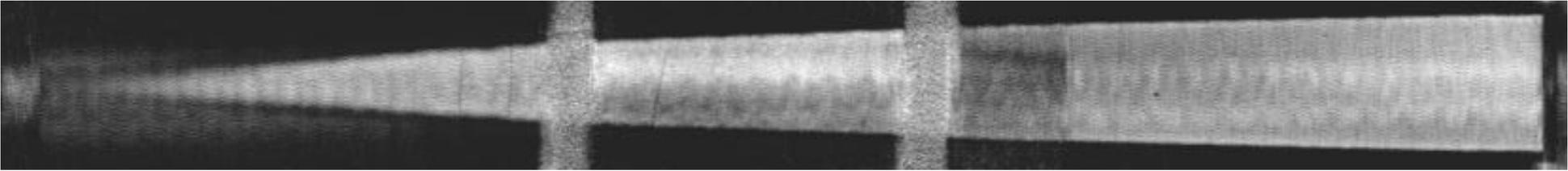
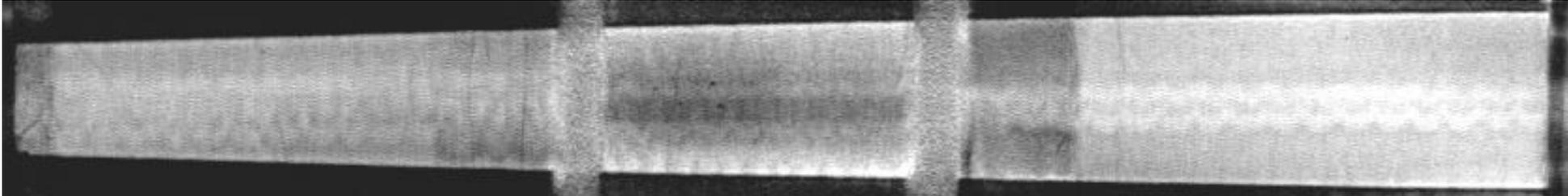
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(155) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(165) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020
			

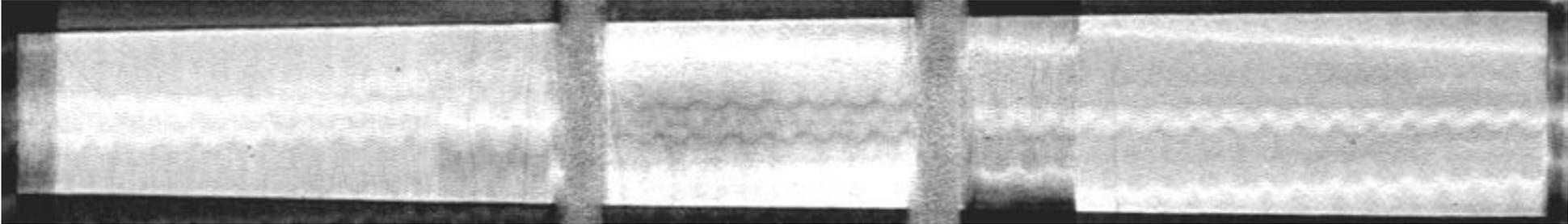
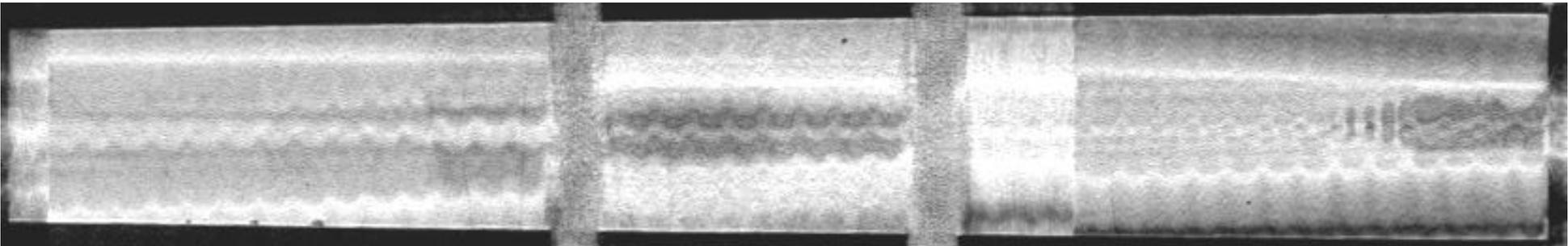
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(175) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(185) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

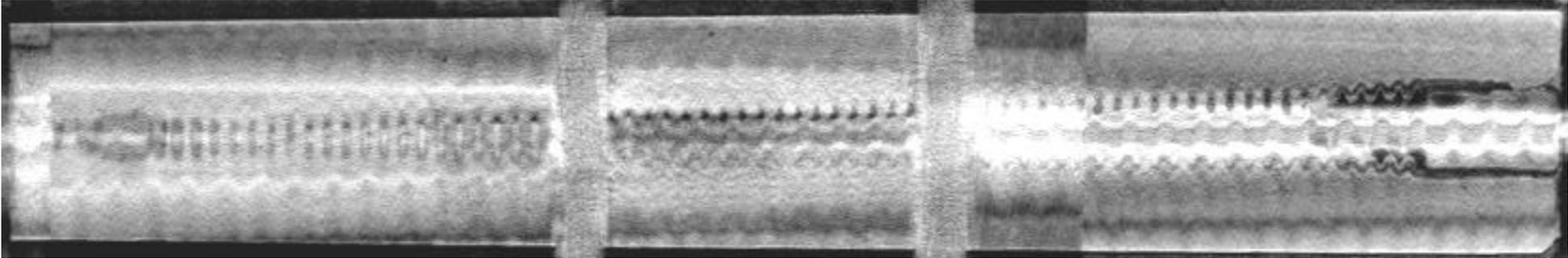
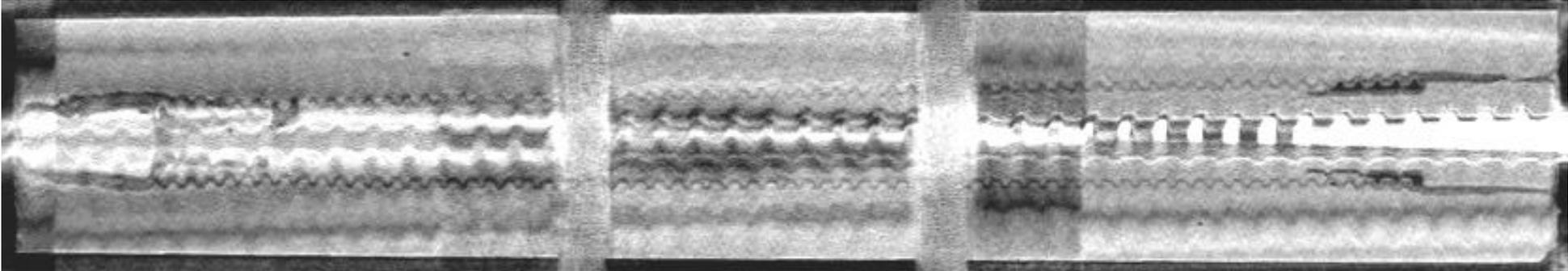
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(195) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnittrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(205) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

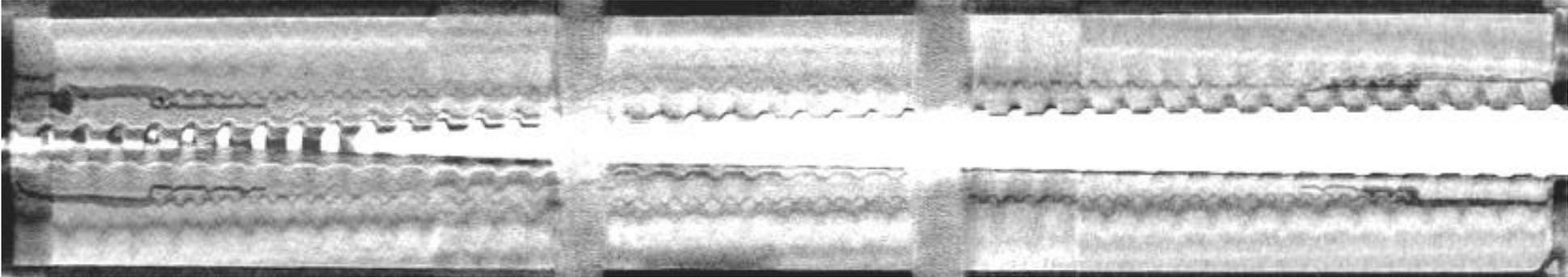
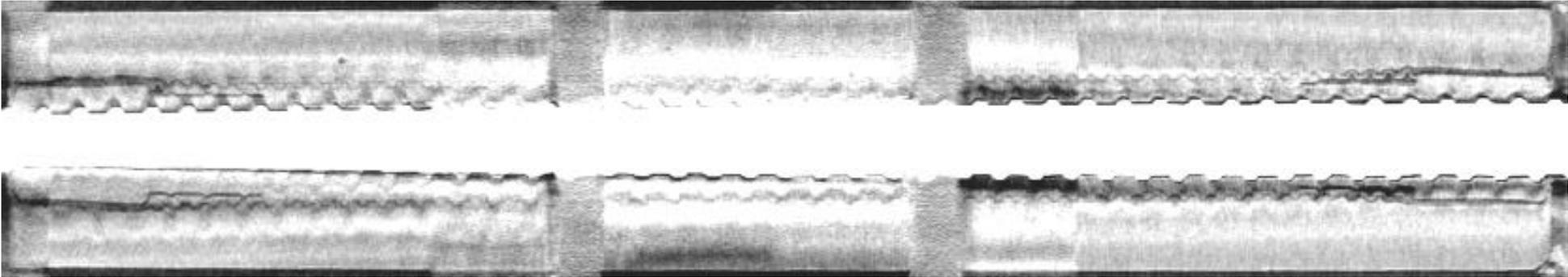
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(215) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01B_COR(225) – 340kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

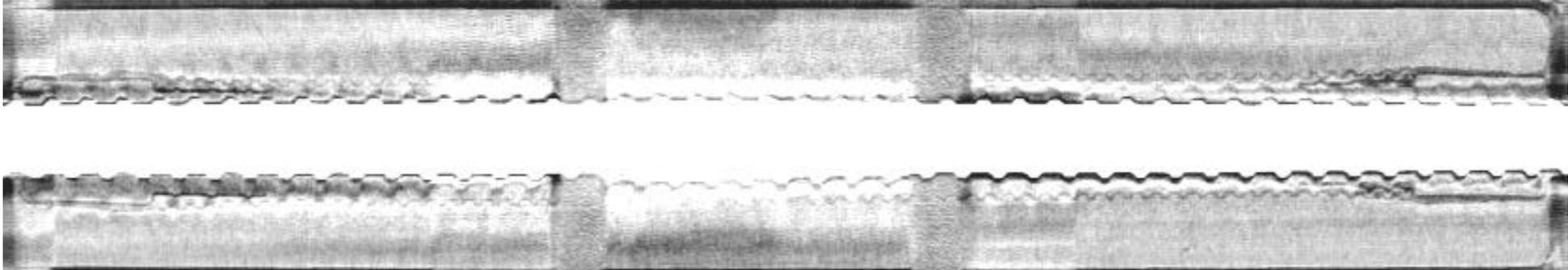
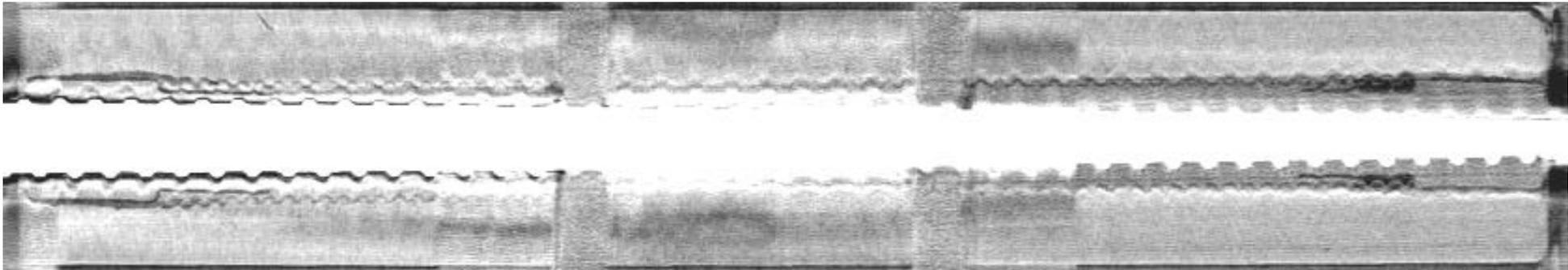
CT-Scan Probekörper V2_DAT_DCP_01 mit Belastungsstufe 50% * F_{\max} Axial, 4kN Querkraft

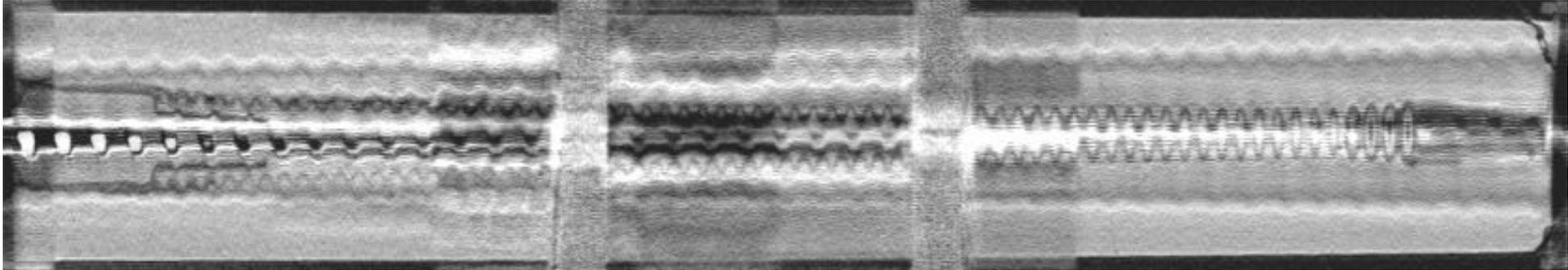
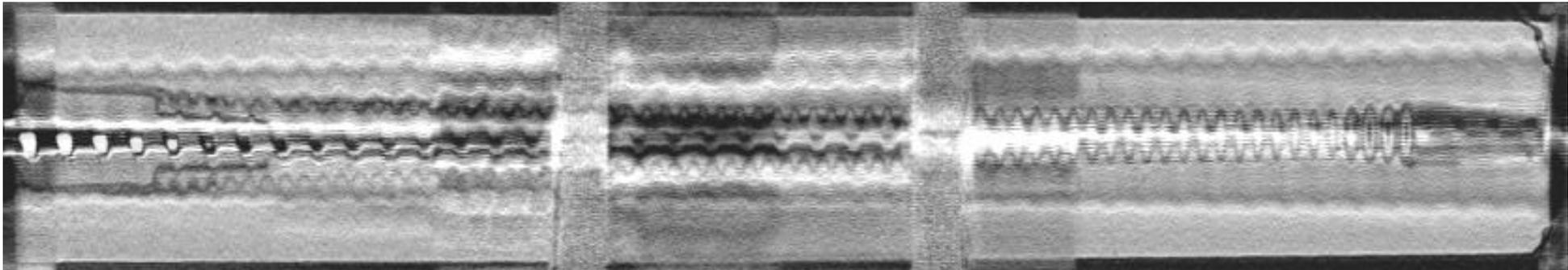
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(97) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(107) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

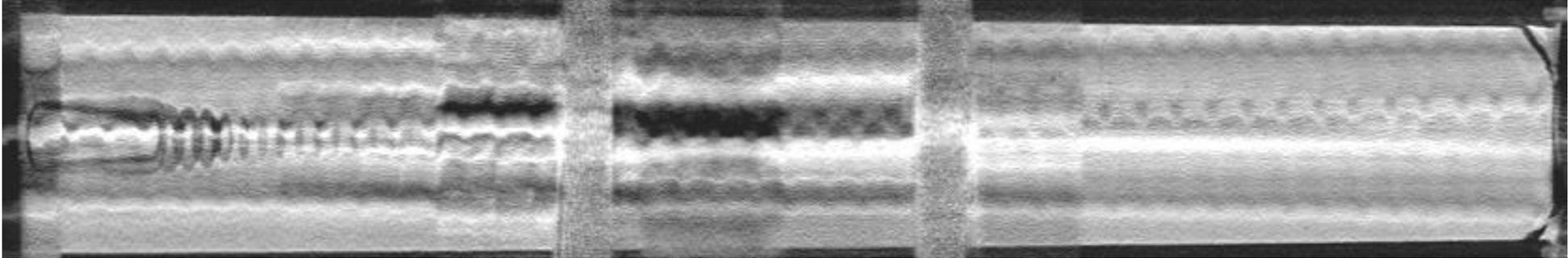
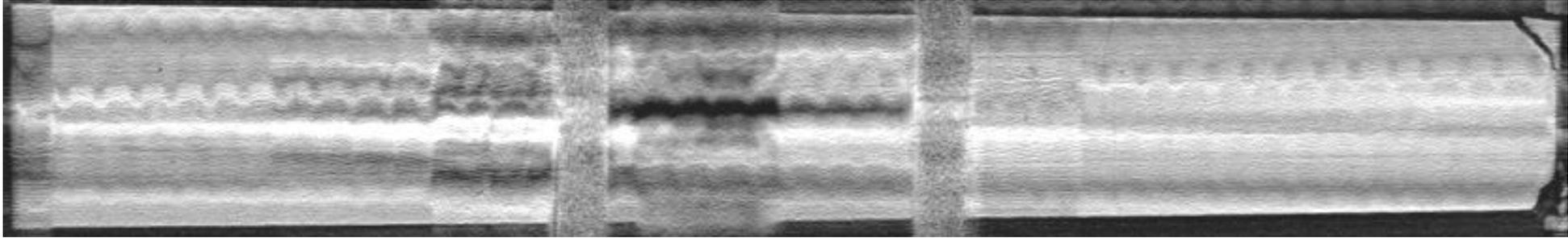
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(117) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(127) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020
			

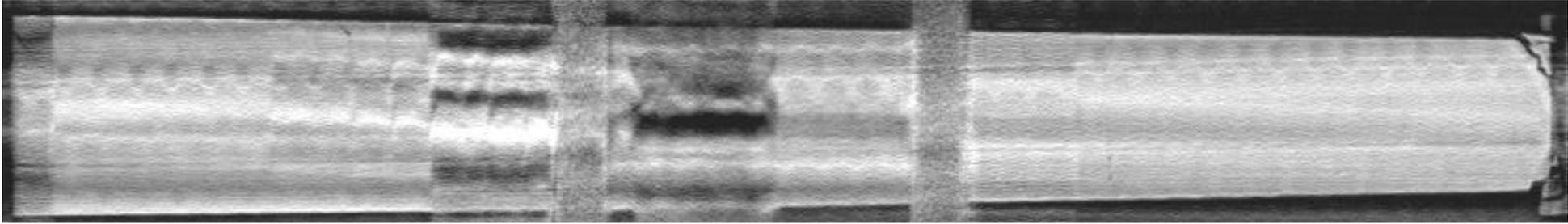
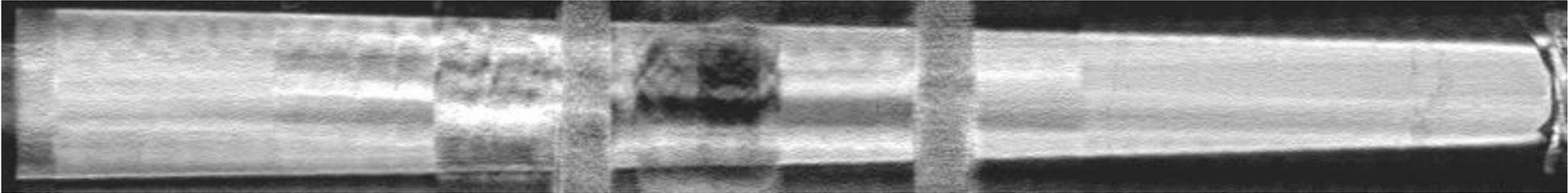
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(137) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(147) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(157) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(167) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020
			

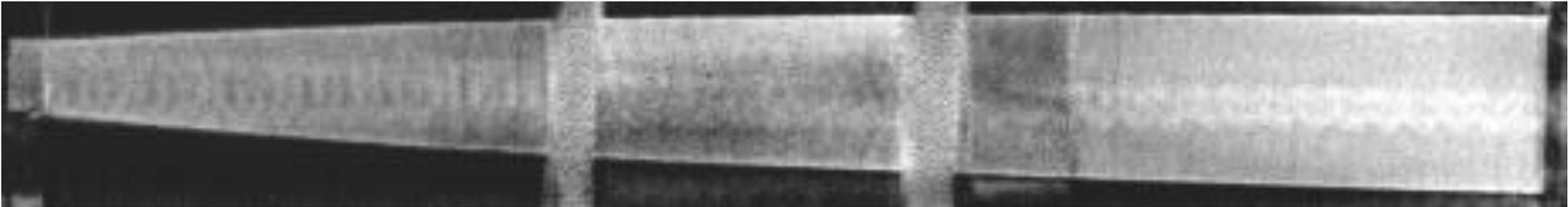
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(177) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(187) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020
			

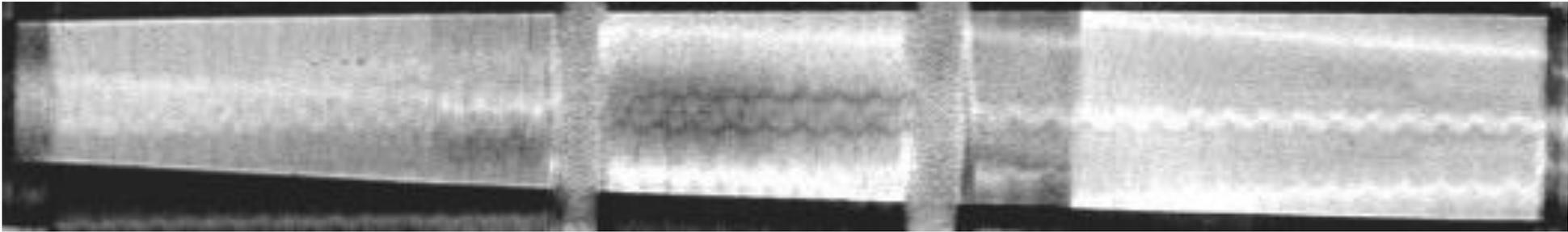
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(197) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(207) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

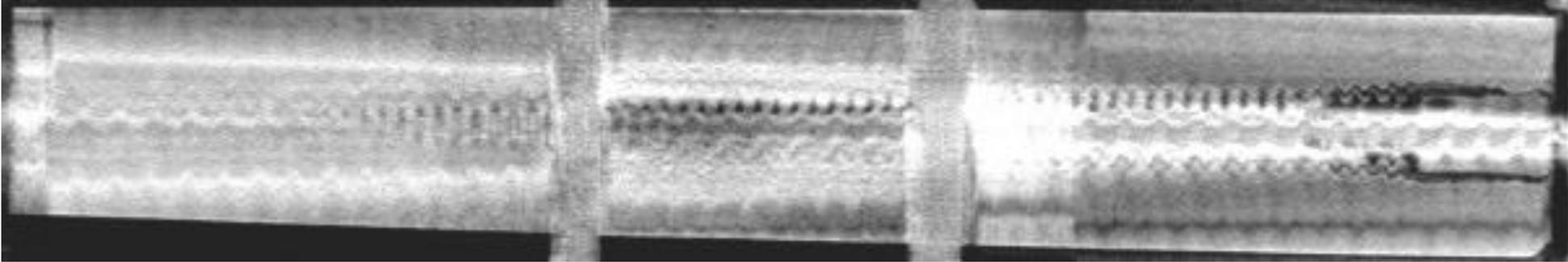
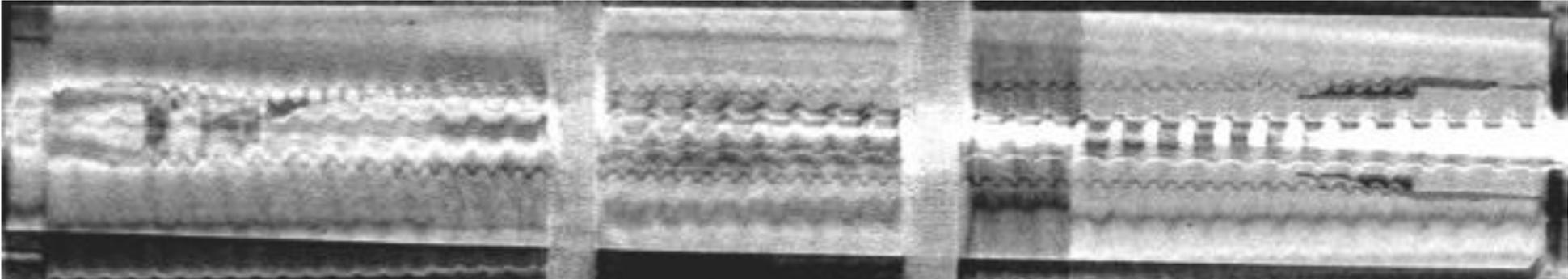
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(217) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(227) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

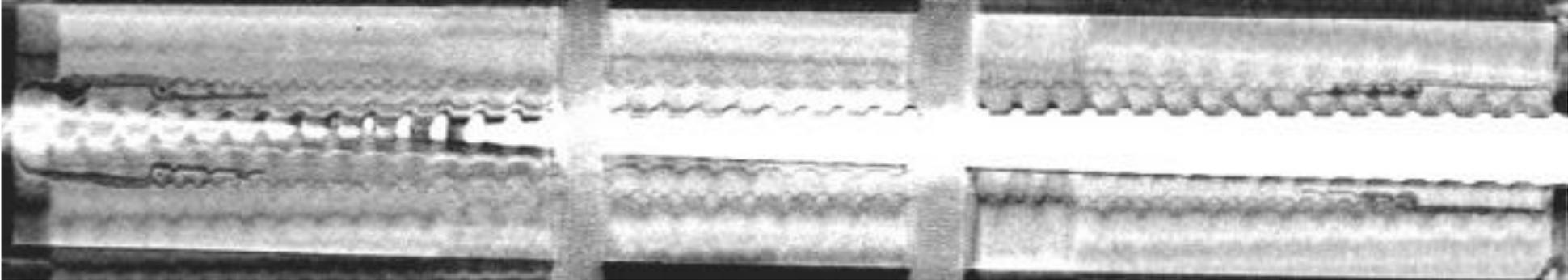
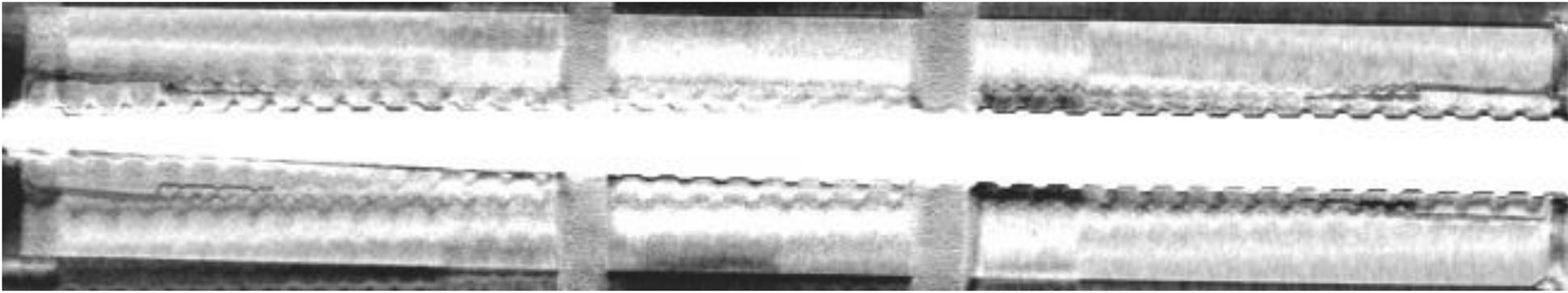
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(237) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01C_COR(247) – 170kN/4kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

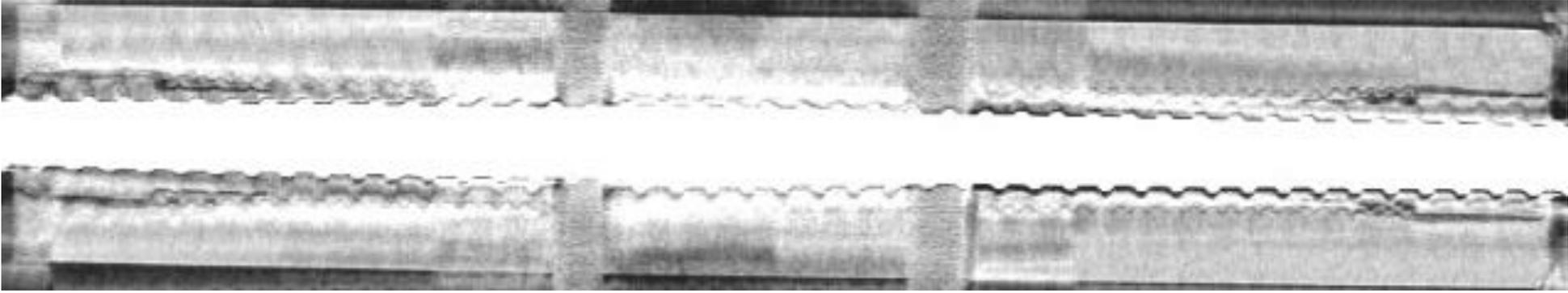
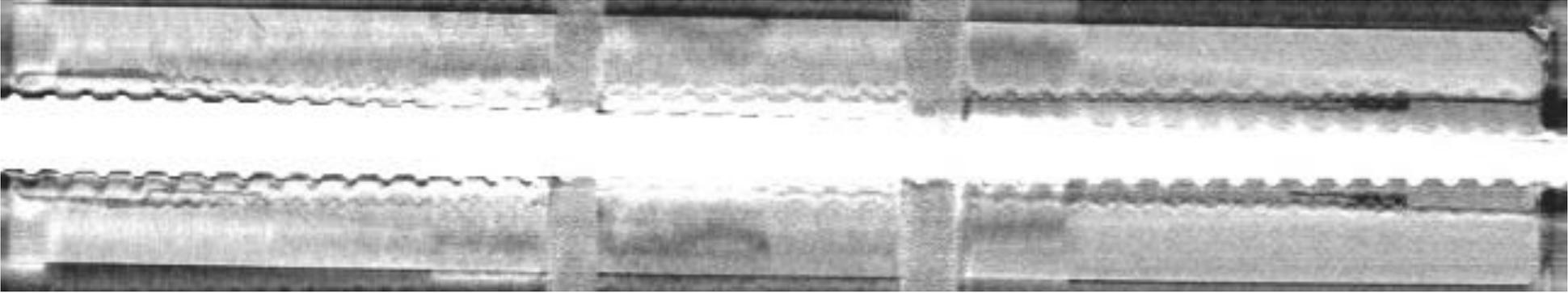
CT-Scan Probekörper V2_DAT_DCP_01 mit Belastungsstufe 50% * F_{max} Axial, 11,5kN Querkraft

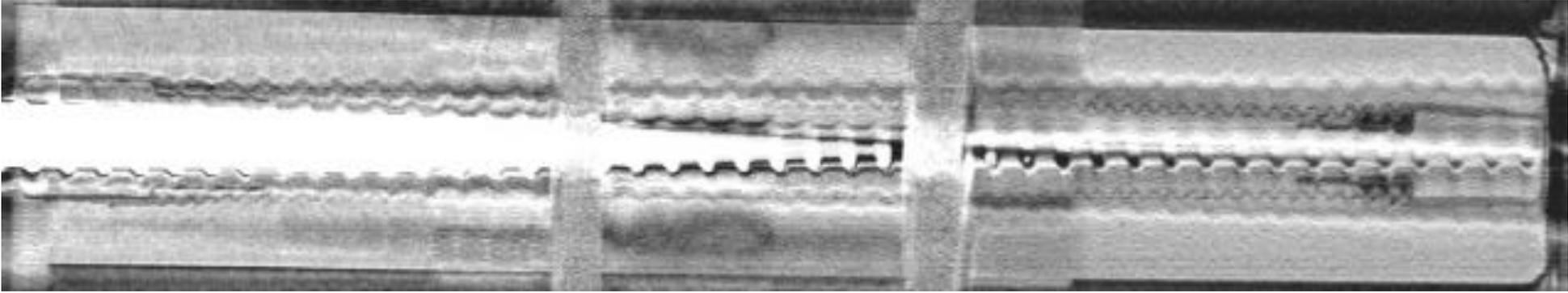
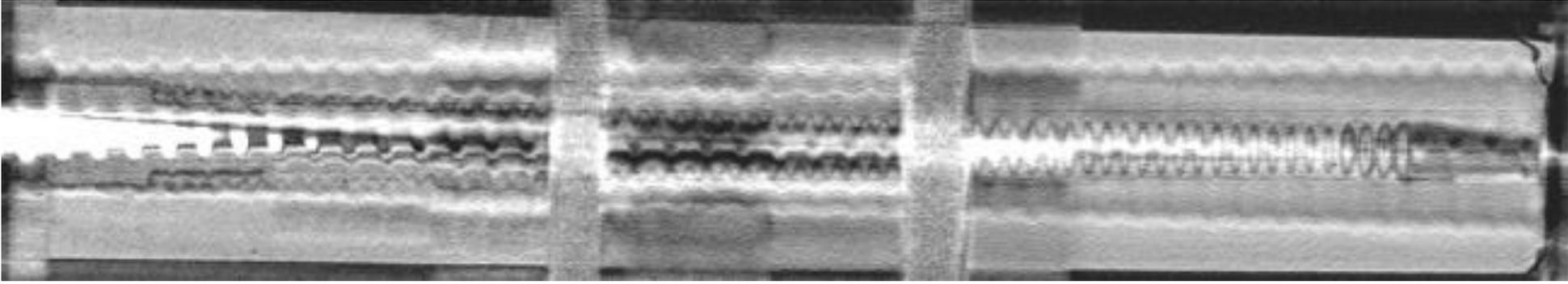
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(90) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	6,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(100) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	12,0 mm	27.11.2020
			

