



Oliver Daringer, Bsc

**Untersuchungen von natürlichen und
wiederhergestellten, fein laminierten, schluffigen
Böden mittels Ödometer**

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Geotechnik und Wasserbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

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

Institut für

Bodenmechanik und Grundbau

Dipl.-Ing. BSc Michael Havinga

Institut für Bodenmechanik und Grundbau

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.

Graz, am

.....
(Unterschrift)

Statutory declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,

.....
(signature)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mich während der Anfertigung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Dipl.-Ing Michael Havinga, der meine Masterarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hervorragende Zusammenarbeit, den hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik möchte ich mich herzlich bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich von universitärer Seite, bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte bedanken, der für mich durch seine interessanten Vorlesungen, das Fachgebiet der Geotechnik bereichert. Des Weiteren, bedanke ich mich beim Team des Geotechnischen Labors der TU Graz für die tatkräftige Unterstützung.

Daneben gilt mein Dank all jenen Studienkollegen und dazugewonnenen Freunden, die mich vom Studium abhielten und zu Bier und Kaffee entführten, um zwischendurch abzuschalten.

Ein besonderer Dank, gilt meinen Eltern Gertraud und Helmut, für die jahrelange finanzielle und moralische Unterstützung, durch die Schulzeit und das Studium, sowie für alles andere, das sie mir ermöglicht haben. Ein weiterer Dank, gilt meiner Oma Hildegard und meinem Bruder Thomas, die mich während der Studienzeit unterstützt und motiviert haben.

Einen herzlichen Dank möchte ich meiner Lebensgefährtin Waltraud widmen, die mich in allen Lebenslagen, durch mein ganzes Studium begleitet hat.

Graz, im März 2016

Oliver Daringer

Kurzfassung

Die gegenständliche Masterarbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung von natürlichen und wiederhergestellten, fein laminierten, schluff dominierten Böden mittels Kompressionsversuchen. Der Prozess der Wiederherstellung, wie Slurry Deposition Methode wurde aufbauend auf Scheriau (2015) verfeinert und für die In Place Wet Pluviation Methode wurde ein funktionierender Versuchsablauf erarbeitet, welcher durch Vorversuche erprobt wurde. Die Methoden wurden dabei auf die jeweilige Bodenart abgestimmt.

Der Fokus dieser Arbeit liegt dabei auf der Ermittlung der maximalen geologischen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ von natürlichen Bodenproben per Ödometerversuche und in der anschließenden Beobachtung des Zeitsetzungsverhaltens der wiederhergestellten Proben während der Vorkonsolidierung.

Dazu wurden Ödometer-Versuchsreihen, mit natürlichen Proben, Slurry Deposition- und In Place Wet Pluviation Proben nach ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015) im Labor untersucht. Die daraus erlangten Erkenntnisse, wurden für eine spätere Rekonstruktion in einem Prozessdiagramm, je nach Methode dargestellt, präzise dokumentiert und erläutert.

Des Weiteren wurden die Kenntnisse aus den Vorversuchen und Versuchen der In-Place Wet Pluviation Methode, zur Entwicklung einer Sedimentationseinrichtung genutzt. Dadurch konnten frühzeitig Problemstellungen in der Versuchskonstruktion erkannt und berücksichtigt werden.

Abschließend wurden die Resultate der Versuchsreihen, inhaltlich nach dem Entnahmeort, der Vorkonsolidierung und dem Kompressionsversuch gemeinsam dargestellt und analysiert, um etwaige Strukturänderungen ersichtlich zu machen und zu verifizieren. Die Analyse des Kompressionsversuches beinhaltet dabei die Darstellung der Korngrößenverteilung, die zugehörigen Querschnittsbilder und die Bodenparameter vor und nach dem Ödometerversuch.

Abstract

The following master thesis deals with the investigation of natural and reconstituted finely laminated silt dominated soils by means of compression tests. The process of reconstitution, such as slurry deposition method, was refined on the basis of Scheriau (2015) and for the in-place wet pluviation method a working experiment was carried out which was tested by preliminary tests. The methods were adapted to the respective soil type.

This thesis focuses on the determination of the maximum pre-consolidation stress of natural soil samples by means of oedometric tests and the subsequent observation of the time-setting behaviour of the reconstituted samples during pre-consolidation.

For this purpose, oedometric test series, with natural samples, slurry deposition and In Place Wet Pluviation samples according to ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015), were tested in the laboratory. The findings obtained from this process were precisely documented and explained for a later reconstruction in a process diagram, depending on the method.

Furthermore, the knowledge from the preliminary- and the experiment of the in-place wet pluviation method was used to develop a sedimentation device. As a result, problems could be identified and taken into account in early stages.

Finally, the results of the series of experiments, with regard to the place of extraction, the pre-consolidation and the compression test, were jointly presented and analysed, in order to make any structural changes visible and to verify them. The analysis of the compression test involves the representation of the grain size distribution, the corresponding cross-sectional images and the soil parameters before and after the oedometric test.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	2
2.1	Bodenklassifizierung nach ÖNORM B 4400-1 (2010).....	2
2.1.1	Korngrößenbereich und Bezeichnung	2
2.2	Konsolidierungstheorie nach Terzaghi und Peck (1996).....	4
2.3	Ermittlung der maximalen geologischen Vorbelastung $\sigma_{v,max}$	5
2.3.1	Verfahren nach Casagrande (1936).....	6
2.3.2	Verfahren nach Van Zelst (1948)	7
2.3.3	Verfahren nach Burmister (1952).....	8
2.3.4	Verfahren nach Ohde (1949).....	9
2.3.5	Verfahren nach Rutledge (1944), Hvorslev (1949) und Schmertmann (1953)	10
2.3.6	Verfahren nach Murayama und Shibata (1958).....	11
2.3.7	Verfahren nach Kotzias (1963).....	12
2.3.8	Verfahren unter Nutzung des Kompressions- und Schwellbeiwertes.....	13
2.3.9	Bewertung der Verfahren	15
2.4	Verfahren zur Wiederherstellung von Sedimenten	19
2.4.1	Slurry Deposition.....	19
2.4.2	In-Place Wet Pluviation	19
2.4.3	Wet Pluviation	20
2.4.4	Weitere Verfahren.....	20
3	Versuchseinrichtung.....	21
3.1	Ödometerversuch nach ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015)	21
3.2	Mischanlage.....	23
3.3	Aufsatzzylinder.....	24
3.4	Kernstechzylinder.....	25
3.4.1	Bewertung der Kernstechzylinder.....	25
3.5	Korngrößenverteilung der untersuchten Bodenproben	27

3.6	Röntgendiffraktometeranalyse.....	27
3.6.1	Gesamtmineralbestand	27
3.6.2	Tonmineralbestand	28
4	Versuchsablauf	29
4.1	Slurry Deposition Methode	29
4.1.1	Slurry Deposition Prozess Übersicht	29
4.1.2	Versuchsvorbereitung	30
4.1.3	Ödometerversuch der natürlichen Bodenprobe	30
4.1.4	Bodenparameter der natürlichen Bodenprobe	34
4.1.5	Auswertung der natürlichen Proben	34
4.1.6	Aufbereitung der Slurry Deposition Probe	35
4.1.7	Vorkonsolidierung der Slurry Deposition / In-Place Wet Pluviation Probe..	37
4.1.8	Ödometerversuch der Slurry Deposition / In-Place Wet Pluviation Probe..	39
4.1.9	Bodenparameter der Slurry Deposition / In-Place Wet Pluviation Probe.	40
4.1.10	Auswertung der Slurry Deposition / In-Place Wet Pluviation Probe	40
4.1.11	Analyse der Ergebnisse	40
4.2	Vorversuche der In-Place Wet Pluviation Methode.....	41
4.2.1	Versuchsanordnung	41
4.2.2	Versuchsreihen	42
4.2.3	Versuchsablauf	43
4.2.4	Auswertung der Vorversuche	43
4.3	In-Place Wet Pluviation Methode	48
4.3.1	In-Place Wet Pluviation Prozess Übersicht.....	48
4.3.2	Aufbereitung der In-Place Wet Pluviation Probe.....	49
4.3.3	Resümee zum Prozess der In-Place Wet Pluviation Methode	50
5	Wet Pluviation Sedimentationseinrichtung als digitales 3D-Modell	53
5.1	Anforderungen	53
5.2	Übersicht der Konstruktion	53

5.3	Sedimentationseinrichtung	56
5.3.1	Bodenentnahmevorrichtung	57
5.3.2	Wasserbehälter und Höhenverstellung.....	57
5.3.3	Sedimentationsbehälter.....	58
5.3.4	Dichtung und Halterung.....	59
5.3.5	Filterplatte und Gitterrost.....	59
5.3.6	Bodenbehälter.....	59
5.4	Entnahmebehälter	60
5.5	Vorkonsolidierungsvorrichtung	61
6	Untersuchung von nat. und künstl. wiederhergestellten Bodenproben	63
6.1	GIN_0,80-1,20	64
6.1.1	Probeentnahmeort	64
6.1.2	Vorkonsolidierung	65
6.1.3	Kompressionskurve.....	67
6.2	GIN_0,90-1,30	71
6.2.1	Probeentnahmeort	71
6.2.2	Vorkonsolidierung	71
6.2.3	Kompressionsversuch.....	74
6.3	HIN_44,10-44,50.....	82
6.3.1	Probeentnahmeort	82
6.3.2	Vorkonsolidierung	82
6.3.3	Kompressionsversuch.....	85
6.4	Vergleich zwischen den Versuchsreihen	91
6.4.1	GIN_0,80-1,20 und GIN_0,90-1,30	91
6.4.2	Gesamtmineral- und Tonmineralbestand	94
7	Fazit & Handlungsempfehlung	95
8	Literaturverzeichnis	97
9	Anhang.....	99
9.1	Abmessungen der Wet Pluviation Sedimentationseinrichtung.....	99

9.1.1	Bodenentnahmevorrichtung	99
9.1.2	Wasserbehälter und Höhenverstellung.....	99
9.1.3	Sedimentationsbehälter.....	101
9.1.4	Dichtung und Halterung.....	101
9.1.5	Filterplatte und Gitterrost.....	102
9.1.6	Bodenbehälter.....	103
9.1.7	Entnahmebehälter.....	103
9.1.8	Vorkonsolidierungsvorrichtung	104
9.2	Versuchs- und Auswertungsübersicht.....	105

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Einfluss einer Vorkonsolidierung $\sigma_{v,max}$ auf die Kompressionskurve.....	5
Abb. 2	Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Casagrande (1936).....	6
Abb. 3	Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Van Zelst (1948)	7
Abb. 4	Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Burmister (1952)	8
Abb. 5	Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Ohde (1949).....	9
Abb. 6	Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Rutledge (1944), Hvorslev (1949) und Schmetmann (1953).....	10
Abb. 7	Bestimmung des Kriechbeiwertes C_α nach Murayama und Shibata (1958)....	11
Abb. 8	Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Murayama und Shibata (1958).....	12
Abb. 9	Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Kotzias (1949).....	13
Abb. 10	Ermittlung der bezogenen Setzung $s^i_{\sigma_{v,max}}$ nach Kotzias (1949).....	13
Abb. 11	Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Pelz (2010).....	14
Abb. 12	Vorkonsolidierungsspannung nach Burmister GIN_0,90-1,30_NP.1	15
Abb. 13	Vorkonsolidierungsspannung nach Ohde GIN_0,90-1,30_NP.1	16
Abb. 14	Porenzahl e GIN_0,80-1,20_NP.1	18
Abb. 15	Belastungssequenz	22
Abb. 16	Mischanlage mit angeschlossenem Entlüftungssystem	23
Abb. 17	Mischanlage während Mischvorgang.....	23
Abb. 18	Aufsatzzylinder mit Gummidichtung.....	24
Abb. 19	Aufsatzzylinder auf der Ödometerzelle montiert.....	24
Abb. 20	Kernstechzylinder	25
Abb. 21	getrocknete Kernprobe GIN_0,90-1,30_NP.3	25
Abb. 22	Korngrößenverteilung aller natürlichen Proben.....	27
Abb. 23	Slurry Deposition Prozess.....	29
Abb. 24	Einteilung der Entnahme aus einem Bohrkern	31
Abb. 25	Entnahme einer ungestörten Ödometerprobe (GIN_0,80-1,20_SD.1).....	31
Abb. 26	Oberseite Ödometerprobe (GIN_0,90-1,30_NP.3).....	31
Abb. 27	Unterseite Ödometerprobe (GIN_0,90-1,30_NP.3)	31
Abb. 28	Einzelteil der Ödometerzelle	32
Abb. 29	Versuchsstart einer Ödometerprobe	32
Abb. 30	getrocknete Ödometerprobe GIN_090-1,30_NP.1	33
Abb. 31	Querschnittsbild GIN_0,80-1,20_SD.1	33
Abb. 32	eingewogene Trockenmasse	36
Abb. 33	überschüssiges Wasser nach dem Absetzprozess	36
Abb. 34	Innenansicht des Aufsatzzylinders montiert auf der Ödometerzelle	37

Abb. 35	Bestimmung der Ausgangshöhe	37
Abb. 36	verlängerter Druckstempel.....	37
Abb. 37	SD Probe vor dem Vorkonsolidierungsbeginn.....	37
Abb. 38	Abbruch Kriterienprüfung	38
Abb. 39	SD Probe nach Ausbau aus dem Aufsatzzylinder	39
Abb. 40	schrittweises Entfernen der überschüssigen SD Probe (1)	39
Abb. 41	schrittweises Entfernen der überschüssigen SD Probe (2)	39
Abb. 42	fertige SD Ödometerprobe.....	39
Abb. 43	Pipette und Pipettenspitzen	41
Abb. 44	gekappte Pipettenspitze	41
Abb. 45	leeres Reagenzglas	41
Abb. 46	Referenzprobe der Vorversuche aus GIN_0,90-1,30	42
Abb. 47	Sedimentation von Si zu unterschiedlichen Zeitpunkten	43
Abb. 48	Sand wird drucklos eingerieselt	44
Abb. 49	anhaftende Suspension (~100).....	44
Abb. 50	Rückstände auf der Außenseite.....	44
Abb. 51	Oberflächenspannung der Suspension	45
Abb. 52	Siebliniensprung	45
Abb. 53	Verformung durch Überlagerung.....	46
Abb. 54	unterschied der Lagerungsdichte	46
Abb. 55	1. Versuchsreihe.....	47
Abb. 56	2. Versuchsreihe.....	47
Abb. 57	3. Versuchsreihe.....	47
Abb. 58	4. Versuchsreihe.....	47
Abb. 59	4. Versuchsreihe im Vergleich zur Referenzprobe	47
Abb. 60	In-Place Wet Pluviation Prozess	48
Abb. 61	Befüllungsschema	49
Abb. 62	Bimetallkorrosion zw. Befestigungsmaterial und Ödometerzelle	50
Abb. 63	freigelte Randablagerung der Sandschicht	51
Abb. 64	seitliches Umfließen der Suspension	51
Abb. 65	Kontrollprobe	52
Abb. 66	Kontrollprobe im Vergleich zur Referenzprobe.....	52
Abb. 67	zusammengebaute Sedimentationseinrichtung.....	54
Abb. 68	Außenabmessungen zusammengesetzte Sedimentationseinrichtung	54
Abb. 69	Entnahmebehälter	54
Abb. 70	Vorkonsolidierungsvorrichtung.....	54
Abb. 71	zusammengesetzte Vorkonsolidierungsvorrichtung.....	54

Abb. 72	Vorkonsolidierungsvorrichtung.....	55
Abb. 73	zusammengebaute Vorkonsolidierungsvorrichtung.....	55
Abb. 74	Probeentnahmemöglichkeit	55
Abb. 75	Explosionszeichnung der Sedimentationseinrichtung	56
Abb. 76	Bodentnahmevorrichtung.....	57
Abb. 77	Wasserbehälter und Höhenverstellung	58
Abb. 78	Sedimentationsbehälter	58
Abb. 79	Dichtung und Halterung	59
Abb. 80	Filterplatte und Gitterrost	59
Abb. 81	Explosionszeichnung Bodenbehälter	60
Abb. 82	Explosionszeichnung Entnahmevorrichtung	60
Abb. 83	Explosionszeichnung Vorkonsolidierungsvorrichtung.....	61
Abb. 84	Detail Verformungsaufnehmerhalterung	62
Abb. 85	Querschnittsbildausrichtung.....	63
Abb. 86	Ginau, St Johann im Pongau (Bing Maps2017)	64
Abb. 87	Zeitsetzungsverlauf der Vorkonsolidierung GIN_0,80-1,20	66
Abb. 88	Kompressionskurve GIN_0,80-1,20	67
Abb. 89	Korngrößenverteilung GIN_0,80-1,20	68
Abb. 90	GIN_0,80-1,20_NP.1_QB	69
Abb. 91	GIN_0,80-1,20_SD.1_QB	69
Abb. 92	Zeitsetzungskurve des Kompressionsversuches GIN_0,80-1,20	70
Abb. 93	Ausschnitte der Zeitsetzungskurven rechts WP und links SD	72
Abb. 94	Zeitsetzungskurve – Vorkonsolidierung GIN_0,90-1,30	73
Abb. 95	Kompressionskurve GIN_0,90-1,30	74
Abb. 96	Korngrößenverteilung 1.Probenreihe GIN_0,90-1,30	76
Abb. 97	Korngrößenverteilung 2.Probenreihe GIN_0,90-1,30	77
Abb. 98	Korngrößenverteilung 3.Probenreihe GIN_0,90-1,30	77
Abb. 99	Korngrößenverteilung Wet Pluviation Probe GIN_0,90-1,30	78
Abb. 100	GIN_0,90-1,30_NP.1_QB.....	79
Abb. 101	GIN_0,90-1,30_SD.1_QB.....	79
Abb. 102	GIN_0,90-1,30_SD.1.2_QB.....	79
Abb. 103	GIN_0,90-1,30_NP.2_QB.....	80
Abb. 104	GIN_0,90-1,30_SD.2_QB.....	80
Abb. 105	GIN_0,90-1,30_NP.3_QB.....	80
Abb. 106	GIN_0,90-1,30_SD.3_QB.....	80
Abb. 107	WP Referenzprobe.....	80
Abb. 108	GIN_0,90-1,30_WP.1_QB.....	80

Abb. 109	Zeitsetzungskurve des Kompressionsversuches GIN_0,90-1,30.....	81
Abb. 110	Zeitsetzungskurve – Vorkonsolidierung HIN_44,10-44,50	84
Abb. 111	Kompressionskurve HIN_44,10-44,50.....	85
Abb. 112	Korngrößenverteilung 1.Probenreihe HIN_44,10-44,50.....	87
Abb. 113	Korngrößenverteilung 2.Probenreihe HIN_44,10-44,50.....	87
Abb. 114	Korngrößenverteilung 3.Probenreihe HIN_44,10-44,50.....	87
Abb. 115	HIN_44,10-44,50_NP.1_QB	89
Abb. 116	HIN_44,10-44,50_SD.1_QB	89
Abb. 117	HIN_44,10-44,50_NP.2_QB	89
Abb. 118	HIN_44,10-44,50_SD.2_QB	89
Abb. 119	HIN_44,10-44,50_NP.1_QB	89
Abb. 120	HIN_44,10-44,50_SD.1_QB	89
Abb. 121	Zeitsetzungskurve des Kompressionsversuches HIN_44,10-44,50	90
Abb. 122	sämtliche Kompressionskurven aus Ginau.....	91
Abb. 123	Korngrößenverteilung GIN_0,80-1,20_SD.1 vs. GIN_0,90-1,30_WP.1...92	
Abb. 124	KGV: im μm -Bereich GIN_0,80-1,20_NP.1 & HIN_44,10-44,50_NP.3 ...94	
Abb. 125	Abmessungen Bodenentnahmeverrichtung.....	99
Abb. 126	Abmessungen Wasserbehälter und Höhenverstellung	99
Abb. 127	Abmessungsdetail Höhenprofil.....	100
Abb. 128	Abmessungsdetail Höhenverstellung	100
Abb. 129	Abmessungen Sedimentationsbehälter	101
Abb. 130	Abmessungen untere Halterung.....	101
Abb. 131	Abmessungen obere Halterung.....	102
Abb. 132	Abmessungen Filterplatte und Gitterrost	102
Abb. 133	Abmessungen Bodenbehälter	103
Abb. 134	Abmessungen Entnahmeverrichtung.....	103
Abb. 135	Abmessungen Druckpressenhalterung.....	104
Abb. 136	Abmessungen Druckstempelhülle, Druckstempel.....	104
Abb. 137	Abmessungen Filterplatte, Gitterrost und Stempelverlängerung.....	104

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Korngrößenbereich nach ÖNORM B 4400-1 (2010).....	2
Tab. 2	Ausschnitt der Bezeichnungen von Bodenarten nach ÖNORM B 4400-1 (2010)	3
Tab. 3	Belastungssequenz.....	21
Tab. 4	Ergebnisse der Kernstechzylinderproben.....	26
Tab. 5	Bodenkennwert der natürlichen Probe	35
Tab. 6	Korngrößenverteilung der Vorversuche.....	42
Tab. 7	Übersicht der WP Vorversuchsreihen.....	42
Tab. 8	Einfüllmengen der vier Vorversuchsreihen	43
Tab. 9	max. geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ GIN_0,80-1,20.....	65
Tab. 10	Steifemodule E_{oed} GIN_0,80-1,20	68
Tab. 11	Bodenparameter GIN_0,80-1,20.....	68
Tab. 12	max. geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ GIN_0,90-1,30	71
Tab. 13	Steifemodule E_{oed} GIN_0,90-1,30	76
Tab. 14	Bodenparameter GIN_0,90-1,30.....	78
Tab. 15	max. geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ GIN_44,10-44,50 ...	83
Tab. 16	Steifemodule E_{oed} HIN_44,10-44,50.....	86
Tab. 17	Bodenparameter HIN_44,10-44,50	88
Tab. 18	Gesamtmineralbestand GIN_0,80-1,20_NP.1 & HIN_44,10-44,50_NP.3...94	
Tab. 19	Tonmineralbestand GIN_0,80-1,20_NP.1 & HIN_44,10-44,50_NP.3	94
Tab. 20	Versuchs- und Auswertungsübersicht.....	105

Formelzeichen und Abkürzungen

Große Buchstaben

E_{oed}	[kPa]	Steifemodul gemäß Ödometerversuch ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015)
S_r	[-]	Sättigungsgrad
C_α	[-]	Kriechbeiwert
C_C	[-]	Kompressionsbeiwert
C_S	[-]	Schwellbeiwert

Kleine Buchstaben

k	[m/s]	Durchlässigkeitsbeiwert
e	[-]	Porenzahl
s^f	[-]	spezifische Setzung
$s'_{\sigma_v, max}$	[-]	spez. Setzung an der max. geologischen Vorkonsolidierungsspannung
t	[s]	Zeit
w	[-]	Wassergehalt
w_L	[-]	Fließgrenze
i_0	[-]	Stagnationsgradient
e_{vorher}	[-]	Anfangsporenzahl
$e_{nachher}$	[-]	Endporenzahl
n	[%]	Porenziffer

Griechische Buchstaben

σ_v	[kPa]	Vertikalspannung
$\sigma_{v, max}$	[kPa]	maximale geologische Vorkonsolidierungsspannung
$\sigma_{v, in-situ}$	[kPa]	vorhandene Spannung zur Zeit der Entnahme am Probeentnahmeort
K	[1/m]	Krümmung
ρ_s	[kg/m ³]	Korndichte
ρ_w	[kg/m ³]	Dichte des Wassers
ρ_f	[kg/m ³]	Feuchtdichte
ρ_d	[kg/m ³]	Trockendichte

Abkürzungen

GIN	Ginau
HIN	Muhr
NP	ungestörte, natürliche Bodenprobe
SD	Slurry Deposition

WP	In-Place Wet Pluviation
KGV	Korngrößenverteilung
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
QB	Querschnittsbild

1 Einleitung

Diese Arbeit befasst sich mit der Untersuchung von natürlichen und künstlich wiederhergestellten, fein laminierten, schluff dominierten Böden mittels Kompressionsversuchen und ist Teil einer größeren Forschungsarbeit, die sich mit der Strukturänderung von lakustrienen Stillwassersedimenten durch dynamische Belastung, beschäftigt. Dazu sind einerseits die nötigen Abläufe zu planen, durchzuführen, zu dokumentieren und zu optimieren, andererseits anschließende Kompressionsversuche durchzuführen.