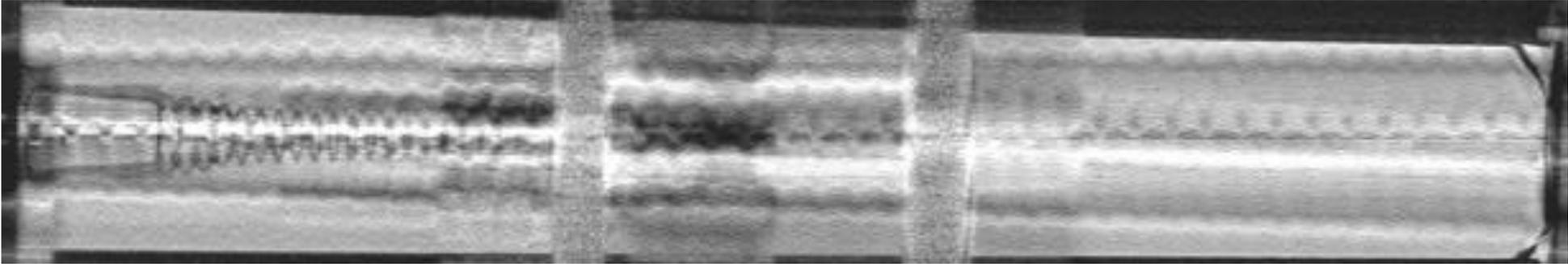
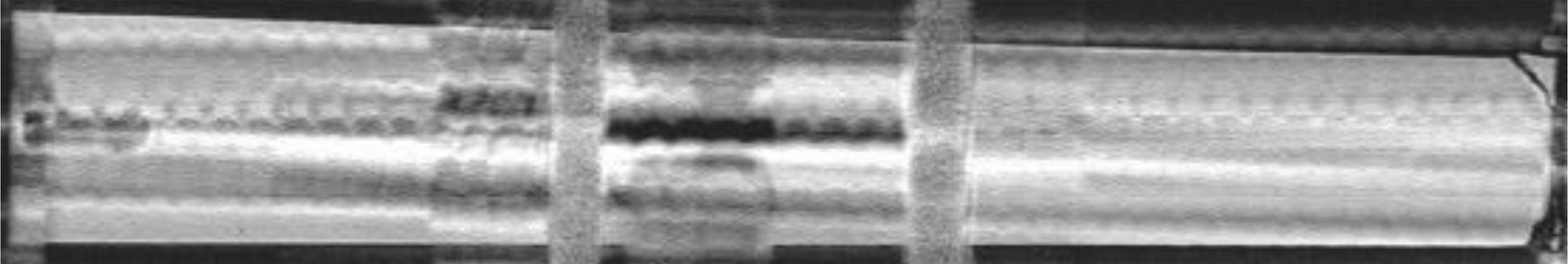
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(110) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	18,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(120) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	24,0 mm	27.11.2020
			

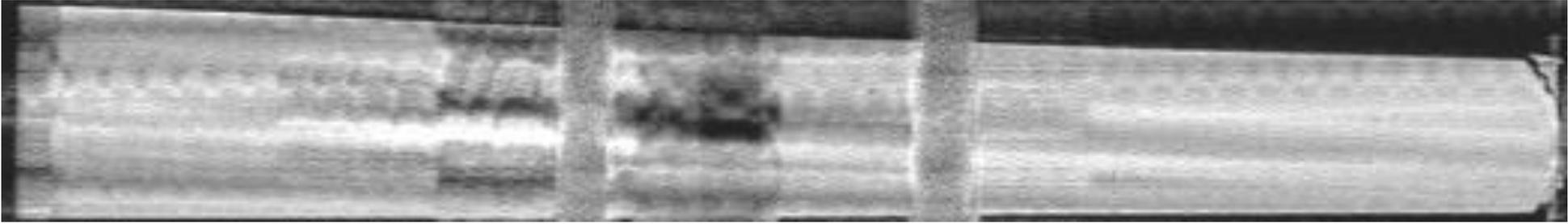
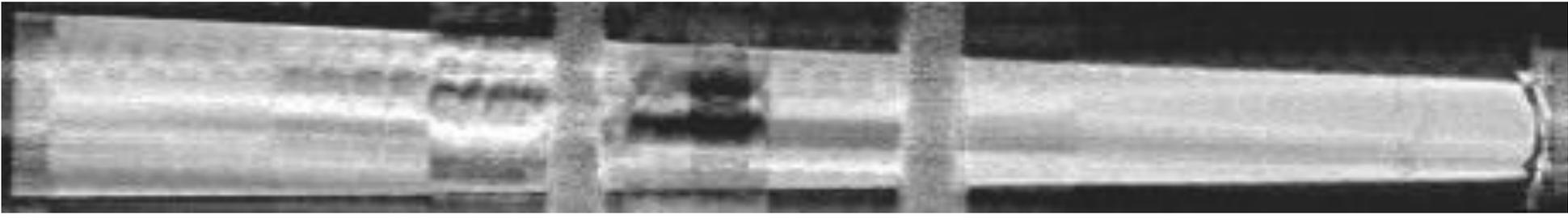
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(130) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	30,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(140) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	36,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(150) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	42,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(160) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	48,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(170) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	54,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(180) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	60,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(190) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	66,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(200) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	72,0 mm	27.11.2020
			

Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(210) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	78,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(220) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	84,0 mm	27.11.2020
			

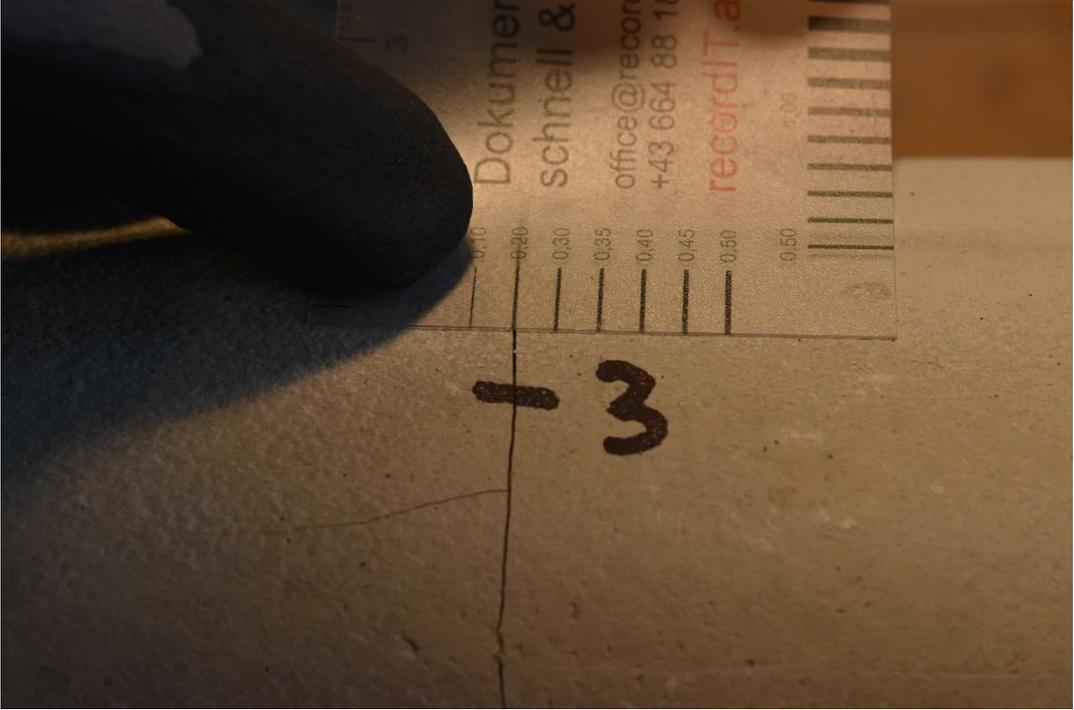
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(230) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	90,0 mm	27.11.2020
			
Bildname/Prüflast:	Schnitttrichtung:	Schnitttiefe:	Scan-Datum:
V2_DAT_DCP_01D_COR(240) – 170kN/11,5kN	Coronal (von oben nach unten)	96,0 mm	27.11.2020
			

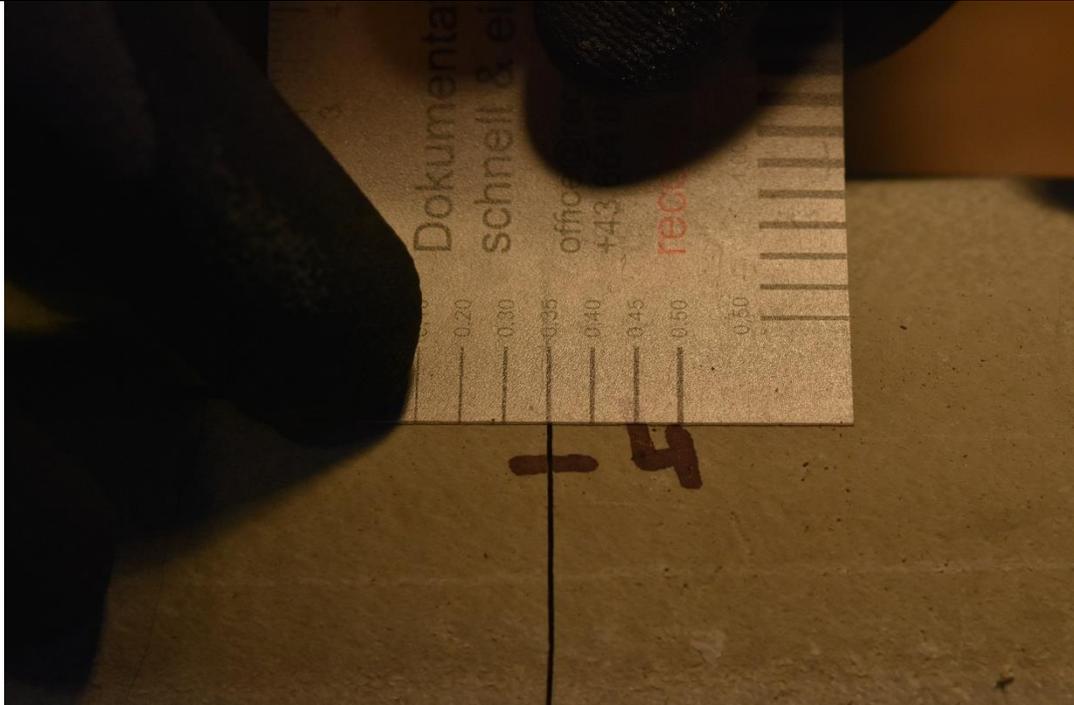
10.3 Anhang 3 – Bilder zum Laborversuch

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Prüfaufbau (klein)	Allgemein	----
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Prüfaufbau (groß)	Allgemein	----
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto	V2_DAT_GCP_02	0 kN
		

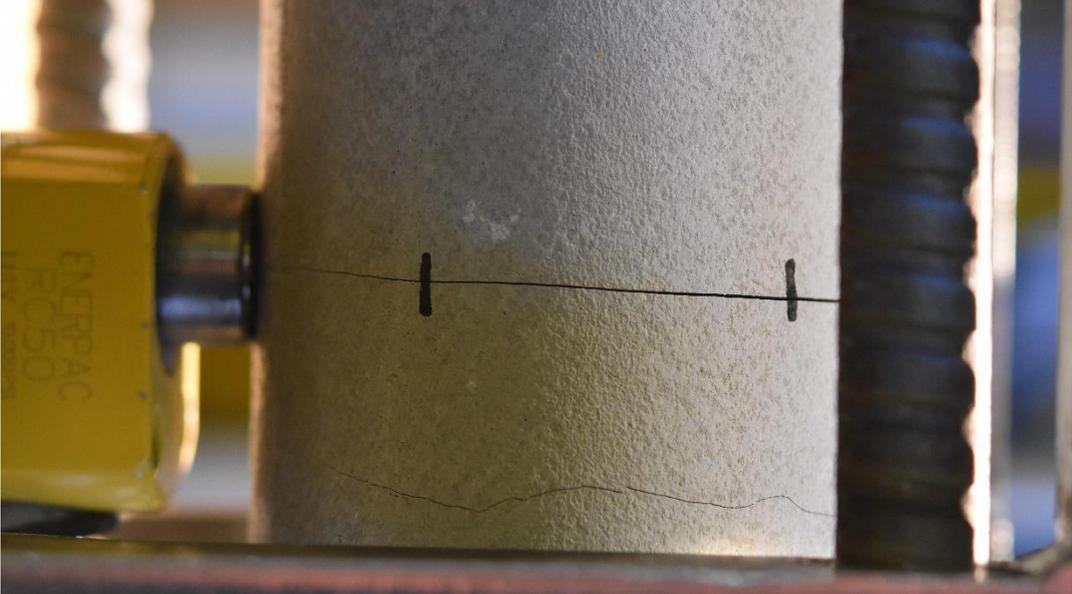
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V2_DAT_GCP_02	85 kN (25%*F _{max})
		

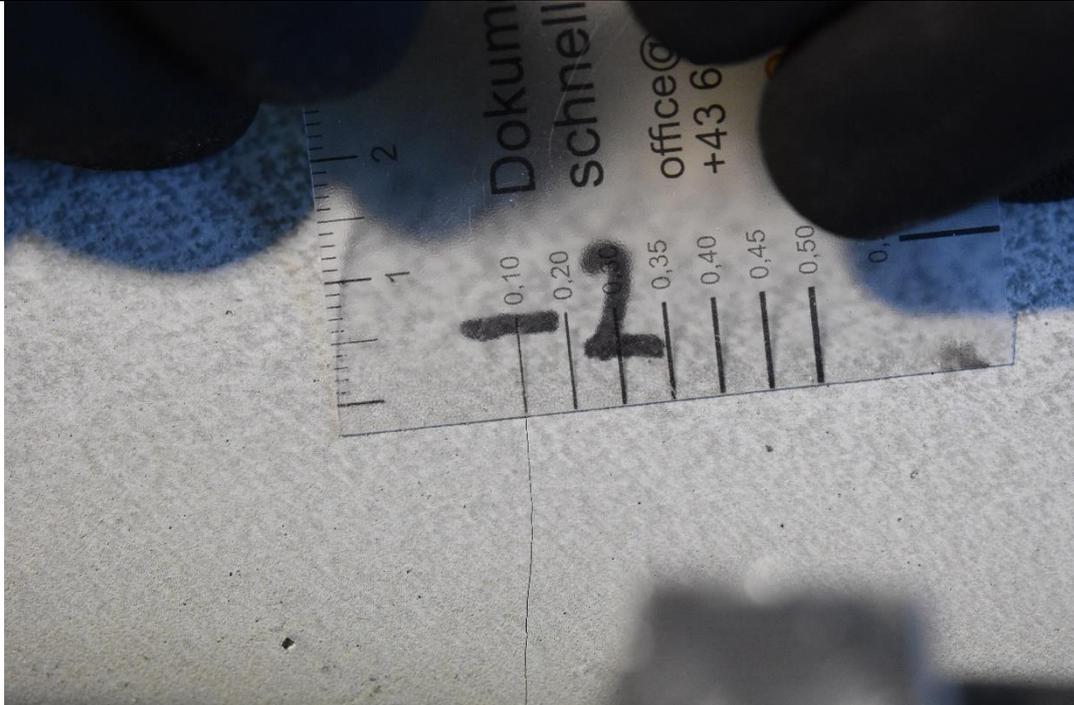
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto	V2_DAT_GCP_02	340 kN (100%*F _{max})
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3	V2_DAT_GCP_02	340 kN (100%*F _{max})
		

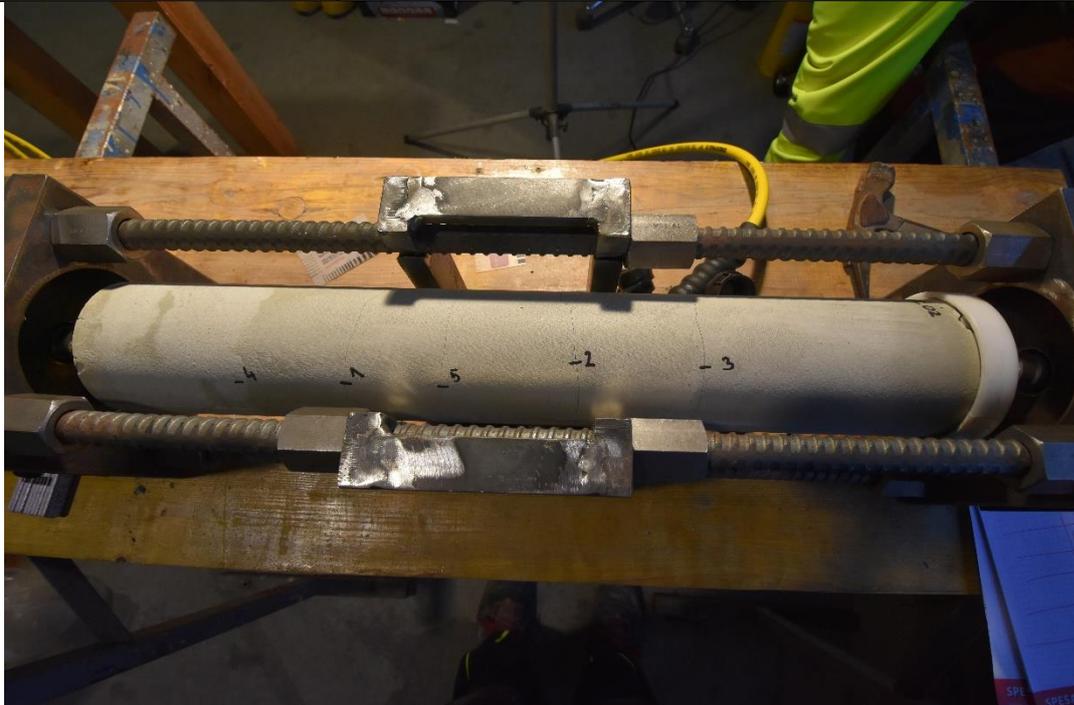
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 4	V2_DAT_GCP_02	340 kN (100%*F _{max})
		

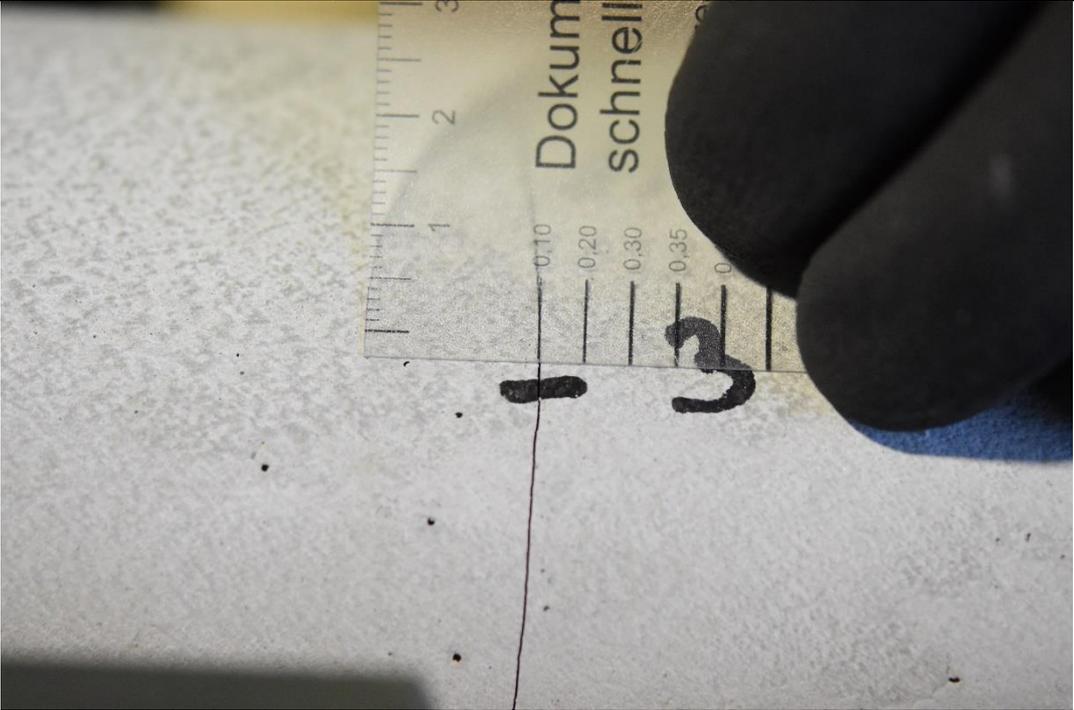
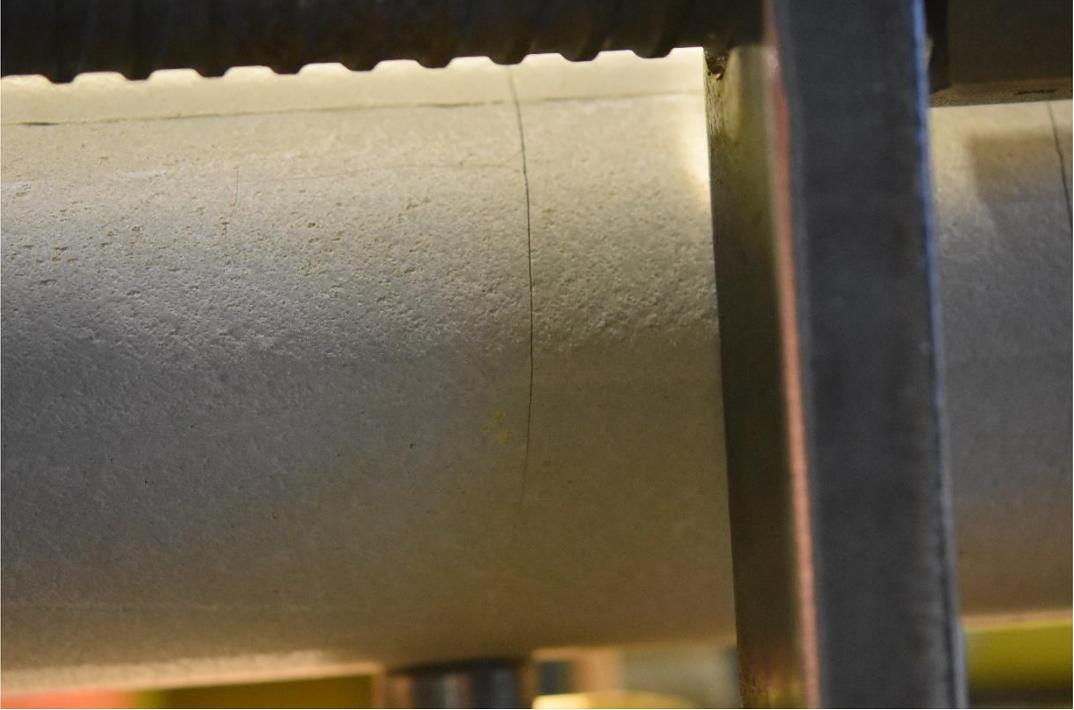
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto mit Querkraftpresse	V2_DAT_GCP_02	170 kN (50%*F _{max}) + 4 kN Quer

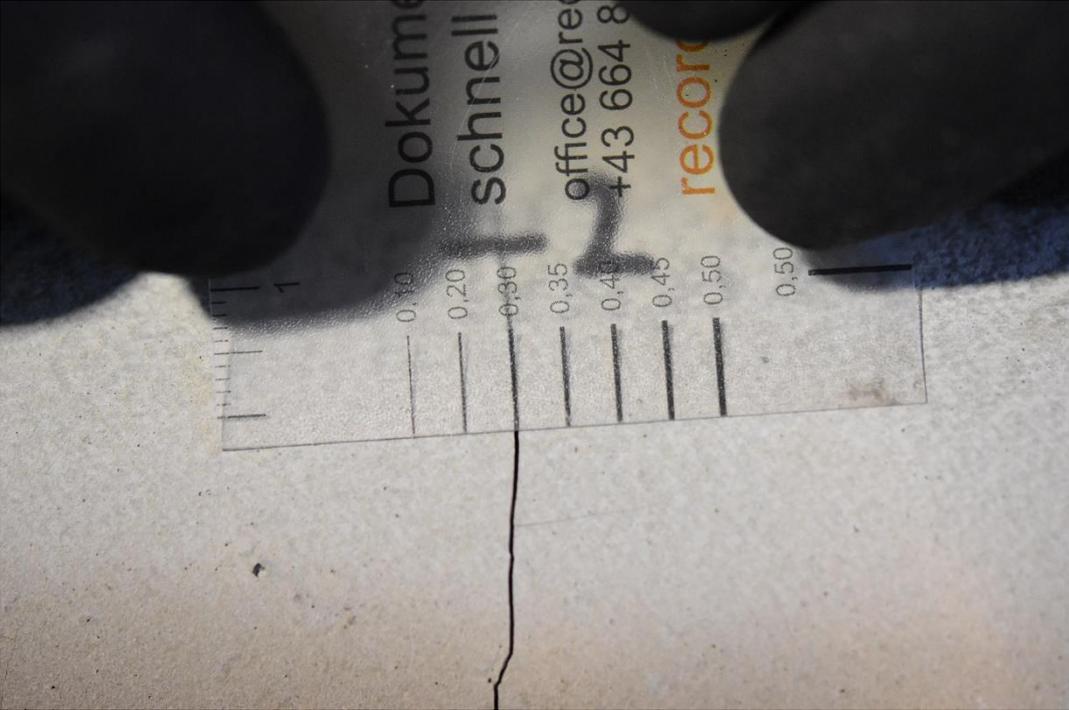
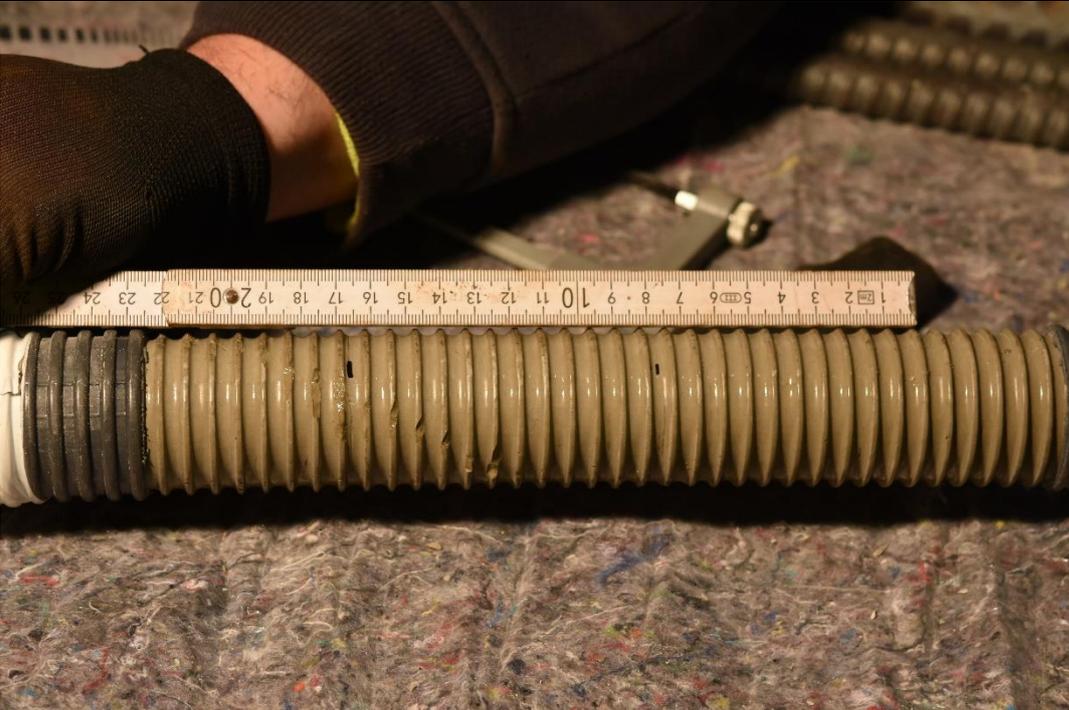


Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 5	V2_DAT_GCP_02	170 kN (50%*F _{max}) + 4 kN Quer
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 5	V2_DAT_GCP_02	170 kN (50%*F _{max}) + 4 kN Quer
		

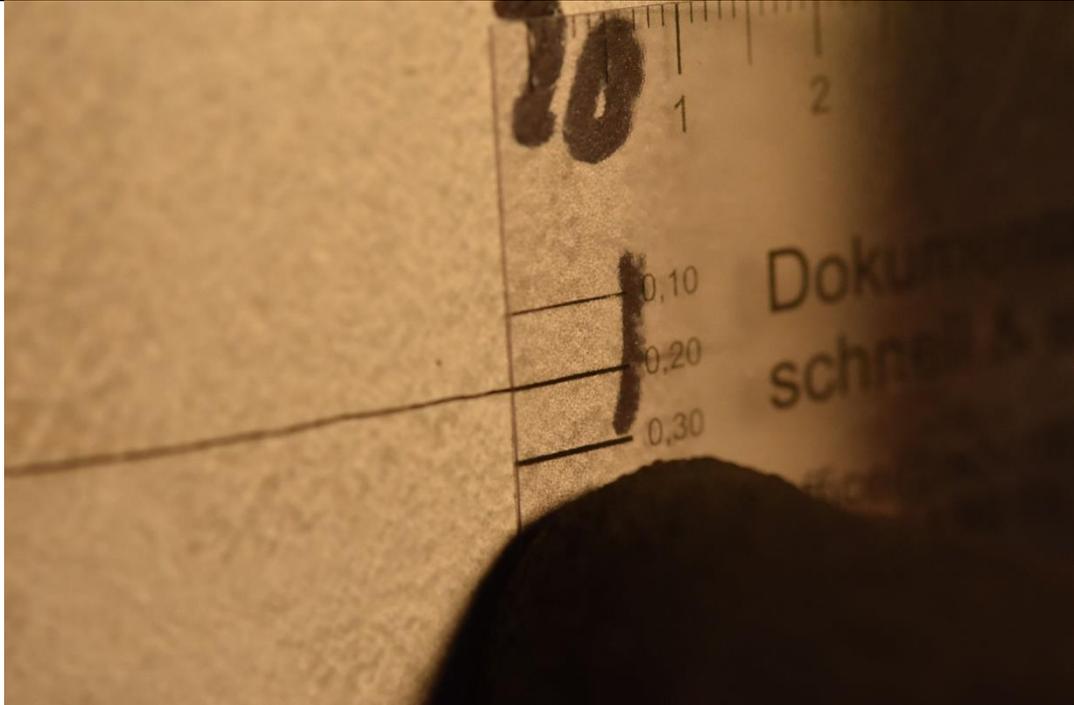
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V2_DAT_DCP_02	85 kN (25%*F _{max})
		

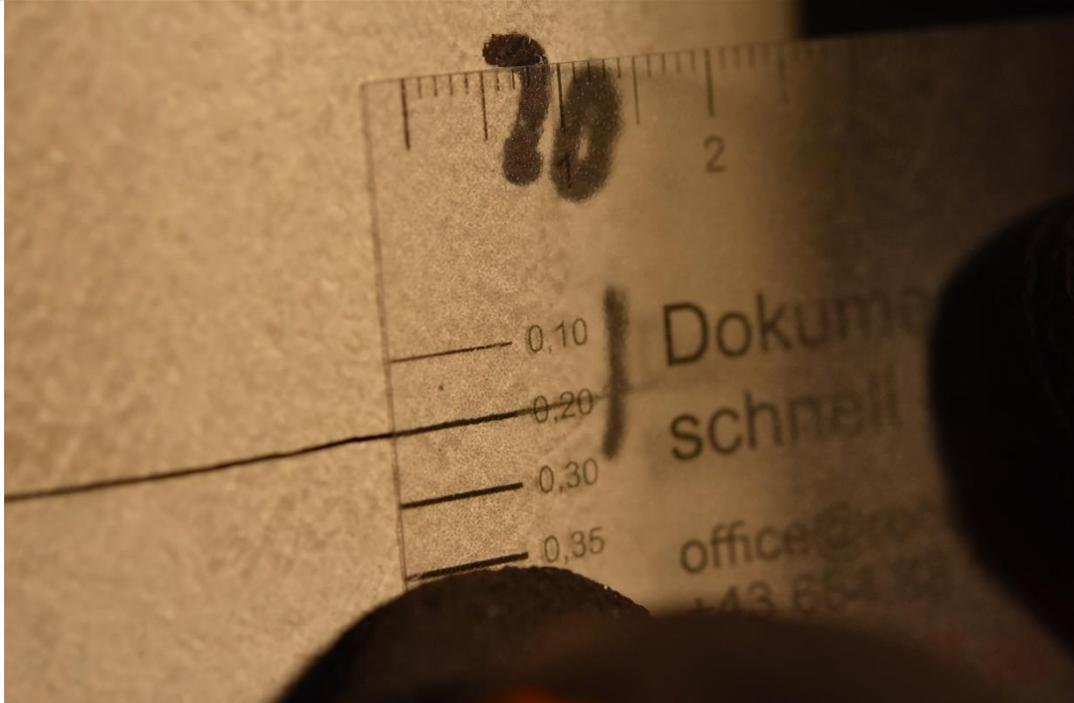
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto	V2_DAT_DCP_02	255 kN (75%*F _{max})
		

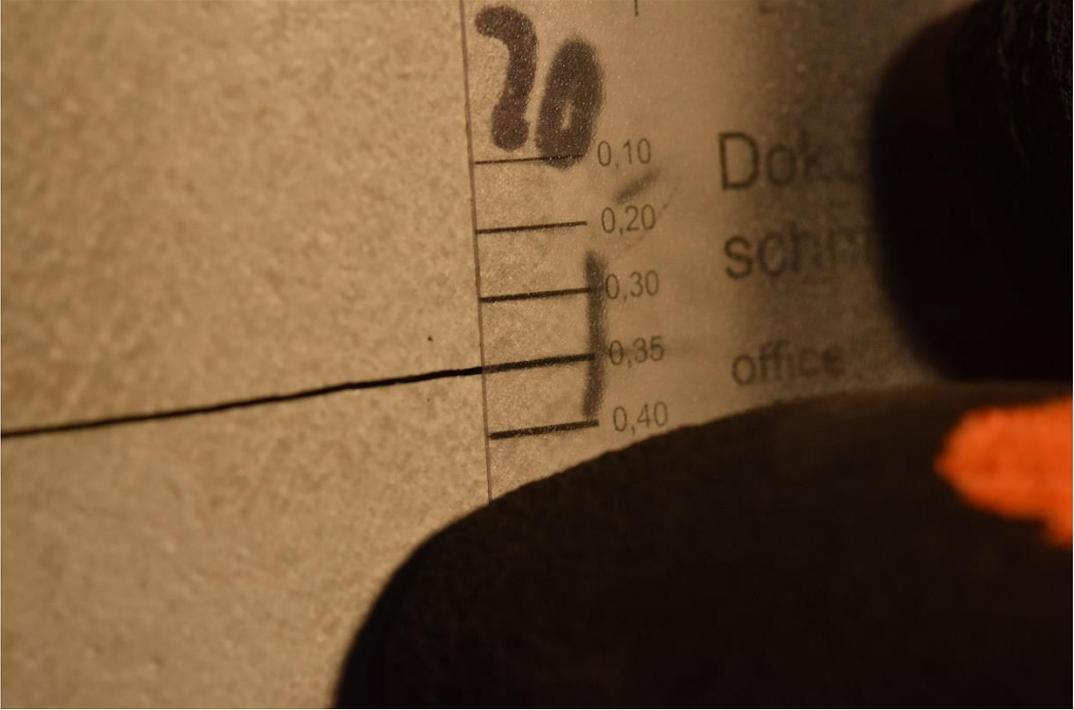
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3	V2_DAT_DCP_02	340 kN (100%*F _{max})
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V2_DAT_DCP_02	170 kN (50%*F _{max}) + 4 kN Quer
		

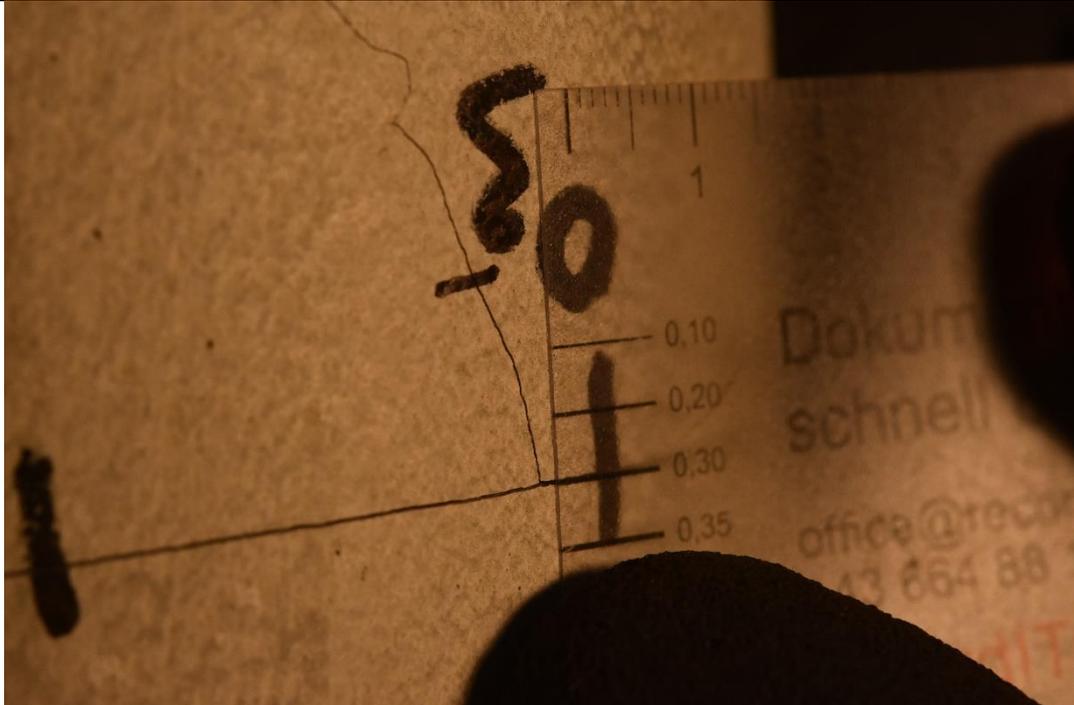
Bildinhalt: Riss 2	Versuchskörper: V2_DAT_DCP_02	Laststufe: 170 kN (50%*F _{max}) + 4 kN Quer
		
Bildinhalt: Freilegung des inneren Verpresskörpers	Versuchskörper: V2_DAT_DCP_02	Laststufe: ----
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Innerer Verpresskörper - befeuchtet	V2_DAT_DCP_02	----
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto	V2_DAT_GCP_01	0 kN
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V2_DAT_GCP_01	85 kN (25%*F _{max})
		

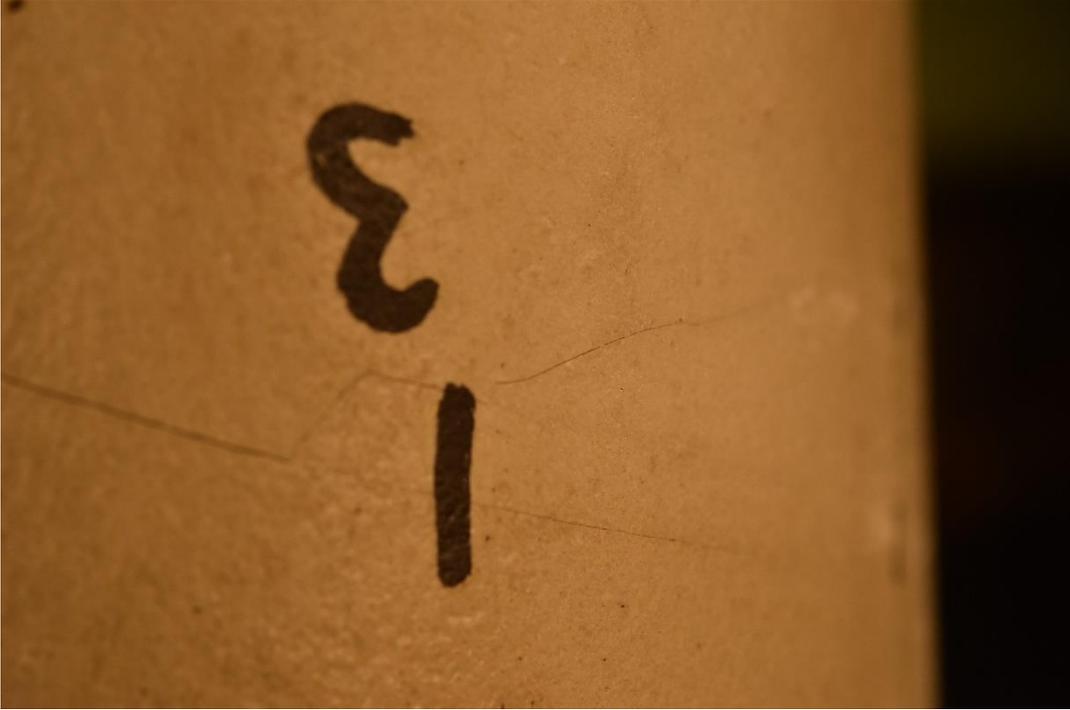
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V2_DAT_GCP_01	170 kN (50%*F _{max})
		

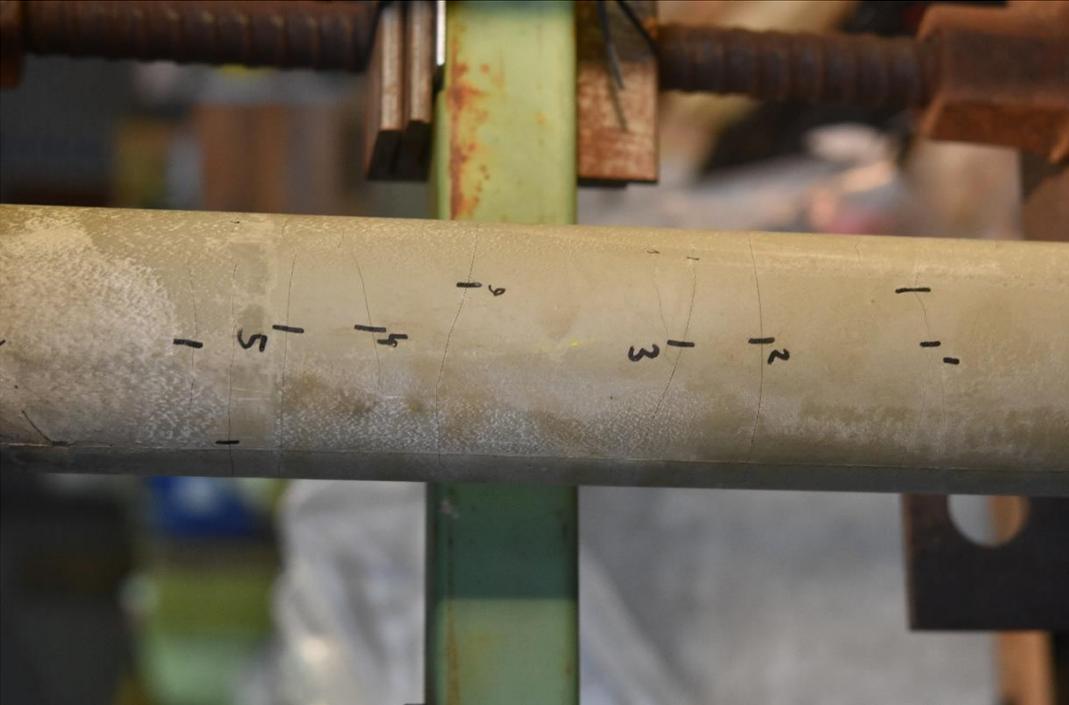
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V2_DAT_GCP_01	255 kN (75%*F _{max})
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V2_DAT_GCP_01	340 kN (100%*F _{max})
		

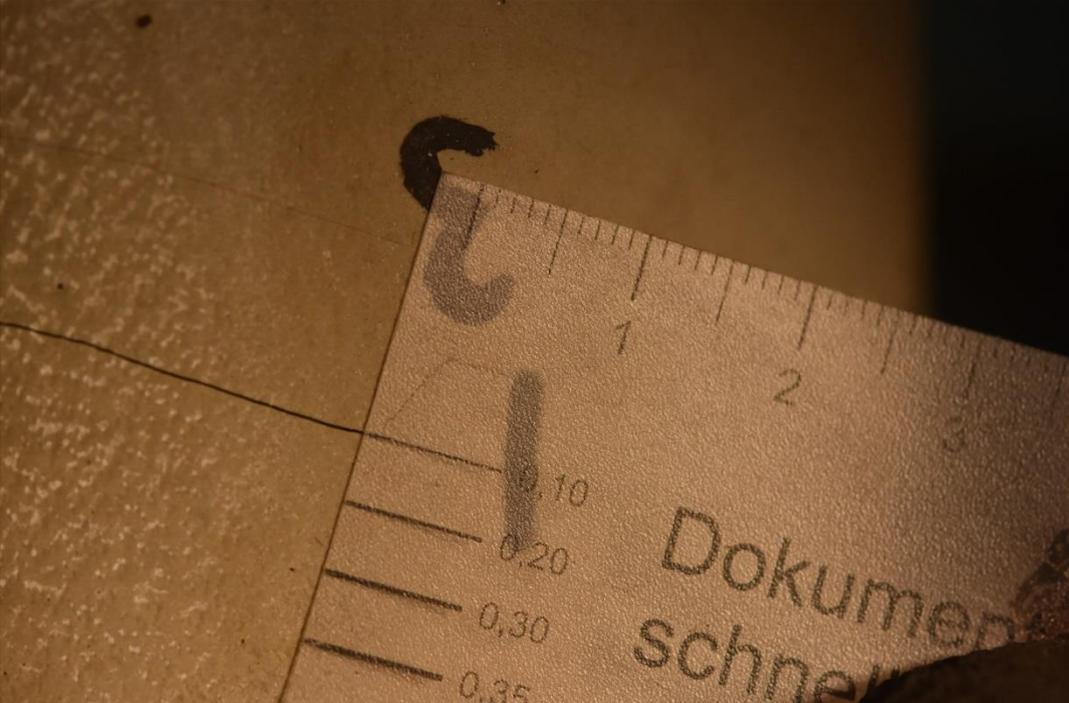
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3	V2_DAT_GCP_01	340 kN (100%*F _{max})
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3	V2_DAT_GCP_01	170 kN (50%*F _{max}) + 4 kN Quer

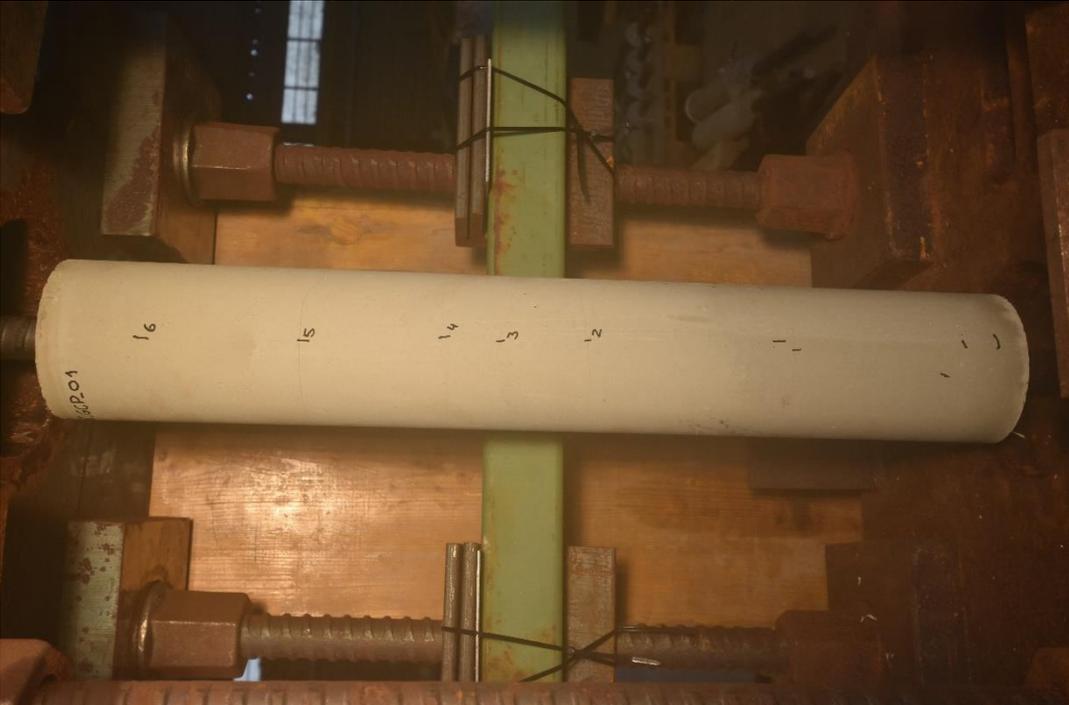


Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Verästelungen Riss 1	V2_DAT_DCP_01	85 kN (25%*F _{max})
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Verästelung Riss 3	V2_DAT_GCP_01	85 kN (25%*F _{max})
		

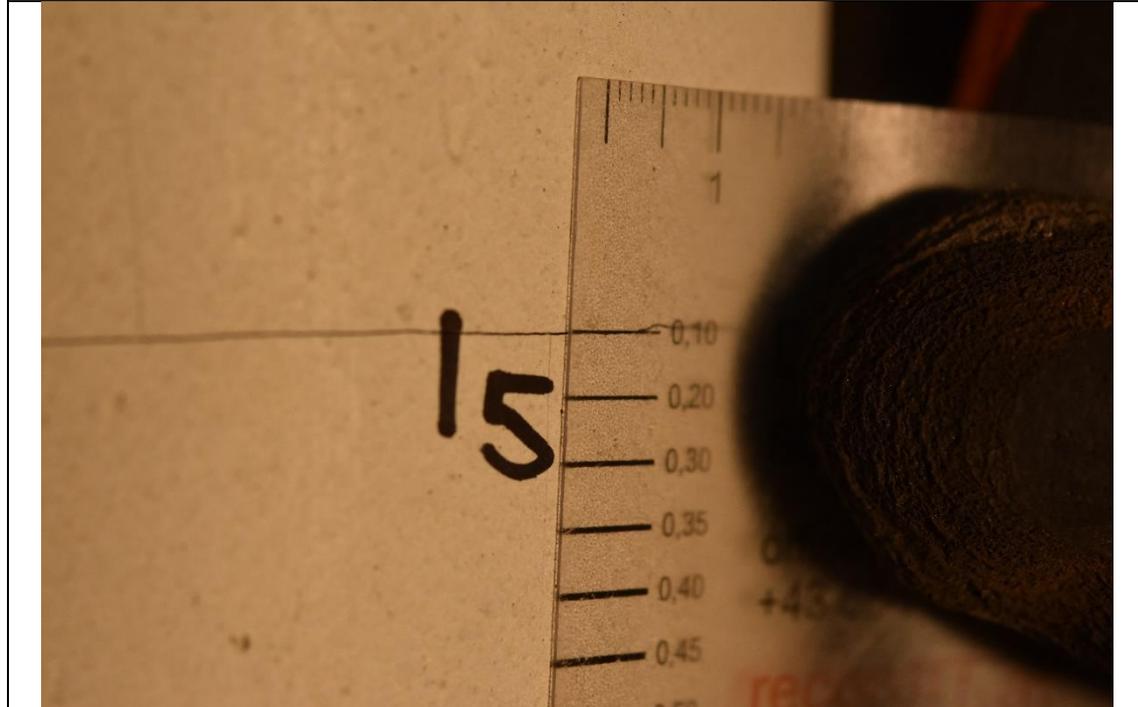
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto	V2_DAT_DCP_01	340 kN (100%*F _{max})
		

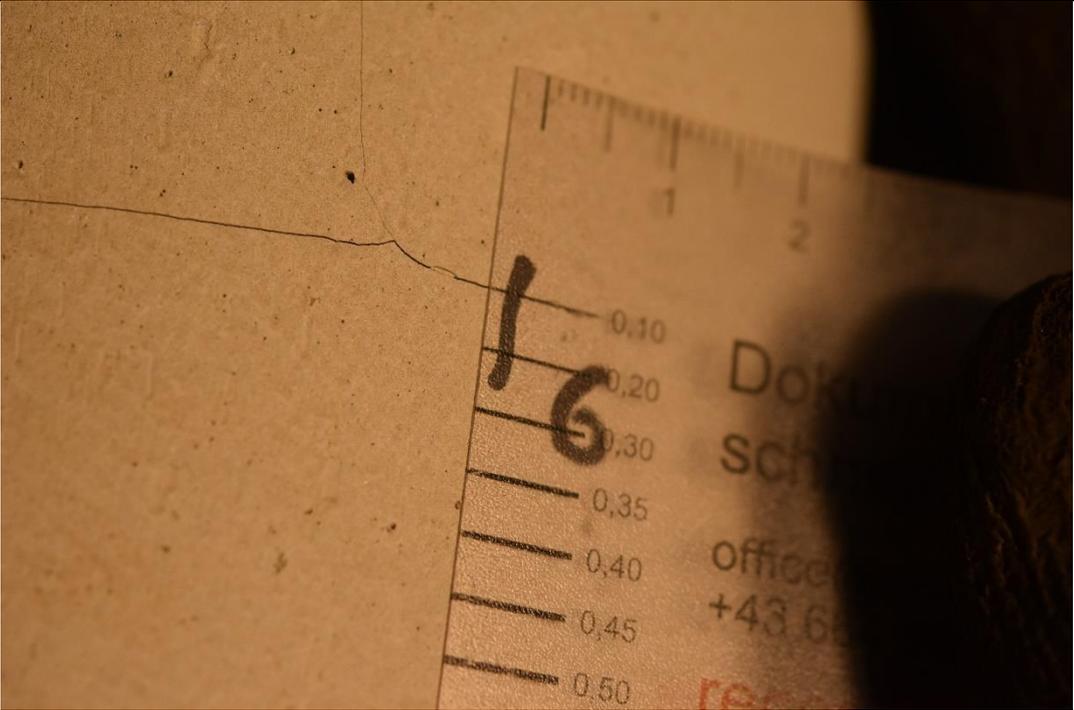
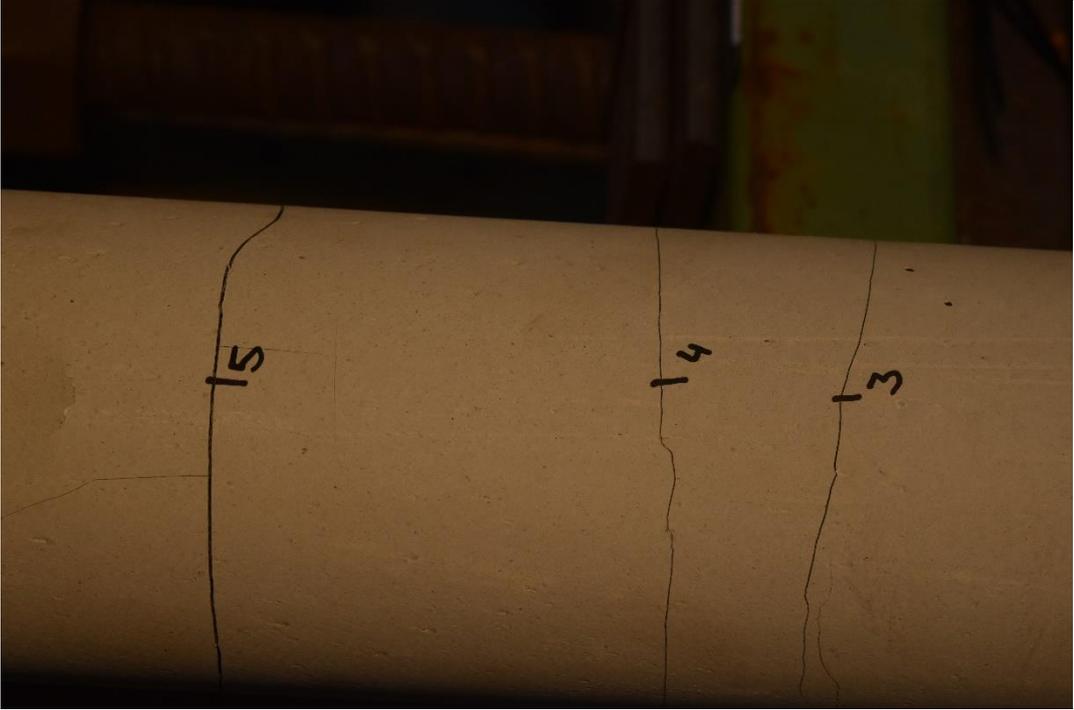
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3	V2_DAT_GCP_01	340 kN (100%*F _{max})
		

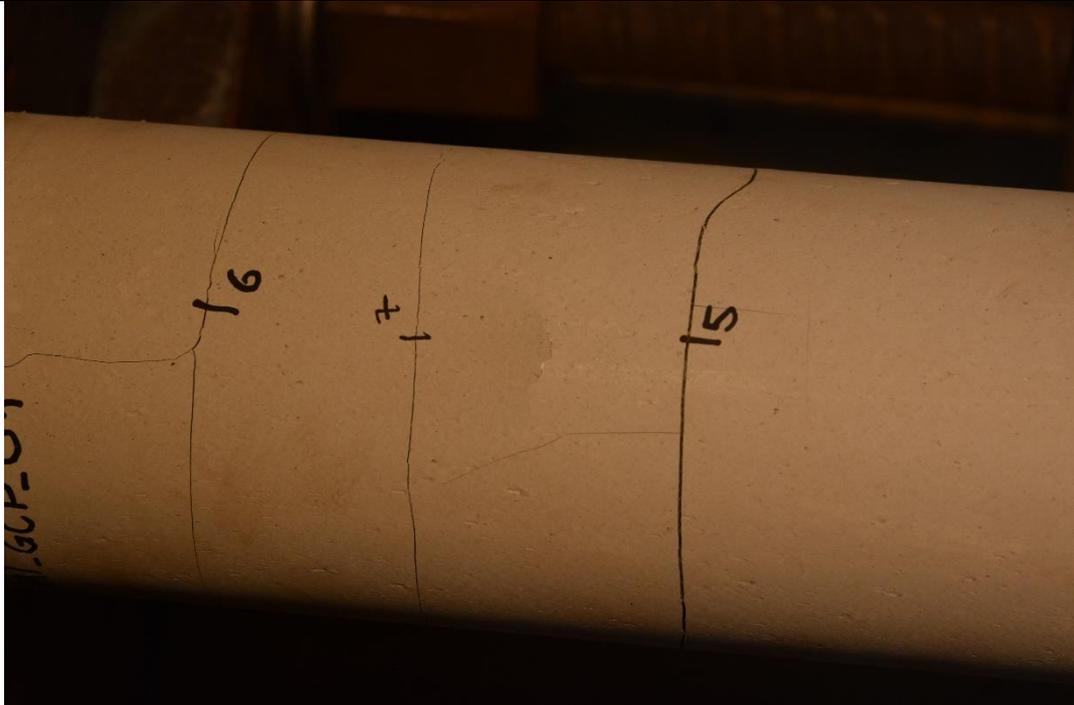
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3 + Riss 6	V2_DAT_DCP_01	170 kN (50%*F _{max}) + 0 kN Quer
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3 + Riss 6	V2_DAT_DCP_01	170 kN (50%*F _{max}) + 4 kN Quer
		

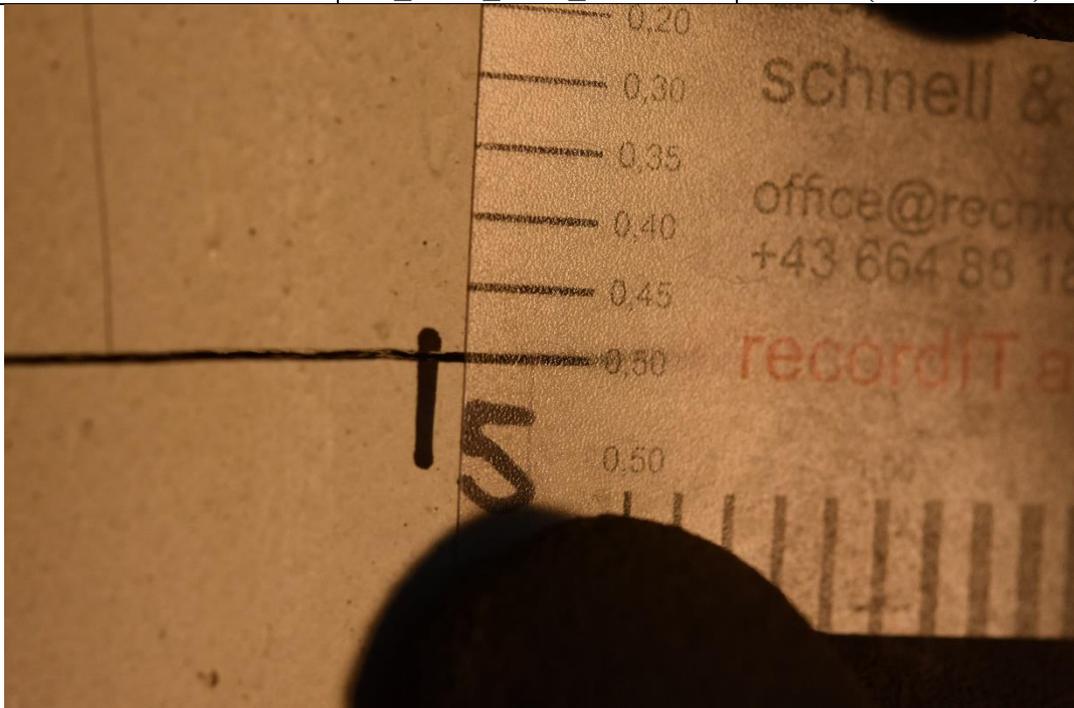
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto	V3_DAT_GCP_01	85 kN (25%*F _{max})
		

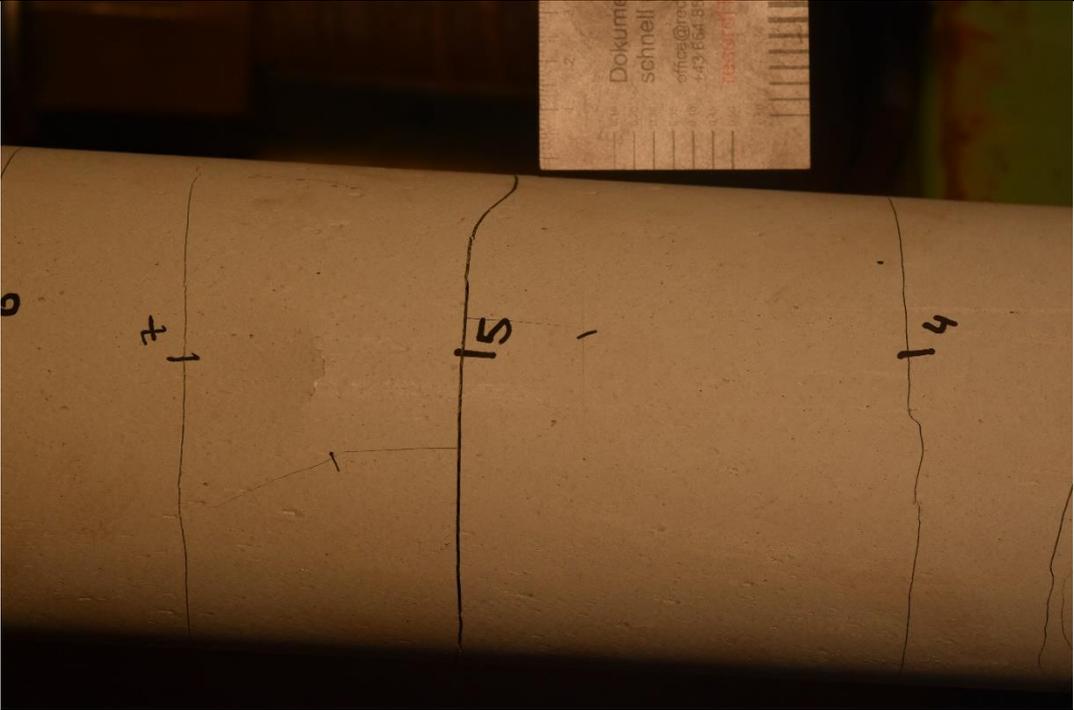
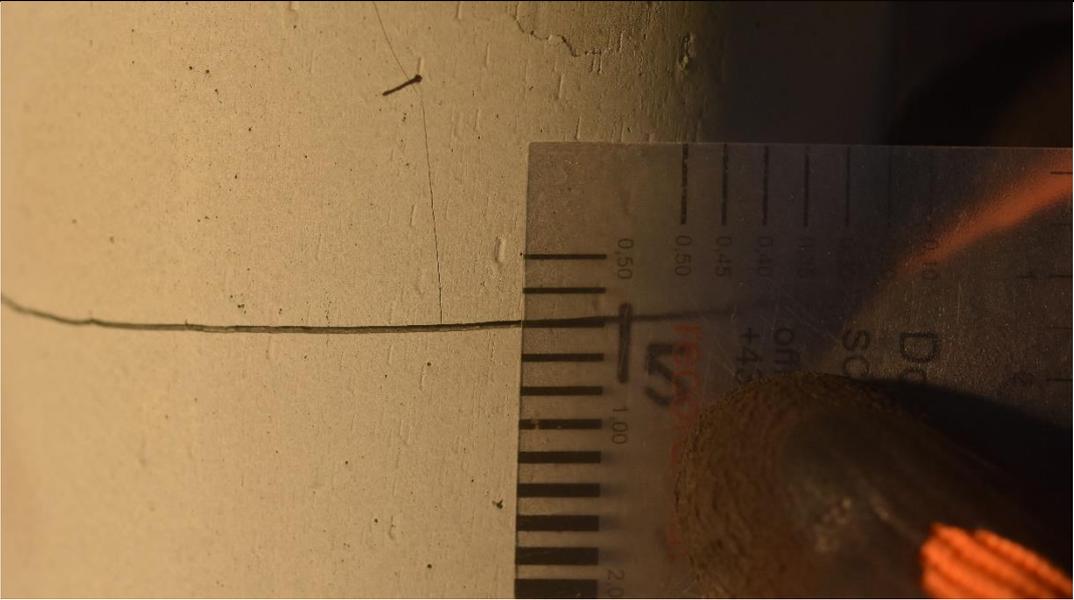
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 5	V3_DAT_GCP_01	170 kN (50%*F _{max})



Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 6	V3_DAT_GCP_01	255 kN (75%*F _{max})
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3 + Riss 4 + Riss 5	V3_DAT_GCP_01	340 kN (100%*F _{max})
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 5 + Riss 6 + Riss 7	V3_DAT_GCP_01	340 kN (100%*F _{max})
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 5	V3_DAT_GCP_01	340 kN (100%*F _{max})
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 4 + Riss 5 + Riss 7	V3_DAT_GCP_01	340 kN (100%*F _{max})
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 5	V3_DAT_GCP_01	170 kN (50%*F _{max}) + 8 kN Quer
		

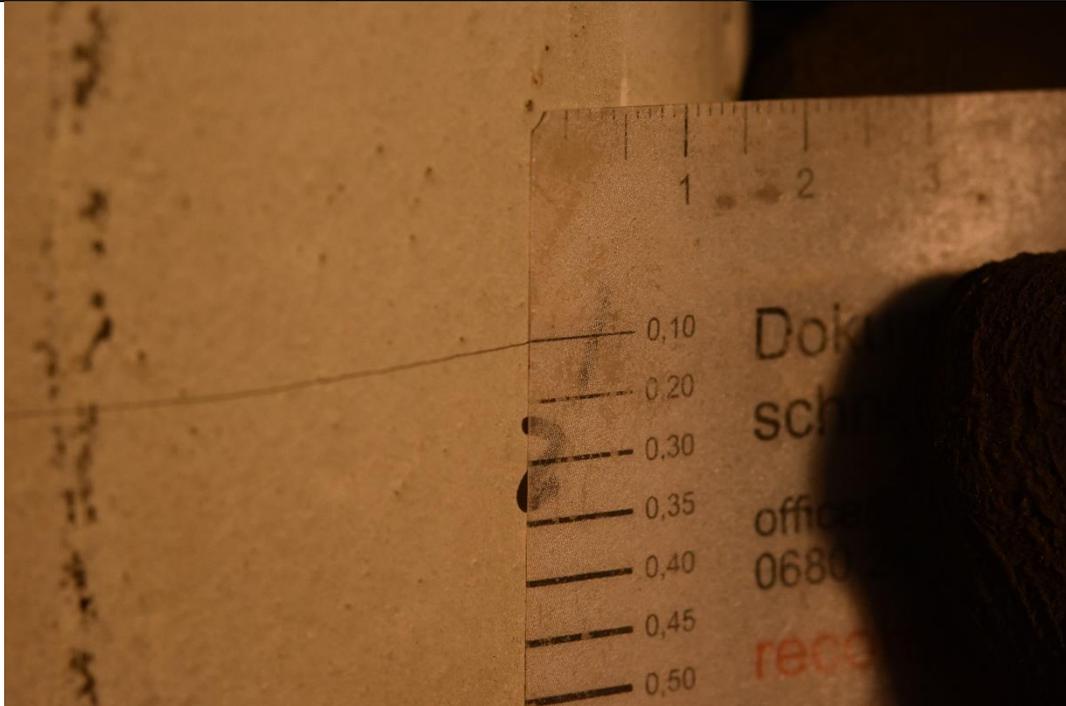
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2 + Riss 3	V3_DAT_GCP_01	170 kN ($50\% \cdot F_{\max}$) + 8 kN Quer
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto	V3_DAT_DCP_01	340 kN ($100\% \cdot F_{\max}$)
		

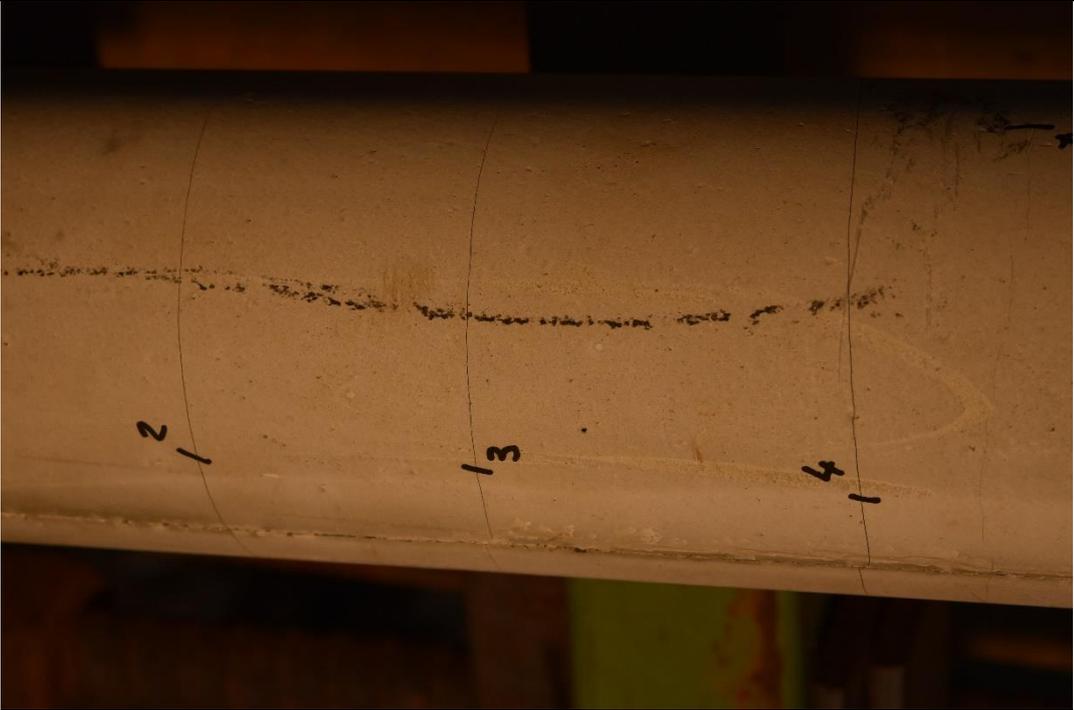
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 6, 7, 1, 5 und 4 (von oben nach unten)	V3_DAT_DCP_01	170 kN ($50\% \cdot F_{\max}$) + 0 kN Quer
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 6, 7, 1, 5 und 4 (von oben nach unten)	V3_DAT_DCP_01	170 kN ($50\% \cdot F_{\max}$) + 4 kN Quer
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 6, 7, 1, 5 und 4 (von oben nach unten)	V3_DAT_DCP_01	170 kN ($50\% \cdot F_{\max}$) + 8 kN Quer