Um das Trag- und Setzungsverhalten von Böden zu beurteilen, wird unter anderem der Steifemodul E_{oed} in einem Ödometerversuch nach ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015) herangezogen. Da sich eine ungestörte Probenentnahme und der Transport zu der Prüfstelle unter Schutz vor äußeren Einflüssen (Temperatur, Erschütterung, usw.) komplex gestalten, werden häufig wiederhergestellte Proben für Laborversuche verwendet. Die Prozesse der Wiederherstellung, wie Slurry Deposition Methode oder die In Place Wet Pluviation Methode, sind dabei auf die jeweilige Bodenart abzustimmen.

Weiters liegt der Fokus auf der Beschreibung der unterschiedlichen Verfahren zur Bestimmung der maximalen geologischen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ von natürlichen Ödometerproben, welche in den Versuchen analysiert und mit Bezug auf deren Eignung bewertet werden. Die anschließende Aufzeichnung des Zeitsetzungsverhaltens der wiederhergestellten Proben während der Vorkonsolidierung, soll Einflüsse aus den unterschiedlichen Wiederherstellungsprozessen sichtbar machen. Dabei wird darauf geachtet, dass sich in der Prozessphase der wiederhergestellten Proben vor der Durchführung der Ödometerversuche, die Ent- und Wiederbelastungen verringern bzw. eliminieren, um unkontrollierten Entspannungen vorzubeugen.

Im Labor für Bodenmechanik und Grundbau der Technischen Universität Graz und Fachhochschule Joanneum wurden hierzu entsprechende Versuchsreihen durchgeführt, um eine qualifizierte Gegenüberstellung der Kompressionskurven, Steifemoduln E_{oed} und den zugehörigen Bodenparametern zu ermöglichen. Ziel dabei ist, etwaige Strukturänderungen ersichtlich zu machen und zu verifizieren.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden verwendete Begrifflichkeiten erklärt, um in weiterer Folge ein allgemeines Verständnis für diese Ausdrücke zu bekommen.

2.1 Bodenklassifizierung nach ÖNORM B 4400-1 (2010)

Die ÖNORM B 4400-1 (2010) beinhaltet die Benennung, Beschreibung und Klassifizierung, sowie die Bestimmungsverfahren zur Einordnung der Bodenarten in Bodengruppen. Weiters werden grundlegende Begriffe, Symbole und Einheiten definiert, die für geologische Aufgaben von Bedeutung sind.

2.1.1 Korngrößenbereich und Bezeichnung

Jede Bodenart besteht aus einem Gemenge unterschiedlicher Korngrößen. Die Einteilung der Korngrößenbereiche wird nach ÖNORM B 4400-1 (2010) wie folgt vorgenommen:

Tab. 1 Korngrößenbereich nach ÖNORM B 4400-1 (2010)

Bodengruppe	Korngrößenbereich [mm]	
	großer Block	> 630
Block	> 200	≤ 630
Stein	> 63	≤ 200
Kies	> 2	≤ 63
Sand	> 0,063	≤ 2
Schluff	> 0,002	≤ 0,063
Feinstkorn oder Ton		≤ 0,002

Die in Tab. 2 stehenden Bezeichnungen und Kurzzeichen nach ÖNORM B 4400-1 (2010) zeigen einen für diese Arbeit relevanten Ausschnitt und dienen der eindeutigen Beschreibung von Bodenarten.

Tab. 2 Ausschnitt der Bezeichnungen von Bodenarten nach ÖNORM B 4400-1 (2010)

Bezeichnung	Kurzzeichen	Korngrößenbereich
Kies	Gr	über 2 mm bis 63 mm
Grobkies	CGr	über 20 mm bis 63 mm
Mittelkies	MGr	über 6,3 mm bis 20 mm
Feinkies	FGr	über 2 mm bis 6,3 mm
kiesig	gr	
grobkiesig	cgr	
mittelkiesig	mgr	
feinkiesig	fgr	
Sand	Sa	über 0,063 mm bis 2 mm
Grobsand	Csa	über 0,63 mm bis 2 mm
Mittelsand	Msa	über 0,2 mm bis 0,63 mm
Feinsand	Fsa	über 0,063 mm bis 0,2 mm
sandig	sa	
grobsandig	csa	
mittelsandig	msa	
feinsandig	fsa	
Schluff	Si	über 0,002 mm bis 0,063 mm
Grobschluff	Csi	über 0,02 mm bis 0,063 mm
Mittelschluff	Msi	über 0,0063 mm bis 0,02 mm
Feinschluff	Fsi	über 0,002 mm bis 0,0063 mm
schluffig	si	
grobschluffig	csi	
mittelschluffig	msi	
feinschluffig	fsi	
Ton	Cl	bis 0,002 mm
tonig	cl	

Die gesamten Bezeichnungen und die exakte Deklaration von zusammengesetzten Bodenarten kann der ÖNORM B 4400-1 (2010) entnommen werden.

2.2 Konsolidierungstheorie nach Terzaghi und Peck (1996)

Der Begriff der Konsolidation in der Bodenmechanik ist nur für bindige Böden geeignet, da nur diese eine merkliche Fließverzögerung des Porenwassers aufweisen.

Werden feinkörnige, laminierte Böden belastet, erfolgt eine Verdichtung, da die Poren im Boden zusammengedrückt werden. Sind diese aber mit Wasser gefüllt, entsteht ein Porenwasserüberdruck, da das Porenwasser in feinkörnigen Böden nicht gleich schnell entweichen kann wie die Belastung aufgebracht wird. Dadurch übernimmt das Porenwasser mit der Lastaufbringung anfänglich die vollständige Last. Der Porenwasserüberdruck wird allmählich, in Abhängigkeit der Durchlässigkeit des Bodens und der Länge der Entwässerungspfade abgebaut. Die Last wird in Folge auf das Korngerüst übertragen und der Boden wird verdichtet. Dieser Vorgang wird als Konsolidation bezeichnet.

Unter folgenden Annahmen kann die eindimensionale Konsolidierungstheorie nach Terzaghi und Peck (1996) angewendet werden:

- Gültigkeit des Darcy'schen Gesetzes
- Gültigkeit des Hooke'schen Gesetzes
- Sättigungsgrad $S_r = 1,0$
- Durchlässigkeitsbeiwert $k = \text{konst.}$
- Behinderte Seitendehnung
- keine seitliche Wasserabgabe
- Wasser ist inkompressibel
- abrupte Lastaufbringung

Die Herleitungen der Differentialgleichungen, sowie zugehörige Formeln der Konsolidierungstheorie nach Terzaghi und Peck (1996), können dieser entnommen werden.

In dieser Masterarbeit wird trotz unterschiedlicher Theorien in der Literatur, die Nichtexistenz des Stagnationsgradienten i_0 vorausgesetzt und nicht weiter analysiert.

2.3 Ermittlung der maximalen geologischen Vorbelastung $\sigma_{v,max}$

Auf der Grundlage von Ödometerversuchen nach ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015) kann mittels einer ungestörten, natürlichen Bodenprobe (NP) die maximale geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ ermittelt werden, da die seitliche Dehnung zu jedem Zeitpunkt blockiert ist. Alle nachgenannten Verfahren basieren darauf, dass sich beim Übersteigen der maximalen geologischen Vorkonsolidierung $\sigma_{v,max}$, Änderungen im Spannungs-Dehnungs-Verhalten zeigen.

Abb. 1 zeigt den Einfluss der Vorkonsolidierung auf die Kompressionskurve einer ungestörten, natürlichen Bodenprobe bei logarithmischer Einteilung der Belastungsachse. Die Darstellung erfolgt entweder über die Porenzahl e , die spezifische Setzung s' oder den Kriechbeiwert C_α , in Abhängigkeit der Vertikalspannung σ_v in logarithmischer Form.

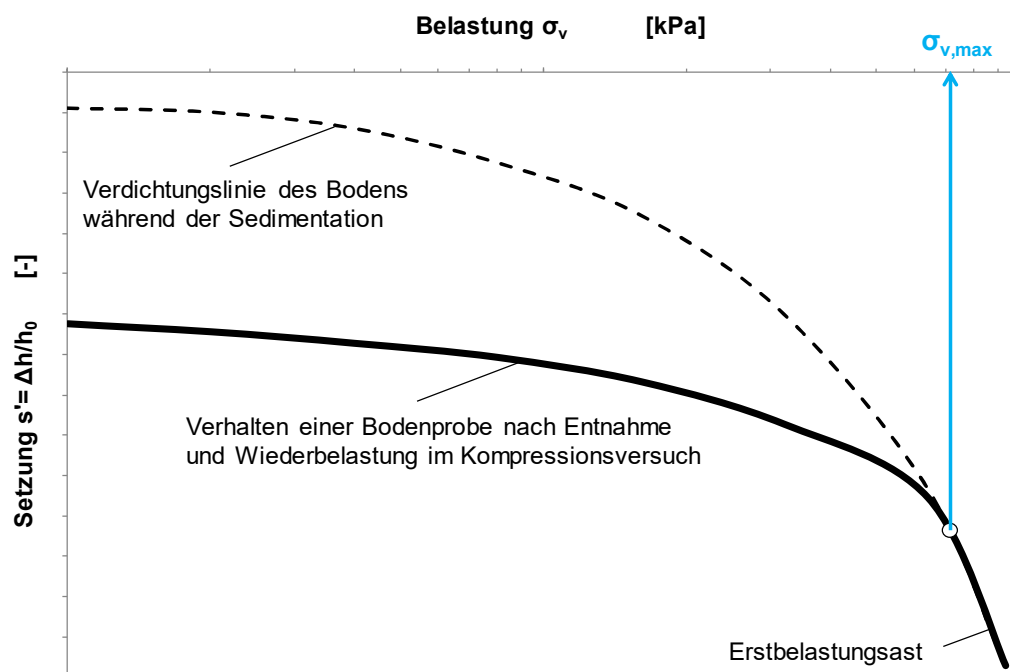


Abb. 1 Einfluss einer Vorkonsolidierung $\sigma_{v,max}$ auf die Kompressionskurve

In den nächsten Absätzen werden mehrere Verfahren zur Feststellung der maximalen geologischen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ erläutert.

2.3.1 Verfahren nach Casagrande (1936)

Nach Casagrande (1936), wird die Vorkonsolidierungsspannung anhand einer ungestörten, natürlichen Bodenprobe (NP) in einem Kompressionsversuch ermittelt.

Durch den Punkt (A) bei dem die Krümmung κ ihr Maximum erreicht, wird die Tangente (I) und eine horizontale Linie (II) gelegt. Aus der Winkelhalbierenden (IV) und einer angenäherten Geraden (III) der Erstbelastungslinie konstruiert sich der Schnittpunkt (B), welcher auf der Abszisse die maximale geologische Vorbelastung $\sigma_{v,max}$ angibt.

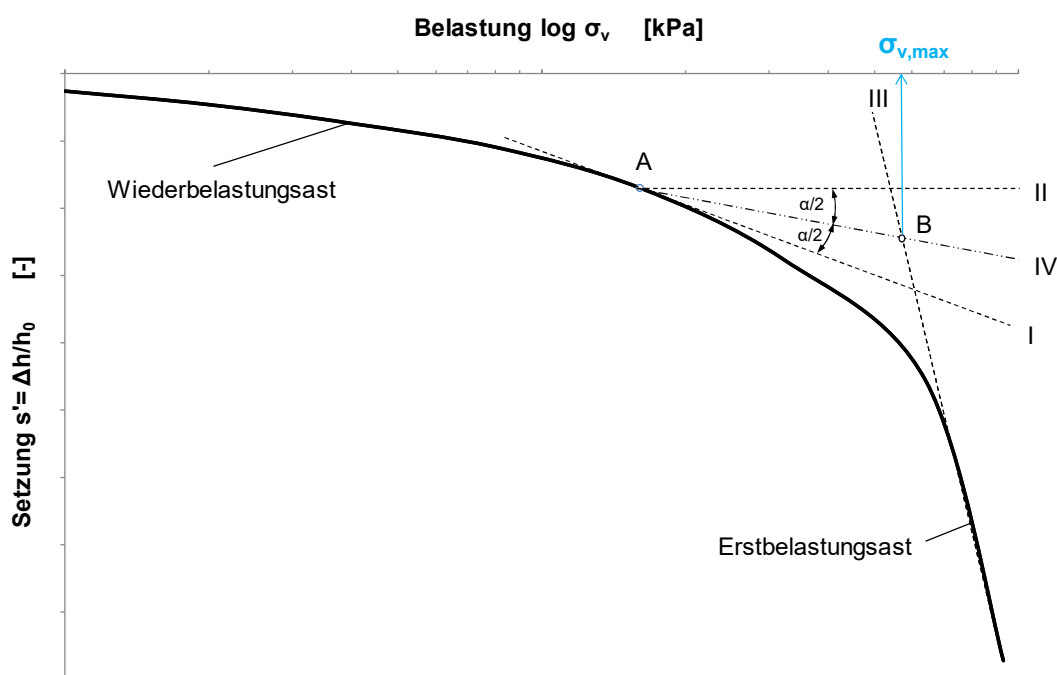


Abb. 2 Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Casagrande (1936)

2.3.2 Verfahren nach Van Zelst (1948)

Die minimale Vorkonsolidierung konstruiert sich durch die Tangente des Erstbelastungsastes (I), verschnitten mit der Abszisse am Setzungsnullpunkt $s'=0$. Die angenäherte Gerade (II) der Entlastungskurve wird durch den Anfangspunkt des Wiederbelastungsastes parallel verschoben und mit der Geraden (I) verschnitten, welcher auf der Abszisse die maximale geologische Vorbelastung $\sigma_{v,max}$ angibt. Der gemittelte Wert ergibt die Vorkonsolidierung $\sigma_{v,max}$ nach Van Zelst (1948).

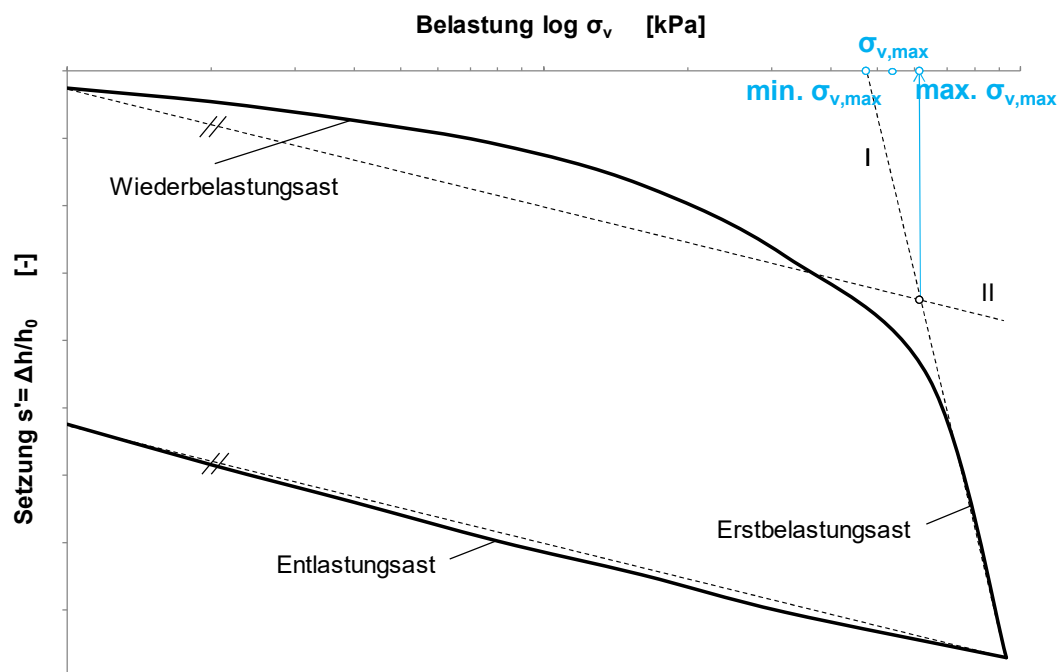


Abb. 3 Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Van Zelst (1948)

2.3.3 Verfahren nach Burmister (1952)

Nach Burmister (1952) wird zur Bestimmung der Vorbelastung beim Kompressionsversuch eine Ent- und Wiederbelastung eingeschaltet. Die dabei erhaltene Kurve A – B – C – D wird solange parallel schräg nach oben verschoben, bis die Punkte B', C' und D' auf der Erstbelastungslinie liegen. Die Senkrechte durch A' gibt dann die Vorbelastung an (Schultze und Muhs 1967).

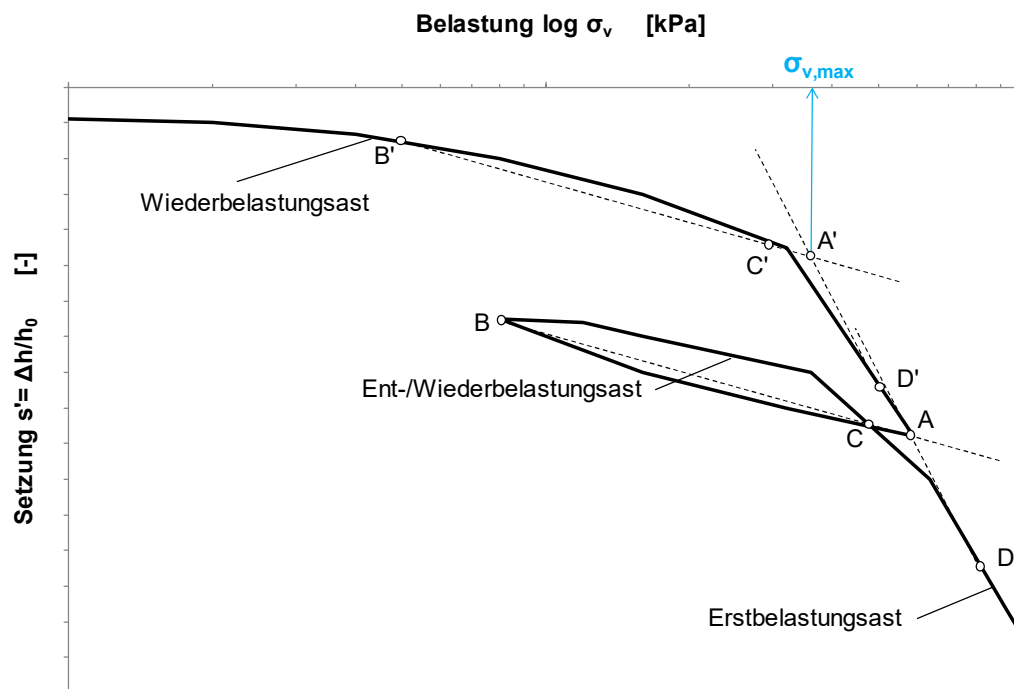


Abb. 4 Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Burmister (1952)

2.3.4 Verfahren nach Ohde (1949)

Bei dem Verfahren nach Ohde (1949) kann neben der maximalen geologischen Vorbelastung $\sigma_{v,max}$, zusätzlich die in situ Spannung $\sigma_{v,in situ}$ rekonstruiert werden, die zum Zeitpunkt der Entnahme auf den Boden wirkte.

Die Kompressionskurven des Wieder- und Erstbelastungsastes werden durch zwei angenäherte Geraden ersetzt, der Schnittpunkt entspricht der maximalen geologischen Vorbelastung. Wird die Schwellinie parallel durch diesen Punkt verschoben, ergibt sich die in situ Spannung.

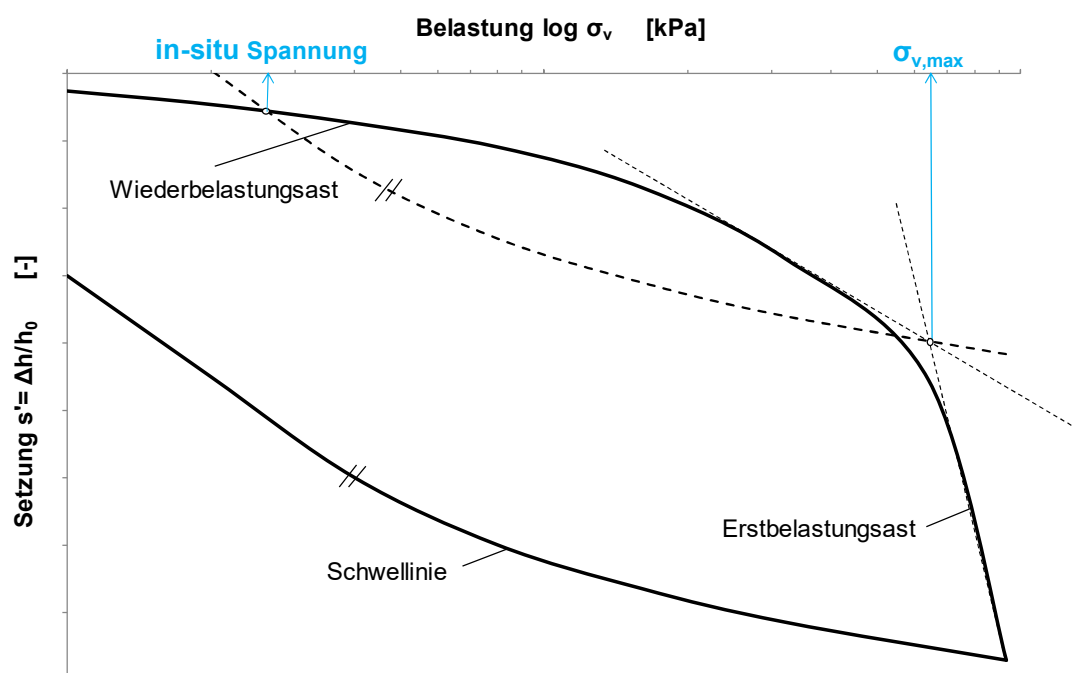


Abb. 5 Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Ohde (1949)

2.3.5 Verfahren nach Rutledge (1944), Hvorslev (1949) und Schmertmann (1953)

Nach Rutledge (1944), Hvorslev (1949) und Schmertmann (1953) wird die angenäherte Gerade des Entlastungsastes durch den Punkt der in situ Spannung bei der spezifischen Setzung $s'=0$ parallel verschoben und mit der Tangente des Erstbelastungsastes verschnitten, somit ergibt sich der Schnittpunkt der minimalen geologischen Vorbelastung.