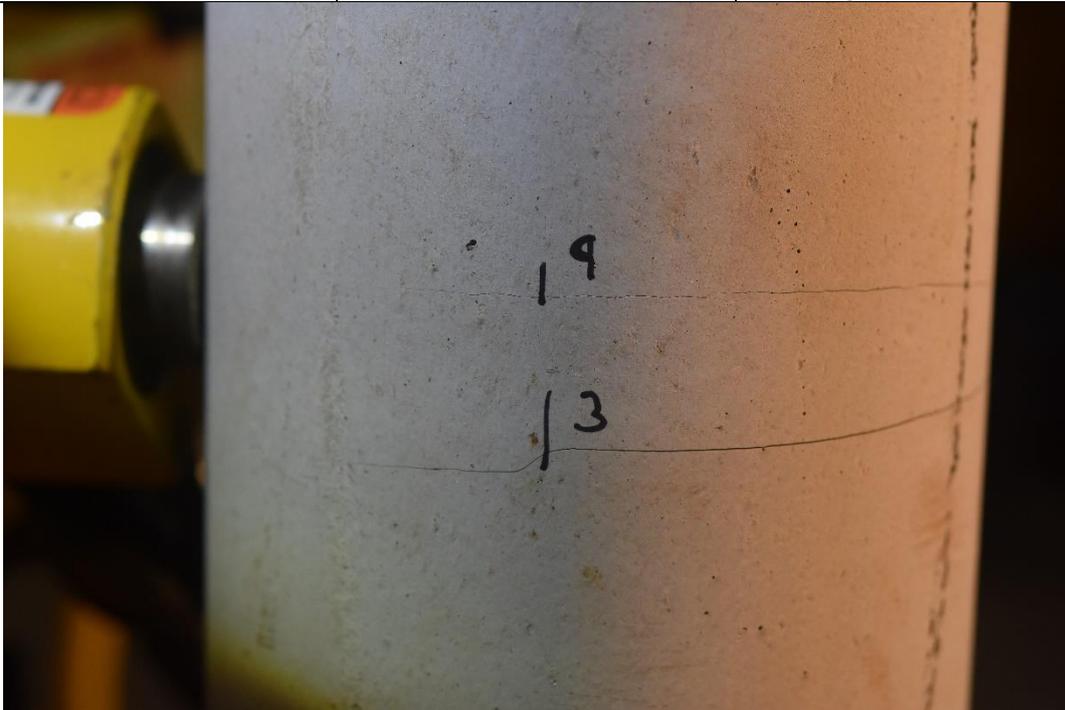


Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V3_DAT_GCP_02	170 kN ($50\% \cdot F_{\max}$)



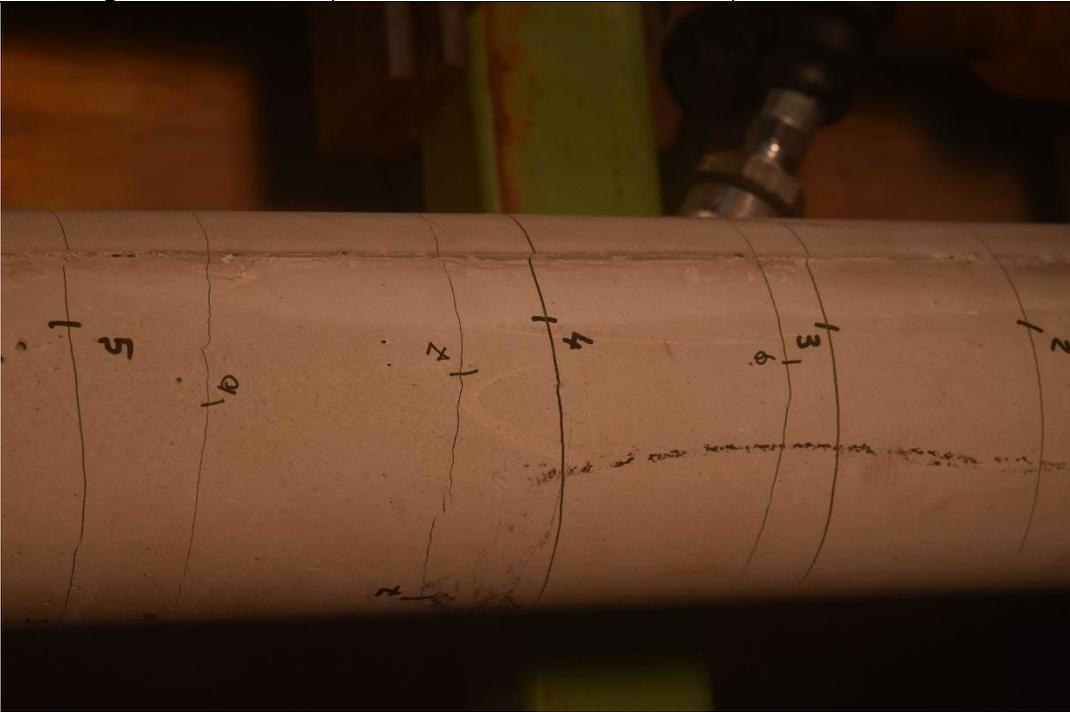
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2 + Riss 3 + Riss 4	V3_DAT_GCP_02	255 kN (75%*F _{max})
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 2	V3_DAT_GCP_02	340 kN (100%*F _{max})
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3 + Riss 9	V3_DAT_GCP_02	170 kN (50%*F _{max}) + 8 kN Quer

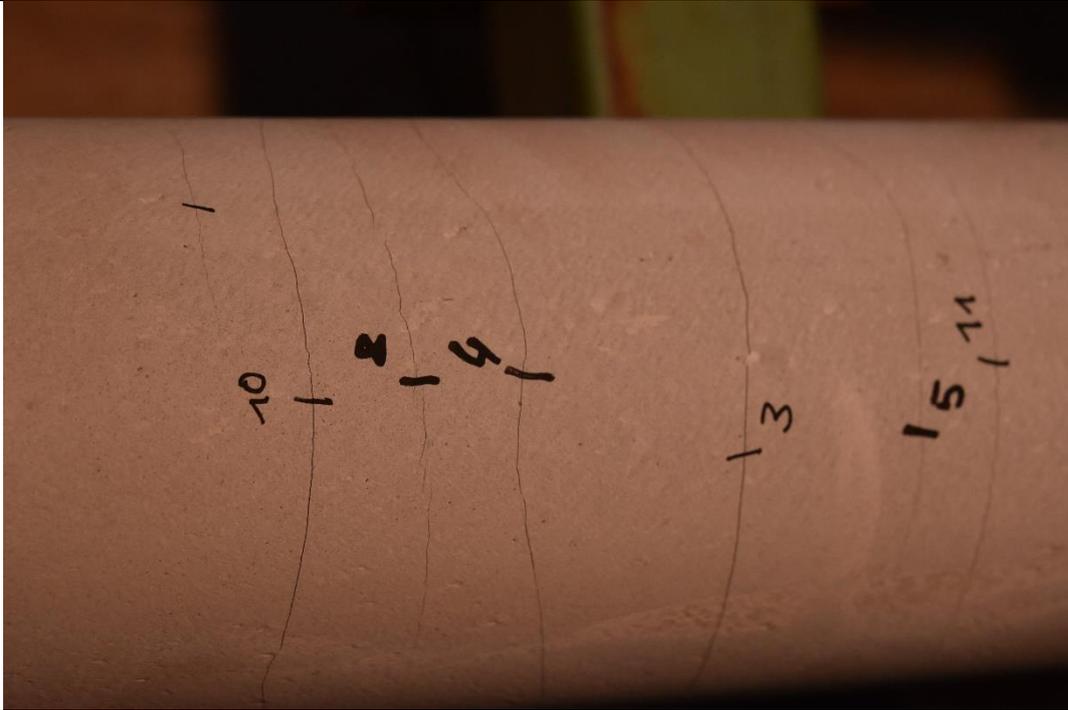


Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 4 + Riss 7	V3_DAT_GCP_02	170 kN (50%*F _{max}) + 8 kN Quer

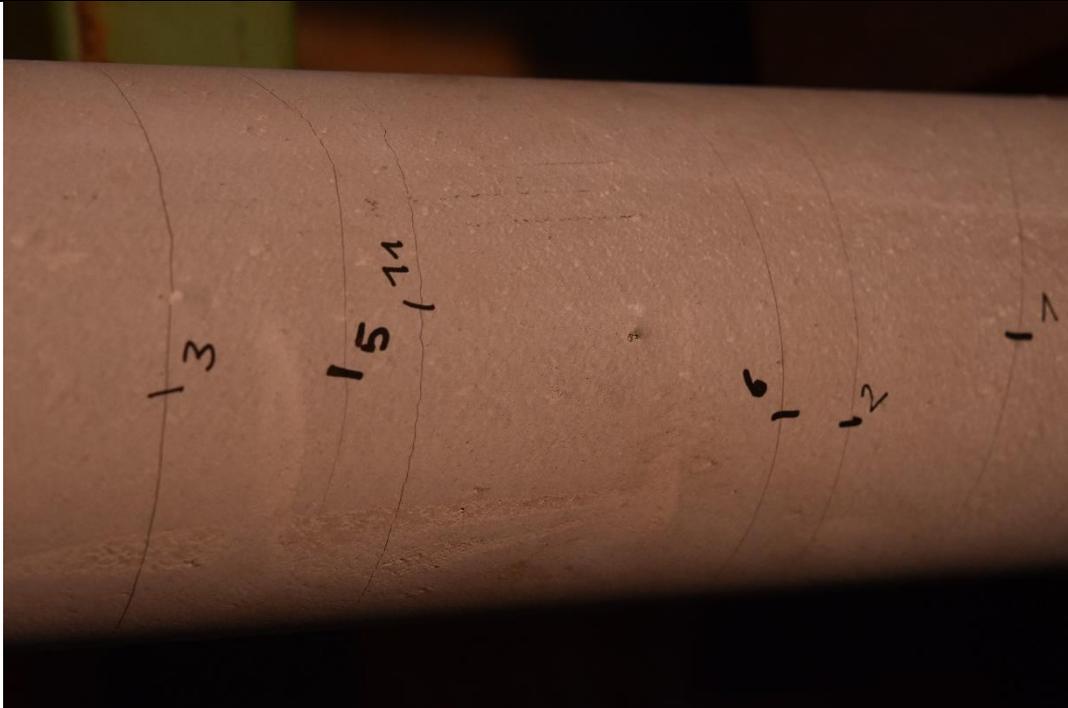


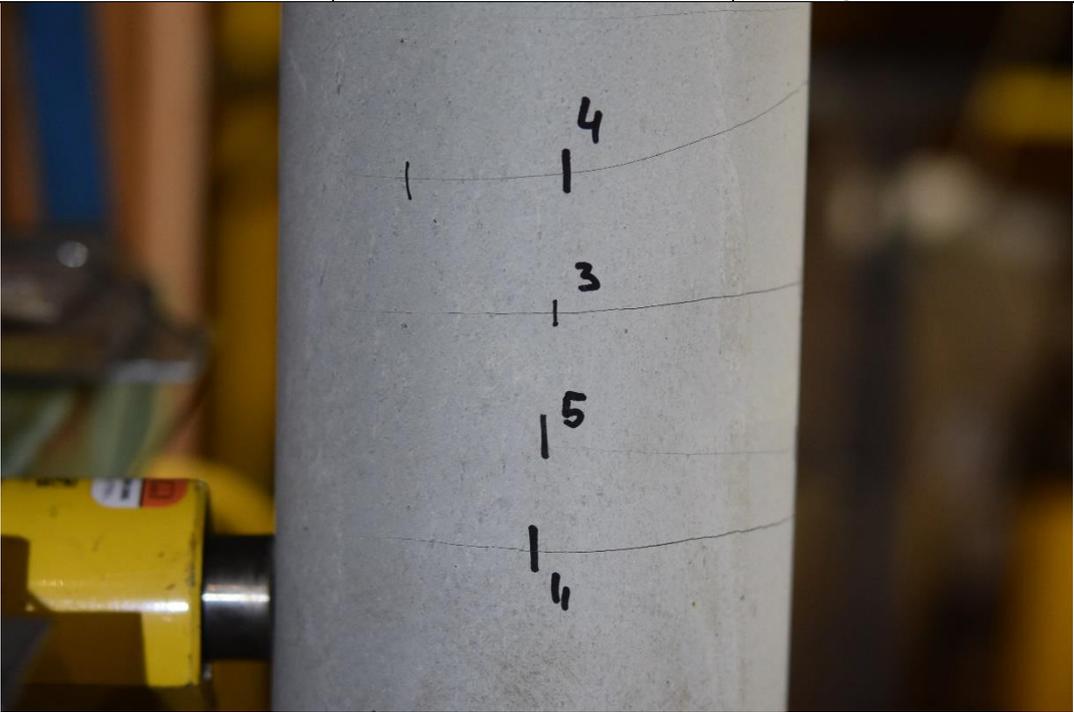
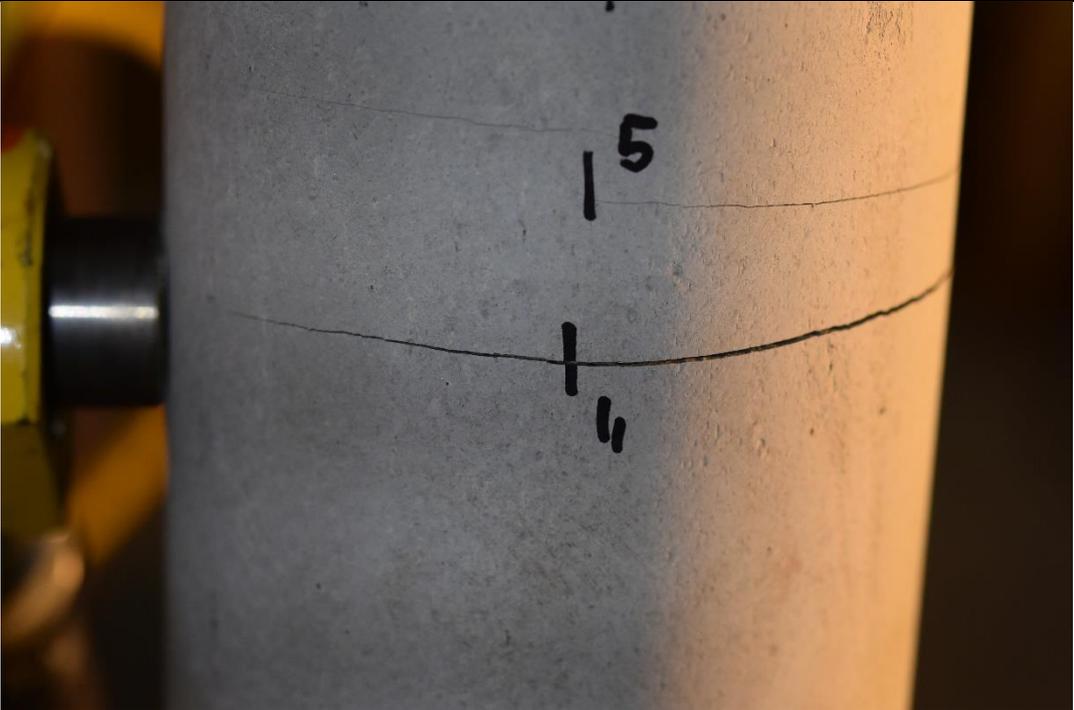
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto (maximal mögliche Belastung)	V3_DAT_GCP_02	340 kN (100%*F _{max}) + 13 kN Quer
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 4, 3, 5, 6 und 2 (von links nach rechts)	V3_DAT_DCP_02	170 kN (50%*F _{max})
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 10, 8, 4, 3, 5, 11 (von links nach rechts)	V3_DAT_DCP_02	340 kN (100%*F _{max})

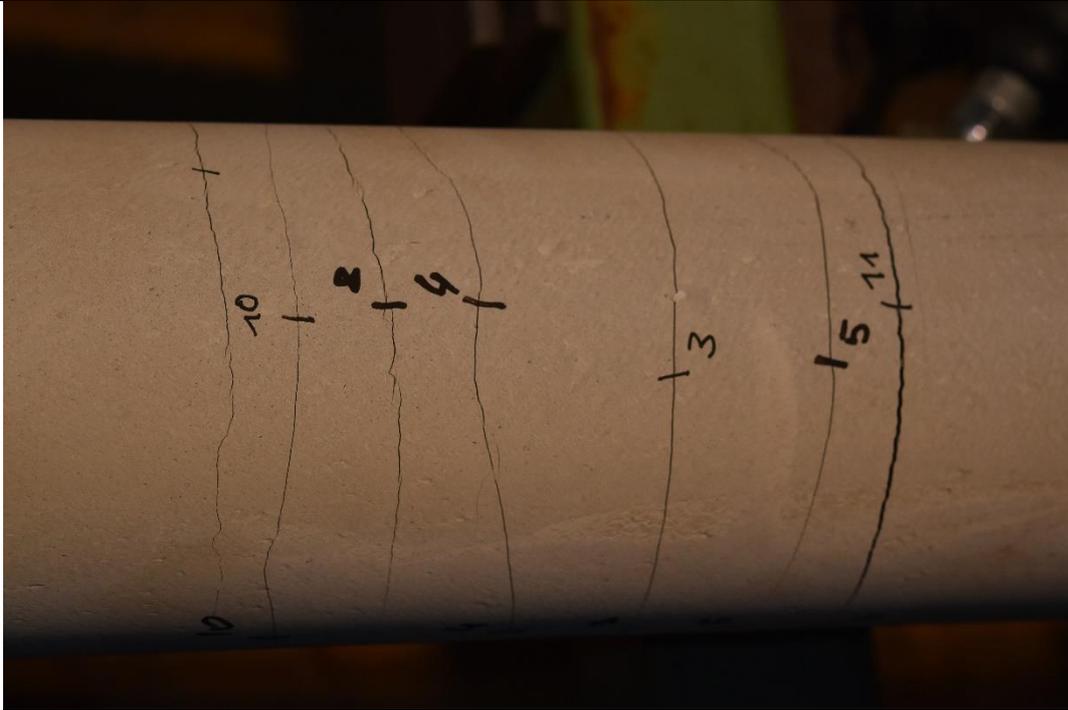


Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 3, 5, 11, 6, 2, 1 (von links nach rechts)	V3_DAT_DCP_02	170 kN (50%*F _{max})

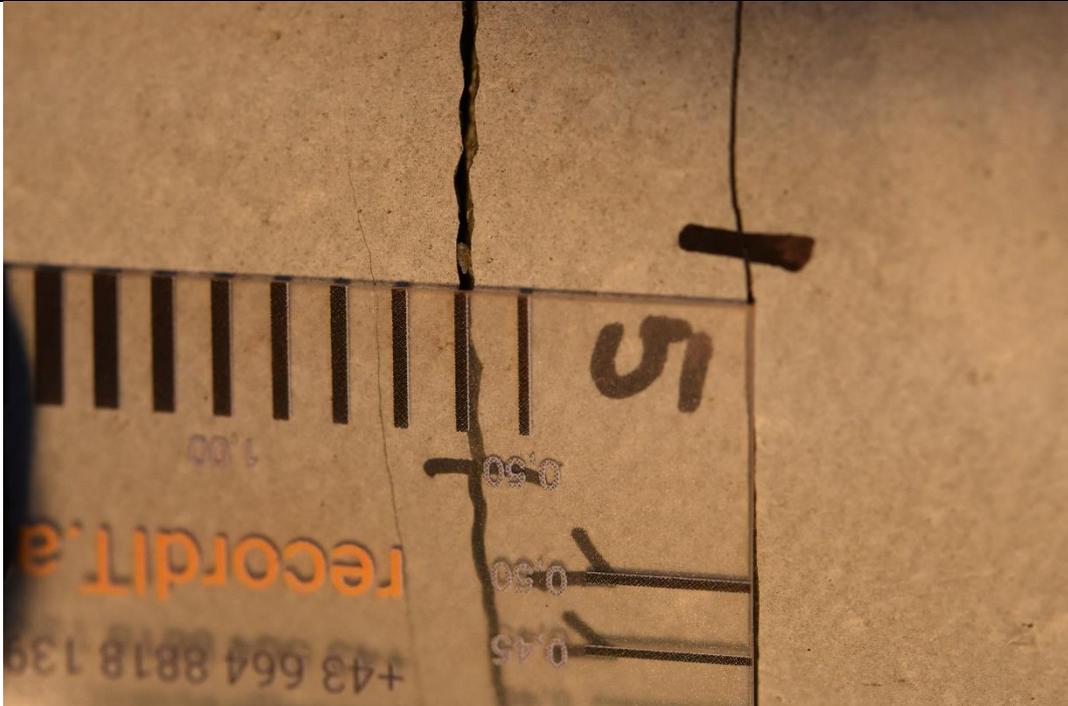


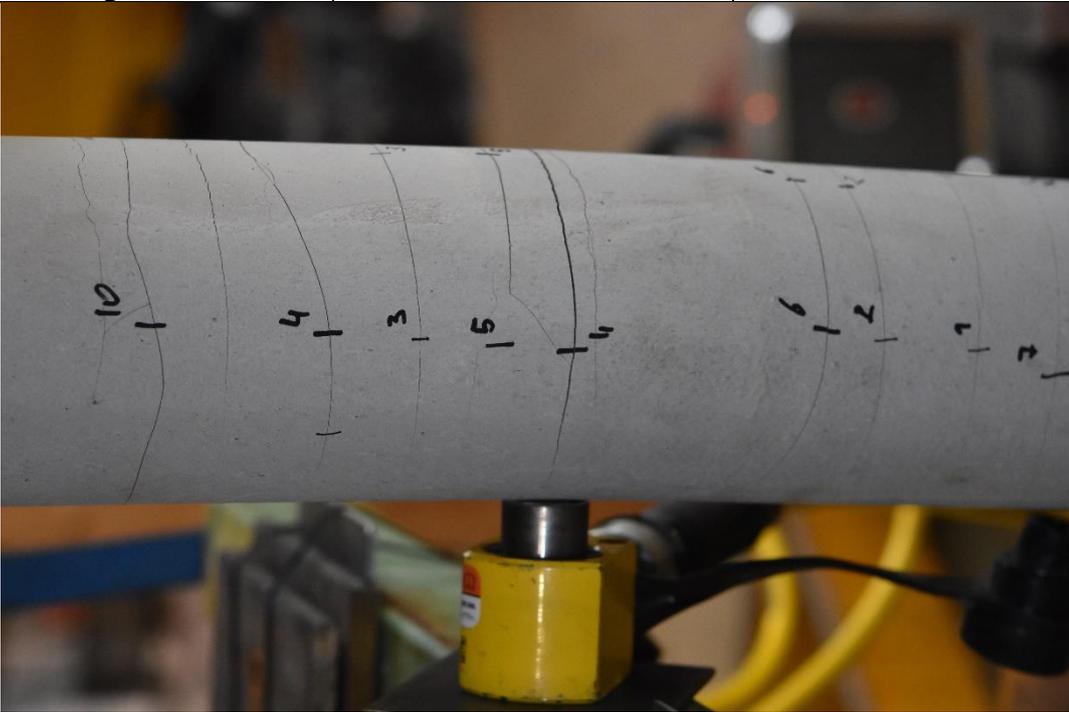
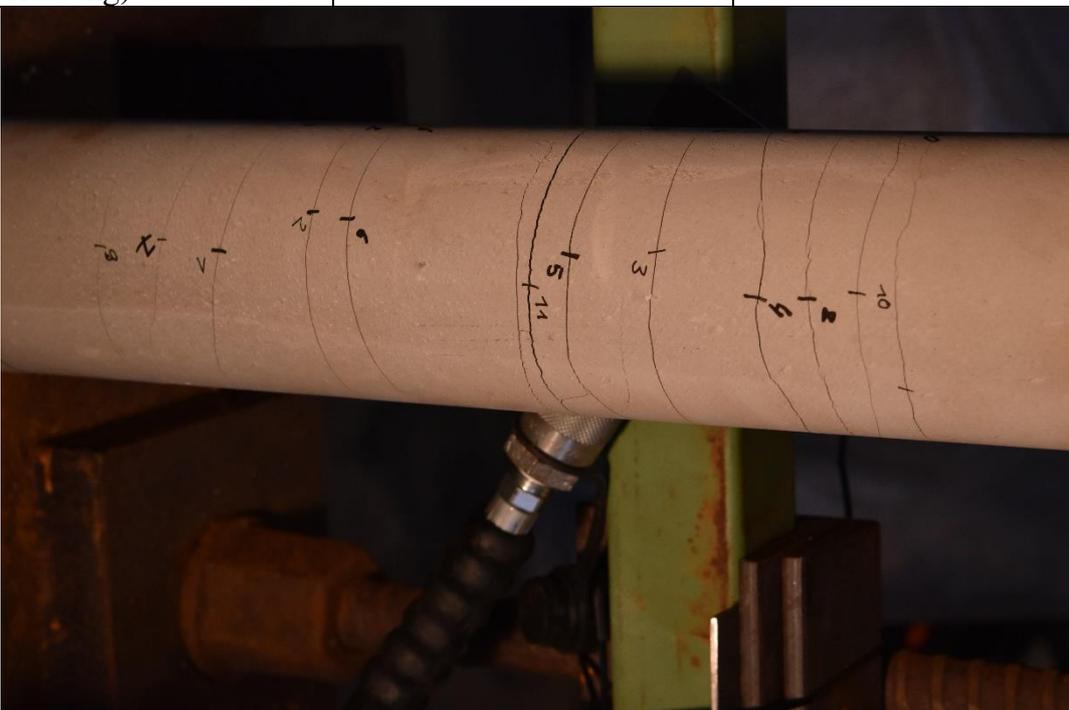
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 4, 3, 5 und 11	V3_DAT_DCP_02	170 kN (50%*F _{max}) + 8 kN Quer
		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 5 und 11	V3_DAT_DCP_02	340 kN (100%*F _{max}) + 8 kN Quer
		

Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 10, 8, 4, 3, 5, 11	V3_DAT_DCP_02	340 kN (100%*F _{max}) + 8 kN Quer



Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Riss 5 und 11	V3_DAT_DCP_02	340 kN (100%*F _{max}) + 8 kN Quer



Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto (maximal mögliche Belastung)	V3_DAT_DCP_02	340 kN (100%*F _{max}) + 13 kN Quer
 <p>A photograph of a cylindrical specimen under load. The specimen is wrapped in a grey paper with several strain gauges attached. The gauges are labeled with numbers 1 through 10. The specimen is mounted on a yellow hydraulic cylinder. The background is a laboratory setting.</p>		
Bildinhalt:	Versuchskörper:	Laststufe:
Übersichtsfoto (maximal mögliche Belastung)	V3_DAT_DCP_02	340 kN (100%*F _{max}) + 13 kN Quer
 <p>A photograph of a cylindrical specimen under load. The specimen is wrapped in a brown paper with several strain gauges attached. The gauges are labeled with numbers 1 through 11. The specimen is mounted on a metal fixture. The background is a laboratory setting.</p>		

10.4 Anhang 4 - Zulassungen

- **Zulassung ANP SAS550**
38 Seiten A4
- **Zulassung/Datenblatt ENERPAC RC 50 (Zylinderpresse)**
6 Seiten A4
- **Zulassung/Datenblatt ENERPAC RACH 302 (Hohlkolbenpresse)**
2 Seiten A4



TOP-QUALITÄT
geprüft + zugelassen



ZULASSUNG

ANP-MIKROPFAHL SAS 550

BMVIT-327.120/0003-IV/IWS2/2016

ANP - Systems GmbH

Anker | Nagel | Pfahl | Spannverfahren | Schalungsanker | Bewehrungstechnik | Gerätetechnik

Internationale Referenzprojekte und weitere Informationen: www.anp-systems.at



BMVIT – IV/IVVS2 (Technik und Verkehrssicherheit)

Postanschrift: Postfach 201, 1000 Wien
Büroanschrift: Radetzkystraße 2, 1030 Wien
DVR 0000175
E-Mail: ivvs2@bmvit.gv.at



*Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie*

*Gruppe Infrastrukturverfahren
und Verkehrssicherheit*

ZULASSUNG

GZ: BMVIT-327.120/0003-IV/IVVS2/2016

- Zulassungsgegenstand:** ANP – Mikropfahl SAS 550
mit Tragegliedern aus Stabstahl mit Gewinderippung
S 550/620 ø 20, 25, 28, 32, 40, 50 mm
S 555/700 ø 57.5, 63.5 mm
S 500/550 ø 75 mm
sowie Muffenverbindungen / Verankerungen ohne und mit Klebung-
für den Kurzzeiteinsatz als Dauerpfahl mit Abrostrate und Zement-
mörtelüberdeckung bzw. Verrohrung gemäß ÖNORM EN
14199:2016, ÖNORM B 1997-1-1:2013 und ÖNORM B 1997-1-
3:2015.
- Zulassungswerber:** ANP – SYSTEMS GMBH
Christophorusstraße 12
5061 Elsbethen
- Hersteller des Mikropfahls:** ANP – SYSTEMS GMBH
Christophorusstraße 12
5061 Elsbethen
- Hersteller des Stahltraggliedes und der Schraubenkomponenten**
STAHLWERK ANNAHÜTTE
Max Aicher GmbH & CO. KG
Max-Aicher-Allee 1+2
8340 Ainring – Hammerau / Deutschland
- Geltungsbereich:** Republik Österreich, Bundesstraßen
- Geltungsdauer:** ab sofort bis auf Widerruf
längstens jedoch bis 23.03.2021
- Fremdüberwachung:** Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg (bvfs)

Hinweis: Der Zulassungswerber verpflichtet sich, die zulassungserteilende Stelle, das ist das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Abteilung IV/IVVS2, von wesentlichen Änderungen, insbesondere vom Auslaufen von Überwachungsverträgen oder von konstruktiven Änderungen des Zulassungsgegenstandes, unverzüglich in Kenntnis zu setzen.

Wien, am 23. März 2016

Für den Bundesminister:

Dipl.-Ing. Dr. Johann HORVATITS

Typenblatt zur Zulassung

Zulassungsgegenstand:	ANP – Mikropfahl SAS 550 mit Traggliedern aus Stabstahl mit Gewinderippung S 550/620 Ø 20, 25, 28, 32, 40, 50 mm S 555/700 Ø 57,5, 63.5 mm S 500/550 Ø 75 mm sowie Muffenverbindungen / Verankerungen ohne und mit Klebung für den Kurzzeiteinsatz und als Dauerpfahl mit Abrostrate, Zementmörtelüberdeckung bzw. Verrohrung
Zulassungsinhaber:	ANP – SYSTEMS GmbH Christophorusstraße 12 5061 Elsbethen / Österreich
Hersteller des Mikropfahls:	ANP – SYSTEMS GmbH Christophorusstraße 12 5061 Elsbethen / Österreich
Hersteller des Stahltraggliedes und der Schraubkomponenten:	STAHLWERK ANNAHÜTTE Max Aicher GmbH & Co. KG Max-Aicher-Allee 1 + 2 83404 Ainring – Hammerau / Deutschland
Fremdüberwachung:	Technische Versuchs & Forschungsanstalt GmbH der TU Wien (TVFA Wien)
Geltungsbereich:	Republik Österreich Bundestraßen
Bezugsnorm:	ÖNORM EN 14199: 2016 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Mikropfähle ÖNORM B 1997-1-1: 2013 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-1: Allgemeine Regeln, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-1 und nationale Ergänzungen ÖNORM B 1997-1-3: 2015 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-3: Pfahlgründungen

Die Zulassung umfasst 16 Seiten und 19 Anlagen.

I Allgemeine Bestimmungen

1. Mit dieser Zulassung durch das BMVIT (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) ist der Nachweis über die Brauchbarkeit des Zulassungsgegenstandes für den vorgesehenen Verwendungszweck erbracht. Die Zulassung wird auf der Grundlage von nicht harmonisierten technischen Spezifikationen und unbeschadet möglicher Schutzrechte Dritter erteilt.
2. Die Beurteilung der Brauchbarkeit des Zulassungsgegenstandes erfolgt durch Vorlage von entsprechenden Prüfungsergebnissen und Berichten nach den entsprechenden Eurocodes, Normen und Richtlinien hinsichtlich der maßgebenden Eigenschaften und des Anwendungsbereiches.
3. Soweit technische Spezifikationen bzw. Normen und Richtlinien im Typenblatt ohne Ausgabedatum angeführt werden, ist die aktuelle Ausgabe als maßgebend anzusehen.
4. Der Zulassungsinhaber ist für die Konformität des Bauproduktes mit der Zulassung verantwortlich und gewährleistet alle für das Bauprodukt zugesicherten Eigenschaften.
5. Die Zulassung bezieht sich ausschließlich auf das Bauprodukt des genannten Herstellers.
6. Das BMVIT ist berechtigt, auf Kosten des Zulassungsinhabers überprüfen zu lassen, ob die Bestimmungen dieser Zulassung und des Typenblattes eingehalten werden.
7. Die Zulassung wird widerruflich erteilt. Dies gilt besonders bei neuen technischen Erkenntnissen und Normen.
8. Das Zulassungsschreiben und das Typenblatt zur Zulassung dürfen nur vollständig wiedergegeben werden. Texte und Zeichnungen von Werbeschriften dürfen nicht in Widerspruch zu der Zulassung stehen.