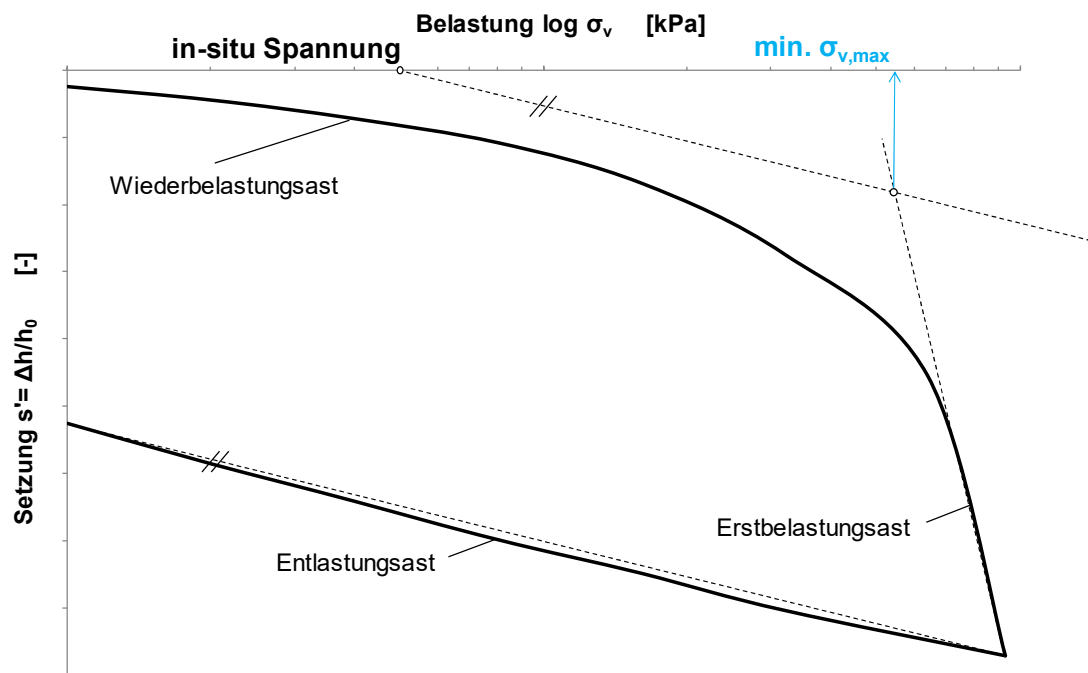


Abb. 6 Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Rutledge (1944), Hvorslev (1949) und Schmertmann (1953)

2.3.6 Verfahren nach Murayama und Shibata (1958)

Damit die maximale geologische Vorbelastung $\sigma_{v,max}$ nach Murayama und Shibata (1958) bestimmt werden kann, wird die Neigung der Sekundärsetzung durch den Kriechbeiwert C_α jeder Belastungsstufe berechnet.

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log \frac{t_2}{t_1}} \quad (1)$$

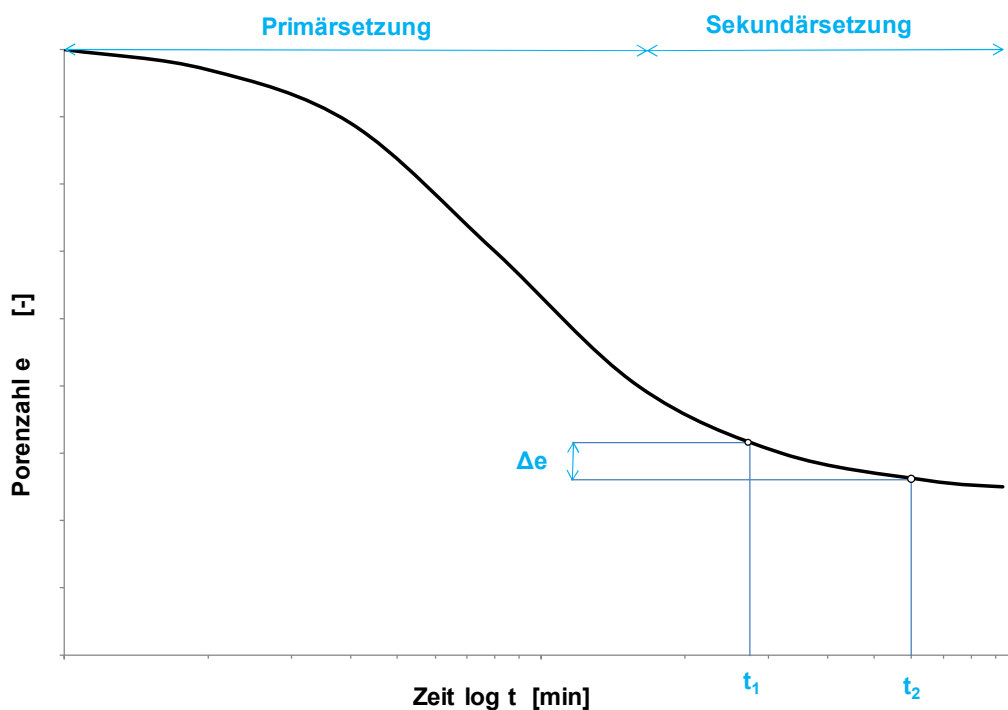


Abb. 7 Bestimmung des Kriechbeiwertes C_α nach Murayama und Shibata (1958)

Durch den Übertrag der Kriechbeiwerte jeder Laststufe in ein C_α / σ_v – Diagramm, charakterisiert sich ein Knick, welcher die maximale geologische Vorbelastung darstellt. Nach Murayama und Shibata (1958) ist der Kriechbeiwert C_α unabhängig von der Konsolidationsspannung, sobald die Erstbelastung des Bodens erreicht wird.

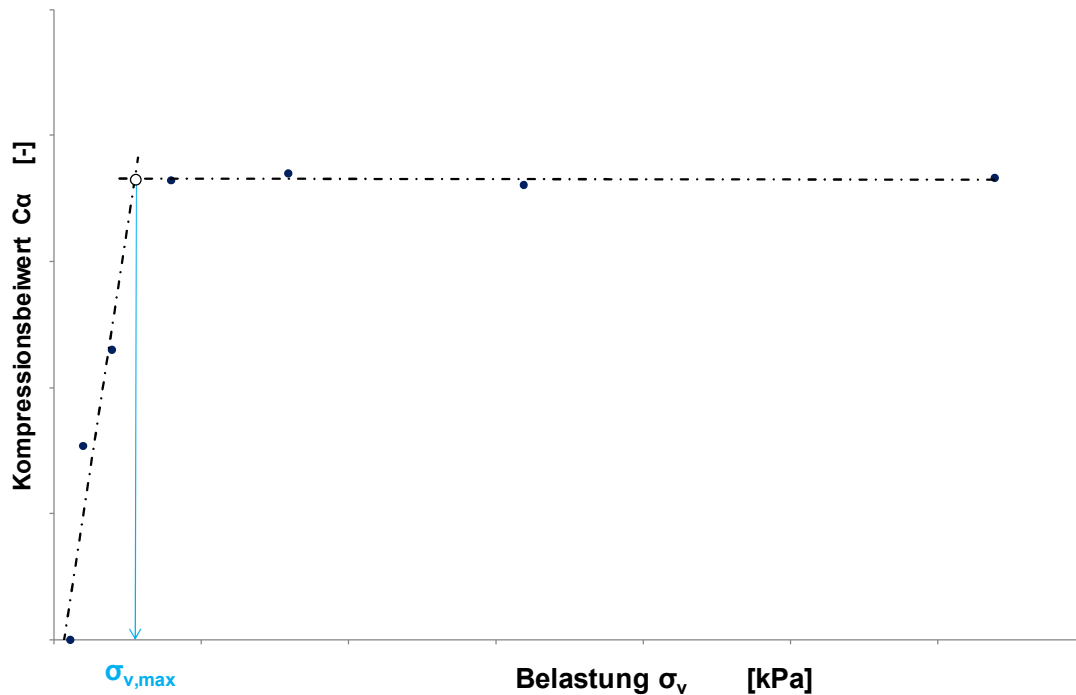


Abb. 8 Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Murayama und Shibata (1958)

2.3.7 Verfahren nach Kotzias (1963)

Einige der erwähnten Verfahren eignen sich nicht oder wenig zufriedenstellend für Schluff, da sich auch bei einer Belastung $\sigma > \sigma_{v,max}$ in der halblogarithmischen Darstellung keine geradlinigen Druck-Setzungslinien zeigen.

Nach Kotzias (1963) kann man in solchen Fällen die Druck-Setzungslinie punktwise in ein Koordinatensystem umzeichnen, auf dessen waagrechter Achse die jeweilige Setzung bei dem Druck $2\sigma_v$ und auf dessen lotrechter Achse die jeweilige Setzung bei dem beliebigen Druck σ_v aufgetragen wird. Durch diese Punkte lassen sich bei Schluff zwei Geraden legen, von denen die eine für den Erstbelastungsast, die andere für die Wiederbelastung gilt. Der Schnittpunkt der im Koordinatennullpunkt beginnenden Geraden für die Wiederbelastung mit der Geraden der Erstbelastung, ergibt an der lotrechten Achse die bezogene Setzung $s'_{\sigma_{v,max}}$. Die zugehörige Vorbelastung $\sigma_{v,max}$ kann dann aus der Druck-Setzungslinie abgelesen werden (Schultze und Muhs 1967).

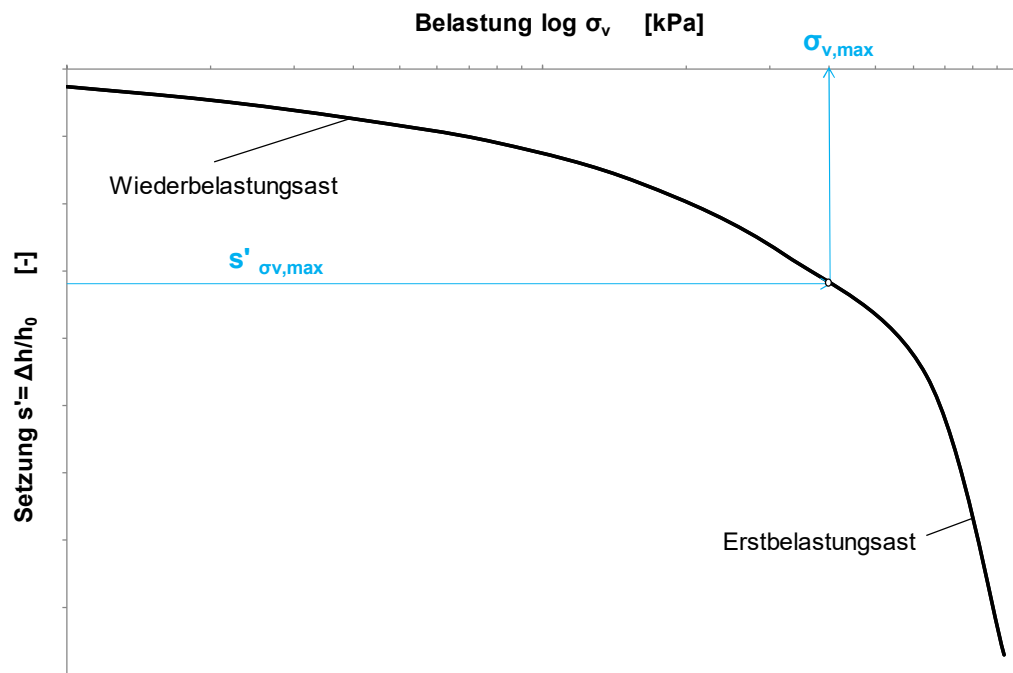


Abb. 9 Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Kotzias (1949)

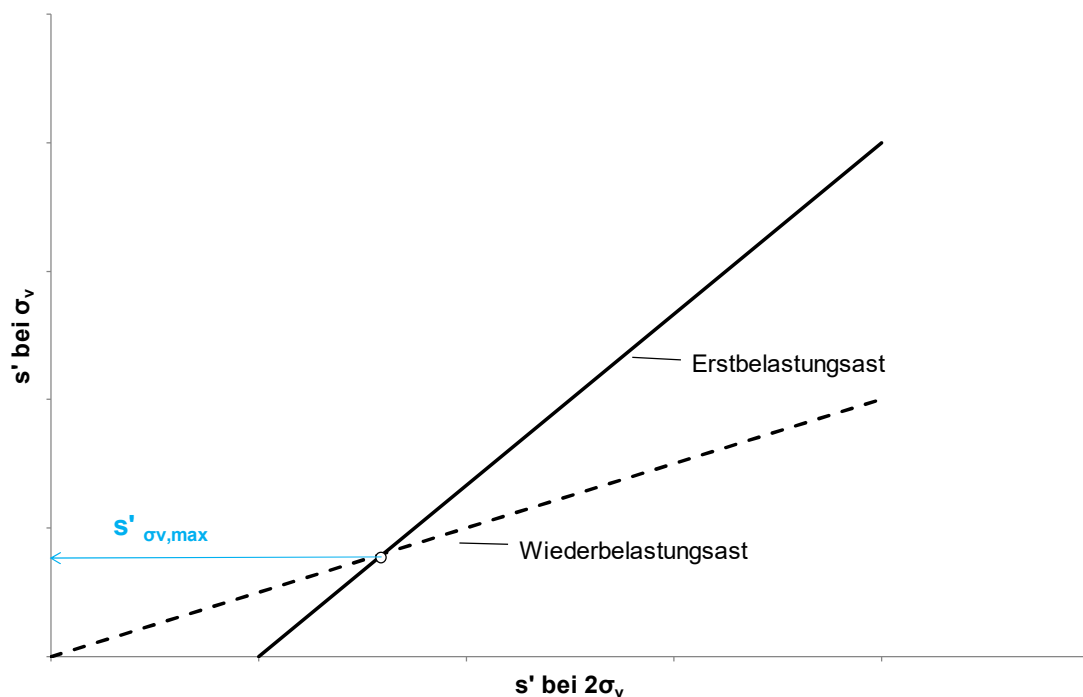


Abb. 10 Ermittlung der bezogenen Setzung $s'_{\sigma_{v,max}}$ nach Kotzias (1949)

2.3.8 Verfahren unter Nutzung des Kompressions- und Schwellbeiwertes

Bei diesem Verfahren wird durch Be- und Entlastung im Kompressionsversuch nach der Kompressionsbeiwert C_c am DIN 18135 (2012) Erstbelastungsast und der Schwellbeiwert C_s am Ent- bzw. Wiederbelastungsast bestimmt. Es wird unterstellt, dass der Schwellbeiwert C_s unabhängig vom Spannungsniveau eine Konstante ist

(unter Vernachlässigung des Spannungsbereiches bis zur vollständigen Entlastung). Weiterhin ist zwar nicht die ehemalige Vorbelastungsspannung bekannt, aber der Ist-Zustand lässt sich durch die Entnahmetiefe, also der in situ Vertikalspannung und die Porenzahl e beschreiben. Erfahrungen haben gezeigt, dass an Bodenproben, die unterhalb des Grundwasserspiegels entnommen wurden, oft eine Sättigungszahl $S_r < 1$ ermittelt wurde, da durch die Entspannung des Korngerüstes bei der Probenentnahme Saugspannungen hervorgerufen werden können, die gelöste Gase im Porenwasser frei werden lassen kann. Wird der Probe in situ volle Wassersättigung unterstellt, kann die Porenzahl nach folgender Formel bestimmt werden (Pelz 2010).

$$e_w = w * \frac{\rho_s}{\rho_w}; \text{ bei Annahme } S_r = 1 \text{ ist } e = e_w \quad (2)$$

Der Ist-Zustand der Probe kann nach Baumann (2004) unter Annahme des ermittelten Kompressionsbeiwertes C_c und des Schwellbeiwertes C_s nur mit einem Spannungspfad erreicht werden und mit der Kenntnis der in situ Porenzahl e , kann die maximale ehemalige Spannung ermittelt werden (Pelz 2010).

Die ehemalige Auflastspannung $\sigma_{v,max}$ lässt sich somit mit Kenntnis der aktuellen Porenzahl e am Schnittpunkt der Geraden, die durch den Kompressionsbeiwert C_c und Schwellbeiwert C_s beschrieben wird, bestimmen (Pelz 2010).

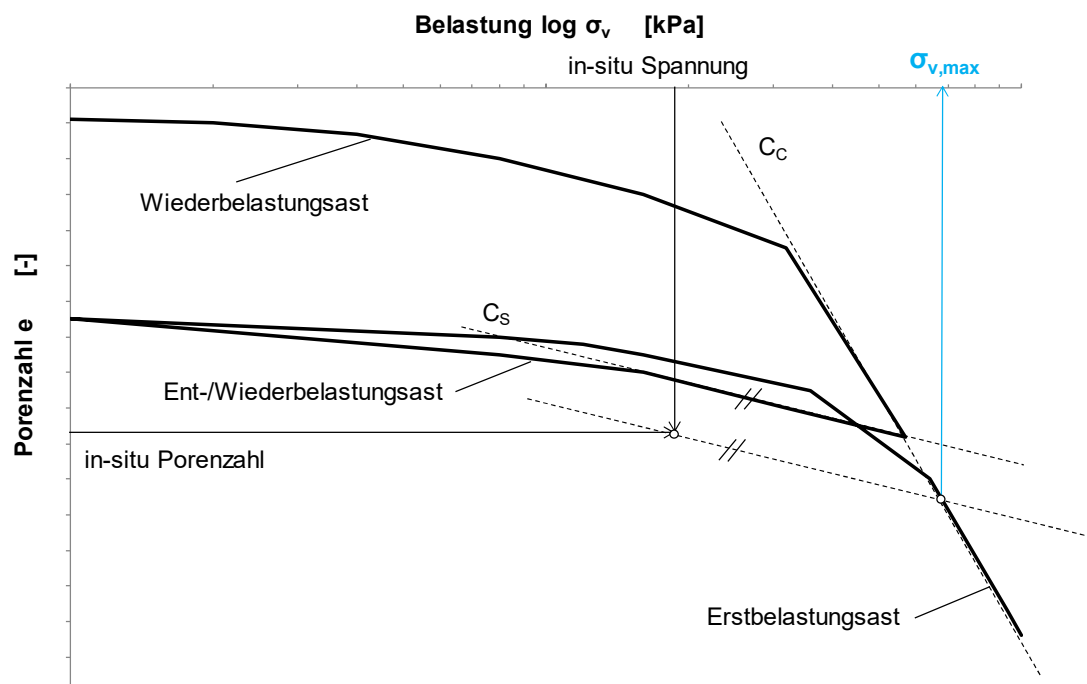


Abb. 11 Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ nach Pelz (2010)

2.3.9 Bewertung der Verfahren

Das Verfahren nach Burmister konnte in dieser Masterarbeit nicht angewendet werden, da alle Ent- und Wiederbelastungszyklen der natürlichen Proben eine ungeeignete Kompressionskurve aufwiesen, um den Schnittpunkt (A) zu erhalten. Dieses Resultat ist in der Abb. 12 exemplarisch am Versuch GIN_0,90-1,30_NP.1 dargestellt.

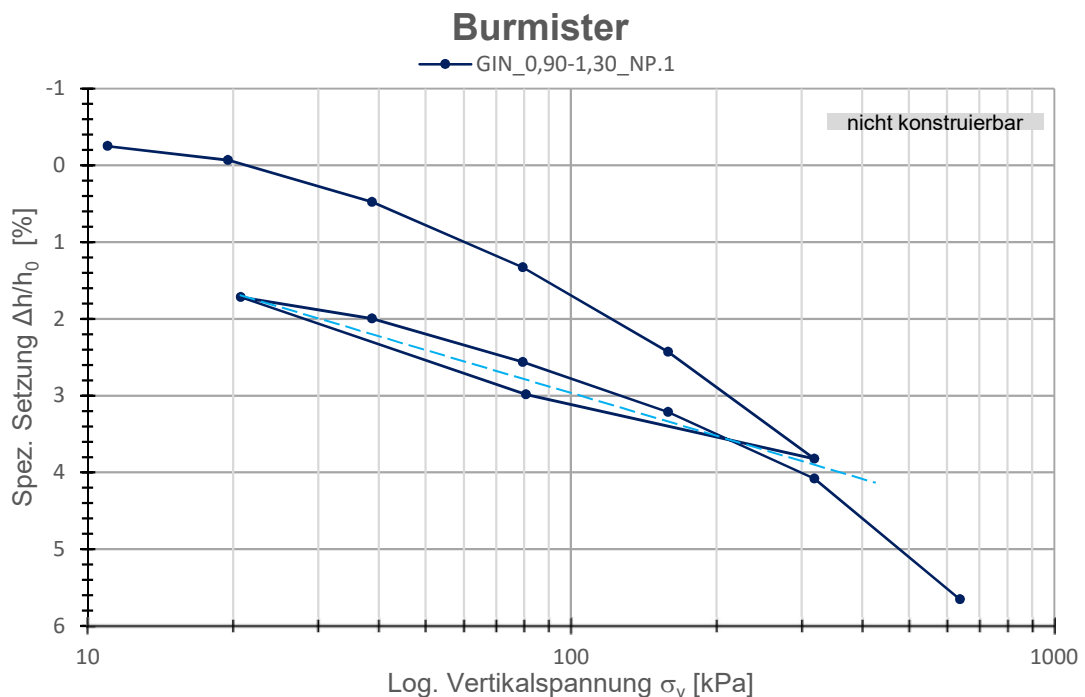


Abb. 12 Vorkonsolidierungsspannung nach Burmister GIN_0,90-1,30_NP.1

Alle anderen angeführten Verfahren nehmen eine Aufteilung in Wieder- und Erstbelastungsast vor, diese Abgrenzung ist aus den Versuchen bzw. den Kurvenverläufen nicht eindeutig erkennbar. Daher sind zwei Erstbelastungsäste zwischen den Laststufen 160 – 320 kPa und 320 – 640 kPa festgelegt worden. Der Einfluss aus den unterschiedlichen Erstbelastungsästen, kann über alle Verfahren mit durchschnittlich 10 kPa beziffert werden.