II Besondere Bestimmungen

Inhalt

- 1 Allgemeines
- 2 Bezugsnormen
- 3 Beschreibung des Mikropfahlsystems
- 4 Anwendungsbereich
- 5 Baustoffe und Bauprodukte
 - 5.1 Stahltragglied Mikropfahl
 - 5.2 Muffenverbindung
 - 5.3 Pfahlkopfausbildung
 - 5.4 Verpressmörtel
 - 5.5 Anforderungen an die Tragfähigkeit des Mikropfahlsystems
- 6 Haltbarkeit der Mikropfahlkonstruktion
 - 6.1 Korrosionsschutz
 - 6.2 Korrosionsbelastung
 - 6.3 Ausführungsformen des Mikropfahlsystems
 - 6.3.1 Mikropfähle für den Kurzzeiteinsatz, Dauerpfähle mit Berücksichtigung einer Abrostrate
 - 6.3.2 Mikropfähle als Dauerpfahl – Standard Korrosionsschutz SCP
 - 6.3.3 Mikropfähle als Dauerpfahl – doppelter Korrosionsschutz DCP nach ÖNORM EN 1537
- 7 Mikropfahlherstellung und Einbau
- 8 Prüfungen
 - 8.1 Werkstoffprüfungen
 - 8.2 Statische Pfahlprobelastungen

Anlagen – 19 Seiten

1. Allgemeines

Die Planung, die Bemessung, die Ausführung, die Prüfung und Überwachung von Mikropfählen darf nur von Unternehmen mit entsprechenden Fachkenntnissen, Erfahrungen und einschlägig ausgebildetem Fachpersonal vorgenommen werden.

Die Verantwortlichkeiten für die Planung, die Bemessung, die Ausführung, die Prüfung und Überwachung sind für die Durchführung eines Bauprojektes vertraglich festzulegen. Über das Mikropfahlsystem, die Mikropfahlherstellung und den Einbau sind entsprechende Aufzeichnungen und Protokolle zu führen.

Bei dem vorliegenden Mikropfahlsystem handelt es sich um eine Systemzulassung bestehend aus einem Stabstahl SAS 550 mit Gewinderippung und vorgegebenen Stahlgüten, einer geschraubten Muffenverbindung und einer geschraubten Endverankerung. Die angeführten Systemkomponenten sind Erzeugnisse des Stahlwerkes Annahütte.

Der Hersteller der Mikropfahlkomponenten und des Korrosionsschutzsystems hat für diese die Konformität mit der Zulassung zu gewährleisten.

2. Bezugsnormen

ÖNORM EN 14199: 2016	Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Mikropfähle
ÖNORM EN 1990: 2013	Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung
ÖNORM EN 1992-1-1: 2015	Eurocode 2 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
ÖNORM EN 1997-1: 2014	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
ÖNORM B 1997-1-1: 2013	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln – nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1997-1 und nationale Ergänzungen
ÖNORM B 1997-1-3: 2015	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1-3: Pfahlgründungen
ÖNORM B 4707: 2014	Bewehrungsstahl - Anforderungen, Klassifizierung und Konformitätsnachweis
ÖNORM EN 1537: 2015	Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau - Verpressanker
ÖNORM EN 206: 2014	Beton: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität
ÖNORM EN 445: 2008	Einpressmörtel für Spannglieder – Prüfverfahren
ÖNORM EN 446: 2008	Einpressmörtel für Spannglieder – Einpressverfahren
ÖNORM EN 447: 2008	Einpressmörtel für Spannglieder – Anforderungen für übliche Einpressmörtel
ÖNORM EN ISO 1461: 2009	Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgebraute Zinküberzüge (Stückverzinken) - Anforderungen und Prüfungen

ÖNORM EN ISO 9001: 2015	Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen
ÖNORM EN 12501-1,2: 2003	Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Korrosions-Wahrscheinlichkeit in Böden, Teil 1: Allgemeines Teil 2: Niedrig und unlegierte Eisenwerkstoffe
ÖNORM EN ISO 22477-5: 2010	Entwurf: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen – Teil 5: Ankerprüfungen
ISO 15835-1,2: 2009	Steels for the reinforcement of concrete – reinforcement couplers for mechanical splices of bars Part 1: Requirements Part 2: Test methods
ETAG 013: 2002	Richtlinie für die europäische technische Zulassung von Spannsystemen für das Vorspannen von Tragwerken
RVS 08.22.01: 2013	Verpressanker, zugbeanspruchte Verpresspfähle und Nägel

3. Beschreibung des Mikropfahlsystems

Der ANP - Mikropfahl SAS 550 verwendet als Tragglied einen linksgängigen durchgehend schraubbaren Stabstahl mit Gewinderippung der nachfolgend aufgezählten Stahlgüten (Streckgrenze / Zugfestigkeit) und Durchmesser:

S 550 / 620	Ø 20, 25, 25, 28, 32, 40, 50 mm
S 555 / 700	Ø 57.5, 63.5 mm
S 500 / 550	Ø 75 mm

für den speziellen Anwendungsbereich in der Geotechnik.

Ausgeführt werden folgende Ausführungsformen des Mikropfahlsystems:

- **Temporäre Pfähle** für den Kurzzeiteinsatz mit einer Nutzungsdauer **bis zu 2 Jahren**
- **Dauerpfähle** unter Berücksichtigung einer Abrostrate mit einer geplanten Nutzungsdauer **bis zu 50 Jahren** in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen
- **Dauerpfähle** mit einer geplanten Nutzungsdauer **bis zu 100 Jahren** mit Standard Korrosionsschutz durch Zementmörtelüberdeckung bzw. mit doppeltem Korrosionsschutz nach ÖNORM EN 1537

Der Mikropfahl wird in ein vorgebohrtes Bohrloch zentriert eingebracht und anschließend mit Zementmörtel verpresst.

Der Pfahlkopf wird wahlweise mit einer durch Muttern (Ankermutter/Kontermutter) gekonterten quadratischen Pfahlkopfplatte oder einem gekonterten zylindrischen Ankerstück aufgebaut. Eine zusätzliche Klebung ist ebenfalls vorgesehen.

Eine Kopplung der Stäbe ist mittels gekonterter bzw. geklebter Gewindemuffe möglich.

Die Mikropfähle können bei erhöhten Anforderungen an die Nutzungsdauer auch in feuerverzinkter Ausführung geliefert werden. Freiliegende Zubehörteile sind ebenfalls verzinkt.

Das Typenblatt ist für den Geltungsbereich der Republik Österreich, Bundesstraßen aufgebaut. Bei anderweitigem Einsatz sind die am Ort der Verwendung geltenden Normen und Vorschriften einzuhalten, in dem das Bauwerk ausgeführt wird.

Detailangaben über die Mikropfahlsysteme enthalten die folgenden Anlagen:

- | | |
|-------------------|---|
| Anlage 1: | Systemzeichnung Mikropfähle für den Kurzzeiteinsatz, Pfahlkopfvarianten und Muffenverbindungen |
| Anlage 2: | Systemzeichnung Mikropfähle für den Einsatz als Dauerpfahl mit Abrostrate, Pfahlkopfvarianten und Muffenverbindungen |
| Anlage 3: | Systemzeichnung Dauerpfähle mit Korrosionsschutz durch Zementmörtelüberdeckung (Standard-Korrosionsschutz), Pfahlkopfvarianten und Muffenverbindungen |
| Anlage 4: | Systemzeichnung Dauerpfähle mit Dauerkorrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537, Pfahlkopfvarianten und Muffenverbindungen |
| Anlage 5 | Pfahlkopfvarianten mit alternativer Endverankerung (gekontertes Ankerstück) |
| Anlage 6: | Achs- und Randabstände des Mikropfahlsystems mit Plattenverankerung und Endverankerung mit Ankerstück, Zusatzbewehrung, Schlupfwerte und Kontermomente für die Muffenverbindung und Verankerung |
| Anlage 7 und 8: | Daten des Stabstahls mit Gewinderippen S 550/620 Ø 20 – 50 mm, S 555/700 Ø 57,5 - 63,5 mm und S 500/550 Ø 75 mm |
| Anlage 9: | Bemessungswert des Grenzzustandes der Tragfähigkeit des Zugpfahles nach Schadensfolgekassen und zulässige Prüfkräfte gemäß ÖNORM B 1997-1-1 sowie Tragkraftverlust durch Abrosten |
| Anlage 10 bis 14: | Zubehörteile und Komponenten des Korrosionsschutzsystems mit Abmessungen und Werkstoffangabe |
| Anlage 15 und 17: | Angaben und Montageanweisung zum Klebesystem MABOND |
| Anlage 18 und 19: | Herstellen von Mikropfählen, Aufbau des werkseitigen Korrosionsschutzes, Transport und Lagerung, Einbau |

4. Anwendungsbereich

Pfahlgründungen dienen zur Übertragung von Bauwerkslasten auf tiefer liegende Bodenschichten des Baugrundes und/oder zur Begrenzung von Verformungen nach den Grundsätzen über die Ausführung von geotechnischen Arbeiten. Die Beanspruchung des Mikropfahles ist dabei planmäßig nur durch eine axiale Belastung auf Zug, Druck oder unter Wechsellast vorgesehen.

Das Anwendungsgebiet des Mikropfahles umfasst folgende Bereiche:

- Gründung von Tragwerken
- Bewehrung / Verstärkung bestehender Tragwerke

- Herstellung von Stützwänden aus Mikropfählen
- Baugrundbewehrung zur Herstellung von Trag- und Stützkörpern
- Auftriebspfähle zur Sicherung gegen Aufschwimmen

Das Mikropfählsystem ist in bindigen und rolligen Böden, im Lockergestein und im Felsgestein anwendbar.

Die Grundsätze für die Bauausführung sind in ÖNORM EN 14199 festgelegt und umfassen Angaben über die Ausführung von Pfahlgründungen, Baugrunduntersuchungen, Baustoffe und Bauprodukte, Bemessungsaspekte sowie Hinweise über die Ausführung von Mikropfählen samt Prüfung und Überwachung. In den Anhängen dieser Norm sind informative Angaben über die Herstellung von Mikropfählen angeführt.

Die Prinzipien und Anforderungen an die Tragwerksplanung von Bauwerken sind in ÖNORM EN 1990 angeführt. Grundlagen zur Bemessung in der Geotechnik enthält ÖNORM EN 1997-1 und gibt Regeln zur Ermittlung der äußeren Tragfähigkeit eines Mikropfähls in Bezug auf die Einwirkungen aus dem Baugrund an. Für die maßgebenden Parameter sind beim Zugpfahl ÖNORM B 1997-1-1 und beim Druckpfahl ÖNORM B 1997-1-3 anzuwenden.

Die Bemessungsgrößen des Mikropfählsystems für den Grenzzustand der inneren Tragfähigkeit werden in ÖNORM B 1997-1-1 definiert und deren Tragfähigkeit in Abhängigkeit von Schadensfolgeklassen für verpresste Mikropfähle gemäß ÖNORM EN 14199 angegeben, die auf Zug beansprucht werden.

ÖNORM B1997-1-3 legt nationale Parameter zur Bemessung von Pfählen hinsichtlich Ihres äußeren Tragverhaltens fest und ist bei auf Druck beanspruchten Pfählen anzuwenden. Zusätzlich fordert die Norm einen Nachweis gegen das Anheben des an einem Zugpfahl hängenden Betonkörpers (Aufschwimmen).

Auf die Einhaltung der folgenden Nachweise / Grundsätze wird besonders hingewiesen:

- Der Mikropfahl ist so auszubilden, dass die Tragfähigkeit in seiner Wirkungsweise als Einzelelement gewährleistet ist. Der Mikropfahl ist dabei nur für axiale Belastungen auf Zug, Druck oder unter Wechsellast einzusetzen.
- Trotz der Wirkung des Mikropfähls als Einzeltragglied ist bei einer Pfahlgründung eine redundante Konstruktion anzustreben.
- Bei Böden, die ein seitliches Auslenken des Pfahles erlauben, ist die Frage der Knicksicherheit entweder rechnerisch oder durch eine statische Probelastung abzuklären. Beim rechnerischen Nachweis bleibt der Verpresskörper unberücksichtigt.
- Der Fundamentkörper ist in Bezug auf die Lasteinleitung in den Pfahlkopf zu bemessen (Zusatzbewehrung, Durchstanzen).

5. Baustoffe und Bauprodukte

5.1 Stahltragglied Mikropfahl

Als Tragglied für das ANP – Mikropfählsystem SAS 550 wird ein aus der Walzhitze wärmebehandelter Stabstahl mit linksgängigen Gewinderippen und folgenden Stahlgüten (Streckgrenze / Zugfestigkeit) und Durchmessern verwendet:

S 550 / 620 Ø 20, 25, 25, 28, 32, 40, 50 mm

S 555 / 700 Ø 57.5, 63.5 mm

S 500 / 550 Ø 75 mm

Der Stabstahl kann Bezug auf ÖNORM B4707 nach der Streckgrenze und Duktilität als Betonrippenstahl der folgenden Stahlsorten eingestuft werden:

B550B Ø 20 bis 63.5 mm

B500B Ø 75 mm

Die tatsächlichen Zugfestigkeiten des Stabstahles weisen gegenüber der Norm höhere Werte auf. Durch die Gewinderippen des Stabstahles werden die Anforderungen an die Verbundwirkung in der Pfahllänge des Traggliedes erfüllt.

Die Geometrie und Werkstoffkenngrößen des Stabstahles sind in den **Anlagen 7 und 8** zusammengestellt.

Für erhöhte Anforderungen an die Nutzungsdauer des Pfahls wird eine Oberflächenbeschichtung des ANP – Mikropfahlsystems SAS 550 durch Feuerverzinken nach den Anforderungen von ÖNORM EN ISO 1461 durchgeführt. Die mittlere Dicke der Zinkschicht beträgt dabei mindestens 85 µm.

5.2 Muffenverbindung

Das Stahltragglied kann über eine Muffe gekoppelt werden. Die Muffe ist durch ein Verschrauben der Stäbe bei Zug- und Druckpfählen gegeneinander zu kontern.

Eine Verringerung der Schlupfwerte kann unter Verwendung des SAS Klebesystems MABOND erzielt werden. Bei Wechselbeanspruchung ist die Muffenverbindung zwecks Verdrehsicherung stets zusätzlich zu kleben.

Angaben zum Kontermoment enthält **Anlage 6**. Die wesentlichen Systemgrößen der Muffe sind in **Anlage 12** dargestellt. Angaben und Einbauanleitung für das Klebesystem an einer Muffenverbindung mit DCP sind in der **Anlage 15 und 16** angegeben. Die gleiche Vorgehensweise gilt auch bei unverrohrten Systemen.

5.3 Pfahlkopfausbildung

Der Pfahlkopf besteht aus einer durch Muttern (Ankermutter und Kontermutter) gekonterten quadratischen Pfahlkopfplatte oder einem mit Kontermutter gekontertem zylindrischen Ankerstück ohne und mit Spaltzugbewehrung. Eine zusätzliche Klebung unter Verwendung des SAS Klebesystems MABOND ist zur Schlupfabminderung vorgesehen. Angaben zum Kontermoment enthält **Anlage 6**, Angaben und Einbauanleitung zum Klebesystem **Anlage 15 und 17**.

Die Pfahlplatten sind senkrecht zur Achse des Gewindestabes anzuordnen. Bei Verwendung des Ankerstückes ist eine Verbundvorlänge nach **Anlage 5** einzuhalten.

Angaben zu den wesentlichen Systemgrößen der Zubehörteile der Komponenten des Pfahlkopfes und der Werkstoffe enthalten die **Anlagen 10 bis 12**.

Systemskizzen zu den Varianten der Ausbildung des Pfahlkopfes sind in den **Anlagen 1 - 5** enthalten.

Der Pfahlanschluss im Fundamentkörper erfordert eine Pfahlhalssverrohrung aus einem Kunststoffrohr oder Stahlrohr zur Überbrückung einer möglichen Arbeitsfuge in Hinblick auf den Korrosionsschutz bzw. zur Aufnahme des Querdruckes.

Beanspruchung des Mikropfahls ¹⁾	Ausbildung der Anschlußfuge					
	Ausführung Pfahlhalssverrohrung ohne Kraftschluss			Ausführung Pfahlhalssverrohrung mit Kraftschluss ²⁾		
	Kurzzeitpfahl	Dauerpfähle mit Abrostung / SCP	DCP	Kurzzeitpfahl	Dauerpfähle mit Abrostung / SCP	DCP
Zuglast	Kunststoffrohr ³⁾	Kunststoffrohr ³⁾	-	Kunststoffrohr ³⁾	Kunststoffrohr ³⁾	-
Drucklast	Stahlrohr ³⁾	Stahlrohr ³⁾	-	Kunststoffrohr ³⁾	Kunststoffrohr ³⁾	-
Wechselast	Stahlrohr ³⁾	Stahlrohr ³⁾	-	Kunststoffrohr ³⁾	Kunststoffrohr ³⁾	-

- 1) Wenn Pfähle einer Probelastung unterzogen und danach als Bauwerkspfähle weiter verwendet werden, so ist ein Pfahlhalsschutzrohr aus Stahl anzuordnen.
- 2) Form- und Kraftschlüssige Arbeitsfuge zwischen Verpressmörtel und Bauwerksbeton ist vorhanden. Dazu sind vor dem Betonieren Verunreinigungen, Zementschlempen und loser Zementmörtel zu entfernen und der Zementmörtel der Pfähle vorzunässen.
- 3) Einbindung des Pfahlhalsschutzrohres mit mindestens 100 mm in den Fundamentkörper.

5.4 Verpressmörtel

Alle eingebauten Mikropfähle ohne und mit Korrosionsschutzumhüllung weisen eine äußere Zementmörtelüberdeckung von mindestens 15 mm zur Bohrlochwand auf. Eine Zentrierung erfolgt durch Abstandhalter. Die Zementmörtelüberdeckung beim Dauerpfahl mit Standard Korrosionsschutz (SCP) beträgt mindestens 25 bis 40 mm.

Für den Aufbau des Verpresskörpers wird ein Ankermörtel nach den Anforderungen der ÖNORM EN 14199 verwendet. Der Wasserzementwert ist dabei den Baustellenbedingungen anzupassen. Alternativ kann ein Zementmörtel nach ÖNORM EN 445, ÖNORM EN 446 und ÖNORM EN 447 eingesetzt werden.

Bei der Auswahl des Zementes für den Verpresskörper, der in Berührung mit dem Baugrund steht, sind die Einwirkungen der Bodenbedingungen nach den Expositionsklassen gemäß ÖNORM EN 206 zu berücksichtigen.

Der Korrosionsschutz des Dauerpfahles mit doppeltem Korrosionsschutz (DCP) wird mit einem PE-Ripprohr über seine gesamte Länge aufgebaut und weist eine innere Zementmörtelschicht zwischen PE-Ripprohr und Stab von mindestens 5 mm auf. Der Stab wird im Ripprohr durch eine PE-Schnur bzw. Abstandhalter zentriert. Der verwendete Zementmörtel entspricht den Normen ÖNORM EN 445, ÖNORM EN 446 und ÖNORM EN 447.

5.5 Anforderungen an die Tragfähigkeit des Mikropfahlsystems

Die folgenden Größen sind einzuhalten:

- Die Konstruktion und Bemessung des ANP – Mikropfahlsystems SAS 550 haben nach ÖNORM EN 14199 sowie den entsprechenden Eurocodes samt den zugehörigen nationalen Anhängen zu erfolgen.

- Die Zugtragfähigkeit des Mikropfahls – bestehend aus den Systemkomponenten: Pfahlkopf und Muffenverbindung, – weist in Bezug auf die charakteristische Bruchkraft des Traggliedes einen Wirkungsgrad von 100 % auf. Die entsprechenden charakteristischen Bruchkräfte sind der **Anlage 9** zu entnehmen.
- Das Versagen des Systems erfolgt duktil und darf durch Bruch einer Komponente oder durch ein Ausziehen des Traggliedes aus Mutter oder Muffe erfolgen.
- Der Bemessungswert des Grenzzustandes der inneren Tragfähigkeit des Pfahls ist nach ÖNORM EN 1992-1-1 mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,15 gegen Erreichen der Kraft an der 0,2 % Dehngrenze $F_{p0,2}$ anzusetzen und gilt für den Zugpfahl und den Druckpfahl. Für den Zugpfahl sind die nationalen Festlegungen nach ÖNORM B 1997-1-1 und für den Druckpfahl jene nach ÖNORM B 1997-1-3 anzuwenden.
- Für die Bemessung des Grenzzustandes der äußeren Tragfähigkeit des Pfahls ist nach ÖNORM EN 1990 vorzugehen. Die Bodeneigenschaften sind dabei nach ÖNORM EN 1997-1 zu bestimmen.
- Die Bemessungswerte für die innere Tragfähigkeit des Mikropfahles als Zugpfahl sind nach den Schadensfolgeklassen CC1, CC2 und CC3 gemäß ÖNORM B 1997-1-1 in **Anlage 9** zusammengestellt.
- Bei 0,65 des Nennwertes der Streckgrenzkraft, was etwa dem Bereich der Gebrauchstauglichkeit entspricht, wurden folgende Schlupfwerte nachgewiesen:
 - Schlupf ohne Klebung: 0,9 bis 2,1 mm
 - Schlupf mit Klebung: 0,2 bis 0,5 mm

Die Schlupfwerte für die Muffenverbindung und Endverankerung sind in **Anlage 6** mit Angabe des Kontermomentes zusammengestellt.

Bei Mikropfählen unter Wechsellast sind alle Werte zu verdoppeln.

Die Prüfungen am Mikropfahlsystem sind dabei nach ETAG 013 bzw. nach ISO 15835-1,2 durchgeführt worden.

- Die nach den Bedingungen der ISO 15835-1,2 nachgewiesene Dauerschwingfestigkeit des Mikropfahlsystems beträgt
 - Ø 20 bis 32 mm: 80 N/mm²
 - Ø 40 bis 63,5 mm: 60 N/mm²
 - Ø 75 mm: 40 N/mm²
- Das Verhalten unter Erdbebenlasten ist nicht nachgewiesen worden.
- Die Mindestwerte der Achs- und Randabstände des Mikropfahles sind in **Anlage 6** ohne und mit Zusatzbewehrung (Spaltzugbewehrung) angegeben.

Die angegebenen Achs- und Randabstände wurden nach den Anforderungen gemäß ETAG 013 für eine Mindestbetongüte des Fundamentkörpers \geq C 20/25 nach ÖNORM EN 206 bei einer Betondruckfestigkeit \geq 25 N/mm² zum Zeitpunkt der Lastübertragung nachgewiesen:

- für ein System mit Zusatzbewehrung (Spaltzugbewehrung) mit einem Wirkungsgrad von 110 % in Bezug auf den Nennwert der Höchstkraft des Traggliedes. Die Zusatzbewehrung ist in **Anlage 6** ebenfalls angeführt.
 - für ein System ohne Zusatzbewehrung (Spaltzugbewehrung) mit einem Wirkungsgrad von 130 % in Bezug auf den Nennwert der Höchstkraft des Traggliedes. Dabei handelt es sich um eine Verdoppelung der Werte.
- Der Anschluß des Mikropfahles an das Tragwerk ist in Bezug auf die Lasteinleitung in den Pfahlkopf nach der Tragfähigkeit des Mikropfahles gemäß ÖNORM EN 1992 - 1-1 zu bemessen.
 - In den **Anlagen 1 bis 5** sind neben Systemzeichnungen des Mikropfahles auch die einbetonierte Kopfausbildung mit Spaltzugbewehrung unter Berücksichtigung der Beanspruchungsart dargestellt. Die Anforderungen an eine erforderliche Pfahlhalsverrohrung sind dabei zu beachten.
 - Bei einem Verpressmörtel mit einer Zylinderdruckfestigkeit $f_{cm} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ ist eine charakteristische Verbundspannung von 6 N/mm^2 anzusetzen.
 - Wird eine Abrostrate für Korrosion vorgesehen, dann ist der prozentuelle Querschnittsverlust beim Nachweis der Tragfähigkeit zu berücksichtigen und danach der Bemessungswert des Materialwiderstandes festzulegen. **Anlage 9** enthält diesbezügliche Werte.
 - Die Prüfung von Mikropfählen hat als statische Pfahlprobelastung zu erfolgen. Dabei dürfen die in **Anlage 9** nach ÖNORM B 1997-1-1 angegebenen maximalen Prüfkräfte nicht überschritten werden.

Bei auf Zug beanspruchten Pfählen sind 3 % der vorgesehenen Anzahl der Pfähle zu prüfen, mindestens aber 3 Pfähle. Die Prüflast ergibt sich aus dem Bemessungswert der äußeren Zugtragfähigkeit des Mikropfahles und dem Teilsicherheitsbeiwert für den Widerstand gegen Herausziehen nach den Schadensfolgeklassen CC1, CC2 und CC3 sowie unter Berücksichtigung eines Streuungsfaktors für alle Bemessungssituationen gemäß ÖNORM B1997-1-1.

Bei auf Druck beanspruchten Pfählen ist der äußere Tragwiderstand aus den charakteristischen Werten des Pfahlwiderstandes und des Widerstandes der Mantelreibung nach ÖNORM B1997-1-3 zu ermitteln. Die Streuungsfaktoren nach ÖNORM B1997-1-1 sind dabei zu berücksichtigen
 - Bei reinen Druckpfählen ist der Mikropfahl vorzugsweise einer statischen Probelastung auf Druck zu unterziehen.

6 Haltbarkeit der Mikropfahlkonstruktion

6.1 Korrosionsschutz

Das vorliegende Mikropfahlssystem bedient sich der folgenden Methoden für das Erreichen der vorgesehenen Nutzungsdauer:

- Für den Kurzzeiteinsatz bis zu 2 Jahren bedarf es keiner gesonderten Korrosionsschutzmaßnahmen
- Berücksichtigung einer Abrostrate für Korrosion bei einer begrenzten Nutzungsdauer bis zu 50 Jahren für einen Einsatz als Permanentpfahl
- Oberflächenbeschichtung durch Feuerverzinken
- Systembedingte Einkapselung durch Ausbildung eines Verpresskörpers (Standard Korrosionsschutz - SCP) für den Einsatz als Dauerpfahl bei einer vorgegebenen Mindestüberdeckung
- Verrohrung (Dauerkorrosionsschutz - DCP mit Verrohrung nach ÖNORM EN 1537) für den Einsatz als Dauerpfahl

Weitere Anforderungen bezüglich des Korrosionsschutzes sind beim Permanentpfahl mit Abrostung, bzw. beim Dauerpfahl mit Standard-Korrosionsschutz aus einer kritischen Bewertung des Bauwerkes und aus den Umgebungsbedingungen abzuleiten.

Insbesondere ist sicherzustellen, dass auch bei einem frühzeitigen Versagen einzelner Elemente die Tragfähigkeit der Pfahlgründung gewährleistet bleibt. Der Korrosionsschutz durch Abrosten ist nur bei einer statistisch abgesicherten Anzahl von Sicherungselementen (redundantes System) anzuwenden.

6.2 Korrosionsbelastung

Zur Beurteilung der Korrosionsbelastung metallischer Werkstoffe in Böden ist nach ÖNORM EN 12501-1,2 vorzugehen. Die Korrosionsbelastung wird eingestuft in:

- niedrig
- mittel
- hoch

Die wichtigsten physikalischen und chemischen Parameter der Böden und Bettungsmaterialien werden in ÖNORM EN 12501-2 behandelt. Der Anhang B der Norm enthält detaillierte Angaben zur Datensammlung für eine Bodeneinstufung.

Eine Beurteilung der unterschiedlichen Korrosionsbelastungen wird durch eine informative Aufstellung der wesentlichen Bodenparameter vorgenommen. Diese stellen die Grundlage für die Größenangabe der jeweiligen Abrostrate des Mikropfahles durch Korrosion dar.

Kriterien zur Beurteilung der Korrosionsbelastung in Böden

Bodenparameter	Korrosionsbelastung in Böden		
	niedrig	mittel	hoch
Belüftung	mäßig bis sehr gut	schlecht bis mäßig gut	sehr schlecht bis schlecht
Bodenaufbau	überwiegend Sand, Kies, gebräuchlicher Fels (grob- bis mitteldispers)	hohe Anteile an Schluff, Feinsand (mittel- bis feinsdispers)	unter Umständen Anteile organischer Substanzen; hohe Anteile an Ton (feindispers), Industrieabfälle, Tausalz
Wassergehalt	niedrig (drainagefähig)	im Allgemeinen mittel (feucht)	im Allgemeinen hoch, Wasserwechselzonen
Neutralsalzgehalte	gering	möglicherweise erhöht	möglicherweise hoch
pH-Werte	5 bis 8	5 bis 8	5 bis 8
spezifischer Bodenwiderstand in Ωm	> 70	10 bis 70	< 10

Bei pH-Werten < 5 und > 8 wird die Korrosionsbelastung in die nächst höhere Klasse verschoben:

niedrig ⇒ mittel

mittel ⇒ hoch

hoch ⇒ eingeschränkte Nutzungsdauer ⇒ Korrosionsschutzverrohrung

6.3 Ausführungsformen des Mikropfahlsystems

6.3.1 Mikropfähle für den Kurzeiteinsatz und Permanentpfähle mit Berücksichtigung einer Abrostrate

Die **Anlage 1** enthält eine Schemazeichnung für den Kurzeitpfahl. Der Mikropfahl ist im Bohrloch zu zentrieren. Für den Kurzeiteinsatz sind keine weiteren Maßnahmen hinsichtlich des Korrosionsschutzes vorgesehen. Bei hoher Korrosionsbelastung wird durch Einhaltung der Zementmörtelüberdeckung $\geq 15\text{mm}$ ein Abrostern verhindert.

Die Muffe ist bei Wechselbeanspruchung zusätzlich zur Konterung zu verkleben. Bei Druckbeanspruchung kann wahlweise eine Kontaktmuffe verwendet werden.

Die **Anlage 2** enthält eine Schemazeichnung für den Permanentpfahl mit Abrostung. Der Pfahlanschluss im Fundamentkörper erfolgt stets über eine Pfahlhalsverrohrung.

Die geplante Nutzungsdauer und die Korrosionsbelastung des Bodens bestimmen die Größe der Abrostrate. Die Zementmörtelüberdeckung beträgt dabei mindestens 15 mm.

Nachfolgend werden Richtwerte für die Abrostrate des Mikropfahles in Böden nach Ergebnissen von Langzeitlagerungen abgeleitet. Dabei wird die Abrostrate für eine niedrige, mittlere und hohe Korrosionsbelastung und eine Nutzungsdauer von 2, 7, 30 und 50 Jahren angegeben. Die Rundungsgröße beträgt etwa 0,1 mm.

Die angeführten Abrostraten für blanken und verzinkten Stahl sind baupraktisch nicht vorgesehen, da der Mikropfahl systembedingt in ein vorgebohrtes Bohrloch zentriert eingebracht und mit Zementmörtel verpresst wird, so dass stets eine durchgehende Zementmörtelüberdeckung vorliegt. Sie werden jedoch als maßgebende Ausgangsgröße für das Abrostverhalten des Stahles angeführt.

Durch die Berücksichtigung einer Zementmörtelüberdeckung von mindestens 15 mm wird aus dem Karbonatisierungsverlauf in Abhängigkeit von der Bodenkorrosion eine Verlangsamung der Korrosionsgeschwindigkeit des Stahles erreicht und somit die Abrostrate vermindert.

Richtwertangabe für die Abrostrate

Nutzungsdauer in Jahren	Pfahl Typ	Abrostrate in mm bei einer Korrosionsbelastung		
		niedrig	mittel	hoch
2	A	0	0	0,2
	B	0	0	0
	A + C	0	0	0
	B + C	0	0	0
7	A	0,2	0,2	0,5
	B	0	0	0,4
	A + C	0	0	0
	B + C	0	0	0
30	A	0,4	0,6	DCP
	B	0	0,2	
	A + C	0,2	0,4	
	B + C	0	0	
50	A	0,5	1,0	DCP
	B	0,2	0,7	
	A + C	0,4	0,8	
	B + C	0	0,5	

A blanker Stahl, unverpresst

B verzinkter Stahl, Zinkschichtdicke $\geq 85 \mu\text{m}$, unverpresst

C Zementmörtelüberdeckung $\geq 15 \text{ mm}$

DCP doppelter Korrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

Die **Anlage 9** enthält Angaben zu dem Tragkraftverlust des Mikropfahles infolge Abrostens. Damit wird auch das Abrostens an der Verbindungsmuffe abgedeckt, wenn die Zementmörtelüberdeckung der Muffe $\geq 15 \text{ mm}$ beträgt. Ein gesonderter Nachweis ist dazu nicht erforderlich.

Die zulässige Abrostung des Mikropfahles durch Korrosion beträgt bis zu 1,0 mm.

6.3.2 Mikropfähle als Dauerpfahl mit Standard Korrosionsschutz - SCP

Die **Anlage 3** enthält eine Schemazeichnung des Dauerpfahles mit Standard Korrosionsschutz. Der Pfahlhalsbereich ist mit einer Pfahlhalsverrohrung auszubilden. Für die Ausbildung der Muffenverbindung gelten ebenfalls die gleichen Feststellungen wie beim Dauerpfahl mit Abrostung.

Der Korrosionsschutz des Dauerpfahles wird durch Einkapselung in einen Verpresskörper mit ausreichender Zementmörtelüberdeckung erreicht. In Abhängigkeit von den Bodenklassen wird auf der Grundlage einschlägiger europäischer geotechnischer Normen eine erforderliche Zementmörtelüberdeckung festgelegt. Die Rissbreiten unter Zugbeanspruchung sind dabei mit $\leq 0,2 \text{ mm}$ begrenzt.

Bei Mikropfählen mit Muffenverbindung ist die erforderliche Mindestüberdeckung auf den Außendurchmesser der Muffe anzuwenden.

Richtwertangabe für die erforderliche Mindestüberdeckung

Korrosionsbelastung in Böden	Zementmörtelüberdeckung in mm	
	Druck	Zug
niedrig	25	35
mittel	30	40
hoch	Verrohrung nach ÖNORM EN 1537	

6.3.3 Mikropfähle als Dauerpahl mit Korrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537 – DCP

Die **Anlage 4** enthält eine Schemazeichnung des Dauerpfahles mit Dauerkorrosionsschutz nach ÖNORM EN 1537. Die wesentlichen Korrosionsschutzkomponenten sind:

Pfahlschaft: Durchgehendes Ripprohr $\geq 1,0$ mm mit einer inneren Zementmörtelschicht ≥ 5 mm gegen das Stahltragglied.

Äußere Zementmörtelüberdeckung ≥ 10 mm gegen die Bohrlochwand. Das erdseitige Pfahlende ist durch eine Kunststoffkappe abgeschlossen.

Muffenverbindung: Die Muffe wird durch einen Schrumpfschlauch abgedeckt. Bei Druckbeanspruchung kann alternativ eine Kontaktmuffe verwendet werden.

Pfahlhals: Der Stab wird gegen das Ripprohr über eine End- oder Injizierkappe mittels Klebeband abgedichtet. Das Ripprohr des Pfahlschaftes wird bis in den Fundamentkörper geführt.

7 Mikropfahlherstellung und Einbau

Für den Einbau des ANP – Mikropfahlsystems SAS 550 sind die Vorgaben der RVS 08.22.01 einzuhalten. Hingewiesen wird darin als Voraussetzung zur Durchführung einer Pfahlgründung auf den rechtzeitigen Nachweis der Eignung des Mikropfahlsystems. Die Ausführung der Arbeiten, die Führung von Aufzeichnungen und die Durchführung von Prüfungen sind nach den jeweiligen Ausführungs- bzw. Prüfnormen vorzunehmen.

Unter Verweis auf ÖNORM B 1997-1-1 gilt für den Geltungsbereich Bundesstraßen die Eignung des Mikropfahlsystems durch eine Zulassung des BMVIT als nachgewiesen.

Eine Anleitung für die werksseitige Herstellung des Korrosionsschutzes des Mikropfahlsystems, die Handhabung und den Einbau ist in den Anlagen 19 bis 20 beschrieben.