Infolge einer unkontrollierten Entspannung durch die Probenentnahme und während des Einbaus in den Kompressionsversuch, werden die Spannungsverhältnisse vorübergehend geändert. Dies und die unpräzise Bestimmung der größten Krümmung, führt bei einer logarithmischen Einteilung zu einer großen Abweichung der Tangente, wodurch das Verfahren nach Casagrande keine ausreichend genaue Aussage zur Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ zulässt.

In den meisten Fällen konnte kein eindeutiger Knick zwischen der Wieder- und Erstbelastung beobachtet werden. Wiederhergestellte Proben weisen grundsätzlich

keinen solchen Knick in der Kompressionskurve auf, dies konnte in allen durchgeführten Versuchen beobachtet werden. Um festzustellen, ob dieser Effekt in Zusammenhang mit der geringen Vorbelastung von ca. 20 kPa und der geringen Anzahl an Belastungsstufen im niedrigen Spannungsbereich steht, wurde abschließend der Versuch, GIN_0,90-1,30_SD.1.2 mit doppelt so vielen Laststufen im Erstbelastungszyklus als im Kap. 3.1 angegeben, durchgeführt. Dieser bestätigte das bereits vorhandene Ergebnis aus dem Versuch GIN_0,90-1,30_SD.1 und stellt durch die erhöhte Messdichte eine nur doppelt so hohe Auflösung der Kurve dar.

Daraus folgt, dass die Anzahl der Belastungsstufen im niedrigen Spannungsbereich für die geringe Vorbelastung richtig dimensioniert wurde und nicht mit der geringen Anzahl an eindeutig erkennbaren Knicken im Zusammenhang steht.

Nach Ohde wird der Wieder- und Erstbelastungsast durch zwei angenäherte Geraden ersetzt, dies führt zu einer noch größeren Ergebnisbeeinflussung, da beide Äste abgeschätzt werden müssen, wobei die Wahl der angenäherten Wiederbelastungsgerade den erheblicheren Einfluss ausübt. Dieses Resultat wird exemplarisch am Versuch GIN_0,90-1,30_NP.1 dargestellt, dabei ist in der Abb. 13 zu beobachten, dass der Unterschied der beiden angenäherten Wiederbelastungsgeraden aus den ersten zwei bzw. drei Belastungspunkten eine Abweichung von 70 kPa in der Vorkonsolidierung verursacht.

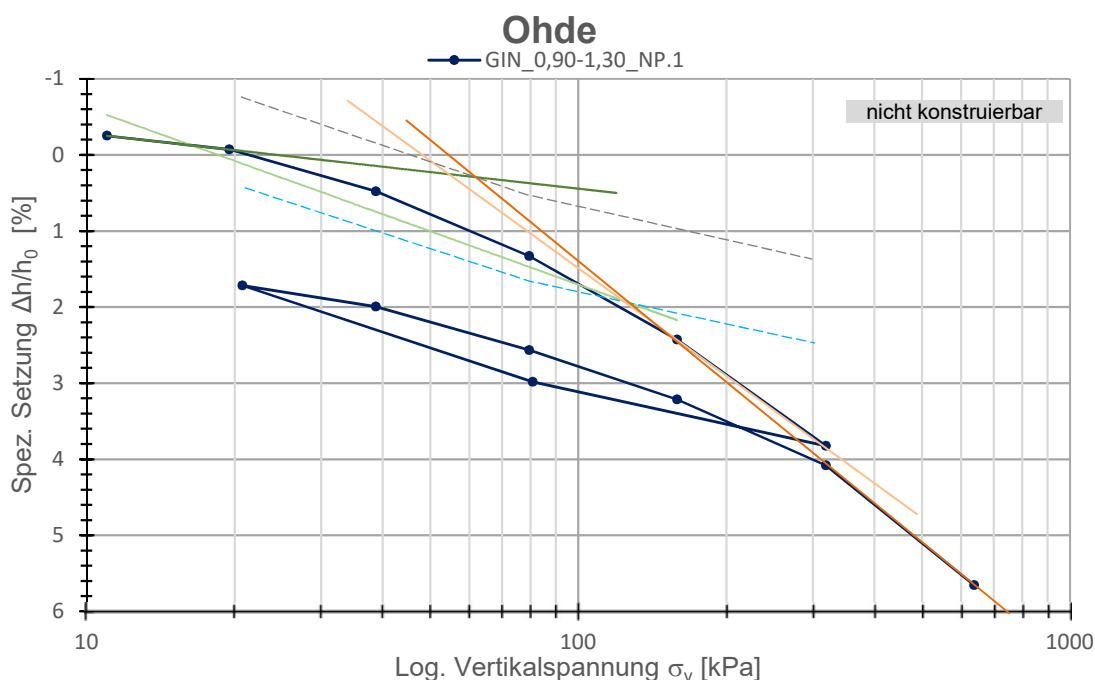


Abb. 13 Vorkonsolidierungsspannung nach Ohde GIN_0,90-1,30_NP.1

Das Verfahren nach Rutledge, Hvorslev, Schmertmann und das Verfahren unter Nutzung des Kompressions- und Schwellbeiwertes liefern kongruente Ergebnisse. Bei HIN_44,10-44,50 konnten keine plausiblen Resultate ermittelt werden, was vermutlich der großen Entspannung geschuldet ist, wie die Ergebnisse nach Murayama & Shibata und Kotzias zeigen.

Die minimalen Abweichungen sind dem unterschiedlichen Maßstab und der geringen Auflösung geschuldet, dies offenbart deutlich die Sensitivität der Verfahren.

Mit dem Verfahren nach Van Zelst konnten durchgängige Resultate erzielt werden, da die in situ Spannung keine Bedeutung in der Bestimmung der Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ hat. Damit ist das Ergebnis dieses Verfahrens nicht durch etwaig eintretende Entspannungseffekte verfälscht.

Abweichend von oben genannter Prämisse, mussten für die Ermittlung der Vorkonsolidierungsspannung nach Murayama & Shibata und Kotzias die Einteilung der Laststufen exakt dem Wieder- oder Erstbelastungsast zugeteilt werden.

Die beiden Verfahren lieferten durchgehend vergleichbare und plausible Ergebnisse, daher wurden nur diese beiden Verfahren zur Bestimmung der maximalen geologischen Vorbelastung $\sigma_{v,max}$ in dieser Arbeit berücksichtigt und auch für die wiederaufbereitenden Bodenproben angewendet.

Nach Kotzias wurden in nur vier Fällen wesentliche Abweichungen festgestellt, welche bis auf die GIN_0,80-1,20_NP.1 auf die fast parallele Ausrichtung der beiden Linien zurückzuführen ist. GIN_0,80-1,20_NP.1 zeigt in der ersten Belastungsstufe in den ersten 5 Minuten eine rasante Abnahme der Porenzahl e , um dann ins Quellen überzugehen. Die rasche Abnahme der Porenzahl e begründet sich wahrscheinlich durch einen Kollaps der einzelnen Zwischenschichten, das anschließende Quellen konnte nicht geklärt werden, da die vorhandenen Tonminerale nicht quellfähig sind.

Murayama & Shibata - Porenzahl

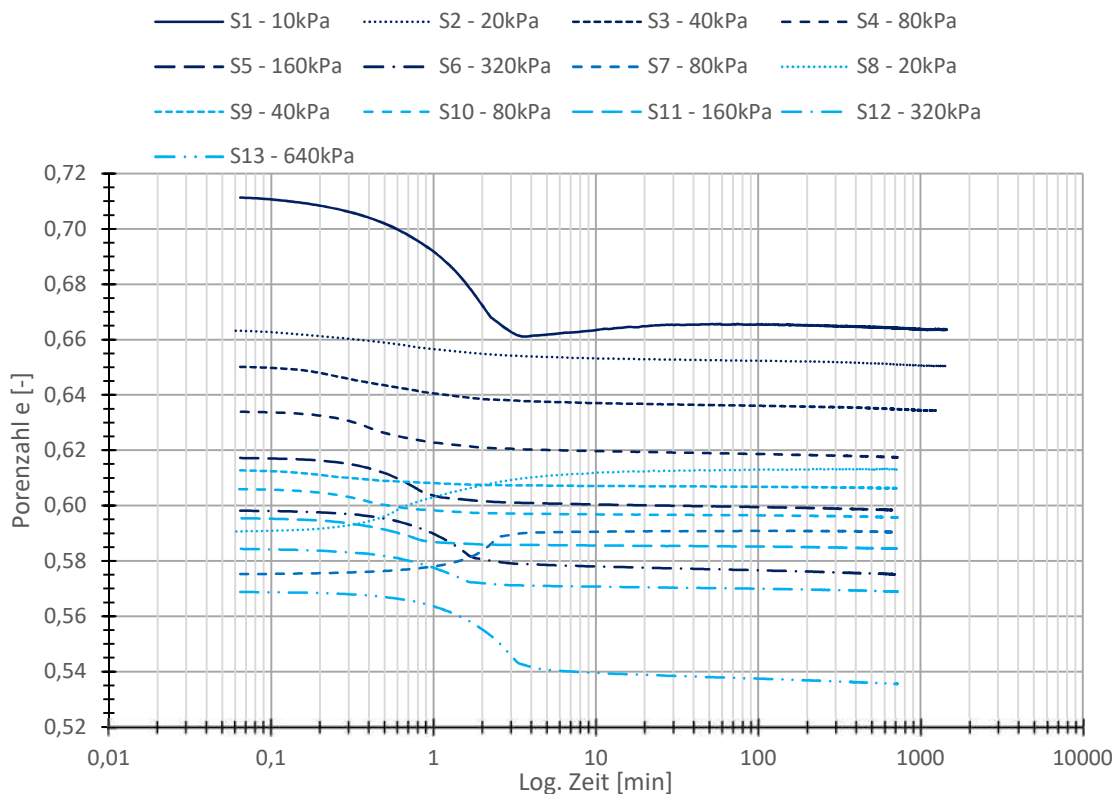


Abb. 14 Porenzahl e GIN_0,80-1,20_NP.1

Bei Murayama & Shibata müssen Zeitspannen für jede einzelne Laststufe definiert werden, in denen der Kriechbeiwert C_α bestimmt wird. Dies führt zu einer großen Bandbreite an Ergebnissen.

Abschließend kann festgehalten werden, dass bei allen Verfahren eine bestimmte Einschätzung über die maximale geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ vorliegen muss, um die Ergebnisse der Verfahren richtig zu beurteilen.

Die vollständige Auswertung der einzelnen Versuche können dem Anhang 9.2 entnommen werden.

2.4 Verfahren zur Wiederherstellung von Sedimenten

Nachfolgend werden mehrere Methoden zur Rekonstruktion von feinkörnigen, geschichteten Böden erläutert und eine Einschätzung getroffen, welche für die anschließenden Versuchsreihen am geeignetsten sind.

2.4.1 Slurry Deposition

Damit eine homogene Probe hergestellt werden kann, wird nach den Aufzeichnungen von Watabe und Saitoh (2015) dem getrockneten Bodenmaterial, je nach Bodenart, das 1,5 bis 2-fache des Wassergehalts an der Fließgrenze w_L beigegeben. Dies führt zu einer idealen Mischung für den Einbau und einem stark verzögerten Absetzverhalten. Ein schonender Mischvorgang ist erforderlich, um die Korngrößenverteilung nicht zu verändern. Diese Veränderung kann durch etwaige Abrasionserscheinungen und/oder Bruch einzelner Bodenteilchen (Tonpartikel) eintreten.

Diese Methode bietet einen praktikablen, einheitlichen Ablauf zur Rekonstruktion von Bodenproben, wobei der Unterschied zu natürlich sedimentierten Bodenproben in der bedeutend geringeren Variabilität, bezogen auf die Struktur und Kennwerte liegt. Dies ermöglicht eine methodische Prüfung zur Untersuchung von Verflüssigungseigenschaften, bildet aber die tatsächliche Lage der einzelnen Schichtungen nicht ab.

2.4.2 In-Place Wet Pluviation

Die natürliche Bodenprobe wird getrocknet und die natürlich vorhandenen Schichtungen werden hinsichtlich Lage, Korngrößenverteilung und Trockenmasse untersucht. Die unterschiedlichen Schichtungen werden entsprechend vorher genannter Kennwerte separat nachgebildet und mit einem bestimmten Wassergehalt versehen, der eine Durchmischung ermöglicht, aber sich kein Absetzverhalten einstellt. Diese werden dann gemäß ihrer Lage in einer mit Wasser gefüllten Ödometerzelle inkl. angebrachtem Aufsatzzylinder sedimentiert, um eine ident geschichtete wiederhergestellte Probe zu erhalten.

Im Gegensatz zur Slurry Deposition wird mit dieser Methode versucht die natürlichen Schichtungen der Bodenprobe zu reproduzieren, damit sich im Vergleich mit natürlichen Proben repräsentative Ergebnisse einstellen.

2.4.3 Wet Pluviation

Bei der Wet Pluviation wird der Boden vom Prozess her ähnlich der In-Place Wet Pluviation Methode, jedoch in einem größeren Maßstab (Donahue et al. 2007) hergestellt, wodurch Randeffekte minimiert werden. Dies ermöglicht eine natürliche Sedimentation der Bodenpartikel, welche darauffolgend konsolidiert werden, sodann wird eine Probe entnommen und getestet. Diese Vorgehensweise weist die größte Übereinstimmung zur Sedimentation der natürlichen Bodenproben auf und sollte daher im Vergleich zu den besten Ergebnissen führen.

Zusätzlich können Bedingungen geschaffen werden, wie es in Flüssen oder Meeresböden der Fall ist, wo zum Zeitpunkt der Ablagerungen starke Strömungen vorherrschend waren.

Aufgrund von fehlendem Probenmaterial und aus zeittechnischen Gründen wurde die Wet Pluviation nicht angewandt, jedoch wurde hierfür ein computergestütztes 3D Modell für eine Sedimentationseinrichtung konstruiert, welches auf den Erfahrungen der In-Place Wet Pluviation Versuche basiert.

2.4.4 Weitere Verfahren

Neben den oben beschriebenen Verfahren werden zwei weitere Verfahren beschrieben, welche aber aus unten angeführten Gründen nicht zur Anwendungen kamen.

- **Moist Tamping**

Das Bodenmaterial wird mit einem bestimmten Wassergehalt schichtweise mit einer expliziten Kraft und Frequenz eingestampft oder bei Verwendung von körnigem Material über Schwingungen eingerüttelt, um einen spezifischen Verdichtungsgrad zu erreichen. Diese Methode kam nicht zur Anwendung, weil der Prozess nach Donahue et al. (2007) keine repräsentativen Ergebnisse für eine natürliche Sedimentation, in Bezug auf Struktur und Kennwerte liefert. Nach Riemer (1992) zeigen sich zusätzliche scharf definierte Grenzen zwischen den Schichten.

- **Air Pluviation**

Hierbei wird getrocknetes Bodenmaterial in einem mit Wasser befüllten Behälter sedimentiert, diese Methode eignet sich für sandige Böden, ist für fein laminierte Böden aufgrund des Sachverhaltes, dass Bodenteilchen beim einfüllen aneinanderhaften jedoch ungeeignet. Zusätzlich wurde dieses Verfahren aufgrund der geologischen Geschichte und örtlichen Gegebenheiten der natürlichen Proben, ausgeschlossen.

3 Versuchseinrichtung

3.1 Ödometerversuch nach ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015)

Der Anwendungsbereich der ÖN EN ISO 17892-5 (2015) gilt für die Bestimmung des Verhaltens von Böden bei Zusammendrückung und Dehnung. Der zylindrische, seitlich behinderte Probekörper wird stufenweise vertikal axial belastet oder entlastet und kann dabei axial zu den Endflächen entwässern.

Nach ÖN EN ISO 17892-5 (2015) können folgende, wesentliche bodenmechanische Parameter aus dem Ödometerversuch, an ungestörten, repräsentativen Probekörpern abgeleitet werden:

- die Kennwerte der Zusammendrückung
- der Konsolidationsbeiwert
- wahrscheinliche Vorkonsolidierungs- und wahrscheinliche Versagungsspannung
- der Beiwert der Kriechverformung
- der Schwellbeiwert

In dieser Masterarbeit werden ausschließlich softwaregesteuerte Ödometer verwendet, da diese die Belastung präziser auf die Probe aufbringen. Zusätzlich erfolgt eine kontinuierliche Datenaufzeichnung, wodurch sich eine Datenpunktverdichtung ergibt. Diese Reduzierung der Einflussfaktoren ermöglichte akkuratere Ergebnisse, als diese mit einem manuellen Ödometer möglich wären.

- **Belastungssequenz**

Abweichend von der in der ÖN EN ISO 17892-5 (2015) vorgeschlagenen Belastungsfolge, wurde die im Labor für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz Gebräuchliche verwendet, welche sich wie folgt kategorisiert:

Tab. 3 Belastungssequenz

Erstbelastung [kPa]	Entlastung [kPa]	Wiederbelastung [kPa]
10	80	40
20	20	80
40		160
80		320
160		640
320		

Hierbei ist der Begriff der Erstbelastung nicht als erstmalige Belastung des Bodens zu verstehen, sondern als Erstbelastungszyklus, sowie die Wiederbelastung als Wiederbelastungszyklus.

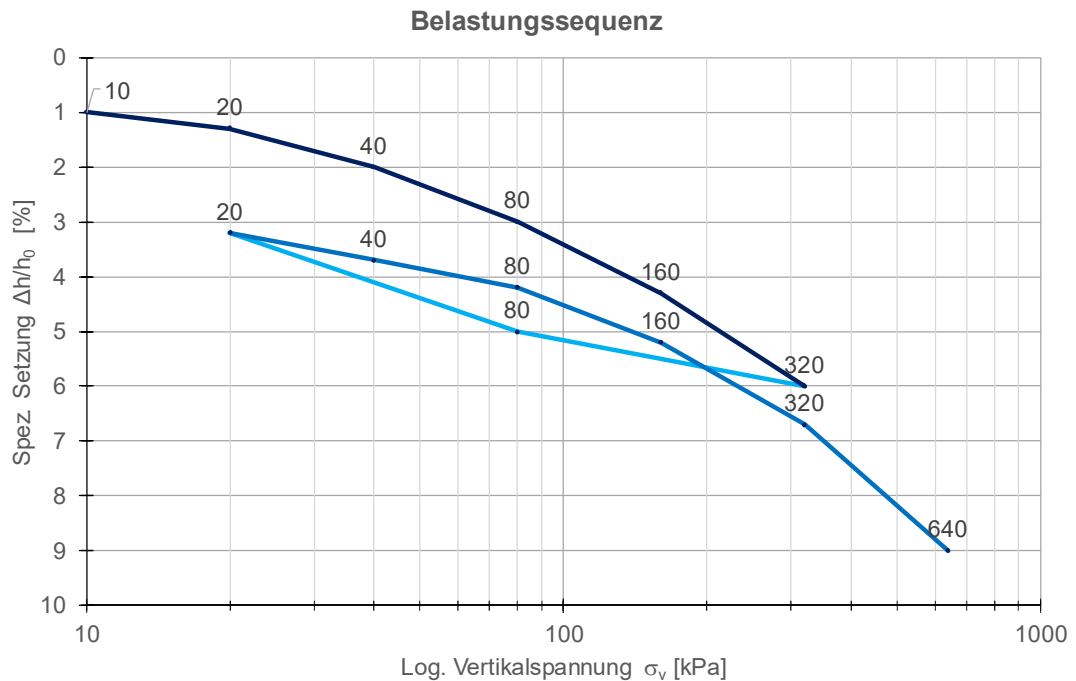


Abb. 15 Belastungssequenz

Das Belastungsintervall jedes Belastungsniveaus sollte ident sein und so gewählt werden, das die Sekundärspannungen abgeklungen sind (z.B. 24 Stunden für sehr feinkörnige Bodenarten), bevor auf das nächste höhere Belastungsniveau aufgebracht wird.

Die Anforderungen an die Versuchseinrichtung, sowie die prinzipielle Anordnung einer typischen Ödometerzelle, kann der ÖN EN ISO 17982-5 (2015) entnommen werden.

3.2 Mischanlage

Da sich die nachstehenden Anforderungen an die Mischvorrichtung nicht grundlegend verändert haben, wurde die Vorrichtung aus Scheriau (2015) weiterverwendet:

- Entlüftung des Bodenmaterials
- zerstörungsfreies Mischen (kein Zerreiben der Kornfraktionen)

Diese wurde um zwei weitere Behälter ergänzt, um das Aufmischen mehrerer Bodenproben zeitgleich zu ermöglichen. Dazu musste auch das Entlüftungssystem entsprechend adaptiert werden.

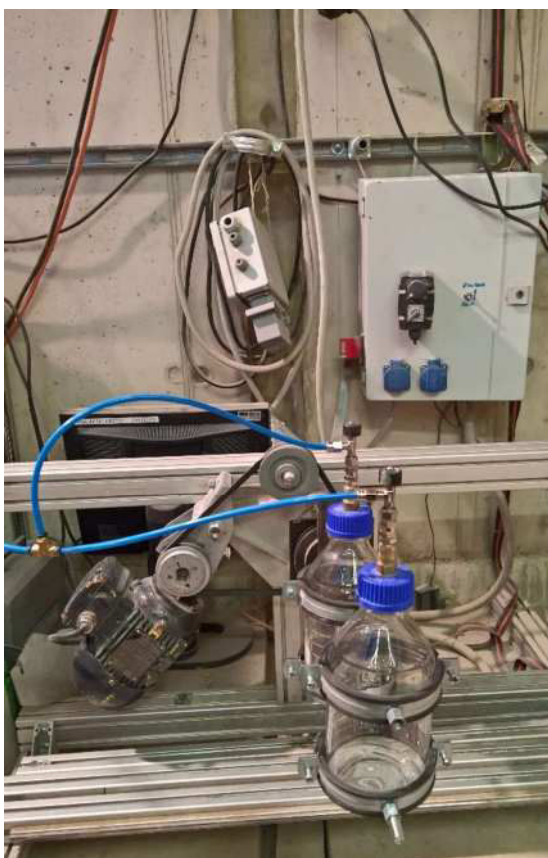


Abb. 16 Mischanlage
angeschlossenem Entlüftungssystem



mit Abb. 17 Mischanlage während Mischvorgang

Anmerkung:

Die obigen Abbildungen zeigen die Mischanlage mit nur zwei Laborflaschen, grundsätzlich ist die Mischanlage für drei Behälter ausgelegt.

3.3 Aufsatzzylinder

Bei der Slurry Deposition und In-Place Wet Pluviation Methode wird durch das Aufmischen mit destilliertem, entlüftetem Wasser (*in der nachfolgenden Arbeit nur mehr als Wasser bezeichnet*) die Dichte verringert und bei der In-Place Wet Pluviation Methode wird bis zum Abschluss der Vorkonsolidierungsphase zusätzliches Volumen für die Sedimentation benötigt. Zu diesem Zweck wurden speziell für die jeweiligen Ödometerzellen Aufsatzzylinder in dem Programm SketchUp Make konstruiert und anschließend mittels Fused Deposition Modeling (FDM) 3D-Druck Verfahren gedruckt. Auf der Unterseite der Zylinder wurde eine Gummidichtung aufgebracht, um einen dichten Übergang zwischen Ödometerzelle und Aufsatzzylinder zu gewährleisten.



Abb. 18 Aufsatzzylinder mit Gummidichtung



Abb. 19 Aufsatzzylinder auf der Ödometerzelle montiert

3.4 Kernstechzylinder

Da sich nach Scheriau (2015) bei den SD-Proben bei der Auswertung mehrheitlich ein Sättigungsgrad $>1,0$ einstellte (den es nicht geben kann), wurden die Kernstechzylinder entwickelt, um eine exaktere Bestimmung der Bodenparameter nach dem Ödometerversuch zu ermöglichen. Im Speziellen sollte der Sättigungsgrad präziser erfasst werden, da die Möglichkeit besteht, dass sich zwischen Ödometerring und der Bodenprobe im Ringspalt freies Wasser ansammelt und die Feuchtmasse beeinflusst.

Die Kernstechzylinder wurden aus einem Messing Rohr mit einem Durchmesser von einem Zoll, einer Höhe von einem Zentimeter und mit einer außenliegenden Schneide im 15° Winkel auf der Drehbank gefertigt und zur Identifikation wurde eine Nummer eingraviert.



Abb. 20 Kernstechzylinder



Abb. 21 getrocknete
GIN_0,90-1,30_NP.3

Kernprobe

3.4.1 Bewertung der Kernstechzylinder

Die Beprobung mit Kernstechzylinder brachte keine signifikante Verbesserung der oben beschriebenen Problematik. Nachfolgend werden die Ergebnisse kurz resümiert, wobei diese für die nachstehende Masterarbeit nicht mehr von Relevanz sind.

Tab. 4 Ergebnisse der Kernstechzylinderproben

Bezeichnung	Probenart	Zeitpunkt	Dichte _{feucht}	Dichte _{trocken}	Wassergehalt	Porenanteil	Porenzahl	Sättigungsgrad
			ρ_f [g/cm ³]	ρ_d [g/cm ³]	w [%]	n [%]	e [-]	S_r [-]
GIN_0,90-1,30_NP.3	Ödometer	vorher	2,08	1,68	24,32	39,52	0,65	1,04
		nachher	2,21	1,79	23,94	35,49	0,55	1,21
	Kern	nachher	2,04	1,66	22,89	39,96	0,67	0,95
HIN_44,10-44,50_NP.1	Ödometer	vorher	1,96	1,51	30,06	45,47	0,83	1,00
		nachher	2,12	1,64	29,66	40,64	0,68	1,20
	Kern	vorher	2,01	1,56	29,10	43,63	0,77	1,04
HIN_44,10-44,50_NP.2	Ödometer	vorher	2,00	1,55	28,95	43,58	0,77	1,03
		nachher	2,20	1,71	28,71	37,87	0,61	1,29
	Kern	vorher	2,01	1,57	28,06	42,98	0,75	1,03
HIN_44,10-44,50_NP.3	Ödometer	vorher	1,98	1,56	27,42	43,65	0,77	0,98
		nachher	2,15	1,67	28,60	39,36	0,65	1,21
	Kern	vorher	1,97	1,55	27,22	43,95	0,78	0,96

In der Tab. 4 sind die Ergebnisse der Bodenparameter dargestellt, die kurz vor der Durchführung des Ödometerversuches und gleich nach der Beendigung erfasst wurden. Des Weiteren sind Ergebnisse entsprechender Kernproben vor oder nach dem Versuch angeführt.

In der ersten Kernprobe von GIN_0,90-1,30_NP.3 die gezogen wurde ist deutlich zu erkennen, dass sich der Sättigungsgrad um 21,5 % gesenkt hat und unter 1,0 blieb. Doch hat sich die Porenzahl e nach dem Ödometerversuch im Vergleich zum Versuchsbeginn um 2 Prozent erhöht. Dies kann zum derzeitigen Standpunkt nur mit einer entsprechenden Lockerung des Gefüges durch die Entnahme der Kernprobe erklärt werden. Die feststellbare Lockerung durch die Entnahme ist im Vergleich zu der Ödometerprobe nach dem Versuch mit 12 % zu beziffern.

Da durch diesen Prozess der Querschnitt so beeinflusst wird, dass keine ungestörten Querschnittsbilder abgelichtet werden können, wurden keine weiteren Kernproben nach dem Ödometerversuch angefertigt, da im weiteren auch keine ausreichende Anzahl an natürlichen Proben zur Verfügung stand. Es wurden noch weitere Kernproben am umliegenden Material der Ödometerprobe entnommen, um zu sehen, wie sich diese Bodenparameter im Vergleich zu diesen verhalten. Aus den oben

angeführten Ergebnissen ist zu erkennen, dass zwei der drei Proben konforme Ergebnisse liefern. Dazu sei angemerkt, dass es sich hierbei um eine Kernprobenentnahme vor dem Ödometerversuch handelt und somit keine Rückschlüsse auf Ergebnisse nach dem Ödometerversuch aus der Ödometerprobe zulassen.

Zusätzlich muss zum Arbeitsablauf angemerkt werden, dass sich der Kernstechzylinder nicht eintreiben lässt, während sich die Bodenprobe noch in dem Ödometerring befindet, da die Verspannungen zu groß werden, um dies ideal zu bewerkstelligen.

3.5 Korngrößenverteilung der untersuchten Bodenproben

Um einen Gesamtüberblick über die getesteten natürlichen Korngrößenverteilungen zu erhalten, werden diese in der Abb. 22 dargestellt.

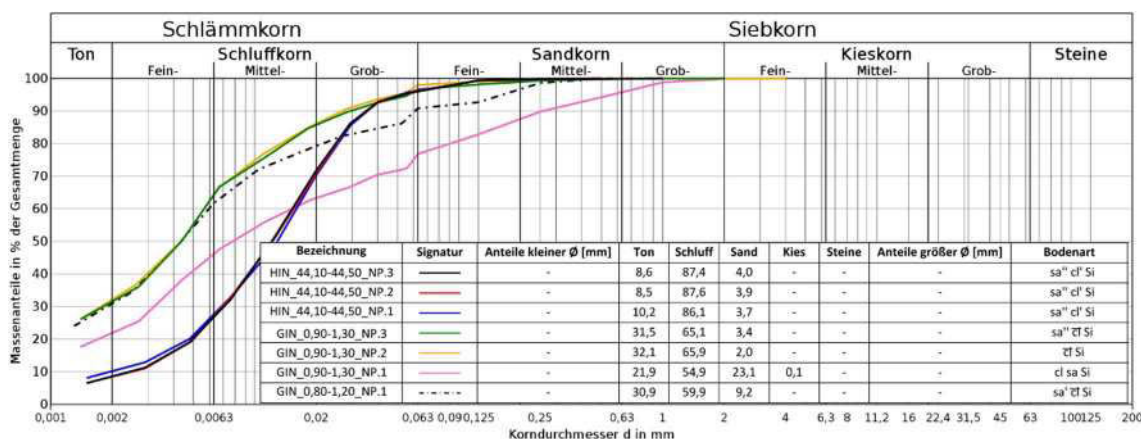


Abb. 22 Korngrößenverteilung aller natürlichen Proben

3.6 Röntgendiffraktometeranalyse

Die Gesamt- und Tonmineralbestimmung erfolgt mittels Röntgendiffraktometeranalyse (Panalytical XPert Pro; Co und Cu-Röhre).

3.6.1 Gesamtmineralbestand

Ein Teil jeder Probe wird bis zur Röntgenfeinheit aufgemahlen und auf einen Träger gepresst. Die qualitative und semiquantitative Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale erfolge mittels Röntgendiffraktometeranalyse (Panalytical XPert Pro/Co-Röhre) im doppelten Refraktionswinkelbereich von 3° bis 85° 2 θ . Die semiquantitativen Bestimmungen der Mineralanteile erfolgen aufgrund von Vergleichen charakteristischer Röntgenreflexintensitäten mit Eichaufnahmen.

3.6.2 Tonmineralbestand

Die Proben werden durch Schütteln in destilliertem Wasser aufgeschlossen und mit Ultraschall dispergiert. Proben mit höherem Karbonatanteil werden zur Entfernung des karbonatischen Anteils mit einer 0,1 molaren EDTE-Lösung, die mit NaOH auf einen pH-Wert von 8-8,5 eingestellt wurde, behandelt. Die Proben werden für ca. 1 Stunde auf 60-80°C erhitzt und weitere 12 Stunden zur vollständigen Ausreaktion geschüttelt. Danach wird die EDTE-Lösung durch Zentrifugieren, Dekantieren und Wiederaufnehmen mit destilliertem Wasser entfernt. Nach Abtrennung der Kornfraktion $< 2 \mu\text{m}$ im Sedimentationsverfahren werden aus den Suspensionen je 3 Texturpräparate auf Keramikträgern angefertigt. Zur Differenzierung der Tonmineralgruppen werden an je 2 Texturpräparaten Ionen-Austauschbehandlungen mit Kalium und Magnesium, sowie Quellversuche mit Glycerin und Dimethylsulfoxid durchgeführt.

Nach jedem Behandlungsschritt erfolgt eine Analyse mittels Röntgendiffraktometer. Die semiquantitativen bzw. quantitativen Bestimmungen erfolgten aufgrund von Vergleichen charakteristischer Röntgenreflexintensitäten mit Eichaufnahmen.

Durch Berücksichtigung des Anteiles der Kornfraktion $< 2 \mu\text{m}$ an der Gesamtprobe wurde der effektive Smektitgehalt errechnet.

Die Ergebnisse sind im Kap. 6.4.2 zusammengefasst und im Anhang 9.2 vollständig aufgeführt.

4 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf für die durchgeführte Untersuchung von natürlichen und wiederhergestellten, fein laminierten Böden mittels Kompressionsversuch, wird nach der Slurry Deposition Methode und der In-Place Wet Pluviation Methoden unterschieden.

4.1 Slurry Deposition Methode

4.1.1 Slurry Deposition Prozess Übersicht

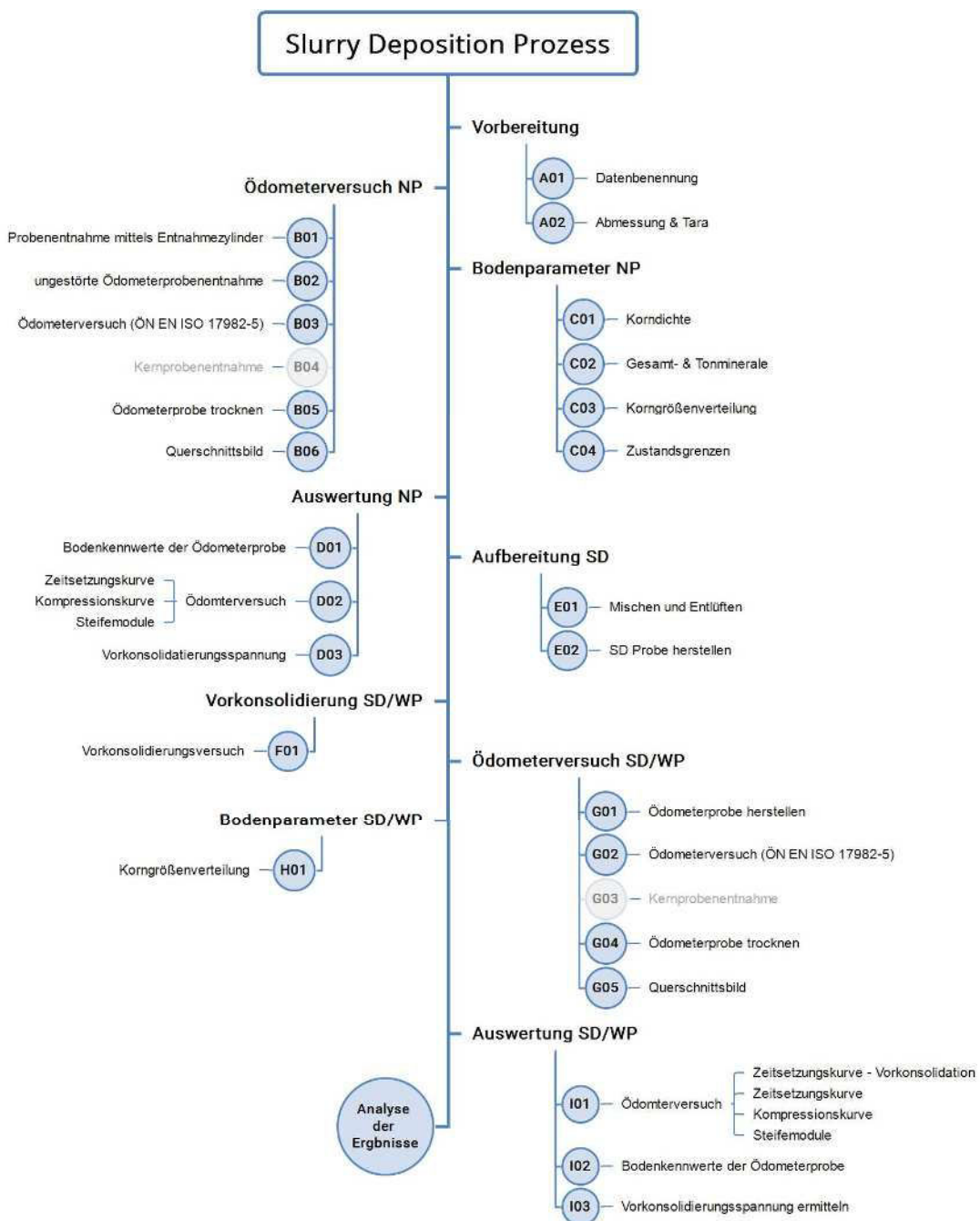


Abb. 23 Slurry Deposition Prozess

4.1.2 Versuchsvorbereitung

In der Versuchsvorbereitung werden alle Maßnahmen getroffen, um in weiterer Folge einen reibungsfreien Ablauf zu ermöglichen.

- **A01 Datenbenennung**

In großen Versuchsreihen ist es von essentieller Bedeutung, sich im Vorfeld darüber Gedanken zu machen, wie die Versuchsreihen und dazugehörigen Versuche benannt werden, um diese später immer eindeutig zu identifizieren. In dieser Masterarbeit wurde dies mit nachfolgender Bezeichnung erreicht:

Probeentnahmeort _ Entnahmetiefe (von-bis) _ Probenart _ fortl. Nr. _ Versuchsart

Beispielhaft:

GIN_0,90-1,30_NP.1_KGV

- **A02 Abmessung und Tara**

Es sind von allen verwendeten Ödometerringen und Kernstechzylindern die exakten Abmessungen und Taren zu erheben, um Bodenparameter frühestmöglich zu bestimmen.

4.1.3 Ödometerversuch der natürlichen Bodenprobe

- **B01 Probenentnahme mittels Entnahmezylinder**

Die Bodenproben werden an den Entnahmeorten mittels Eindrücken eines Entnahmezylinders mit innenliegendem Liner aus PVC DN125 entnommen, welcher eine Höhe von 40 cm aufweist, dieser dient dem Schutz der Kernprobe während dem Transport und verhindert ein Entspannen der Probe. Zusätzlich wird das PVC-Rohr an den offenen Enden mit Paraffin versiegelt um ein Austrocknen zu verhindern.

Im Labor werden die Proben aus dem PVC-Rohr entnommen und von dem Paraffin befreit. Hierbei ist große Sorgfalt gefragt, da dieses die Parameter wesentlich beeinflussen kann und die Ergebnisse damit unbrauchbar werden könnten.

- **B02 Ungestörte Ödometerprobenentnahme**

Aus dem nun freigelegten Bohrkern werden drei Ödometerproben, wie skizziert entnommen.

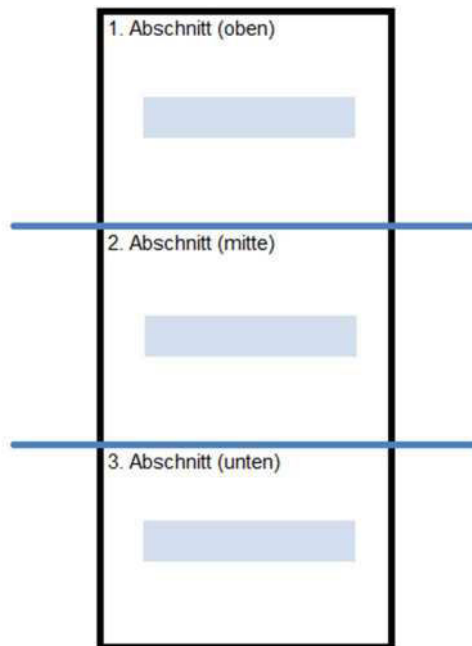


Abb. 24 Einteilung der Entnahme aus einem Bohrkern

Abb. 25 Entnahme einer ungestörten Ödometerprobe (GIN_0,80-1,20_SD.1)

Dabei wird wie in Abb. 25 zu sehen, der Ödometerring sukzessive in die Bodenprobe eingetrieben, bis eine ungestörte Probeentnahme möglich ist. Das dabei anfallende Abschnittsmaterial wird eingesammelt und je nach Lage (oben / mittig / unten) in unterschiedlichen Plastikbeuteln verpackt, vakuumiert und beschriftet. Das an den Enden überstehende Material wird mit einem scharfen glatten Messer plan auf den Ödometerring zugeschnitten und sollte schlussendlich wie in Abb. 26 und Abb. 27 aussehen.



Abb. 26 Oberseite
(GIN_0,90-1,30_NP.3)



Abb. 27 Unterseite
(GIN_0,90-1,30_NP.3)

Ist die Probe soweit fertiggestellt, wird vor dem Einbau in die Ödometerzelle noch die Feuchtmasse mit einer Genauigkeit von 0,001 g bestimmt. Diese Genauigkeit gilt für sämtliche Wiegungen in dieser Masterarbeit, sofern nicht abweichend angegeben.

- **B03 Ödometerversuch nach ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015)**

Direkt im Anschluss sollte mit dem Kompressionsversuch begonnen werden, dazu wird der Ödometerring samt Bodenprobe in der Ödometerzelle fixiert, der Druckstempel aufgelegt und in die einaxiale Druckpresse eingesetzt. Danach ist der Probenkontakt des axialen Druckstempels herzustellen, der Verformungsaufnehmer aufzusetzen und auf Null zu stellen. Die Ödometerzelle wird im Anschluss mit Wasser befüllt und der Wasserspiegel konstant gehalten, um eine Austrocknung zu verhindern. Danach kann die Software mit der in Kap. 3.1 gezeigten Belastungssequenz gestartet werden. Nach Beendigung des Kompressionsversuches wird der Ödometerring in umgekehrter Reihenfolge wieder ausgebaut. Ein weiteres Mal wird die Feuchtmasse bestimmt, dabei ist die Außenseite des Ödometerringes zu trocknen, da kleinste Wassertropfen den Wassergehalt maßgeblich beeinflussen können. Die digitale Aufzeichnung ist entsprechend zu benennen und abzulegen.

Im Detail kann der Ablauf der ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015) entnommen werden.



Abb. 28 Einzelteil der Ödometerzelle

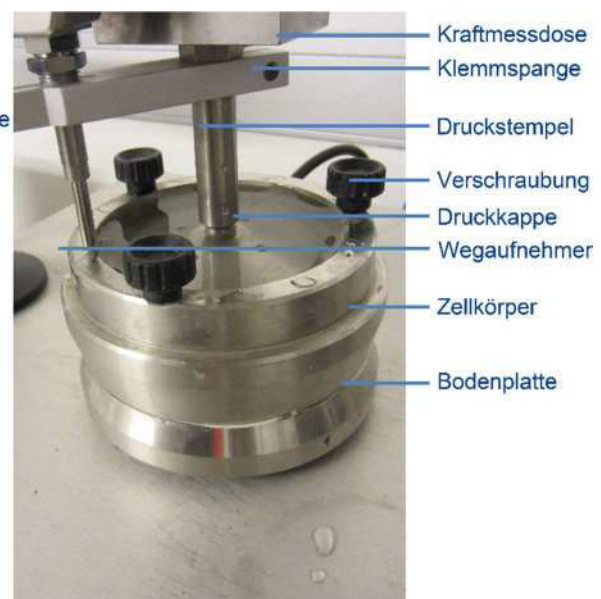


Abb. 29 Versuchsstart einer Ödometerprobe

- **B04 Kernprobenentnahme**

Dieser Abschnitt ist wechselweise von Relevanz, in Abhängigkeit ob eine Kernprobe entnommen werden soll oder nicht. Dementsprechend sind nachstehende Anweisungen oder jene im Abschnitt „B05 – Ödometerprobe trocknen“ zu befolgen.

Direkt nach der Wiegung, wird der Kernstechzylinder in die Ödometerprobe eingetrieben, bis eine ungestörte Probeentnahme möglich ist. Das an den Enden überstehende Material, wird mit einem scharfen, glatten Messer plan auf den Kernstechzylinder zugeschnitten, anschließend ist die Feuchtmasse zu bestimmen.

Der Kernstechzylinder, sowie das gesamte Abschnittsmaterial (es ist darauf zu achten, dass nichts verloren geht), wird bei 60°C im Ofen vollständig getrocknet und anschließend gewogen. Damit kann die Trockenmasse der Kernprobe und die der Ödometerprobe ermittelt werden.

Das Material wird bei 60°C getrocknet, da im Anschluss die Korngrößenverteilung bestimmt wird, daher muss einer Zerstörung von Tonmineralstrukturen durch zu hohe Temperaturen vermieden werden.