Der Zusammenbau und Einbau des ANP – Mikropfahlsystems SAS 550 darf nur unter Einhaltung der angeführten Einbauanweisung des Zulassungsinhabers mit geschultem Personal und unter technischer Aufsicht des Zulassungsinhabers erfolgen.

8 Prüfungen

8.1 Werkstoffprüfungen

Die Überwachung der Produktion des Stahltraggliedes und der Schraubkomponenten hat nach einem festgelegten Prüfplan zu erfolgen und fällt in den Zuständigkeitsbereich des Herstellers.

Eine Dokumentation der durchgeführten Prüfungen und Überwachungen über die angeführten Komponenten ist beim Hersteller des ANP-Mikropfahlsystems SAS 550 zu hinterlegen.

Der Hersteller des ANP-Mikropfahls SAS 550 hat eine nach ÖNORM EN ISO 9001 geregelte werkseigene Produktionskontrolle unter Bezug auf die pfahlspezifischen Komponenten durchzuführen. Diese bezieht sich auf:

- Herstellung der Mikropfahlkomponenten
- Herstellung des Korrosionsschutzsystems

Die Inspektion ist durch eine akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle auf der Grundlage eines Überwachungsvertrages durchzuführen, in dem auch der Umfang der Inspektion und der werkseigenen Produktionskontrolle festgelegt ist. Ebenso ist darin auch der Umfang der Überwachung von Stahltragglied, Schraubkomponenten und Korrosionsschutzsystem anzuführen.

Ein Überwachungsvertrag ist zwischen dem Zulassungsinhaber und der fremdüberwachenden Stelle abzuschließen. Die Inspektion ist mindestens einmal jährlich durchzuführen und bezieht sich auf eine Überprüfung der werkseigenen Produktionskontrolle sowie auf eine Durchführung von Stichprobenprüfungen. Über die Ergebnisse ist ein Bericht auszufertigen.

8.2 Statische Pfahlprobelastungen

Auf der Baustelle sind statische Mikropfahlversuche nach den Anforderungen von ÖNORM EN 14199 durchzuführen und zu dokumentieren. Die statische Probelastung von Mikropfählen unter Zugbeanspruchung wird in ÖNORM B 1997-1-1 als Eignungsprüfung festgelegt.

Die Prüfungen sind dabei nach ÖNORM EN ISO 22477-5 (Entwurf) durchzuführen. Bei reinen Druckpfählen ist nach Möglichkeit eine statische Probelastung auf Druck vorzunehmen.



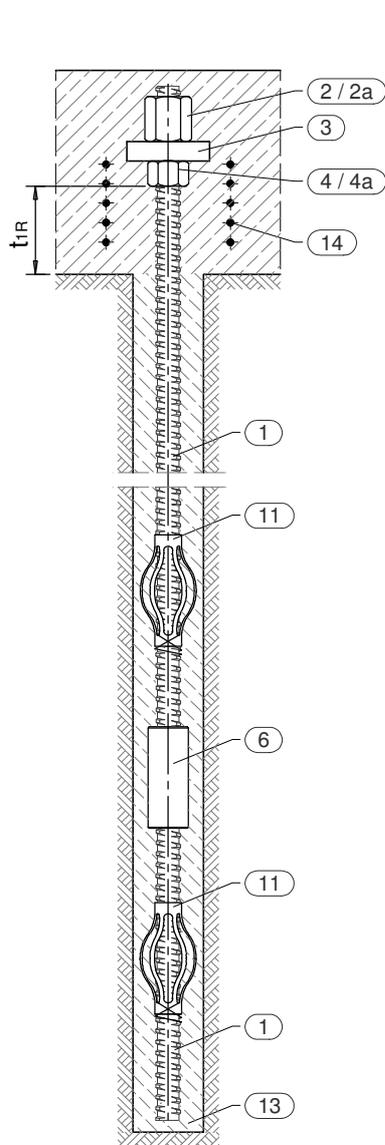
**ANP -
SYSTEMS
GmbH**

ANP - Mikropfahl SAS 550

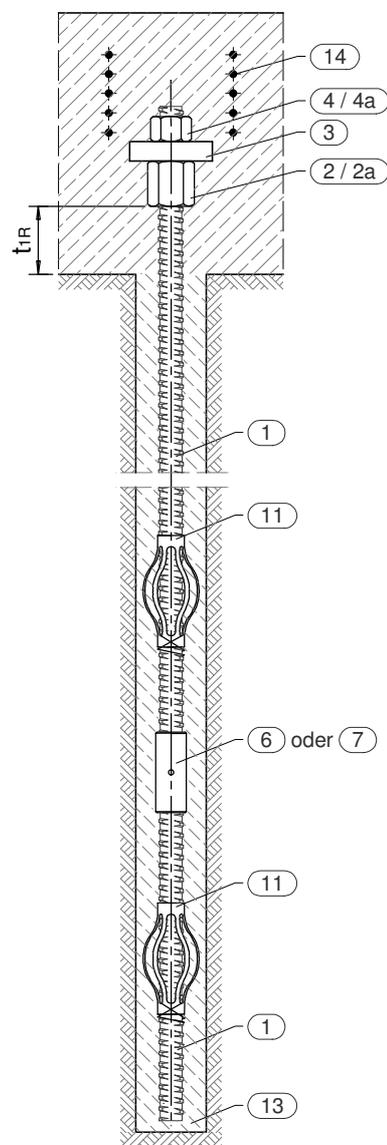
Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen
Systemzeichnung: Kurzzeitpfahl mit Pfahlkopfplatte

Anlage 1

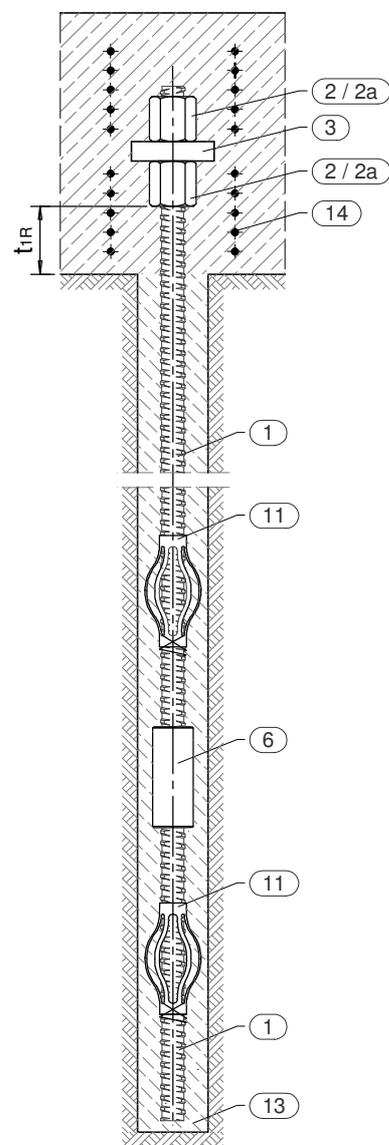
Zugbeanspruchung



Druckbeanspruchung



Wechselbeanspruchung



- ① Stabstahl mit Gewinderippen
- ② Anker Mutter
- ②a Anker Mutter, Guss
- ③ Pfahlkopfplatte
- ④ Kontermutter kurz
- ④a Kontermutter kurz, Guss
- ⑥ Muffe
- ⑦ Kontaktmuffe
- ⑪ Federkorbadstandshalter
- ⑬ Zementleimüberdeckung
- ⑭ Zusatzbewehrung

Tragglied Ø [mm]	min. Bohrloch-Ø ¹⁾ Kurzzeitpfahl Typ C	
	ohne Muffe	mit Muffe
20	53	66
25	59	70
28	62	75
32	66	82
40	75	95
50	86	110
57,5	93	132
63,5	99	132
75	112	138

$t_{1R} \geq 150\text{mm}$ [Ø20 - 32]
 $t_{1R} \geq 200\text{mm}$ [Ø40 - 63,5]
 $t_{1R} \geq 250\text{mm}$ [Ø75]

Nutzungs- dauer in Jahren	Pfahl Typ	Richtwert Abrostrate in mm bei einer Korrosionsbelastung		
		niedrig	mittel	hoch
Bis zu 2	A	0	0	0,2
	B	0	0	0
	A+C	0	0	0
	B+C	0	0	0

A - blanker Stahl, unverpresst
 B - verzinkter Stahl, Zinkschichtdicke $\geq 85\mu\text{m}$, unverpresst
 C - Zementmörtelüberdeckung $\geq 15\text{mm}$

1) Mindest-Bohrlochdurchmesser (unverroht) / Mindest-Verrohrungsinwendurchmesser sind bezogen auf die Mindestbetonüberdeckung. Werte für Federkorbdistanzhalter und Injizierschlauch sind nicht berücksichtigt.

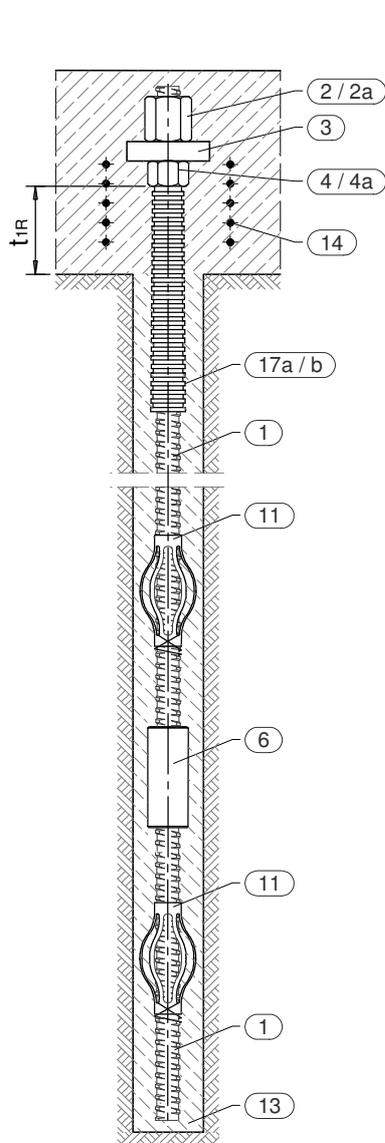


ANP - SYSTEMS GmbH

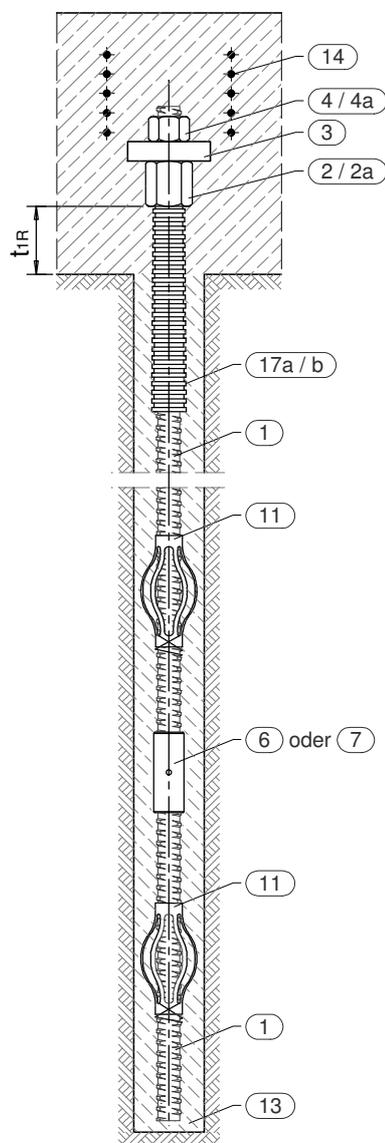
ANP - Mikropfahl SAS 550
 Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen
 Systemzeichnung: Dauerpfahl mit Abrostung und Pfahlkopfplatte

Anlage 2

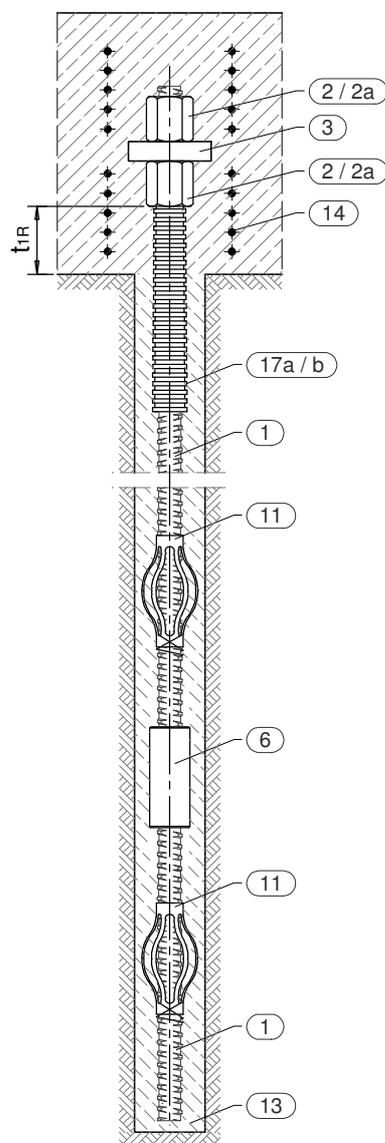
Zugbeanspruchung



Druckbeanspruchung



Wechselbeanspruchung



- ① Stabstahl mit Gewinderippen
- ② Anker Mutter
- ②a Anker Mutter, Guss
- ③ Pfahlkopfplatte
- ④ Kontermutter kurz
- ④a Kontermutter kurz, Guss
- ⑥ Muffe
- ⑦ Kontaktmuffe
- ⑪ Federkorbandstandshalter
- ⑬ Zementleimüberdeckung
- ⑭ Zusatzbewehrung
- ⑰a Pfahlhalsverrohrung, Kunststoffrohr²⁾
- ⑰b Pfahlhalsverrohrung, Stahlrohr²⁾

Tragglied Ø [mm]	min. Bohrloch-Ø ¹⁾ Kurzzeitpfahl Typ C	
	ohne Muffe	mit Muffe
20	53	66
25	59	70
28	62	75
32	66	82
40	75	95
50	86	110
57,5	93	132
63,5	99	132
75	112	138

$t_{1R} \geq 150\text{mm} [\text{Ø}20 - 32]$
 $t_{1R} \geq 200\text{mm} [\text{Ø}40 - 63,5]$
 $t_{1R} \geq 250\text{mm} [\text{Ø}75]$

Nutzungs- dauer in Jahren	Pfahl Typ	Richtwert Abrostrate in mm bei einer Korrosionsbelastung		
		niedrig	mittel	hoch
2 - 7	A	0,2	0,2	0,5
	B	0	0	0,4
	A+C	0	0	0
	B+C	0	0	0
7 - 30	A	0,4	0,6	DCP
	B	0	0	
	A+C	0,2	0,4	
	B+C	0	0	
30 - 50	A	0,5	1,0	DCP
	B	0,2	0,7	
	A+C	0,4	0,8	
	B+C	0	0,5	

A blanker Stahl, unverpresst
 B verzinkter Stahl, Zinkschichtdicke $\geq 85\mu\text{m}$, unverpresst
 C Zementmörtelüberdeckung $\geq 15\text{mm}$
 DCP Korrosionsschutz durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

1) Mindest-Bohrlochdurchmesser (unverrohrt) / Mindest-Verrohrungsinwenddurchmesser sind bezogen auf die Mindestbetonüberdeckung. Werte für Federkorbandstandshalter und Injizierschlauch sind nicht berücksichtigt.

2) Die Ausführung der Pfahlhalsverrohrung hat nach der Tabelle "Ausbildung der Anschlußfuge" auf Seite 9 im Typenblatt zu erfolgen.



ANP - SYSTEMS GmbH

ANP - Mikropfahl SAS 550

Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen

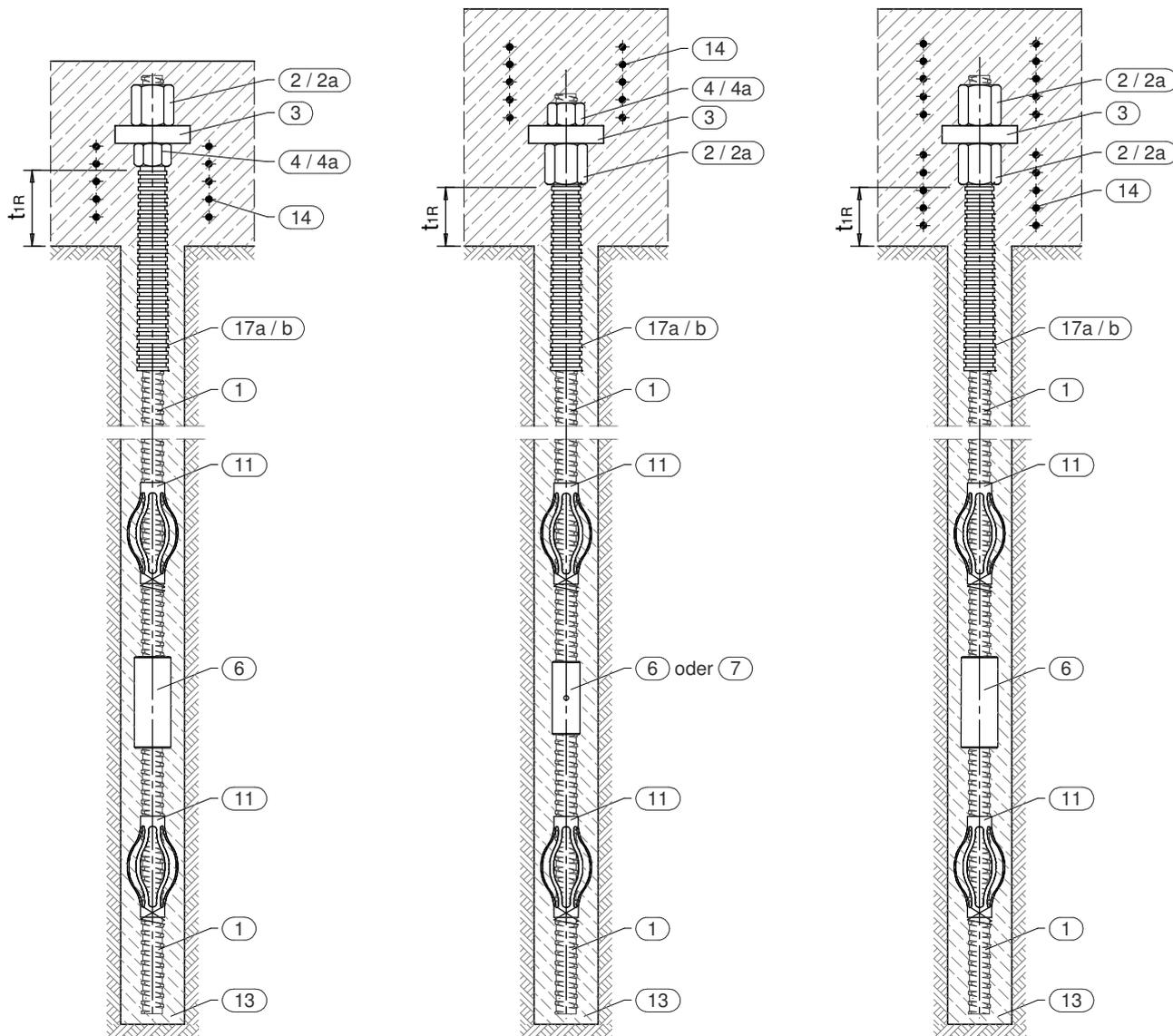
Systemzeichnung: Dauerpfahl mit Standard - Korrosionsschutz durch Zementmörtelüberdeckung und Pfahlkopfplatte

Anlage 3

Zugbeanspruchung

Druckbeanspruchung

Wechselbeanspruchung



- ① Stabstahl mit Gewinderippen
- ② Anker Mutter
- ②a Anker Mutter, Guss
- ③ Pfahlkopfplatte
- ④ Kontermutter kurz
- ④a Kontermutter kurz, Guss
- ⑥ Muffe
- ⑦ Kontaktmuffe
- ⑪ Federkorbabstandshalter
- ⑬ Zementleimüberdeckung
- ⑭ Zusatzbewehrung
- ⑰a Pfahlhalssverrohrung, Kunststoff
- ⑰b Pfahlhalssverrohrung, Stahl

$t_{1R} \geq 150\text{mm}$ [Ø20 - 32]

$t_{1R} \geq 250\text{mm}$ [Ø75]

$t_{1R} \geq 200\text{mm}$ [Ø40 - 63,5]

Korrosionsbelastung in Böden	Mindestzementmörtelüberdeckung in mm	
	Druck	Zug
niedrig	25	35
mittel	30	40
hoch	Verrohrung nach ÖNORM EN 1537	

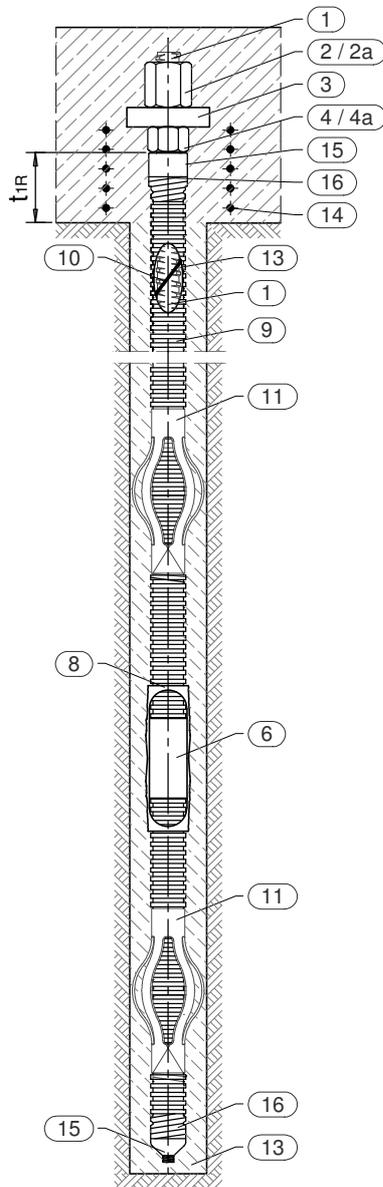
Tragglied Ø [mm]	min. Bohrloch-Ø ¹⁾							
	Dauerpfahl mit Standardkorrosionsschutz				Dauerpfahl mit Standardkorrosionsschutz			
	niedrige Korrosionsbelastung		mittlere Korrosionsbelastung		niedrige Korrosionsbelastung		mittlere Korrosionsbelastung	
	Druck	Zug	Druck	Zug	Druck	Zug	Druck	Zug
20	ohne Muffe [mm]	mit Muffe [mm]	ohne Muffe [mm]	mit Muffe [mm]	ohne Muffe [mm]	mit Muffe [mm]	ohne Muffe [mm]	mit Muffe [mm]
25	73	86	93	106	83	96	103	116
28	79	90	99	110	89	100	109	120
32	82	95	102	115	92	105	112	125
40	86	102	106	122	96	112	116	132
50	95	115	115	135	105	125	125	145
57,5	106	130	126	150	116	140	136	160
63,5	113	152	133	172	123	162	143	182
75	120	152	140	172	130	162	150	182
	132	158	152	178	142	168	162	188

1) Mindest-Bohrlochdurchmesser (unverrohrt) / Mindest-Verrohrungsinwenddurchmesser sind bezogen auf die Mindestbetonüberdeckung. Werte für Federkorbabstandshalter und Injizierschlauch sind nicht berücksichtigt.

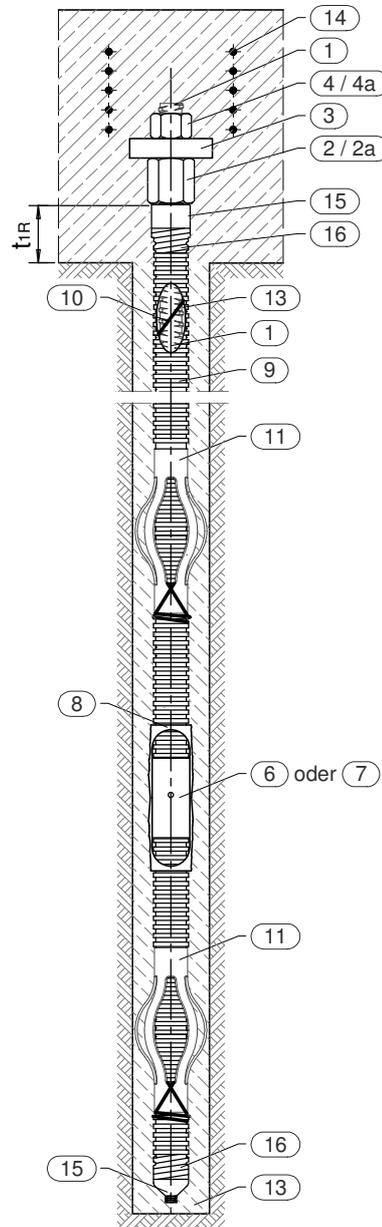
2) Die Ausführung der Pfahlhalssverrohrung hat nach der Tabelle "Ausbildung der Anschlußfuge" auf Seite 9 im Typenblatt zu erfolgen.



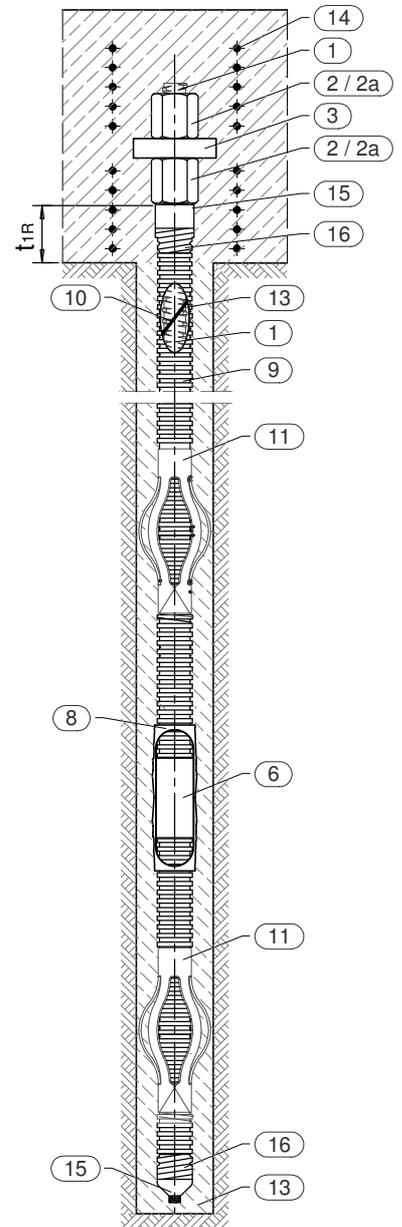
Zugbeanspruchung



Druckbeanspruchung



Wechselbeanspruchung



- ① Stabstahl mit Gewinderippen
- ② Anker Mutter
- ②a Anker Mutter, Guss
- ③ Pfahlkopfplatte
- ④ Kontermutter kurz
- ④a Kontermutter kurz, Guss
- ⑥ Muffe
- ⑦ Kontaktmuffe
- ⑧ Schrumpfschlauch
- ⑨ Hüllrohr gerippt
- ⑩ innerer Abstandhalter
- ⑪ Federkorbdistanzhalter
- ⑬ Zementleimüberdeckung
- ⑭ Zusatzbewehrung
- ⑮ Injizier- und Endkappe
- ⑯ PE - Klebeband

$t_{1R} \geq 150\text{mm}$ [Ø20 - 32]

$t_{1R} \geq 250\text{mm}$ [Ø75]

$t_{1R} \geq 200\text{mm}$ [Ø40 - 63,5]

Tragglied Ø [mm]	min. Bohrloch-Ø ¹⁾ Dauerpfahl	
	ohne Muffe	mit Muffe
20	70	70
25	70	70
28	70	70
32	76	76
40	85	90
50	100	105
57,5	120	127
63,5	120	127
75	134	133

1) Mindest-Bohrlochdurchmesser (unverrohrt) / Mindest-Verrohrungsinwendurchmesser sind bezogen auf die Mindestbetonüberdeckung. Werte für Federkorbdistanzhalter und Injizierschlauch sind nicht berücksichtigt.

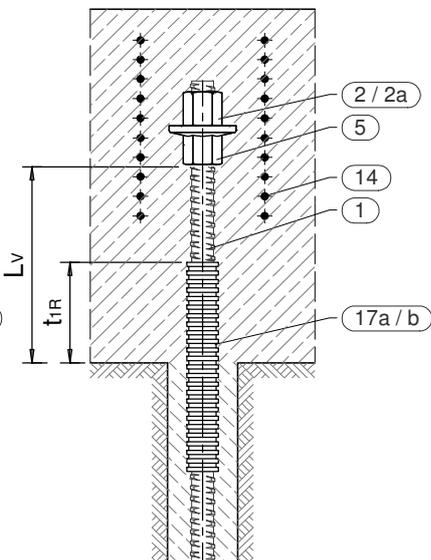
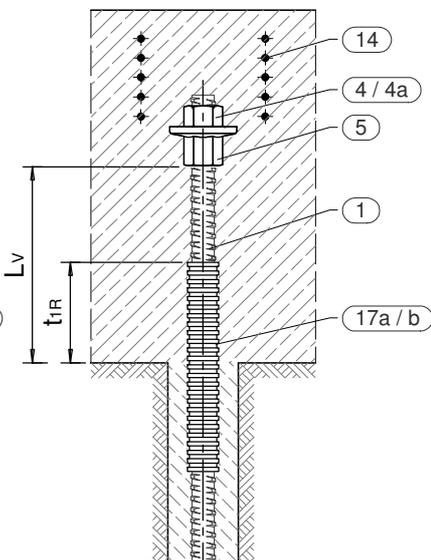
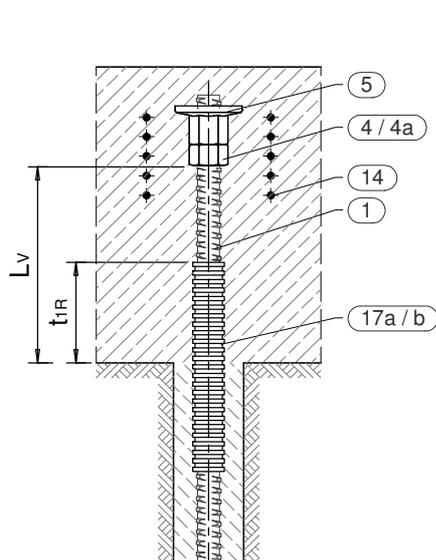


Kurzzeitpfahl u. Dauerpfahl mit Abrostung bzw. mit Standard-Korrosionsschutz durch Zementmörtelüberdeckung

Zugbeanspruchung

Druckbeanspruchung

Wechselbeanspruchung



Dauerpfahl mit doppeltem Korrosionsschutz - DCP

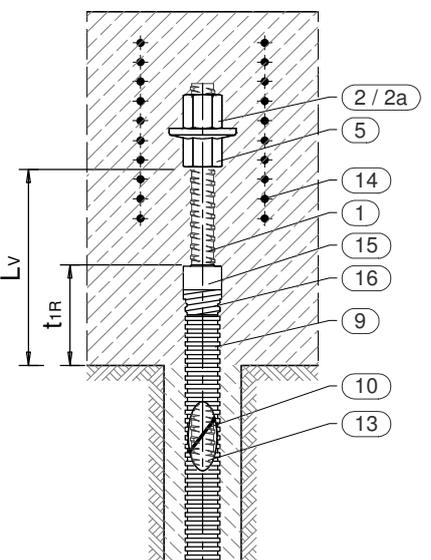
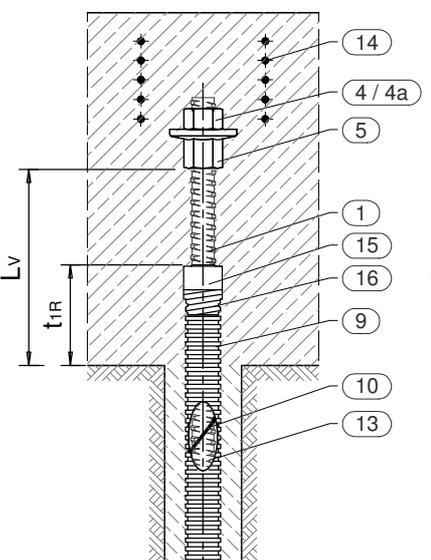
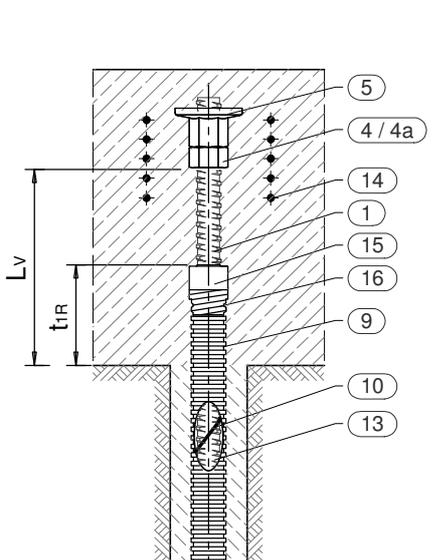
durch Verrohrung nach ÖNORM EN 1537

Lv - Verbundvorlänge

Zugbeanspruchung

Druckbeanspruchung

Wechselbeanspruchung



- ① Stabstahl mit Gewinderippen
- ② Ankermutter
- ②a Ankermutter, Guss
- ④ Kontermutter kurz
- ④a Kontermutter kurz, Guss
- ⑨ Hüllrohr
- ⑤ Ankerstück
- ⑩ innerer Abstandhalter
- ⑬ Zementleimüberdeckung
- ⑭ Zusatzbewehrung
- ⑮ Injizier- und Endkappe
- ⑯ PE - Klebeband
- ⑰a Pfahlhalssverrohrung, Kunststoff
- ⑰b Pfahlhalssverrohrung, Stahl

Hinweise: - Der Kurzzeitpfahl hat keine Pfahlhalssverrohrung nach ⑰a / b
- Die Einbindelänge t_{1R} gilt sowohl für Pfahlhalssverrohrung als auch für Mikropfähle mit doppeltem Korrosionsschutz

$t_{1R} \geq 150\text{mm}$ [Ø20 - 32] $t_{1R} \geq 250\text{mm}$ [Ø75]
 $t_{1R} \geq 200\text{mm}$ [Ø40 - 63,5]

Lv - Verbundvorlänge

Tragglied Ø [mm]	Verbundvorlänge * Lv ≥ 10 ds [mm]
20	200
25	250
28	280
32	320
40	400
50	500
57,5	575
63,5	635
75	750