- **B05 Ödometerprobe trocknen**

Wird keine Kernprobe gezogen, ist der Ödometerring samt Bodenprobe bei 60°C im Ofen zu trocknen und nach vollständiger Trocknung zu wiegen, um die Trockenmasse zu bestimmen.

- **B06 Querschnittsbild**

Nach dem die Bodenprobe getrocknet wurde, wird diese dem Durchmesser entlang in der Mitte in zwei Hälften gebrochen, um sich von dem innenliegenden Querschnitt ein Bild zu verschaffen.



Abb. 30 getrocknete Ödometerprobe
GIN_090-1,30_NP.1



Abb. 31 Querschnittsbild GIN_0,80-1,20_SD.1

4.1.4 Bodenparameter der natürlichen Bodenprobe

Die beiden Hälften der natürlichen Bodenprobe werden für die Bestimmung der Korndichte, Korngrößenverteilung und Gesamt- & Tonminerale benötigt. Die Bestimmung der Konsistenzgrenzen erfolgt aufgrund der größeren Probenmenge aus dem Abschnittsmaterial. Die Trockenmasse der Ödometerprobe wird folgendermaßen aufgeteilt:

- **C01 Korndichte nach ÖNORM EN ISO 17892-3 (2016)**

Von der Ödometerprobe werden ca. 40 g für die Bestimmung der Korndichte nach ÖNORM EN ISO 17892-3 (2016) benötigt, welcher auch die Verfahrensschritte zur Durchführung zu entnehmen sind.

- **C02 Gesamt- und Tonminerale**

Die Spezifizierung der Gesamt- & Tonminerale erfolgt mittels Röntgendiffraktometeranalyse (Panalytical XPert Pro; Co und Cu-Röhre) am Institut für Angewandte Geowissenschaften, dazu sind ca. 10 g an Probenmaterial erforderlich.

- **C03 Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4 (2014)**

Der Rest der Ödometerprobe wird für die Bestimmung der Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4 (2014) verwendet, es ist eine vollständige Korngrößenverteilungskurve zu erstellen, dazu wird eine Siebung und Sedimentationsanalyse durchgeführt.

Dieser Schritt kommt bei der In-Place Wet Pluviation Methode nicht zur Anwendung, sondern ist dem Abschnitt J01 zu entnehmen.

- **C04 Zustandsgrenzen nach ÖNORM EN ISO 17892-12 (2017)**

Aus dem Abschnittsmaterial werden die Zustandsgrenzen nach ÖNORM EN ISO 17892-12 (2017) bestimmt, für den weiteren Prozess ist die Fließgrenze w_L ein wesentliches Kriterium zur Aufbereitung der wiederhergestellten Proben.

4.1.5 Auswertung der natürlichen Proben

- **D01 Bodenkennwerte der Ödometerprobe**

Aus den Wiegeungen und der Spezifizierung der Bodenparameter der Ödometerprobe, werden folgende Kennwerte bestimmt, welche in vor Versuchsbeginn und nach Beendigung des Kompressionsversuches unterschieden werden.

Tab. 5 Bodenkennwert der natürlichen Probe

Bodenkennwerte		
Dichte _{feucht}	ρ_f	[g/cm ³]
Dichte _{trocken}	ρ_d	[g/cm ³]
Wassergehalt	w	[%]
Porenanteil	n	[%]
Porenzahl	e	[-]
Sättigungsgrad	S_r	[-]

- **D02 Ödometerversuch**

Aus den Rohdaten des Kompressionsversuches wird die Zeitsetzungskurve, aus den Endsetzungen jeder Stufe wird die Kompressionskurve konstruiert und zusätzlich werden davon die Steifemodule E_{oed} jeder Laststufe ermittelt.

- **D03 Vorkonsolidierungsspannung**

Bei jeder natürlichen Bodenprobe wird die maximale geologische Vorkonsolidierungsspannung anhand der in Kap. 2.3 beschriebenen Verfahren ermittelt.

4.1.6 Aufbereitung der Slurry Deposition Probe

- **E01 Mischen und Entlüften**

Vom jeweiligen Abschnittsmaterial werden 500 g Trockenmasse, in eine 1,0 Liter Laborflasche gefüllt, welche als Misch- und Aufbewahrungsbehälter dient. Das fehlende Wasser auf das 1,75-fache der Fließgrenze w_L wird ergänzt und die Laborflasche wird in die Mischvorrichtung eingespannt.

Der Mischprozess wird gestartet, es wird 1 Stunde gemischt und anschließend entlüftet bis nur mehr marginal Luftblasen in der Suspension aufsteigen. Dann wird 2 Stunden gemischt und entlüftet und letztlich noch 3 Stunden gemischt und entlüftet. Die Probe wird für 48 Stunden stengelassen, damit diese sich vollständig absetzen kann. Das überschüssige Wasser wird abgesaugt und nochmals entlüftet.



Abb. 32 eingewogene
Trockenmasse



Abb. 33 überschüssiges Wasser nach dem
Absetzprozess

- **E02 Slurry Deposition Proben herstellen**

Kurz vor dem Herstellen der Slurry Deposition Probe wird diese 1 Stunde gemischt, um ein ideales Mischgut zu erhalten, welches nicht durch den Absetzeffekt in der Korngrößenverteilung geprägt ist.

Der Aufsatzzylinder wird mit der Ödometerzelle verschraubt, der Ödometerring befindet sich bereits in der Zelle, danach wird die Suspension eingefüllt. Es ist darauf zu achten, dass sich keine größeren Kiesfraktionen und Lufteinschlüsse in dem Probenmaterial befinden, die einen störenden, unerwünschten Einfluss auf die Beprobung haben könnten. Die Anfangshöhe der Slurry Deposition Probe, welche für die Eingabe in der Software benötigt wird, wird bestimmt, um die spezifische Setzung s' zu berechnen.



Abb. 34 Innenansicht des Aufsatzzylinders montiert auf der Ödometerzelle

Abb. 35 Bestimmung der Ausgangshöhe

4.1.7 Vorkonsolidierung der Slurry Deposition / In-Place Wet Pluviation Probe

Ohne Zeitverzug ist mit dem Vorkonsolidierungsversuch zu beginnen, welcher für die Slurry Deposition und In-Place Wet Pluviation Methode ident abläuft.

- **F01 Vorkonsolidierungsversuch**

Der Druckstempel inkl. Verlängerung wird auf die Probe aufgesetzt, die Ödometerzelle inkl. Aufsatzzylinder in die einaxiale Druckpresse eingesetzt und der Verformungsaufnehmer angebracht und auf Null gestellt.



Abb. 36 verlängerter Druckstempel



Abb. 37 SD Probe vor dem Vorkonsolidierungsbeginn

Anmerkung:

An diesem Punkt musste kurzfristig improvisiert werden, da die Halterung des Wegaufnehmers nicht auf den Durchmesser des Aufsatzzylinders ausgelegt war. Es musste ein Anschlag für den Verformungsaufnehmer geschaffen werden.

Die Belastungsstufen sind der maximalen geologischen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$, welche in dem Prozessschritt D03 ermittelt wurde, anzupassen.

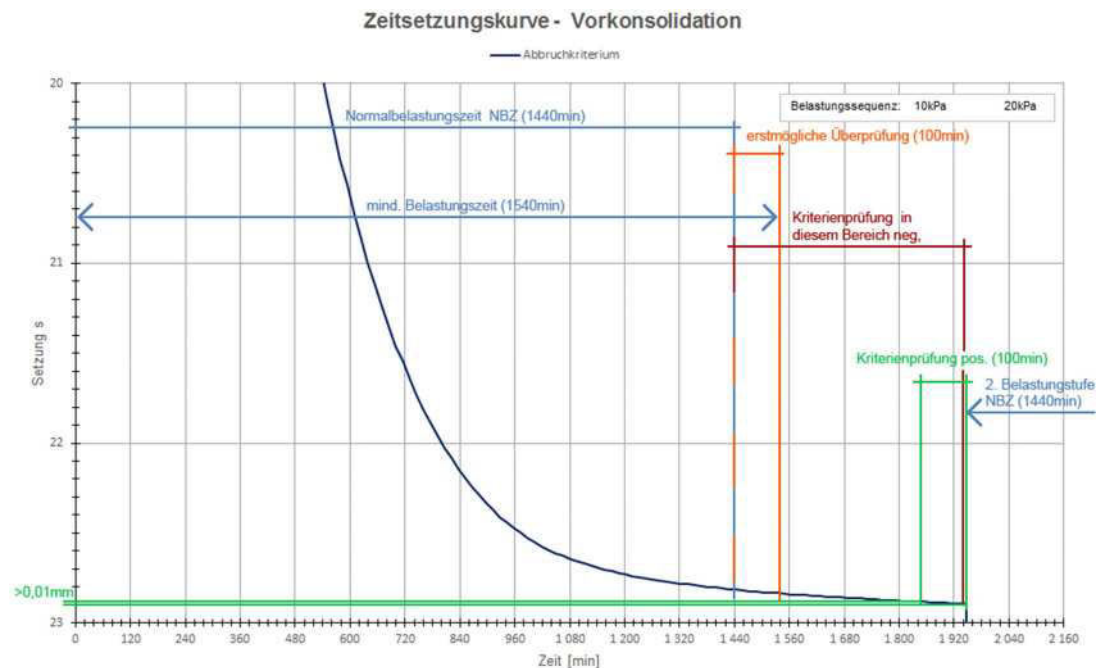


Abb. 38 Abbruch Kriterienprüfung

Das Belastungsintervall wird mit 24 Stunden festgelegt, danach erfolgt die kontinuierliche Überprüfung eines zusätzlichen Abbruchkriteriums, welches mit 0,01 mm in 100 min festgelegt wurde. Das Abbruchkriterium definiert sich aus einer zu unterschreitenden Setzung in einer bestimmten Zeitspanne und nicht aus der erhaltenen Neigung, somit wird das Abbruchkriterium auch nicht innerhalb dieser Zeitspanne interpoliert. Dies hat zur Folge, dass die Probe mindestens 1540 min belastet wird, auch wenn das Abbruchkriterium schon vorher erreicht wurde. Dies garantiert, dass die Setzung auf dieses Minimum abgeschlossen ist, bevor in die nächste Belastungsstufe geschaltet wird.

Die Software wird mit der oben angeführten Belastungssequenz gestartet.

4.1.8 Ödometerversuch der Slurry Deposition / In-Place Wet Pluviation Probe

Für die Slurry Deposition und In-Place Wet Pluviation Methode ist der nachfolgende Ablauf identisch.

- **G01 Ödometerprobe herstellen**

Nach Beendigung der Vorkonsolidierung, wird die Ödometerzelle aus der einaxialen Druckpresse herausgenommen und das ausgepresste Wasser abgesaugt. Der Aufsatzzylinder wird von der Ödometerzelle unter leichtem Druck auf dem Druckstempel gelöst, um ein Auseinanderreißen der Probe zu verhindern.

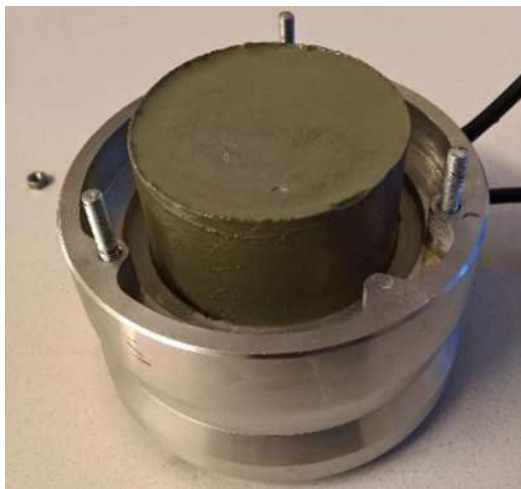


Abb. 39 SD Probe nach Ausbau aus dem Aufsatzzylinder



Abb. 40 schrittweises Entfernen der überschüssigen SD Probe (1)



Abb. 41 schrittweises Entfernen der überschüssigen SD Probe (2)



Abb. 42 fertige SD Ödometerprobe

Die überschüssige Probe wird wie oben dargestellt, sukzessive und behutsam abgeschnitten, bis das obere Ende plan mit dem Ödometerring ist. Vorausgesetzt, dass die Ödometerprobe ausreichend standfest ist, wird die Feuchtmasse bestimmt.

- **G02 Ödometerversuch nach ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015)**

Der Prozessablauf ist dem Abschnitt B03 zu entnehmen, für einen idealen Vergleich zu der natürlichen Bodenprobe, ist die Belastungssequenz ident zu wählen.

- **G03, G04 & G05 Kernprobenentnahme, Ödometerprobe trocknen und Querschnittsbild**

Die Prozessschritte der aufgeführten Punkte können den zugehörigen Kapiteln B03 – B05 entnommen werden.

4.1.9 Bodenparameter der Slurry Deposition / In-Place Wet Pluviation Probe

- **H01 Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4 (2014)**

Die im Querschnitt gebrochene Ödometerprobe wird nur für die Slurry Deposition Methode nochmals in eine obere und unter Hälfte zerteilt, um festzustellen, ob sich in der Suspension Absetzeffekte eingestellt haben. Dazu wird von den Hälften eine vollständige Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4 (2014) durchgeführt, wogegen die Ödometerprobe nach der In-Place Wet Pluviation Methode im Gesamten betrachtet wird.

4.1.10 Auswertung der Slurry Deposition / In-Place Wet Pluviation Probe

- **I01 Bodenkennwerte der Ödometerprobe**

Die Ermittlung der Bodenkennwerte erfolgt ohne Unterschied zu der natürlichen Ödometerprobe und kann somit im Punkt D01 nachgelesen werden.

- **I02 Ödometerversuch**

Zusätzlich zu den in Punkt D02 beschriebenen Auswertungen, wird die Zeitsetzungskurve der Vorkonsolidierung aus den Rohdaten des Kompressionsversuches konstruiert.

- **I03 Vorkonsolidierungsspannung**

In der künstlich wiederhergestellten Bodenprobe wird die maximale Vorkonsolidierungsspannung nur mit den Verfahren nach Murayama und Shibata (1958) und Kotzias (1963) ermittelt.

4.1.11 Analyse der Ergebnisse

Im letzten Schritt werden die Auswertungen der zusammengehörigen Versuchsreihen der natürlichen (NP) mit denen der wiederhergestellten Probe (SD bzw. WP) verglichen. Dabei werden die Zeitsetzungskurven, sowie die Kompressionskurven

jeweils in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt und die ermittelten Kennwerte gegenübergestellt.

4.2 Vorversuche der In-Place Wet Pluviation Methode

Um den Ablauf der In-Place- und Wet Pluviation Methode zu prüfen und zu verbessern, wurden entsprechende Vorversuche durchgeführt.

4.2.1 Versuchsanordnung

Es wurden vier Versuchsreihen zu je sechs Versuchen durchgeführt, um die Sedimentationseigenschaften der unterschiedlichen Schichtungen zu analysieren.

Dafür wurden Reagenzgläser mit einem Durchmesser von 150 mm x 15 mm Fassungsvermögen verwendet, welche in dem zugehörigen Reagenzglasständer senkrecht aufgestellt wurden. Für die Befüllung der Versuchsanordnung wurde eine mechanische Pipette, welche sich stufenlos von 0,01 – 1,00 ml regeln lässt, mit aufsteckbaren PP-Pipettenspitzen verwendet. Die Spitze musste auf einen offenen Querschnitt von 1,5 mm gekappt werden, um den Durchgang der Sandfraktion zu gewährleisten und die Suspensionsschlämme leichter aufzunehmen.



Abb. 43 Pipette und Pipettenspitzen

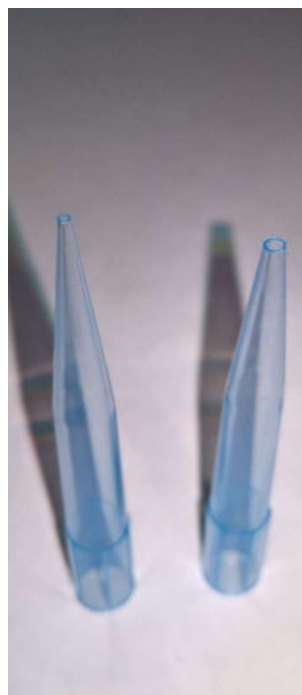


Abb. 44 gekappte
Pipettenspitze



Abb. 45 leeres
Reagenzglas

4.2.2 Versuchsreihen

Die vier Versuchsreihen der Vorversuche orientierten sich an einer Referenzprobe aus GIN_0,90-1,30 welche in Abb. 46 abgebildet ist und wie folgt in Tab. 7 zusammengefasst wurde.



Abb. 46 Referenzprobe der Vorversuche aus GIN_0,90-1,30

Die Bodenmaterialien setzen sich wie in Tab. 6 angeführt zusammen und sind abweichend von der ÖNORM B 4400-1 (2010) deklariert.

Tab. 6 Korngrößenverteilung der Vorversuche

Korngrößenbereich	Si	Fsa	Msa
< 0,063 mm ($w_L=39,04\%$)	100 %	---	---
> 0,063mm - < 0,125 mm	---	75 %	33,3 %
> 0,125mm - < 0,250 mm	---	25 %	33,3 %
> 0,250mm - < 0,500 mm	---	---	33,3 %

Das schluffige (Si) Bodenmaterial wurde mit dem 1,75-fachen der Fließgrenze w_L aufgemischt und die beiden anderen Bodenmaterialien mit so viel Wasser das diese zur Gänze bedeckt waren, damit sich bei der Entnahme ein Unterdruck in der Pipette einstellen konnte.

Tab. 7 Übersicht der WP Vorversuchsreihen

Höhe	1. Versuchsreihe	2. Versuchsreihe	3. Versuchsreihe	4. Versuchsreihe
(oben) 9mm	Si	Si	Si	Si
2mm		Fsa	Msa	Msa (Fsa)
7mm		Si	Si	Si
1mm		Fsa	Msa	Fsa
(unten) 9mm		Si	Si	Si

$$\Sigma = 28\text{mm}$$

In der 1. Versuchsreihe wurde ausschließlich Si sedimentiert, in der 2. Versuchsreihe wurden sämtliche Sandschichten aus dem Bodenmaterial Fsa und in der 3. Versuchsreihe aus dem Bodenmaterial Msa gebildet. Die 4. Versuchsreihe bildet die Referenzprobe exakt in Abhängigkeit von Lage, Schichtdicke und Korngröße nach.

4.2.3 Versuchsablauf

Die Reagenzgläser, in welcher die Sedimentation stattfand, wurden mit 5 ml Wasser befüllt. Die Versuchsreihen wurden mit ca. 0,5 ml Bodenmaterial, je Befüllungsvorgang befüllt und vollständig sedimentiert, bevor die nächste Befüllung vorgenommen wurde.

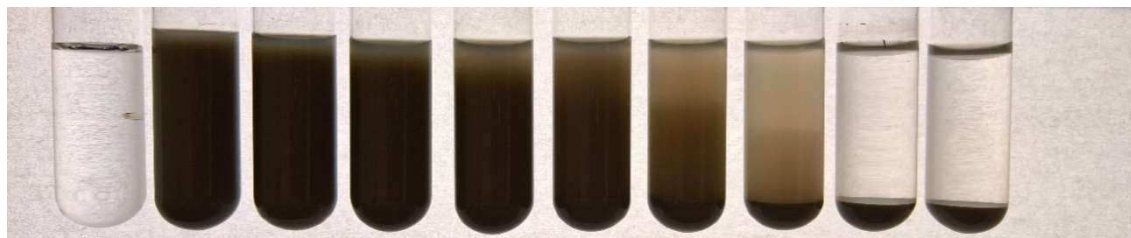


Abb. 47 Sedimentation von Si zu unterschiedlichen Zeitpunkten

Der Sedimentationsprozess von Si, wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten, von links nach rechts, leer – 0 – 15 – 30 – 60 – 120 – 180 – 360 – 720 – 1440 min in der Abb. 45 abgelichtet. Die vollständige Sedimentation wurde mit 12 Stunden festgelegt.

Anmerkung:

Diese Annahme musste zu einem späteren Zeitpunkt korrigiert werden, siehe Punkt „Lagerungsdichte“ Kap. 4.2.4.

4.2.4 Auswertung der Vorversuche

Die exakten Einfüllmengen wurden protokolliert und sind der Tab. 8 zu entnehmen.

Tab. 8 Einfüllmengen der vier Vorversuchsreihen

1. Versuchsreihe		2. Versuchsreihe		3. Versuchsreihe		4. Versuchsreihe	
Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml
Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml
Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml
Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml
Si	0,50 ml	Fsa	0,30 ml	Msa	0,30 ml	Fsa	0,30 ml
Si	0,50 ml	Fsa	0,30 ml	Msa	0,30 ml	Fsa	0,30 ml
Si	0,50 ml	Si	0,40 ml	Si	0,40 ml	Si	0,40 ml
Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml
Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml
Si	0,50 ml	Fsa	0,30 ml	Msa	0,30 ml	Fsa	0,30 ml
Si	0,50 ml	Fsa	0,30 ml	Msa	0,30 ml	Msa	0,30 ml
Si	0,20 ml	Fsa	0,40 ml	Msa	0,40 ml	Msa	0,40 ml
		Fsa	0,50 ml	Msa	0,50 ml	Msa	0,50 ml
		Si	0,50 ml	Si	0,50 ml	Si	0,50 ml
		Si	0,10 ml	Si	0,10 ml	Si	0,10 ml
Σ	5,70 ml	Σ	6,10 ml	Σ	6,10 ml	Σ	6,10 ml

- **Sand drucklos einrieseln**

Die zu sedimentierenden Sandmischungen F_{sa} und M_{sa} sind drucklos einzurieseln, dies erfolgt dadurch, dass bei Berührung der Pipettenspitze mit der Wasseroberfläche, die an der Pipettenspitze vorhandene Oberflächenspannung verloren geht und die Sandmischung herausfließt. Damit wird eine langsamere Absetzgeschwindigkeit und somit auch eine geringere Aufprallenergie auf der bereits sedimentierten Suspension erreicht. Dieser Vorgang hält die Sandkörnung davon ab tiefer in die Suspension einzudringen.



Abb. 48 Sand wird drucklos eingeriesel

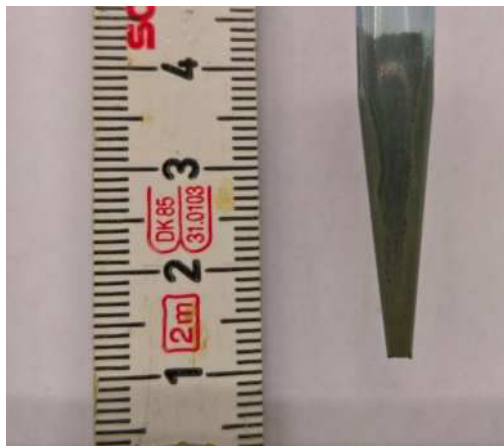


Abb. 49 anhaftende Suspension (~100)

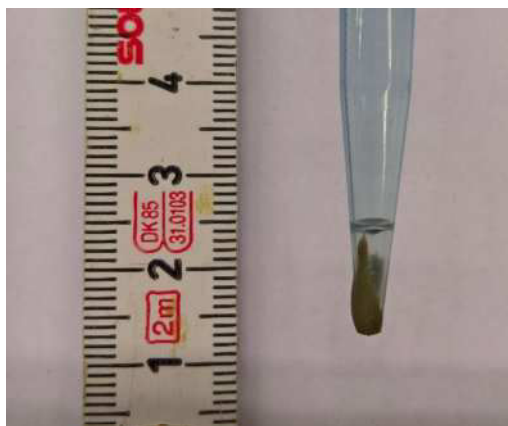


Abb. 50 Rückstände auf der Außenseite

- **Anhaften der Suspension**

Bei den PP-Pipettenspitzen ist durch das mehrmalige (ca. 20) Befüllen und Entleeren ein innenliegendes Anhaften der Suspension festzustellen und es konnten nicht wieder alle Bodenteilchen aus der Pipette gedrückt werden. Die Pipette muss dann gespült werden. Dies wird auf eine zunehmende Anlagerung feinsten Bodenteilchen an der Oberfläche der Pipettenspitze zurückgeführt (siehe auch Abb. 66). Behoben wird dies durch einen Austausch oder eine Reinigung.

- **Rückstände auf der Außenseite**

Bei der Entnahme der Suspension bleiben auf der Außenseite der Pipettenspitze Suspensionsrückstände zurück, welche zusätzlich in die Probe tropfen können und somit die Masse verändern.

- **Oberflächenspannung der Suspension**

Wird die Suspension unter Wasser oder bei geringer Fallhöhe auf die Wasseroberfläche aus der Pipette gedrückt, ist eine deutliche Oberflächenspannung der Suspension im Wasser zu erkennen, was zur Folge hat, dass kleine Klümpchen bis zum Boden fallen und nicht frei sedimentieren. Deshalb ist die Aufprallhöhe zu steigern, bis durch die Aufprallenergie diese Oberflächenspannung zerstört wird. Diese Erscheinung wird mit zunehmender Verschmutzung des Wassers durch Feinteile geringer.

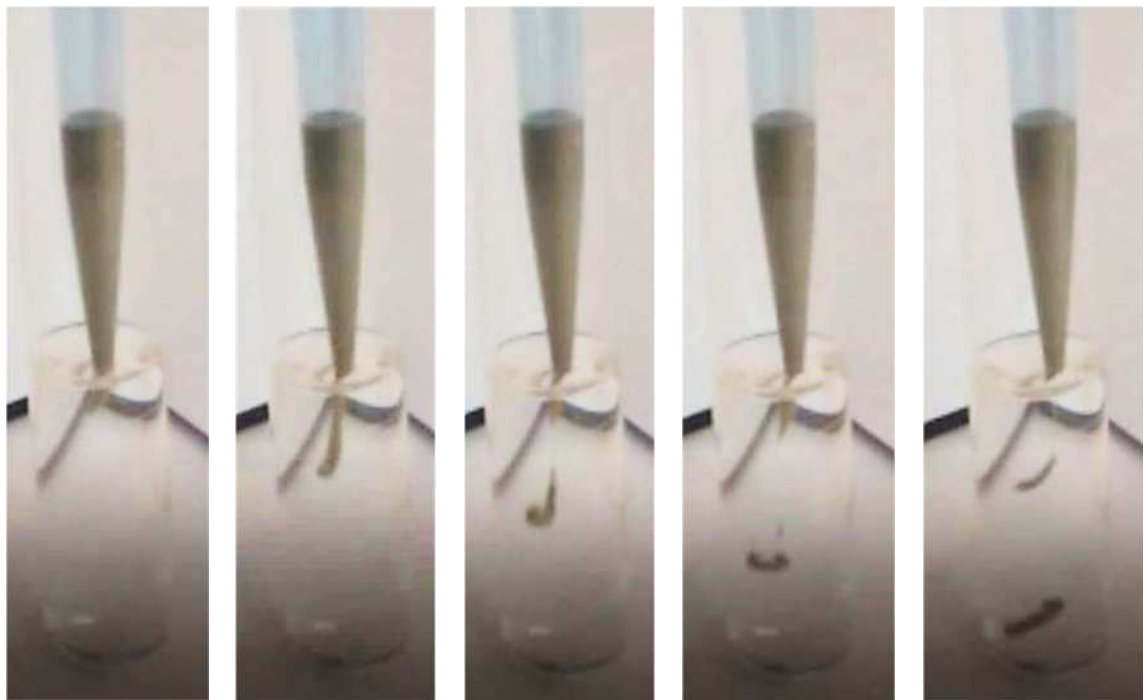


Abb. 51 Oberflächenspannung der Suspension

- **Siebliniensprung**

Werden angrenzende Schichten hinsichtlich deren Korngrößenverteilung analysiert, sind Ausfallkörnungen zu vermeiden, dies bedeutet das eine oder mehrere Korngrößenbereiche fehlen. Da größere Korngrößen in einer bereits sedimentierten Suspension versinken. Der Unterschied des Phänomens konnte bereits zwischen den beiden Bodenmaterialien Fsa und Msa festgestellt werden. Dieses Verhalten wurde in der 3. Versuchsreihe bemerkt und führte dazu, dass in der

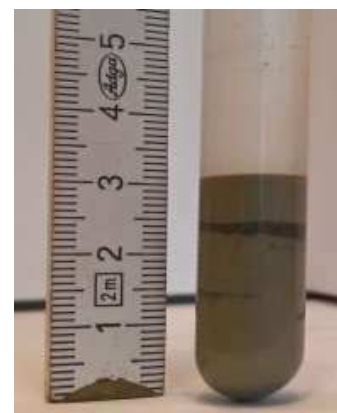


Abb. 52 Siebliniensprung

4. Versuchsreihe eine Befüllung mit Fsa vor jener mit Msa erfolgte, um diesen

Effekt zu verhindern. Bei Versuchen mit untenliegender Filterplatte, kann die Suspension im Vorfeld durch einen von unten angebrachten Unterdruck vorverdichtet werden.

- **Verformung durch Überlagerung**

Eine zu schnelle und zu große aufgebraute Feinschicht auf einer Sandschicht mit darunterliegender Feinschicht, kann zu Verformungen im Gefüge führen, wie in Abb. 53 zu erkennen ist. Diese entstehen wahrscheinlich durch geringste Inhomogenität bzw. Belastungsunterschiede der darunterliegenden Feinschicht. Dieses Verhalten ist wahrscheinlich auch ohne dazwischenliegende Sandschicht vorhanden, konnte aber mit bloßem Auge nicht beobachtet werden, da die Korngrößen zu fein sind.



Abb. 53 Verformung durch Überlagerung

- **Sandentnahme mittels Pipette**

Die reibungslose Sandentnahme funktioniert derart, dass die Bodenteilchen in Bewegung sind, da der Unterdruck zu gering ist, um eine kompakte Lagerung aufzubrechen. Ansonst strömt nur Wasser in die Pipette.

- **Lagerungsdichte**



Abb. 54 unterschied der Lagerungsdichte

Obwohl alle Proben sich augenscheinlich vollständig abgesetzt hatten, konnten doch Unterschiede in der Lagerungsdichte eruiert werden, welche zu den unterschiedlichen Zeitpunkten, von links nach rechts, leer – 1710 – 1725 – 1740 – 1770 – 1830 – 1890 – 2070 – 2430 – 3550 min vorherrschten wie in Abb. 54 erkennbar. Dieser Effekt hat vermutlich auch einen erheblichen Einfluss auf die Anfälligkeit des Sedimentationsprozesses hinsichtlich Siebliniensprünge und der Verformung durch Überlagerung.

Anmerkung: Diese Erkenntnis ergab sich zufällig als, die nicht mehr benötigten Proben beiseite gestellt wurden. Die Ablagerungen in den Reagenzgläsern (siehe Abb. 54) ergaben sich, da die Sedimentation leicht aus der Vertikalen geneigt zu Ende ging.

- **vermehrter Eintrag an Wasser**

Aus den in den Ergebnissen dargestellten Abb. 55 bis Abb. 58 ist ein deutlich vermehrter Eintrag an Wasser, durch die Sandsuspension zu erkennen. Dies hat zufolge, dass sich die Sedimentationsstrecke im Laufe der Sedimentierung ändert und auf die Fallhöhe anzupassen ist.

- **Endergebnis**

In den nachfolgenden Darstellungen ist jeweils eine der sechs Proben jeder Versuchsreihe dargestellt, es ist zu keinen augenscheinlichen Unterschieden zwischen den einzelnen Proben gekommen.

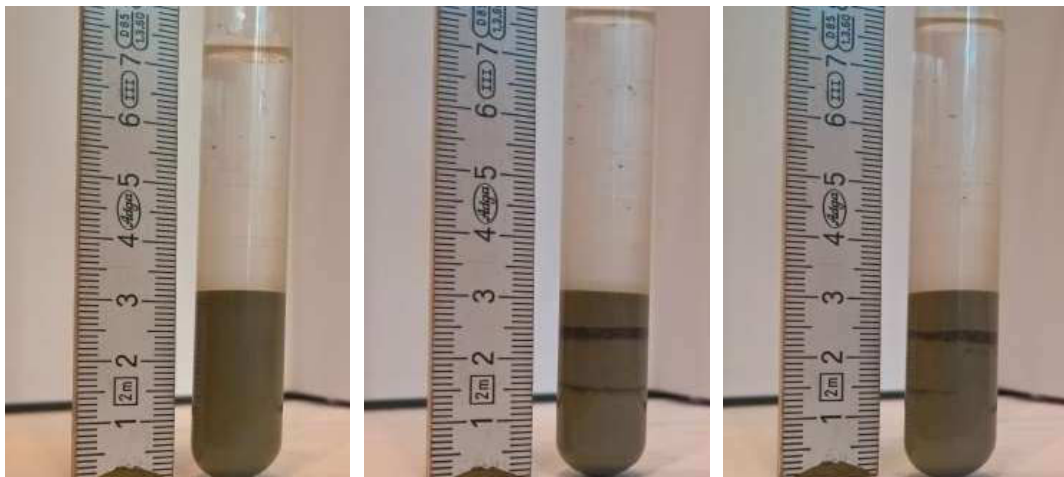


Abb. 55 1. Versuchsreihe

Abb. 56 2. Versuchsreihe

Abb. 57 3. Versuchsreihe

In Abb. 59 ist die 4. Versuchsreihe im Vergleich zur Referenzprobe maßstäblich dargestellt, welche trefflich nachgebildet wurde.

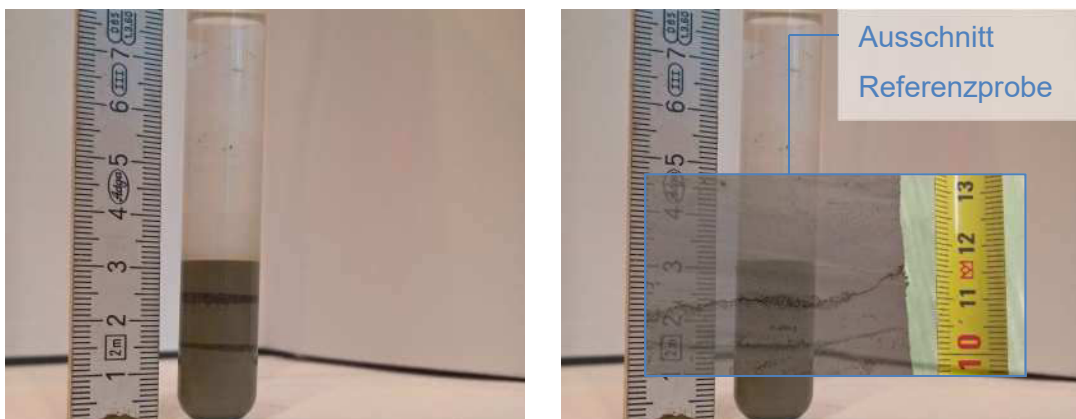


Abb. 58 4. Versuchsreihe

Abb. 59 4. Versuchsreihe im Vergleich zur Referenzprobe

4.3 In-Place Wet Pluviation Methode

4.3.1 In-Place Wet Pluviation Prozess Übersicht

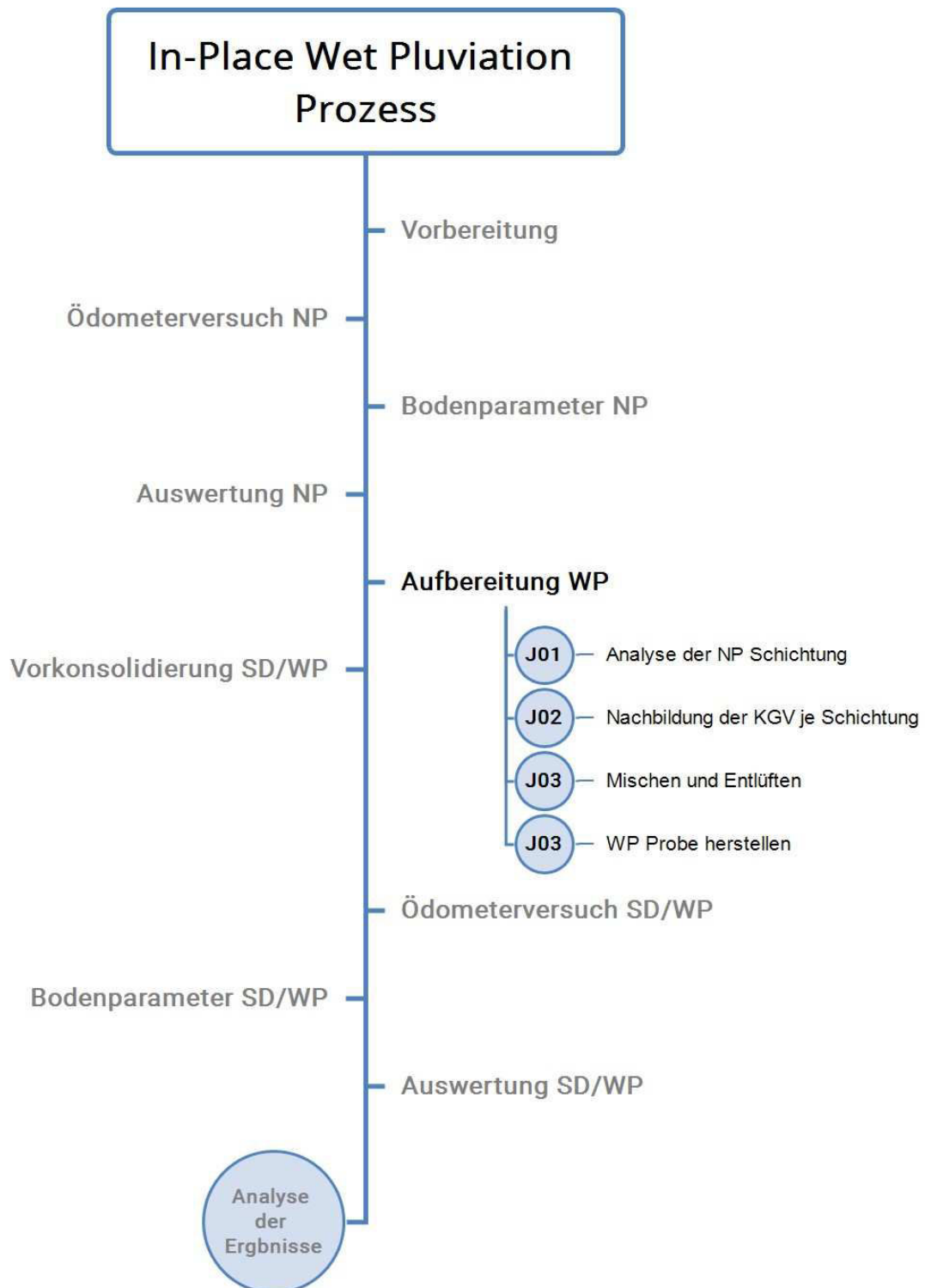


Abb. 60 In-Place Wet Pluviation Prozess

Alle grau dargestellten Prozessphasen sind dem Kap. 4.1 zu entnehmen, da diese ohne Unterschied in der Methode zur Anwendung kommen.

4.3.2 Aufbereitung der In-Place Wet Pluviation Probe

- **J01 Analyse der natürlichen Probenschichtung**

Die restliche Ödometerprobe wird bezüglich deren Schichtung auf Lage, Korngrößenverteilung und Trockenmasse untersucht. Dazu werden die Schichtungen so exakt wie möglich voneinander getrennt und eine vollständige Korngrößenverteilung nach ÖNORM EN ISO 17892-4 (2014) durchgeführt. Die korrekte Lage der Schichtungen kann dem Querschnittsbild entnommen werden.

Die Korngrößenverteilung der natürlichen Probe ergibt sich aus der Aufsummierung der einzelnen Korngrößenverteilungen je Schichtung.

- **J02 Nachbildung der Korngrößenverteilung je Schichtung**

Das Abschnittsmaterial wird durch eine Siebung in die einzelnen Korngrößenbereiche aufgetrennt, um diese dann anhand der analysierten Schichtungen der natürlichen Probe zusammensetzen.

- **J03 Mischen und Entlüften**

Für jene Schichten die zum Hauptbestandteil aus Korngrößen $<0,063$ mm bestehen, ist der Ablauf der Aufbereitung dem Abschnitt E01 zu entnehmen, mit der Einschränkung, dass das überschüssige Wasser nicht abgesaugt wird, um eine ideale Aufnahme durch die Pipette zu gewähren.

Für Schichten, deren Hauptbestandteile aus Korngrößen $>0,063$ mm bestehen bzw. sich Absetzeffekte in wenigen Sekunden einstellen (z.B. Sandschichten), wird das Bodenmaterial mit einem unbestimmten Wassergehalt versehen, so dass es auch nach dem zweistündigen Mischvorgang vollständig überdeckt wird, anschließend wird das Bodenmaterial entlüftet.

- **J04 In-Place Wet Pluviation Probe herstellen**

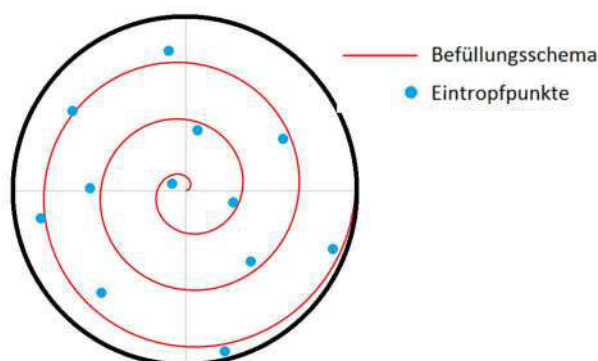


Abb. 61 Befüllungsschema

Der Aufsatzzylinder wird wie in Abb. 19 montiert und ist mit Wasser zu befüllen, dass jedem Sedimentationszyklus die gleiche Wassertiefe für die Sedimentation zur Verfügung steht.

Das Bodenmaterial wurde zu je 1 ml Mengen laut dem

nachfolgendem Befüllungsschema über der Wasseroberfläche eingetroppt, damit ausreichend Aufprallenergie vorhanden ist und die Oberflächenspannung aufbricht. Die Gesamtfüllmenge je Sedimentationszyklus ist dem Bodenmaterial, der Schichtung und Versuchsgröße anzupassen.

Die Anfangshöhe der In-Place Wet Pluviation Probe welche für die Eingabe in der Software benötigt wird, wird bestimmt, um die spezifische Setzung s' zu berechnen.

4.3.3 Resümee zum Prozess der In-Place Wet Pluviation Methode

- **Eintropfhöhe und steigender Wasserspiegel**

Die Wassertiefe muss anfangs bereits so gewählt werden, dass wenn der komplette Sedimentationsprozess abgeschlossen ist, genug Freibord nach oben besteht, damit die Sedimentationsstrecke gleich bleibt.

- **Bimetallkorrosion**

Diese entsteht bei einer Verbindung unterschiedlicher Korrosionsbeständiger Metalle, unter Einfluss von Wasser. Zwischen den beiden Metallen fließt ein spannungsarmer Strom von der Anode (unedles Metall) zur Kathode (edles Metall). Die Korrosion tritt am unedlen Metall ein, da sich hier die positiven Metall-Ionen lösen, dieser Effekt verstärkt sich, wenn das Verhältnis der Fläche zwischen den beiden Metallen zu Ungunsten des korrosionsschwächeren Metalls ausfällt.



Abb. 62 Bimetallkorrosion zw. Befestigungsmaterial und Ödometerzelle

- **Randablagerung**

Bei der Sedimentation der beiden Sandschichten F_{sa} und M_{sa} ist es zu Randablagerungen in der Kontrollprobe gekommen. Unter welchem Aspekt dies zu verhindern ist, kann aus



Abb. 63 freigelte Randablagerung der Sandschicht derzeitiger Sicht nicht eindeutig beantwortet werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass dieser Effekt keinen Einfluss auf die Wet Pluviation Methoden hat, solange die Probenentnahme ausreichend weit entfernt vom Rand stattfindet.

- **Transparente Füllbehälter bzw. Sichtfenster**

Aufgrund dessen, dass der Aufsatzzylinder und die Ödometerzelle nicht transparent waren, wurde ein klares Glas vom selben Durchmesser, bis auf die letzten vier Sedimentationszyklen, befüllt. Nur dadurch war eine kontinuierliche Kontrolle des Füllstandes möglich.

- **Seitliches Umfließen der Suspension**

Die seit ca. 2 Wochen fertig sedimentierte Suspension wurde während der Vorkonsolidierungsphase aufgrund des erhöhten Wassergehalts im Vergleich zu den SD Proben, seitlich im Ringspalt zwischen Aufsatzzylinder und Druckstempel, vorbeigedrückt. Dieses Verhalten stellte sich erst mit dem Zeitpunkt ein, an dem der Druckstempel mit dem Ödometerring plan war, da dieser Ringspalt aufgrund des höheren Fertigungsgrades geringer ist. Dies bedeutet, dass für WP Proben der Aufsatzzylinder präziser im Durchmesser gefertigt werden muss, um ein solches Verhalten zu verhindern. Daher musste die Ausgangshöhe für den Kompressionsversuch auf 14 mm und die der Vorkonsolidierung auf jene Höhe des verwendeten Ödometerringes 2,003 cm angepasst werden.