* Mindestbetonfestigkeit ≥ 25N/mm²

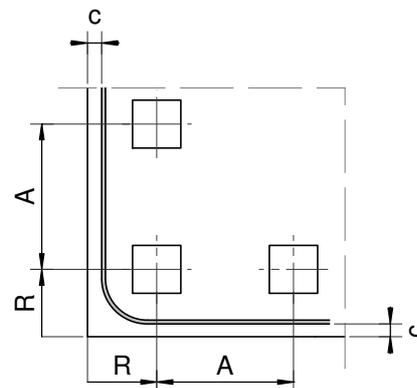


Achs- und Randabstände, Zusatzbewehrung

Mindestbetongüte ≥ C20/25,

Betondruckfestigkeit zum Zeitpunkt der Lastübertragung ≥ 25 N/mm²

Tragglied Ø mm	ohne Zusatzbewehrung		mit Zusatzbewehrung		
	Achs- abstand A ¹⁾ mm	Rand- abstand R ¹⁾ mm	Achs- abstand A ¹⁾ mm	Rand- abstand R ¹⁾ mm	Zusatz- bewehrung n x Ø / L / a mm
20	260	130 + c	165	83 + c	3 x 6 / 145 / 30
25	310	155 + c	200	100 + c	4 x 6 / 180 / 40
28	350	175 + c	225	113 + c	4 x 6 / 205 / 40
32	390	195 + c	240	120 + c	3 x 8 / 220 / 50
40	500	250 + c	300	150 + c	3 x 10 / 280 / 45
50	600	300 + c	370	185 + c	5 x 10 / 350 / 45
57,5	750	375 + c	480	240 + c	4 x 16 / 460 / 60
63,5	820	410 + c	520	260 + c	4 x 16 / 500 / 70
75	850	425 + c	520	260 + c	5 x 16 / 500 / 55



¹⁾ Achs- und Randabstände sind gleich für eine Verankerung mit Platte oder Ankerstück

²⁾ n - Anzahl der Bügel, Ø - Stabdurchmesser der Bügel,

L - Seitenlänge der Bügel, a - Abstand der Bügel,

Bei Wechselbeanspruchung ist die Anzahl der Bügel jeweils oberhalb und unterhalb der Pfahlplatte anzuordnen

c - Betondeckung der konstruktiven Bewehrung in Abhängigkeit der nationalen Anforderungen und gegebenenfalls von Expositionsklassen nach ÖNORM EN 206

Schlupfwerte und Kontermomente

der Muffenverbindung / Endverankerung ohne und mit Klebung

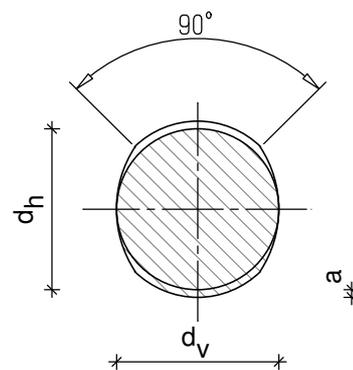
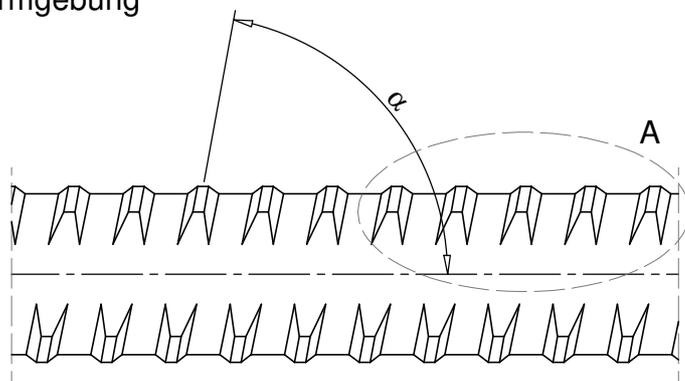
Tragglied Ø mm	Kontermoment kNm	Schlupfwerte Muffenverbindung / Endverankerung	
		ohne Klebung mm	mit Klebung mm
20	0,4	0,9	0,2
25		0,9	0,2
28		0,9	0,2
32 ¹⁾		0,9	0,2
40	0,6	1,2	0,3
50 ¹⁾		1,2	0,3
57,5	0,8	1,6	0,4
63,5		1,6	0,4
75 ¹⁾		2,1	0,6

¹⁾ gemessene Schlupfwerte, die weiteren Werte wurden stufenweise angepasst



1 Betonstahl SAS 550

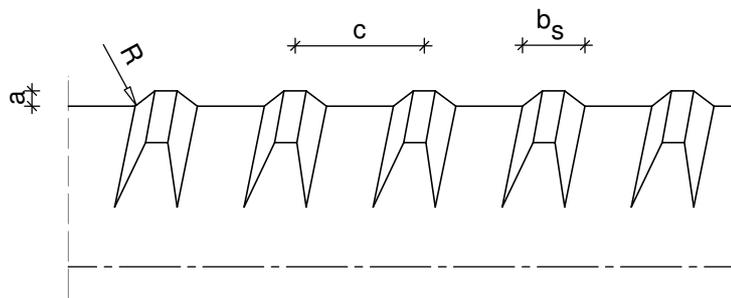
Formgebung



Querschnitt

Gewindeform

Detail A



Nennmaße und Nenngewicht / Rippengeometrie

Stahl- sorte ¹⁾	Nenndurch- messer d _s mm	Nenn- masse ²⁾ G kg/m	Nenn- querschnitt A mm ²	Kerndurchmesser		Gewinderippen (linksgängig)				
				d _h mm	d _v mm	Höhe min. a mm	Breite b _s mm	Abstand c mm	Neigung α grad	Radius R mm
S 550 / 620	20	2,47	314	19,5	19,1	1,0	4,8	10,0	81,5	2,0
	25	3,85	491	24,4	23,9	1,3	5,9	12,5	81,5	2,0
	28	4,83	616	27,3	26,8	1,5	6,7	14,0	81,5	2,5
	32	6,31	804	31,2	30,9	1,8	7,6	16,0	81,5	2,5
	40	9,87	1260	39,1	38,5	2,1	9,5	20,0	81,5	2,0
S 555 / 700	50	15,40	1960	48,9	48,3	2,3	12,0	26,0	81,0	2,5
	57,5	20,38	2597	56,2	55,7	2,4	9,8	20,0	83,3	2,5
S 500 / 550	63,5	24,86	3167	62,4	61,6	2,7	10,8	21,0	84,0	4,0
	75	34,68	4418	74,0	72,5	2,6	12,0	24,0	84,4	3,0

¹⁾ Streckgrenze / Zugfestigkeit in N/mm²

²⁾ Abweichung von der Nennmasse ± 4,5%



**ANP -
SYSTEMS
GmbH**

ANP - Mikropfahl SAS 550
Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen
Spezifikation, Geometrie, Nennmaße, Nenngewichte
Festigkeitseigenschaften

Anlage 8

Eigenschaften und Anforderungen

Eigenschaften und Anforderungen				
	Stahlsorte ¹⁾	Nenndurchmesser d_s mm	charakteristische	
			Streckgrenzkraft F_e ²⁾ kN	Bruchkraft F_m kN
1	S 550 / 620	20	175	195
		25	270	304
		28	340	382
		32	440	499
		40	693	781
		50	1080	1215
	S 555 / 700	57,5	1441	1818
		63,5	1760	2215
	S 500 / 550	75	2209	2430

2	Charakteristische Streckgrenze ^{2), 3)}	R_e	N/mm ²	$d_s = 20 - 50:$ 550 $d_s = 57,5 - 63,5:$ 555 $d_s = 75:$ 500
3	Charakteristische Zugfestigkeit ²⁾	R_m	N/mm ²	$d_s = 20 - 50:$ 620 $d_s = 57,5 - 63,5:$ 700 $d_s = 75:$ 550
4	Streckgrenzenverhältnis	R_m/R_e	-	≥ 1,10
5	Gesamtdehnung bei Höchstkraft (ermittelt aus: $A_g + R_m/E * 100 \%$) ⁴⁾	A_{gt}	%	≥ 5,0
6	Bezogene Rippenfläche f_R		-	≥ 0,056
7	Dauerschwingfestigkeit bei einer Schwingbreite von $2 \times \sigma_A$ bei einer Oberspannung von 300 Mpa und $N = 2 \times 10^6$ Lastwechsel		N/mm ²	$d_s = 20 - 32:$ 120 $d_s = 40 - 75:$ 100
8	Eignung zum Biegen			nicht vorgesehen
9	Eignung zum Schweißen			nicht vorgesehen

¹⁾ Streckgrenze / Zugfestigkeit in N/mm²

²⁾ 5% - Fraktilwert

³⁾ R_e entspricht der $R_{p0,2}$ - Dehngrenze

⁴⁾ $E \sim 205\,000$ N/mm²


Bemessungswert der inneren Materialwiderstände des ANP SAS 550

Zug- und Druckpfahles sowie des Zugpfahles nach Schadensfolgeklassen gem. ÖNORM B 1997-1-1

Tragglied	char. Kraft an der 0,2% Dehngrenze	char. Bruchkraft	Bemessungswert des Grenzzustandes			zul. Prüfkraft P_p ³⁾ für Eignungs- Untersuchungs- und Abnahmeprüfungen	
			der inneren Tragfähigkeit des Pfahles $F_{p0,2} / 1,15$ ¹⁾	der Tragfähigkeit nach Schadensfolgeklassen $R_{t,d} = F_{p0,2} / 1,15$ ²⁾ / η		$P_p < 0,90 * F_{p0,2}$	$P_p < 0,80 * F_{pk}$
Ø	$F_{p0,2}$	F_{pk}		CC 1, CC 2, $\eta=1,3$	CC 3, $\eta=1,5$		
mm	kN	kN	kN	kN	kN		kN
20	175	195	152	117	101	158	156
25	270	304	235	181	157	243	243
28	340	382	296	227	197	306	306
32	440	499	383	294	255	396	399
40	693	781	603	464	402	624	625
50	1080	1215	939	722	626	972	972
57,5	1441	1818	1253	964	835	1297	1454
63,5	1760	2215	1530	1177	1020	1584	1772
75	2209	2430	1921	1478	1281	1988	1944

1) Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_s = 1,15$ für Stahl nach ÖNORM EN 1992-1-1, Tabelle 2.1N.
Die Tragfähigkeitswerte gelten für den Zug- und Druckpfahl.

2) Die Tragfähigkeitswerte nach Schadensfolgeklassen gelten für den Zugpfahl.

3) Der jeweils kleinere Wert ist maßgebend.

Tragkraftverlust durch Abrosten

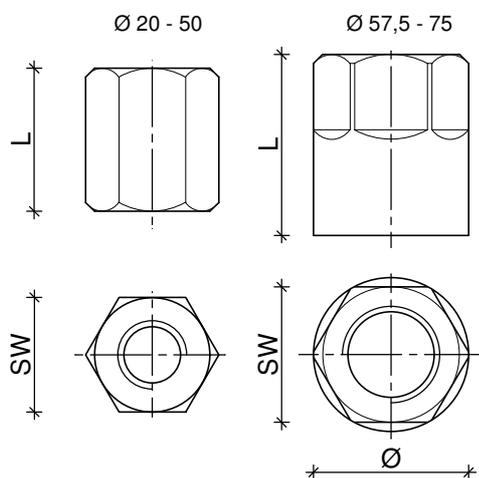
Typ	char. Kraft an der 0,2% Dehngrenze	char. Bruchkraft	Quer- schnitts- fläche	Abrostungsverlust in % ¹⁾ bei einer Abrostung von						
				0,2 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,6 mm	0,7 mm	0,8 mm	1,0 mm
	$F_{p0,2}$ kN	F_{pk} kN	A mm ²							
20	175	195	314	4,0	7,8	9,8	11,6	13,5	15,4	19,0
25	270	304	491	3,2	6,3	7,8	9,4	10,9	12,4	15,4
28	340	382	616	2,8	5,6	7,0	8,4	9,7	11,1	13,8
32	440	499	804	2,5	4,9	6,2	7,4	8,6	9,8	12,1
40	693	781	1260	2,0	3,9	4,9	5,9	6,9	7,8	9,7
50	1080	1215	1960	1,6	3,2	4,0	4,8	5,5	6,3	7,9
57,5	1441	1818	2597	1,4	2,8	3,4	4,1	4,8	5,5	6,8
63,5	1760	2215	3167	1,3	2,5	3,1	3,7	4,4	5,0	6,2
75	2209	2430	4418	1,1	2,1	2,6	3,2	3,7	4,2	5,3

1) Der Abrostverlust ist bezogen auf den Nenndurchmesser und den Nennquerschnitt.
Der Bemessungswert der Pfahltragfähigkeit ist in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer und der Bodenkorrosivität um den Tragkraftverlust durch Abrosten zu reduzieren.



2 Ankermutter, T2002 - Ø

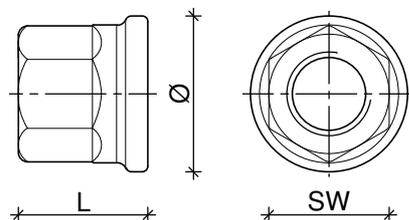
Material: Ø 25 - 57,5: S355J2 nach ÖNORM EN 10025
 Ø 63,5: 20MnV6+U nach ÖNORM EN 10025
 Ø 75: 42CrMo4 + QT nach ÖNORM EN 10083-2



Tragglied Ø mm	SW mm	L mm	Ø mm
20	36	45	-
25	41	50	-
28	46	55	-
32	55	60	-
40	65	70	-
50	80	90	-
57,5	90	100	102
63,5	100	115	108
75	100	100	108

2a Ankermutter - Guss, T2163 - Ø

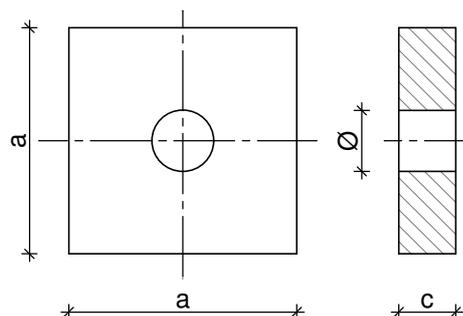
Material: Ø 40 - 63,5: EN-GJS-500-7 nach ÖNORM EN 1563,
 Ø 75: G34CrMo4 + QT nach ÖNORM EN 10293



Tragglied Ø mm	SW mm	L mm	Ø mm
40	65	70	85
50	80	85	100
57,5	90	100	110
63,5	100	115	125
75	100	120	115

3 Pfahlkopfplatte T2139 - Ø

Material: Ø 20 - 75: S235JR nach ÖNORM EN 10025



Tragglied Ø mm	a mm	c mm	Ø mm
20	70	12	25
25	90	15	30
28	100	15	33
32	120	20	40
40	150	30	47
50	190	45	58
57,5	220	50	67
63,5	245	50	70
75	275	65	88



**ANP -
SYSTEMS
GmbH**

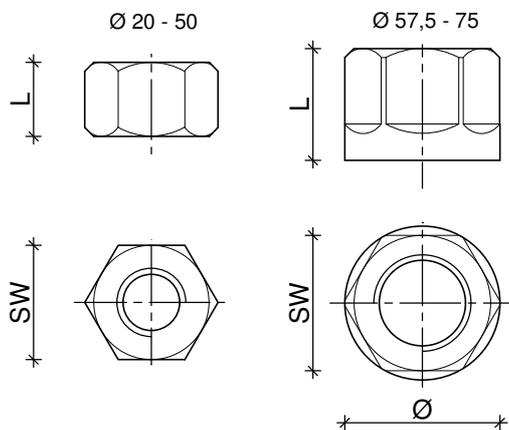
ANP - Mikropfahl SAS 550

Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen

Zubehörteile: Kontermutter kurz, Kontermutter kurz - Guss
und Ankerstück

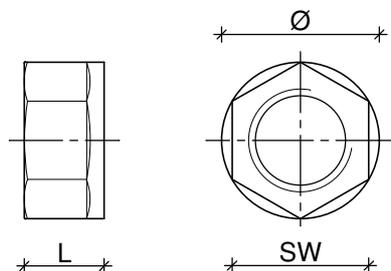
Anlage 11

- 4** Kontermutter, kurz **T2040 - Ø**
 Material: Ø 20 - 63,5: S355J2 nach ÖNORM EN 10025
 Ø 75: 42CrMo4 + QT nach ÖNORM EN 10083-2



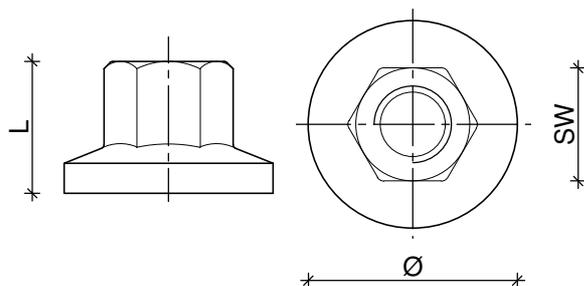
Tragglied Ø mm	SW mm	L mm	Ø mm
20	32	20	-
25	41	20	-
28	41	25	-
32	50	30	-
40	60	35	-
50	80	50	-
57,5	90	60	102
63,5	90	75	102
75	100	80	108

- 4a** Kontermutter, kurz - Guss **T2040C - Ø**
 Material: Ø 40 - 63,5: EN-GJS-500-7 nach ÖNORM EN 1563
 Ø 75: G34CrMo4 + QT nach ÖNORM EN 10293



Tragglied Ø mm	SW mm	L mm	Ø mm
40	60	35	69
50	80	50	92
57,5	90	60	102
63,5	90	75	104
75	100	80	108

- 5** Ankerstück, **T2073 - Ø**
 Material: Ø 20 - 50, 63,5: EN-GJS-500-7
 nach ÖNORM EN 1563



Tragglied Ø mm	SW mm	L mm	Ø mm
20	36	40	65
25	41	45	70
28	46	50	90
32	50	60	100
40	65	70	120
50	80	85	150
63,5	100	115	250



**ANP -
SYSTEMS
GmbH**

ANP - Mikropfahl SAS 550

Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen

Zubehörteile: Muffe und Kontaktmuffe

Korrosionsschutz: Federkorbdistanzhalter

Anlage 12

6 Muffe T3003 - Ø

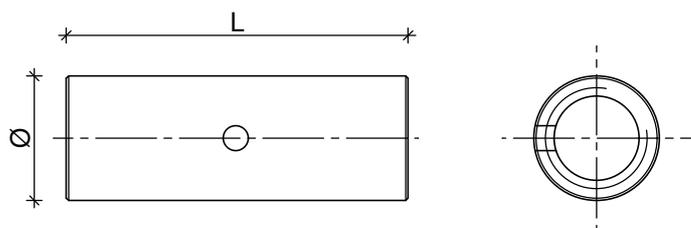
Material: Ø 20 - 63,5: S355J2 nach ÖNORM EN 10025
 Ø 75: 42CrMo4 + QT nach ÖNORM EN 10083-2



Tragglied Ø mm	L mm	Ø mm
20	105	36
25	115	40
28	125	45
32	140	52
40	160	65
50	200	80
57,5	230	102
63,5	260	102
75	240	108

7 Kontaktmuffe T3006 - Ø

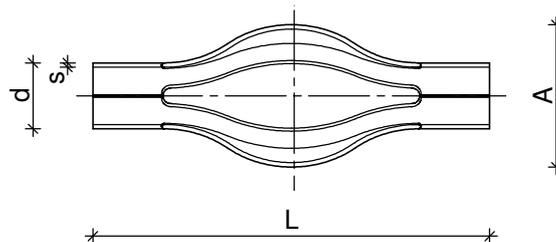
Material: Ø 20 - 75: S355J2 nach ÖNORM EN 10025



Tragglied Ø mm	L mm	Ø mm
20	70	32
25	80	36
28	85	40
32	90	45
40	120	52
50	160	65
57,5	170	80
63,5	200	90
75	210	102

11 Federkorbdistanzhalter

Material: PVC-U nach DIN 8061/8062



Tragglied Ø mm	Kurzzeitpfahl / Mikropfahl mit SCP			Mikropfahl mit DCP		
	d x s mm	A mm	L mm	d x s mm	A mm	L mm
20	20 x 1,5	70	150 bis 175	55 x 3,0	125	250
25	32 x 1,8	80				
28		100				
32	40 x 3,0	125	250 bis 290	63 x 3,0	135	290
40	50 x 3,0			75 x 3,6		
50	63 x 3,0			90 x 2,7		
57,5	75 x 3,6	125		110 x 3,2	140	
63,5				90 x 2,7			125 x 3,7	190
75						



ANP - SYSTEMS GmbH

ANP - Mikropfahl SAS 550
 Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen
 Korrosionsschutz: Schrumpfschlauch, Ripprohr und innere Abstandhalter

Anlage 13

8 Schrumpfschlauch

Material: warmschrumpfender Polyolefinschlauch

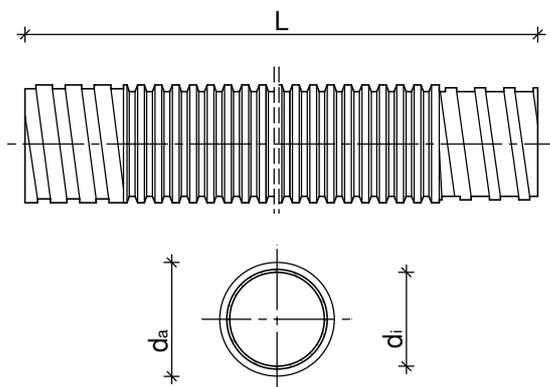


Tragglied Ø mm	Mikropfahl SCP Øi mm	Mikropfahl DCP Øi mm	t ungeschrumpft/ geschrumpft mm	L mm
20 - 25	> 70	> 90	min 0,5 / min 1,0	nach Bedarf ¹⁾
28	> 90	> 110		
32	> 110	> 120		
40	> 120	> 140		
50	> 140	> 160		
57,5	> 140	> 160		
63,5	> 140	> 160		
75	> 140	> 160		

* Überlappung Schrumpfschlauch / Ripprohr bzw. Schrumpfschlauch Tragglied mind. 7,5 cm ungeschrumpft

9 Hüllrohr gerippt

Material: PVC-U nach DIN 8061/8062
 PE nach DIN 8074/8075

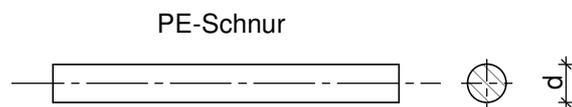


Tragglied Ø mm	Abmessungen *	
	min. d _a / min. d _i mm	min. t mm
20	50 / 43	1,0
25		
28		
32	56 / 48	1,0
40	65 / 56	1,0
50	80 / 71	1,0
57,5	100 / 90	1,5
63,5		
75	114 / 100	1,5

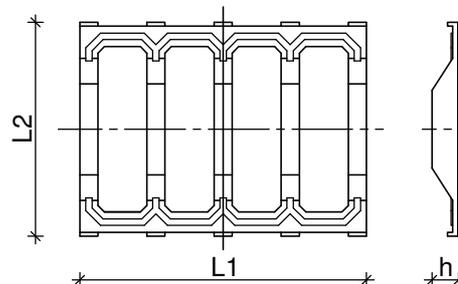
* Länge nach Bedarf

10 innere Abstandhalter

Material: PE-HD nach ÖNORM EN ISO 1872-1,2



Rippendistanzhalter

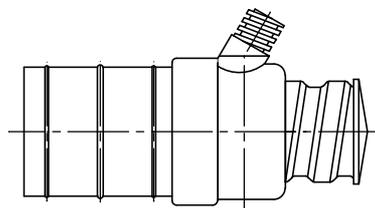


Tragglied Ø mm	Abmessungen				Anzahl der Stege
	h mm	L ₁ mm	L ₂ mm		
40	6	112	124		3
50	8	132	124		3
57,5	11	168	165		4
63,5	11	220	165		5
75	11	220	165		5

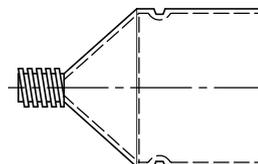
Tragglied Ø mm	PE - Schnur min. Ø mm
20 - 50	6
63,5	9
75	6



15 Injizier- und Endkappe



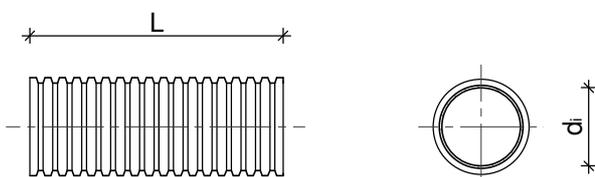
alternative Form



17a Pfahlhalssverrohrung, Kunststoffrohr, glatt oder gerippt

Material: PE-HD nach ÖNORM EN ISO 1872-1;2

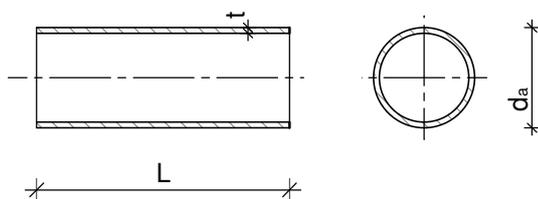
PVC-U nach DIN 8061 und DIN 8062



Tragglied Ø mm	L mm	t mm	d _i mm
20	> 300	> 1,0	≥ 40
25			≥ 45
28			≥ 48
32			≥ 52
40	> 400		≥ 60
50	> 500		≥ 70
57,5			≥ 78
63,5			≥ 84
75		≥ 95	

17b Pfahlhalssverrohrung, Stahlrohr

Material: P235TR1/2 nach ÖNORM EN 10216-1 / ÖNORM EN 10217-1



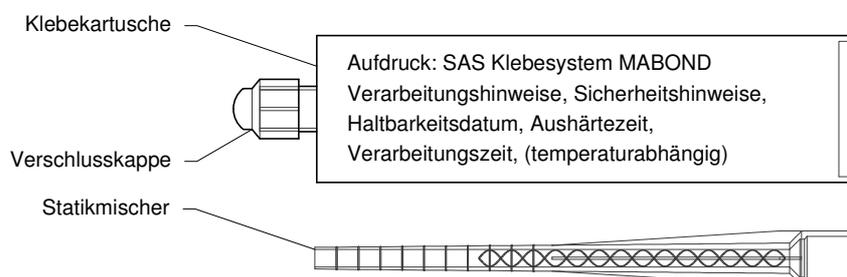
Tragglied Ø mm	min L mm	d _a mm	t mm
20	300	63,5	2,6
25	360	76,1	2,6
28	400	76,1	2,6
32	430	76,1	2,6
40	470	82,5	2,6
50	510	101,6	2,9
57,5	540	101,6	2,9
63,5	570	114,0	3,2
75	620	127,0	3,2

18 SAS Klebesystem MABOND

Material: Vinylester bestehend aus 2 Komponenten

A-Komponente: Vinylesterharz auf Basis 1,6 Hexandiylobismethacrylat: 80 - 90 Gewichts-%
entsprechende Zusatzstoffe: 10 - 20 Gewichts-%

B-Komponente: Reaktionsinitiator auf Basis Dibenzoylperoxid: 30 - 40 Gewichts-%
entsprechende Zusatzstoffe: 60 - 70 Gewichts-%





**ANP -
SYSTEMS
GmbH**

ANP - Mikropfahl SAS 550
Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen
Zubehörteile: Klebesystem MABOND
Einbauanleitung Muffenverbindung

Anlage 15

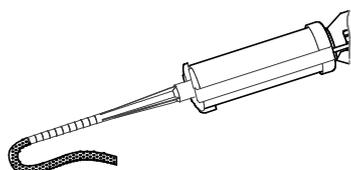
1. Vorbereitung des SAS Klebesystems MABOND

1.1



Verschlusskappe von Klebekartusche entfernen.
Statikmischer mit Mischwendel auf Klebekartusche aufschrauben.
Für jede neue Kartusche einen neuen Statikmischer verwenden.
Kartusche niemals ohne Statikmischer verwenden.
Keinen abgelaufenen Kleber verwenden (Haltbarkeitsdatum!).

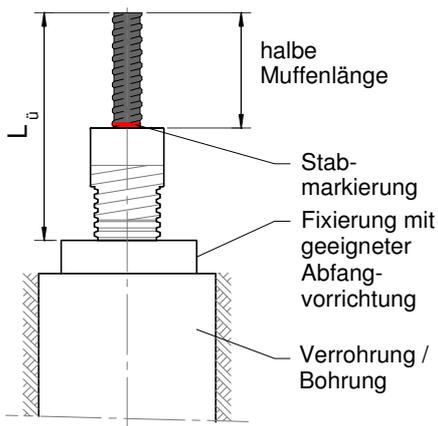
1.2



Klebekartusche in Auspresspistole einsetzen und
Kleberverlauf solange auspressen (ca. 2 volle Hübe oder
einen ca. 10cm langen Klebestrang / Vorlauf), bis der austretende
Injektionskleber eine gleichmäßige graue Farbe aufweist.
Dieser Vorlauf darf nicht verwendet werden.

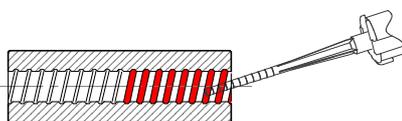
2. Herstellung der geklebten Muffenverbindung (MABOND) an einem Pfahl mit DCP

2.1



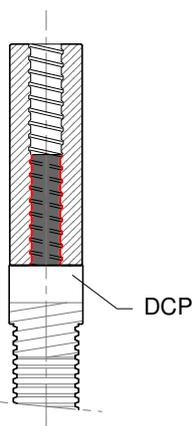
Unteren Pfahlabschnitt mit Abfangvorrichtung an der Verrohrung
fixieren, ca. 0,6 m aus der Verrohrung überstehen lassen (L_v).
Bei blanken Pfählen ist die halbe Muffenlänge an den zu
verbindenden Stabenden zu markieren.

2.2

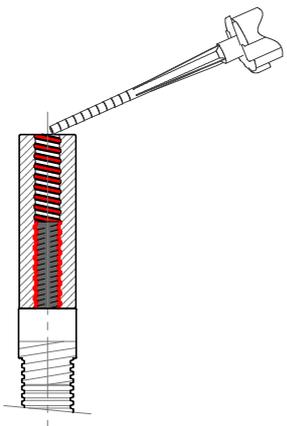
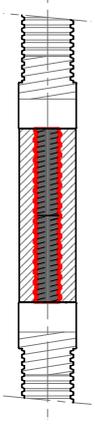
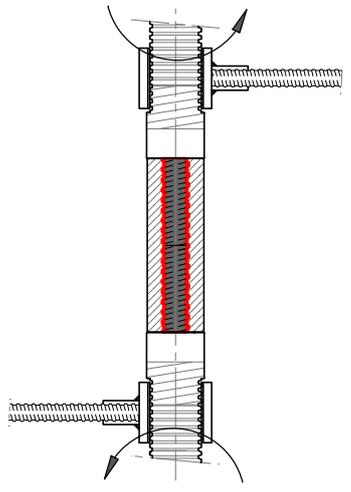
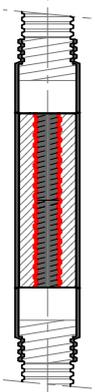


Einfüllen des Klebers im kompletten Gewindegrund über
die halbe Muffenlänge.

2.3



Muffe (mit Kleber gefüllte Seite) am unteren Pfahlabschnitt
bis zur Markierung bzw. bis zum DCP aufschrauben.

 <p>ANP - SYSTEMS GmbH</p>	<p>ANP - Mikropfahl SAS 550 Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen Zubehörteile: Klebesystem MABOND Einbauanleitung Muffenverbindung</p>	<p>Anlage 16</p>
<p>2.4</p>		<p>Obere freie Gewindegänge der Muffe vollständig im Gewindegrund mit Kleber befüllen.</p>
<p>2.5</p>		<p>Am oberen Pfahlabschnitt Schrumpfschlauch überschieben, evtl. temporär mit Klebeband fixieren. Oberen Pfahlabschnitt bis zur Markierung bzw. bis zum DCP in die Muffe einschrauben. Ausgetretener Kleber ist zu entfernen (mit Lappen abwischen).</p>
<p>2.6</p>		<p>Muffenverbindung mit Spezial-Zangen kontern (Kontermomente gemäß Anlage 6). Eine Beschädigung des Ripprohres durch die Zangen ist zu vermeiden.</p>
<p>2.7</p>		<p>Schrumpfschlauch mittig über die Muffenverbindung schieben, von der Mitte her nach beiden Enden mit weicher gelber Gas - Flamme aufschumpfen. Das MABOND Klebesystem benötigt keine Aushärtezeit, da die Lastübertragung erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt. Der nächste Pfahlabschnitt kann unmittelbar nach Herstellung der Muffenverbindung montiert werden.</p>



**ANP -
SYSTEMS
GmbH**

ANP - Mikropfahl SAS 550

Betonstahl SAS 550 Ø 20 - 75 mm mit Gewinderippen

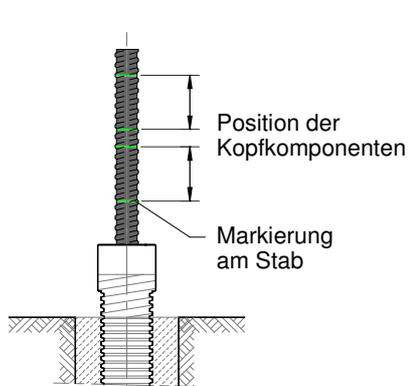
Zubehörteile: Klebesystem MABOND

Einbauanleitung Endverankerung

Anlage 17

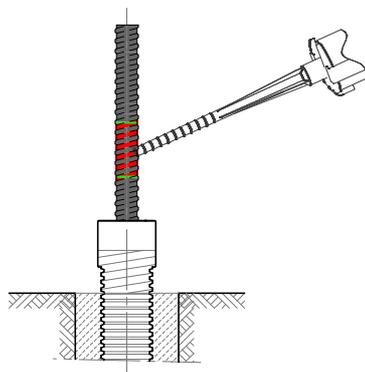
3. Herstellung der geklebten Endverankerung (MABOND) an einem Pfahl mit DCP

3.1



Positionen der Kopfkompenten (Ankermutter, Kontermutter, Ankerstück, Pfahlkopfplatte) am Stab markieren.

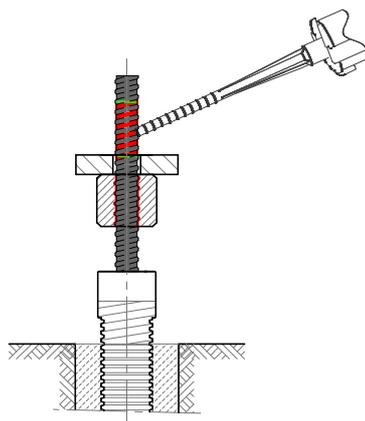
3.2



Über den gesamten markierten Bereich des Stabes für die untere Mutter / Kontermutter / Ankerstück den kompletten Gewindegrund mit MABOND auffüllen.

Mutter / Kontermutter / Ankerstück gemäß Anlagen 1 bis 5 bis zur unteren Stabmarkierung aufschrauben und Pfahlkopfplatte falls erforderlich montieren.

3.3

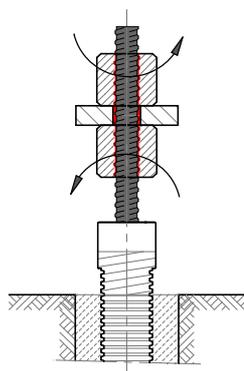


Über den gesamten markierten Bereich des Stabes für die obere Mutter / Kontermutter / Ankerstück den kompletten Gewindegrund mit MABOND auffüllen.

Gegebenenfalls ist der Ringraum zwischen Pfahlkopfplatte und Stab ebenfalls aufzufüllen.

Mutter / Kontermutter / Ankerstück gemäß Anlagen 1 bis 5 komplett aufschrauben.

3.4



Endverankerung mit Spezial-Zangen kontern (Kontermomente gemäß Anlage 6).



Korrosionsschutz durch Feuerverzinken

- Die Feuerverzinkung erfolgt in Verzinkereien gem. ÖNORM EN ISO 1461. Die mittlere Dicke der Zinkschicht muss mindestens 85 µm betragen. Auf die Schraubbarkeit der Zubehörteile ist dabei besonders zu achten.

Dauerkorrosionsschutz

- Der auf Maß abgelängte Stabstahl wird in der vollen Stahllänge abzüglich der Schraubbereiche für den Pfahlkopf mit Abstandhaltern in Form einer PE-Schnur bzw. Rippendistanzhaltern und einem gerippten Hüllrohr versehen. Am Pfahlfuß wird eine Injizierkappe, am Pfahlkopf eine Entlüftungskappe angeordnet und mittels Klebeband gegen das gerippte Hüllrohr abgedichtet.
- Bei der Herstellung von Teilstücken mit Muffenverbindung werden an beiden Enden Entlüftungskappen montiert.
- Der Ringraum zwischen Stabstahl und geripptem Hüllrohr wird im geeigneten Montagezustand auf einer Injizierbühne mit Zementmörtel verpresst. Die fertig verpressten Pfähle dürfen erst nach 12 Stunden von der Injizierbühne abgehoben und verladen werden, geeignete Temperaturverhältnisse für Injektion und Erhärtung vorausgesetzt.
- Wahlweise ist auch die Fertigung eines längeren Stabes mit ausinjizierter Hüllrohrummantelung möglich. Nach erfolgter Aushärtung wird der Stab in Teilabschnitte getrennt und die Enden zur Muffung vorbereitet.
- Die Federkorbdistanzhalter zur Sicherung der zentrischen Lage des Ripprohres im Bohrloch werden auf der Baustelle montiert, ebenso allfällig benötigte Nachverpresssysteme.



Transport und Lagerung

- Die Wirksamkeit des Dauerkorrosionsschutzes des Pfahles setzt voraus, dass besonders beim Transport, der Lagerung und beim Einbau die Hüllrohre nicht durch unsachgemäße Behandlung verletzt werden.
- Die Pfähle sind bodenfrei zu lagern, die Unterstützungspunkte sind in geeigneten Abständen zur Vermeidung von Durchbiegungen zu wählen und dürfen nicht scharfkantig sein. Das Stapeln von Pfählen ist nur parallel neben- und übereinander zulässig. Das Eigengewicht darf nicht zum Beschädigen der unteren Lagen von gestapelten Pfählen führen.

Einbau

- Die Herstellung des Bohrloches erfolgt in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen unverrohrt, verrohrt oder teilweise verrohrt. Das Bohrloch ist vor dem Einbau des Pfahles sorgfältig zu säubern.
- Der Bohrlochdurchmesser ist so zu wählen, dass der Pfahl inkl. Federkorbdistanzhalter einwandfrei eingeführt werden kann, ohne dass die Hüllrohre durch scharfe Kanten z.B. der Bohrverrohrung verletzt werden können. Der Bohrlochdurchmesser ist dem Durchmesser der Muffenverbindung und der erforderlichen Mindestüberdeckung anzupassen.
- Beim Transport des Pfahles zum Bohrloch und beim Einschieben sind Verbiegungen zu vermeiden. Bei Krantransport sollte eine Traverse mit mehreren Aufhängepunkten verwendet werden.
- Beim Einbau in Teilstücken ist während des Einbaus die Montage der Muffe vorzunehmen. Bei Druckbeanspruchung kann auch eine Kontaktmuffe verwendet werden. Bei Verwendung des Klebesystems SAS MABOND sind die **Anlagen 15 bis 17** zu beachten.
- Beim Dauerpfahl mit DCP erfolgt der Korrosionsschutz der Muffe mittels Schrumpfschlauch, wobei auf eine ausreichende Überlappung zum Ripprohr des Dauerkorrosionsschutzes zu achten ist.
- Der Pfahl wird in das gesäuberte Bohrloch zentrisch eingebaut und anschließend mit Zementmörtel verpresst bzw. in das bereits mit Zementmörtel gefüllte Bohrloch eingebaut und anschließend verpresst.
- Beim Dauerpfahl mit DCP ist das Ripprohr des Dauerkorrosionsschutzes bis in den Fundamentkörper zu führen.
- Die Pfahlkopfausführung erfolgt mittels gekonterter Pfahlkopfplatte oder mittels gekontertem Ankerstück. Bei Verwendung des Klebesystems SAS MABOND sind die **Anlagen 15 bis 17** zu beachten.



Anker | Nagel | Pfahl
A N P - SYSTEMS

ZUVERLÄSSIG . KOMPETENT . INTERNATIONAL

ANP-Systems GmbH
Christophorusstraße 12
5061 Elsbethen / Austria
Tel. + 43 662 25 32 53-0

Mail info@anp-systems.at
Web www.anp-systems.at
UID Nr. ATU65027026
Landesgericht Salzburg, FN 329 235w

Oberbank Salzburg
SWIFT OBKLAT2L
IBAN AT30 1509 0001 1114 5116
Dienstgeberrn. 401632640

Enerpac Hydraulikzylinder sind in über 100 verschiedenen Ausführungen lieferbar. Welcher Art die Anwendung auch sein mag - Heben, Schieben, Ziehen, Halten, Biegen usw. und welche Größe, Leistung, Hublänge oder Modellart Sie benötigen – einfach- oder doppelwirkend, mit Voll-, Hohlkolben oder Spreiz-zylinder – es gibt einen Enerpac Zylinder für jeden Zweck. Enerpac Hubzylinder entsprechen ASME B30.1 (mit Ausnahme der Zylinder der BRD-Serie).



GR2-Lagersystem

Der neue RC Serie DUO Zylinder, mit dem GR2-Lagersystem ist die nächste Generation mit dem zuverlässigen "Golden Ring"-Design. Er absorbiert exzentrische Belastungen und schützt damit Ihren Zylinder gegen Abnutzung, Überstrecken oder Ausfall des Kolbens. Die neuen RC Serie Duo Zylinder garantieren längere, problemlose Leistung.

Verbesserte Druckstückbefestigung

Gehärtetes Druckstück schützt Kolbenende bei allen Hebevorgängen. Für Zugriff auf Kolbeninnengewinde einfach abnehmbar.

Gewinde- und Anschlusschutz

Der Gewindeschutz lässt sich problemlos anbringen und lösen, auch mit Schutzhandschuhen oder Öl verschmierten Händen.

Wartungsfreundlich

Externer Zugriff auf Befestigungen mit Hilfe von Standardwerkzeugen für problemlose Wartung.

Leistungsstarke Rückzugfeder

Vorgespannte Rückzugfeder verkürzt die Einfahrgeschwindigkeit und steigert damit die Leistung.

GR2-Lagersystem

GR2-Design umschließt Dichtung der Modelle mit größerer Hublänge, für längere Betriebslebensdauer und geringere Lagerbelastung. Lagerfläche erhöht Seitenlast-beständigkeit und verbessert die Lebensdauer der Zylinder beträchtlich.

Anschlusskappe

Auch die Anschlusskappe lässt sich dank ihrer neuen Form und des biegsameren Materials einfach aufsetzen und abnehmen, auch mit Schutzhandschuhen oder Öl verschmierten Händen.

Wartungsfreundlich

Externer Zugriff auf Befestigungen mit Hilfe von Standardwerkzeugen für problemlose Wartung.



Bitte beachten: Die Schnittansicht entspricht dem typischen Aufbau der RC-Zylinder, und trifft daher nicht auf alle in diesem Katalogteil dargestellten Zylinder zu.



Übersicht über Zylinder und Hebegeräte

Druckkraft ¹⁾ t (kN)	Hublänge (mm)	Zylindertyp und Funktionen	Serie	Seite
5 - 95 (45 - 933)	16 - 362	Mehrzweckzylinder, einfachwirkend einschl. Zubehör: Druckstücke, Zylinderfuß, Flanschbefestigung, Einhängeösen 	RC A, CAT JBI, RE	 6 ▶ 10 ▶
20 - 150 (229 - 1589)	50 - 250	Aluminiumzylinder, einfachwirkend, mit Sicherungs- mutter, Hohlkolben   	RAC RACL RACH	 12 ▶ 14 ▶ 16 ▶
20 - 150 (229 - 1589)	50 - 250	Aluminiumzylinder, doppeltwirkend 	RAR	 18 ▶
14 - 31 (137 - 309)	270 - 600	Teleskopzylinder, mehrstufig, einfachwirkend, Lastrückzug 	RT	 20 ▶
5 - 150 (45 - 1386)	6 - 62	Flachzylinder, einfachwirkend Kurzhubzylinder, einfachwirkend 	RSM RCS	 22 ▶
10 - 1000 (97 - 10.165)	6 - 17	Ultra-Flach-Zylinder mit Stoppring Ultra-Flach-Zylinder, Schwerlast einfachwirkend, Lastrückzug 	CULP CUSP	 24 ▶ 25 ▶
60 - 500 (606 - 5114)	45 - 50	Flachzylinder mit Sicherungsmutter einfachwirkend, Lastrückzug 	LPL	 26 ▶
2,5 - 50 (24 - 506)	127 - 154	Zugzylinder, einfachwirkend 	BRC BRP	 28 ▶
13 - 145 (125 - 1429)	8 - 258	Hohlkolbenzylinder, einfach- und doppeltwirkend  	RCH RRH	 30 ▶ 32 ▶
4 - 23 (35 - 222)	28 - 260	Industriezylinder, doppeltwirkend (einschliesslich Montagezubehör) 	BRD	 34 ▶
10 - 520 (101 - 5108)	16 - 1219	Langhubzylinder, doppeltwirkend 	RR	 36 ▶
50 - 1000 (550 - 10.644)	50 - 300	Schwerlastzylinder, einfach- und doppeltwirkend  	HCG HCR	 44 ▶ 48 ▶
50 - 1000 (550 - 10.644)	50 - 300	Schwerlastzylinder mit Sicherungs- mutter, einfach- und doppeltwirkend  	HCL HCRL	 52 ▶ 56 ▶
1 - 95 (8,9 - 933)	11 - 362	Pumpen- und Zylindersätze, einfachwirkend Produkte für extreme Bedingungen Power Box – Tragbare Werkzeugset 	SC RC, P, V SL, SR, SW	 58 ▶ 60 ▶ 61 ▶
2 - 150 (20 - 1335)	62 - 460	Aluminium- und Stahlheber 	JH, JHA GBJ	 62 ▶ 63 ▶
54 - 181 (533 - 1778)	356 - 686	POW'R RISER® Hydraulikheber POW'R-LOCK™ Mobiles Hebesystem 	PR PL	 64 ▶ 66 ▶

¹⁾ Alle Angaben zu Zylinderkräften in diesem Katalog sind in metrischen Tonnen und dienen nur der Zylindereinteilung.
Für Berechnungen verwenden Sie bitte nur die Angaben in kN.

▼ Von links nach rechts: RC-506, RC-2510, RC-154, RC-10010, RC-55, RC-1010



- **GR2-Design umschließt Dichtung der Modelle mit größerer Hublänge, für längere Betriebslebensdauer und geringere Lagerbelastung**
- **Außengewinde am Zylinderkopf, Kolbenstangeninnengewinde sowie Befestigungsgewinde am Zylinderboden ermöglichen eine einfache Montage (gilt für fast alle Modelle)**
- **Entwickelt für den Einsatz in allen Lagen**
- **Hergestellt aus hochfestem, legiertem Stahl**
- **Vorgespannte Rückzugfeder verkürzt die Einfahrgeschwindigkeit und steigert damit die Leistung**
- **Ausführung mit Einbrennlack für erhöhten Korrosionsschutz**
- **Alle Modelle haben eine CR-400 Kupplungsmuffe mit Staubkappe**
- **Der Abstreifer entfernt Verunreinigungen am Kolben und verlängert so die Lebensdauer des Zylinders.**

▼ *Fundament-Reparatur: Um das Fundament wieder zu stabilisieren, musste der 308 Tonnen schwere Silo angehoben, nivelliert und strukturell unterstützt werden. Dazu wurden 25-Tonnen-Hydraulikheber der RC-Serie an einer Halterung am oberen Ende jedes Stahlpfeilers befestigt. Angetrieben von einer Pumpe der Z-Klasse, wendeten die Hydraulikheber an jeder Stelle 20 Tonnen Kraft auf, um den Silo um 5,1 cm anzuheben.*



Der von der Industrie vorgegebene Standard



Druckstücke

Alle RC-Zylinder sind mit austauschbaren, gehärteten und gerillten Druckstücken versehen. Informationen

über bewegliche Druckstücke finde Sie beim Zubehör.

Seite: 10



Zylinderfüße

Zur Gewährleistung der Stabilität der Zylinder bei Hebeanwendungen sind Zylinderfüße für RC-Zylinder

mit einer Druckkraft von jeweils 10, 25 und 50 t lieferbar.

Seite: 10



Spezialbefestigungen

Als Problemlösung bei Sonderanwendungen sind Spezialbefestigungen für RC-Zylinder mit einer

Druckkraft von 5, 10 und 25 t erhältlich.

Seite: 166

▼ *Synchronhub-Konfiguration für petrochemisches Prozessmodul von 200 t unter Verwendung von 12 Zylindern vom Typ RC2510. Um die Stabilität der Zylinder zu gewährleisten, wurden JBI-25 Grundplatten montiert.*



Einfachwirkende Mehrzweckzylinder



GR2-Lagersystem

Der neue RC Serie DUO Zylinder, mit dem GR2-Lagersystem ist die nächste Generation mit dem zuverlässigen "Golden Ring"-Design. Er absorbiert exzentrische

Belastungen und schützt damit Ihren Zylinder gegen Abnutzung, Überstrecken oder Ausfall des Kolbens. Die neuen RC Serie Duo Zylinder garantieren längere, problemlose Leistung.

▼ AUSWAHLTABELLE

Vollständige technische Informationen finden Sie auf der nächsten Seite.

Zylindertyp	Hub	Modellnummer	Wirksame Kolbenfläche	Ölvolumen	Bauhöhe eingefahren	
t (kN)	(mm)		(cm ²)	(cm ³)	(mm)	(kg)
5 (45)	16	RC-50	6,5	10	41	1,0
	25	RC-51	6,5	16	110	1,0
	76	RC-53	6,5	50	165	1,5
	127	RC-55 *	6,5	83	215	1,9
	177	RC-57	6,5	115	273	2,4
	232	RC-59	6,5	151	323	2,8
10 (101)	26	RC-101	14,5	38	89	1,8
	54	RC-102 *	14,5	78	121	2,3
	105	RC-104	14,5	152	171	3,3
	156	RC-106 *	14,5	226	247	4,4
	203	RC-108	14,5	294	298	5,4
	257	RC-1010 *	14,5	373	349	6,4
	304	RC-1012	14,5	441	400	6,8
	356	RC-1014	14,5	516	450	8,2
15 (142)	25	RC-151	20,3	51	124	3,3
	51	RC-152	20,3	104	149	4,1
	101	RC-154 *	20,3	205	200	5,0
	152	RC-156 *	20,3	308	271	6,8
	203	RC-158	20,3	411	322	8,2
	254	RC-1510	20,3	516	373	9,5
	305	RC-1512	20,3	619	423	10,9
	356	RC-1514	20,3	723	474	11,8
25 (232)	26	RC-251	33,2	86	139	5,9
	50	RC-252 *	33,2	166	165	6,4
	102	RC-254 *	33,2	339	215	8,2
	158	RC-256 *	33,2	525	273	10,0
	210	RC-258	33,2	697	323	12,2
	261	RC-2510	33,2	867	374	14,1
	311	RC-2512	33,2	1033	425	16,3
	362	RC-2514 *	33,2	1202	476	17,7
30(295)	209	RC-308	42,1	880	387	18,1
50 (498)	51	RC-502	71,2	362	176	15,0
	101	RC-504	71,2	719	227	19,1
	159	RC-506 *	71,2	1131	282	23,1
	337	RC-5013	71,2	2399	460	37,6
75 (718)	156	RC-756	102,6	1601	285	29,5
	333	RC-7513	102,6	3417	492	59,0
95 (933)	168	RC-1006	133,3	2239	357	59,0
	260	RC-10010	133,3	3466	449	72,6

* Als Set erhältlich, siehe Hinweis auf dieser Seite.

RC Serie



Druckkraft:

5 - 95 t

Hub:

16 - 362 mm

Max. Betriebsdruck:

700 bar



SICHERHEIT!

Die hier angegebenen Werte für Lasten und Hubhöhen sind max. Sicherheitswerte. Hydraulik-ausrüstungen nur mit 80% dieser Werte belasten!

Seite: 264



Ultra-leichte Aluminiumzylinder

Wenn Sie ein größeres Verhältnis von Zylinderkapazität zu Gewicht benötigen, sind die RAC-Serien die perfekte Wahl.

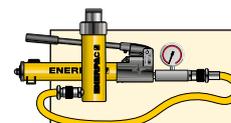
Seite: 13



Manometer

Vermeiden Sie Überlastungen der Hydraulikgeräte. Lesen Sie den Katalogteil Systemkomponenten. Dort finden Sie eine große Auswahl an Manometern.

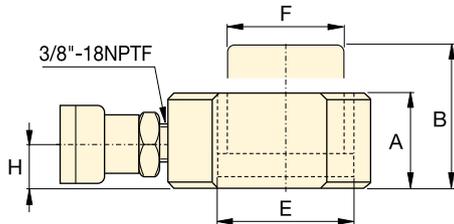
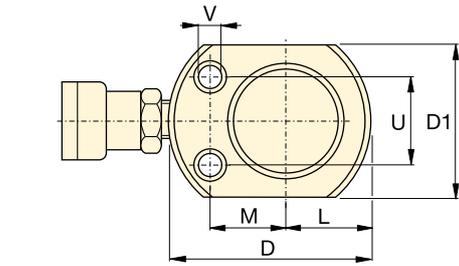
Seite: 121



Pumpen- und Zylindersätze

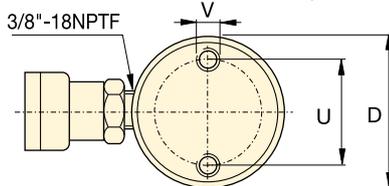
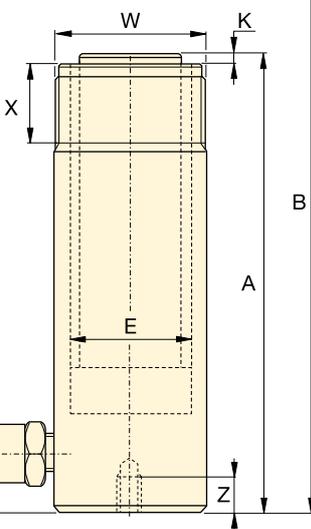
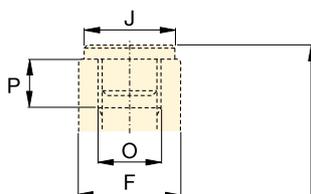
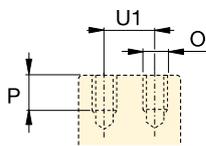
Alle mit einem * markierten Zylinder sind zwecks einfacherer Bestellung als Set (bestehend aus Zylinder, Manometer, Kupplungen, Schlauch und Pumpe) erhältlich.

Seite: 58

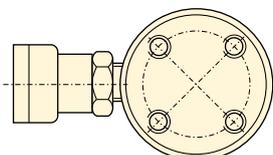


RC-50

nur RC-101
(U1 = 19 mm)



RC-51 - RC-5013



RC-1006, RC-10010



Geschwindigkeitsdiagramm

Um die Ausfahrsgeschwindigkeit Ihres Zylinders festzustellen, verweisen wir auf das Geschwindigkeitsdiagramm für Zylinder in unseren 'Gelben Seiten'.

Seite: **273**

◀ Eine vollständige Übersicht der Merkmale finden Sie auf der vorigen Seite.

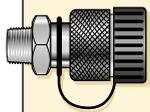
Zylinder-typ	Hub	Modell-nummer	Wirksame Kolbenfläche	Öl-Volumen	Bauhöhe eingefahren	Bauhöhe ausgefahren	Außen-Ø
t (kN)	(mm)		(cm ²)	(cm ³)	A (mm)	B (mm)	D (mm)
5 (45)	16	RC-50 ²⁾	6,5	10	41	57	58 ³⁾
	25	RC-51	6,5	16	110	135	38
	76	RC-53	6,5	50	165	241	38
	127	RC-55 ¹⁾	6,5	83	215	342	38
	177	RC-57	6,5	115	273	450	38
	232	RC-59	6,5	151	323	555	38
10 (101)	26	RC-101 ⁴⁾	14,5	38	89	115	57
	54	RC-102 ¹⁾	14,5	78	121	175	57
	105	RC-104	14,5	152	171	276	57
	156	RC-106 ¹⁾	14,5	226	247	403	57
	203	RC-108	14,5	294	298	501	57
	257	RC-1010 ¹⁾	14,5	373	349	606	57
	304	RC-1012	14,5	441	400	704	57
	356	RC-1014	14,5	516	450	806	57
15 (142)	25	RC-151	20,3	51	124	149	69
	51	RC-152	20,3	104	149	200	69
	101	RC-154 ¹⁾	20,3	205	200	301	69
	152	RC-156 ¹⁾	20,3	308	271	423	69
	203	RC-158	20,3	411	322	525	69
	254	RC-1510	20,3	516	373	627	69
	305	RC-1512	20,3	619	423	728	69
	356	RC-1514	20,3	723	474	830	69
25 (232)	26	RC-251	33,2	86	139	165	85
	50	RC-252 ¹⁾	33,2	166	165	215	85
	102	RC-254 ¹⁾	33,2	339	215	317	85
	158	RC-256 ¹⁾	33,2	525	273	431	85
	210	RC-258	33,2	697	323	533	85
	261	RC-2510	33,2	867	374	635	85
	311	RC-2512	33,2	1033	425	736	85
	362	RC-2514 ¹⁾	33,2	1202	476	838	85
30 (295)	209	RC-308	42,1	880	387	596	101
50 (498)	51	RC-502	71,2	362	176	227	127
	101	RC-504	71,2	719	227	328	127
	159	RC-506 ¹⁾	71,2	1131	282	441	127
	337	RC-5013	71,2	2399	460	797	127
75 (718)	156	RC-756	102,6	1601	285	441	146
	333	RC-7513	102,6	3417	492	825	146
95 (933)	168	RC-1006	133,3	2239	357	525	177
	260	RC-10010	133,3	3466	449	709	177

* Lieferbar als Set. Beachten Sie den Hinweis auf Seite 7.

** RC-50 Zylinder haben ein feststehendes, gerilltes Druckstück und kein Außengewinde.

*** D1 = 41,4 mm, L = 20,5 mm, M = 25,4 mm.

Einfachwirkende Mehrzweckzylinder



Einschließlich Kupplungen!

Alle Modelle werden mit CR-400

Kupplungen geliefert, zum Anschluss von Schläuchen der HC-Serie.

Druckkraft:
5 - 95 t

Hub:
16 - 362 mm

Max. Betriebsdruck:
700 bar

RC Serie



Innen- Ø E (mm)	Kolben- stangen Ø F (mm)	Ölan- schluß- höhe H (mm)	Druck- stück Außen-Ø J (mm)	Kolben- überstand, eingefahren K (mm)	Kolben- bohrung oder gewinde O	Kolben- gewinde- tiefe P (mm)	Bodenbefestigungsbohrungen			Befestigungs- gewinde W	Befest.- gew.- länge X (mm)	 (kg)	Modell- nummer
							Loch- kreis U (mm)	Gewinde V	Gewinde- tiefe Z (mm)				
28,7	25,4	19	2)	2)	2)	2)	28	5,6 mm	—	—	—	1,0	RC-50 ²⁾
28,7	25,4	19	25	6	3/4" - 16 UN	14	25	1/4" - 20 UN	14	1 1/2" - 16 UN	28	1,0	RC-51
28,7	25,4	19	25	6	3/4" - 16 UN	14	25	1/4" - 20 UN	14	1 1/2" - 16 UN	28	1,5	RC-53
28,7	25,4	19	25	6	3/4" - 16 UN	14	25	1/4" - 20 UN	14	1 1/2" - 16 UN	28	1,9	RC-55 ¹⁾
28,7	25,4	19	25	6	3/4" - 16 UN	16	25	1/4" - 20 UN	14	1 1/2" - 16 UN	28	2,4	RC-57
28,7	25,4	19	25	6	3/4" - 16 UN	16	25	1/4" - 20 UN	14	1 1/2" - 16 UN	28	2,8	RC-59
42,9	38,1	19	—	—	#10 - 24 UN	6	39	5/16" - 18 UN	12	2 1/4" - 14 UN	26	1,8	RC-101 ⁴⁾
42,9	38,1	19	35	6	1" - 8 UN	19	39	5/16" - 18 UN	12	2 1/4" - 14 UN	26	2,3	RC-102 ¹⁾
42,9	38,1	19	35	6	1" - 8 UN	19	39	5/16" - 18 UN	12	2 1/4" - 14 UN	26	3,3	RC-104
42,9	38,1	19	35	6	1" - 8 UN	19	39	5/16" - 18 UN	12	2 1/4" - 14 UN	26	4,4	RC-106 ¹⁾
42,9	38,1	19	35	6	1" - 8 UN	19	39	5/16" - 18 UN	12	2 1/4" - 14 UN	26	5,4	RC-108
42,9	38,1	19	35	6	1" - 8 UN	19	39	5/16" - 18 UN	12	2 1/4" - 14 UN	26	6,4	RC-1010 ¹⁾
42,9	38,1	19	35	6	1" - 8 UN	19	39	5/16" - 18 UN	12	2 1/4" - 14 UN	26	6,8	RC-1012
42,9	38,1	19	35	6	1" - 8 UN	19	39	5/16" - 18 UN	12	2 1/4" - 14 UN	26	8,2	RC-1014
50,8	41,4	19	38	9	1" - 8 UN	25	48	3/8" - 16 UN	12	2 3/4" - 16 UN	30	3,3	RC-151
50,8	41,4	19	38	9	1" - 8 UN	22	48	3/8" - 16 UN	12	2 3/4" - 16 UN	30	4,1	RC-152
50,8	41,4	19	38	9	1" - 8 UN	22	48	3/8" - 16 UN	12	2 3/4" - 16 UN	30	5,0	RC-154 ¹⁾
50,8	41,4	25	38	9	1" - 8 UN	25	48	3/8" - 16 UN	12	2 3/4" - 16 UN	30	6,8	RC-156 ¹⁾
50,8	41,4	25	38	9	1" - 8 UN	25	48	3/8" - 16 UN	12	2 3/4" - 16 UN	30	8,2	RC-158
50,8	41,4	25	38	9	1" - 8 UN	25	48	3/8" - 16 UN	12	2 3/4" - 16 UN	30	9,5	RC-1510
50,8	41,4	25	38	9	1" - 8 UN	25	48	3/8" - 16 UN	12	2 3/4" - 16 UN	30	10,9	RC-1512
50,8	41,4	25	38	9	1" - 8 UN	25	48	3/8" - 16 UN	12	2 3/4" - 16 UN	30	11,8	RC-1514
65,0	57,2	25	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	58	1/2" - 13 UN	19	3 5/16" - 12 UN	49	5,9	RC-251
65,0	57,2	25	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	58	1/2" - 13 UN	19	3 5/16" - 12 UN	49	6,4	RC-252 ¹⁾
65,0	57,2	25	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	58	1/2" - 13 UN	19	3 5/16" - 12 UN	49	8,2	RC-254 ¹⁾
65,0	57,2	25	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	58	1/2" - 13 UN	19	3 5/16" - 12 UN	49	10,0	RC-256 ¹⁾
65,0	57,2	25	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	58	1/2" - 13 UN	19	3 5/16" - 12 UN	49	12,2	RC-258
65,0	57,2	25	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	58	1/2" - 13 UN	19	3 5/16" - 12 UN	49	14,1	RC-2510
65,0	57,2	25	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	58	1/2" - 13 UN	19	3 5/16" - 12 UN	49	16,3	RC-2512
65,0	57,2	25	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	58	1/2" - 13 UN	19	3 5/16" - 12 UN	49	17,7	RC-2514 ¹⁾
73,2	57,2	57	50	10	1 1/2" - 16 UN	25	—	—	—	3 5/16" - 12 UN	49	18,1	RC-308
95,2	79,5	33	71	2	—	—	95	1/2" - 13 UN	19	5" - 12 UN	55	15,0	RC-502
95,2	79,5	33	71	2	—	—	95	1/2" - 13 UN	19	5" - 12 UN	55	19,1	RC-504
95,2	79,5	35	71	2	—	—	95	1/2" - 13 UN	19	5" - 12 UN	55	23,1	RC-506 ¹⁾
95,2	79,5	35	71	2	—	—	95	1/2" - 13 UN	19	5" - 12 UN	55	37,6	RC-5013
114,3	95,2	30	71	5	—	—	—	—	—	5 3/4" - 12 UN	44	29,5	RC-756
114,3	95,2	30	71	5	—	—	—	—	—	5 3/4" - 12 UN	44	59,0	RC-7513
130,3	104,9	41	71	2	—	—	140	3/4" - 10 UN	25	6 7/8" - 12 UN	44	59,0	RC-1006
130,3	104,9	41	71	2	—	—	140	3/4" - 10 UN	25	6 7/8" - 12 UN	44	72,6	RC-10010

▼ Von links nach rechts: RACH-1504, RACH-15010, RACH-206, RACH-306



Die Leichtbaulösung für das Spannen und Testen



Druckstücke

Alle RACH-Zylinder sind mit einem austauschbaren und gehärteten Hohldruckstück versehen.



Leichtgewicht-Handpumpe

Wenn Sie einen RACH Aluminiumzylinder wählen, können Sie ihn mit den Enerpac Pumpen P-392 oder

P-802 zu einem optimalen, tragbaren Set erweitern

Seite: **72**

- Das Hohlkolbendesign ermöglicht Zug- und Schubkräfte
- Führungsbänder verlängern die Lebensdauer des Zylinders und verbessern die Seitenlastverträglichkeit
- Die gehärtete Oberflächenbeschichtung schützt vor Schäden und verlängert die Lebensdauer der Zylinder
- Das freitragende Kolbenführungsrohr verlängert die Lebensdauer der Dichtung wie auch des Produkts
- Griffe seriemässig bei allen Modellen
- Die Stahlgrundplatte und das Druckstück schützen vor Lastschäden
- Der integrierte Anschlagring verhindert ein zu weites Ausfahren des Kolbens und kann der vollen Zylinderkapazität standhalten
- Die leistungsstarke Rückzugfeder sorgt für einen schnellen Zylinderrückzug.



◀ Ein RACH-306, angetrieben von einer P-392 Handpumpe, dient zum Herausziehen korrodierter Karosseriezapfen aus Entsorgungsfahrzeugen.

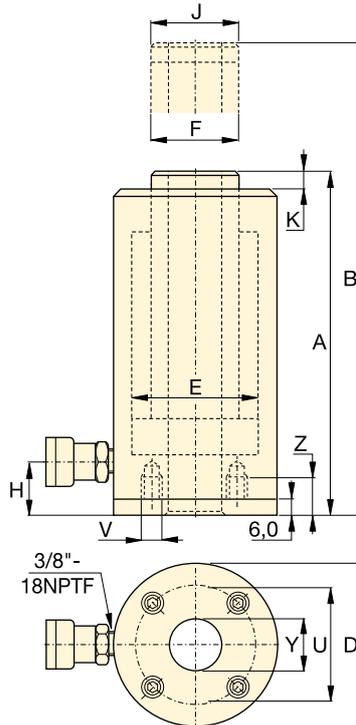
Zylinder-typ t (kN)	Hub (mm)	Modell-nummer	Wirksame Kolbenfläche (cm ²)
20 (229)	50	RACH-202	32,7
	100	RACH-204	32,7
	150	RACH-206	32,7
	200	RACH-208	32,7
	250	RACH-2010	32,7
30 (358)	50	RACH-302	51,1
	100	RACH-304	51,1
	150	RACH-306	51,1
	200	RACH-308	51,1
	250	RACH-3010	51,1
60 (596)	50	RACH-602	84,7
	100	RACH-604	84,7
	150	RACH-606	84,7
	200	RACH-608	84,7
	250	RACH-6010	84,7
100 (1157)	50	RACH-1002	164,6
	100	RACH-1004	164,6
	150	RACH-1006	164,6
	200	RACH-1008	164,6
	250	RACH-10010	164,6
150 (1588)	50	RACH-1502	225,8
	100	RACH-1504	225,8
	150	RACH-1506	225,8
	200	RACH-1508	225,8
	250	RACH-15010	225,8

Einfachwirkende Hohlkolbenzylinder aus Aluminium

Abmessungen der Befestigungslöcher

Modell / Kapazität	Lochkreis Ø U (mm)	Gewinde V (mm)	Gewinde- tiefe ¹⁾ Z (mm)
RACH-20	80	M6	12
RACH-30	110	M6	12
RACH-60	160	M6	12
RACH-100	220	M10	12
RACH-150	245	M10	12

¹⁾ Einschließlich einer Grundplattenhöhe von 6 mm und 4 Montageschrauben.



RACH
Serie



Druckkraft:

20 - 150 t

Hub:

50 - 250 mm

Mittellochdurchmesser:

27 - 79 mm

Max. Betriebsdruck:

700 bar

Öl- volumen	Bauhöhe einge- fahren A	Bauhöhe ausge- fahren B	Außen- durch- messer D	Innen- durch- messer E	Kolben- stangen Ø F	Ölan- schluss- höhe H	Druck- stück Ø J	Druckstück- überstand K	Mittel- loch Ø Y		Modell- nummer
(cm ³)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg)	
164	188	238	100	75	55	29	55	10	27	5,2	RACH-202
327	251	351	100	75	55	29	55	10	27	6,1	RACH-204
491	315	465	100	75	55	29	55	10	27	7,1	RACH-206
654	378	578	100	75	55	29	55	10	27	8,0	RACH-208
818	442	692	100	75	55	29	55	10	27	9,0	RACH-2010
256	208	258	130	95	70	29	70	10	34	8,0	RACH-302
511	267	367	130	95	70	29	70	10	34	9,5	RACH-304
766	333	483	130	95	70	29	70	10	34	11,2	RACH-306
1022	395	595	130	95	70	29	70	10	34	12,9	RACH-308
1277	458	708	130	95	70	29	70	10	34	14,5	RACH-3010
423	251	301	180	130	100	61	100	12	54	16,2	RACH-602
847	315	415	180	130	100	61	100	12	54	19,5	RACH-604
1270	380	530	180	130	100	61	100	12	54	25,6	RACH-606
1694	445	645	180	130	100	61	100	12	54	26,0	RACH-608
2117	510	760	180	130	100	61	100	12	54	29,6	RACH-6010
823	258	308	250	185	145	61	145	14	79	33,8	RACH-1002
1646	325	425	250	185	145	61	145	14	79	39,8	RACH-1004
2487	391	541	250	185	145	61	145	14	79	46,2	RACH-1006
3291	459	659	250	185	145	61	145	14	79	52,2	RACH-1008
4114	527	777	250	185	145	61	145	14	79	58,8	RACH-10010
1129	280	330	275	205	150	61	145	14	79	48,9	RACH-1502
2258	360	460	275	205	150	61	145	14	79	55,7	RACH-1504
3387	430	580	275	205	150	61	145	14	79	63,0	RACH-1506
4517	500	700	275	205	150	61	145	14	79	70,1	RACH-1508
5646	570	820	275	205	150	61	145	14	79	77,2	RACH-15010