Abb. 64 seitliches Umfließen der Suspension

- **Ergebnis des Sedimentationsprozesses**

Der maßstäbliche Vergleich zur Referenzprobe zeigt ein nahezu deckungsgleiches Bild, auch für die untere Feinsandschicht, welche durch die Überlagerung nicht mehr auszumachen ist, diese befindet sich auf der Höhe des eingezeichneten Pfeiles.



Abb. 65 Kontrollprobe

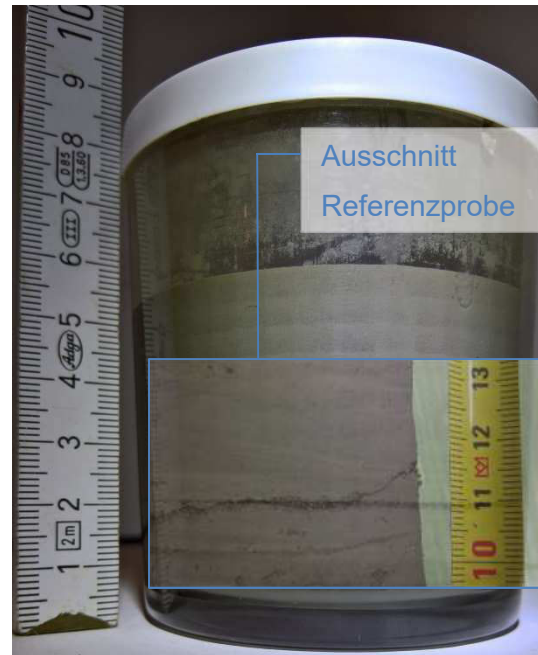


Abb. 66 Kontrollprobe im Vergleich zur Referenzprobe

5 Wet Pluviation Sedimentationseinrichtung als digitales 3D-Modell

In diesem Kapitel wird das digitale 3D Modell einer Wet Pluviation Sedimentationseinrichtung gezeigt und erläutert, in der alle erkannten und aufgetretenen Probleme eingearbeitet wurden, welche auf Grundlage der vorausgegangenen Versuche beobachtet wurden.

Das digitale 3D Modell wurde in SketchUp Make konstruiert und mit indigo renderer gerendert und ist auf der beigelegten DVD zur Weiterverarbeitung gespeichert.

5.1 Anforderungen

Als Rahmenbedingungen werden folgende Anforderungen an die Wet Pluviation Sedimentationseinrichtung gestellt:

- Entnahme von 6 Proben je Sedimentationsvorgang für Triaxial- oder Ödometerversuche
- Vorkonsolidierung in der Absetzvorrichtung
- Einfache Handhabung bei geringen Investitionskosten

Zusätzlich haben sich nach Abschluss der In-Place Wet Pluviation Versuche, noch folgende Bedingungen an die Konstruktion ergeben:

- gleichbleibende Sedimentationslänge
- gleichbleibende Aufprallenergie
- Sichtfenster
- Minimierung der Randeefekte in den Proben
- Vermeidung der Bimetallkorrosion
- Unterdruck unterhalb der Probe aufbringen

5.2 Übersicht der Konstruktion

Die gesamte Konstruktion ist aus einem Metallwerkstoff zu fertigen, um die Bimetallkorrosion auszuschließen und muss zusätzlich über eine ausreichende Steifigkeit verfügen. Dafür würden sich mehrere Werkstoffe anbieten. Für die entwickelte Konstruktion wird nicht rostender Edelstahl verwendet. Über die exakten Anforderungen und die Legierungszusammensetzung wurde nicht recherchiert.

- **Abmessungen**

Alle maschinenbautechnischen Details wie Spaltmaße, Schweißverbindungen usw. wurden in der Konstruktion nicht dargestellt und sind in den Abmessungen nicht berücksichtigt. Die einzelnen Abmessungen können den Abbildungen im Anhang 9.1 entnommen werden.

Die Wet Pluviation Sedimentationseinrichtung untergliedert sich in folgende Hauptbestandteile

- Sedimentationsvorrichtung (Abb. 67)
- Entnahmebehälter (Abb. 69)
- Vorkonsolidierungsvorrichtung (Abb. 70, Abb. 71)

diese werden in den nachstehenden Kapiteln ausgiebig erläutert.

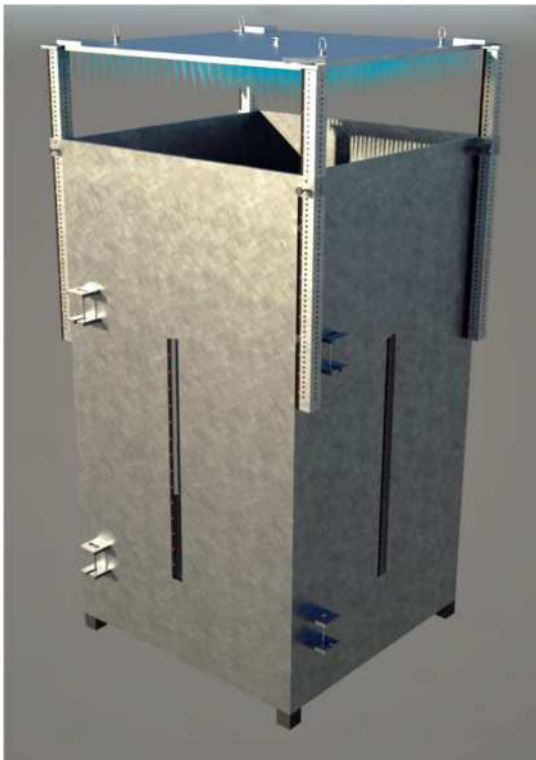


Abb. 67 zusammengebaute Sedimentationseinrichtung

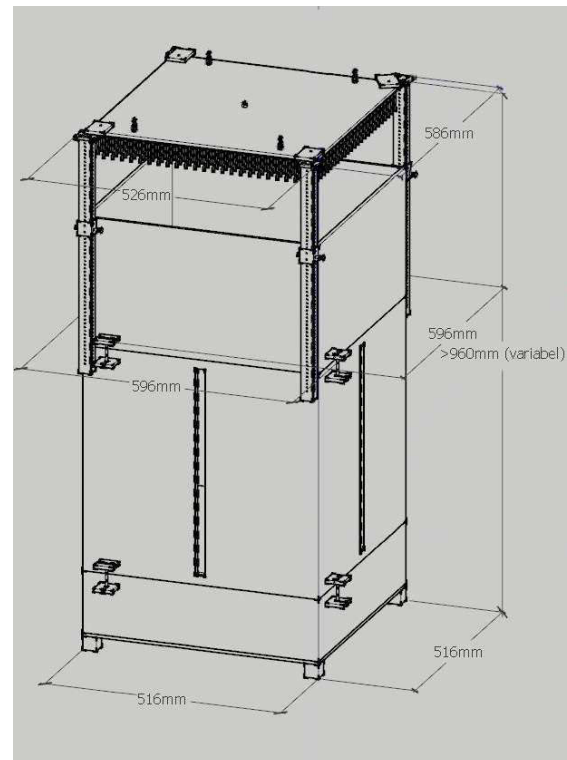


Abb. 68 Außenabmessungen zusammengebaute Sedimentationseinrichtung

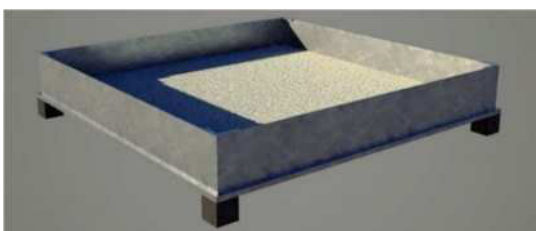


Abb. 69 Entnahmebehälter

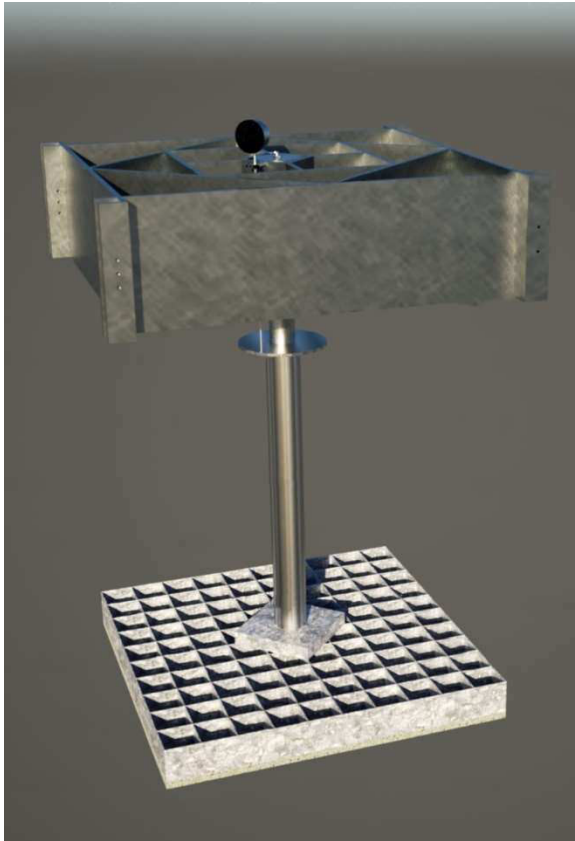


Abb. 72 Vorkonsolidierungsvorrichtung

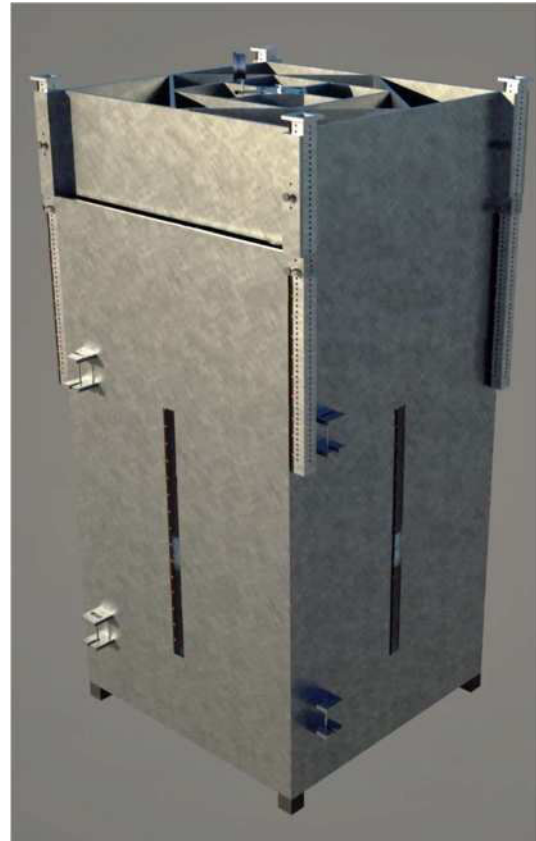


Abb. 73 zusammengebaute Vorkonsolidierungsvorrichtung

Es können bis zu neun vorkonsolidierte Triaxialproben bzw. Ödometerproben laut Abb. 74 aus der Vorrichtung entnommen werden, oder ein Monoblock von 500 mm x 500 mm mit variabler Höhe, aus der unterschiedlichste Proben entnommen werden können.

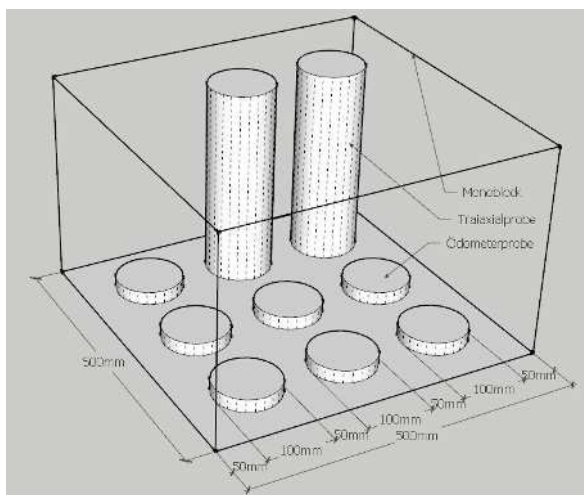


Abb. 74 Probeentnahmemöglichkeit

Alle zusätzlich benötigten Geräte und Anschlussleitungen sind in dem Modell nicht dargestellt.

5.3 Sedimentationseinrichtung

Die Sedimentationseinrichtung unterteilt sich in mehrere Komponenten, diese sind in der Explosionszeichnung Abb. 75 dargestellt und werden anschließend erläutert.

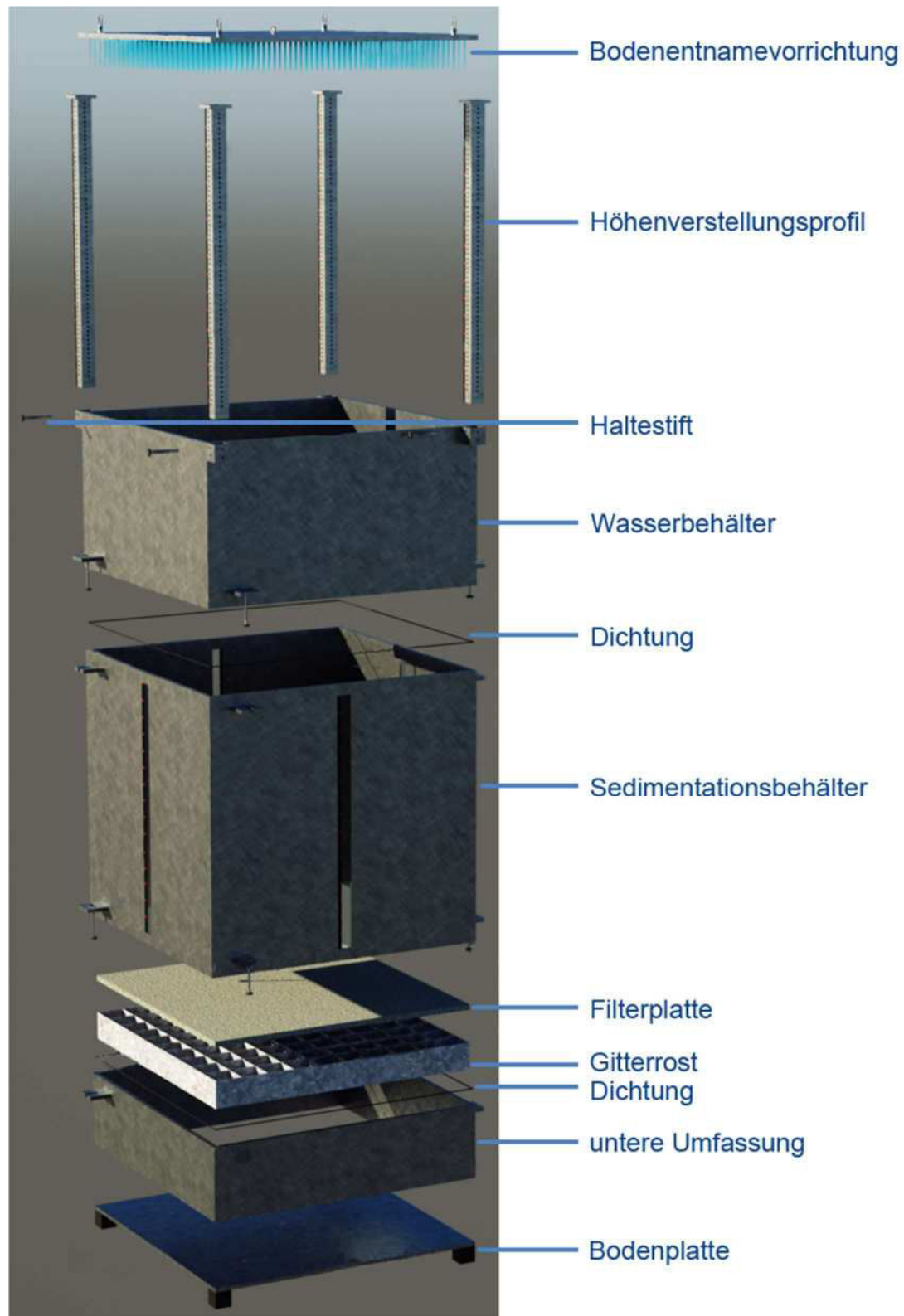


Abb. 75 Explosionszeichnung der Sedimentationseinrichtung

5.3.1 Bodenentnahmevorrichtung

In der Platte befindet sich ein flächiger Hohlraum. Um Bodenmaterial aufzunehmen wird ein bestimmtes Unterdruckvolumen am Ventil angeschlossen, um dieses durch die 625 Pipetten gleichermaßen verteilt aufzusaugen. Die verschwenkbaren Auflagerplatten dienen zur Auflage auf den Höhenverstellungsprofilen und dem Entnahmebehälter. Ist die Aufprallhöhe fixiert, wird die Suspension mit einem allmählich zunehmenden Überdruck ausgeblasen. Die Kranhakenösen dienen zum Bewegen der Bodenentnahmevorrichtung am Kran. Mittels dazwischen gehängter Kraftmessdose wird die eingefüllte Bodenmenge aus der Differenz der unterschiedlichen Massen vor und nach der Befüllung errechnet. Der Füllvorgang ist so lange zu wiederholen, bis die gewollte Sedimentationsmenge eingebracht ist. Zwischen den zeitlich versetzten Sedimentationsvorgängen ist die Vorrichtung durch das Ventil mit Wasser auszuspülen. Beim Sedimentieren von Sandmischungen wird die Vorrichtung bei eingeschwenkten Auflagerplatten bis zum Berühren der Wasseroberfläche abgesenkt und der herausrieselnde Sand, wird durch Wasser in der Pipette ersetzt.

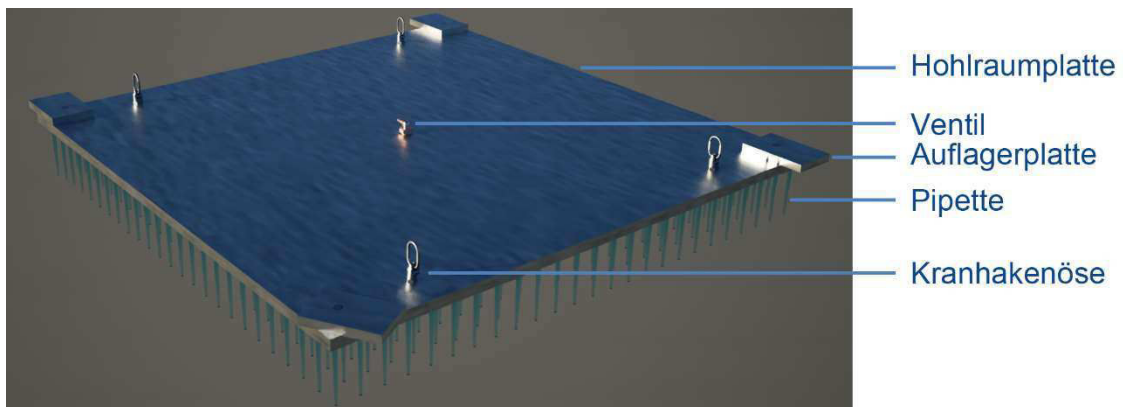


Abb. 76 Bodenentnahmevorrichtung

5.3.2 Wasserbehälter und Höhenverstellung

Auf den Höhenverstellungsprofilen sind orthogonal aufeinander zwei unterschiedliche Lochabstände und auf der Halterung sind zwei bzw. drei Löcher in unterschiedlichen Abständen zu bohren. Daraus ergibt sich eine 10-fach Teilung, bei korrekter Anordnung ergibt sich eine millimetergenaue Höhenverstellung. Die Höhenprofile werden am Wasserbehälter durch Haltestifte fixiert. Bei steigendem Wasserspiegel durch die voranschreitende Sedimentation, wird die Aufprallhöhe durch die Höhenverstellung konstant gehalten. Der Wasserbehälter dient als zusätzliche Sedimentationsstrecke, innenliegend ist eine Maßeinteilung angebracht, um die absolute Wasserstandshöhe zu ermitteln.

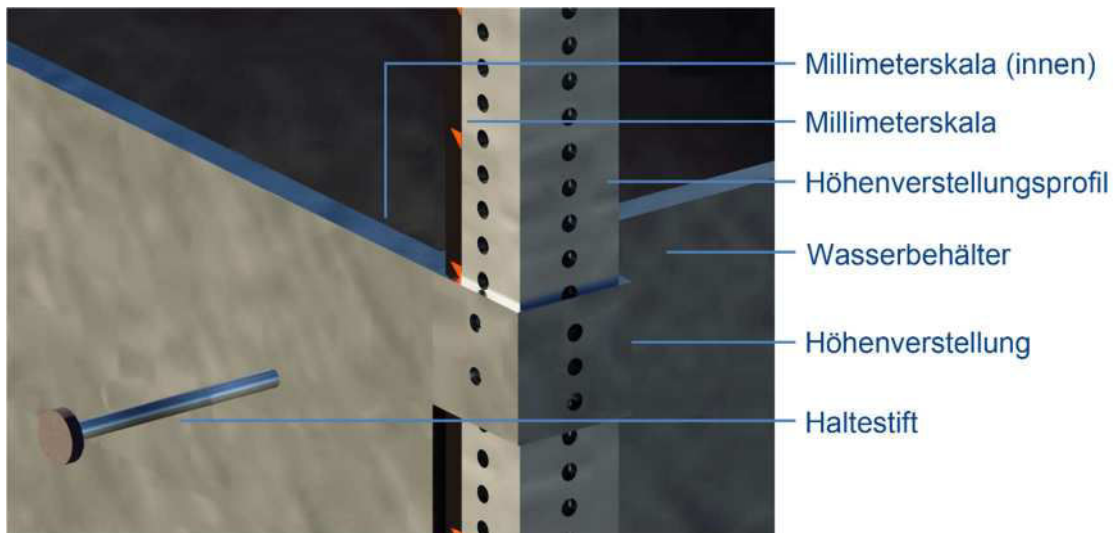


Abb. 77 Wasserbehälter und Höhenverstellung

5.3.3 Sedimentationsbehälter

In dem Sedimentationsbehälter wird das Bodenmaterial sedimentiert und abgelagert, es sind Probenhöhen bis 45cm möglich, um vorkonsolidierte Triaxialproben bis 30 cm herzustellen. Auf jeder Seite sind Sichtfenster mit einer Millimeterskala angebracht, um den Füllfortschritt der Ablagerung kontinuierlich zu dokumentieren. Der Behälter wird mit den unten und oben angebrachten Halterungen an den Bodenbehälter und den Wasserbehälter dicht angeschlossen.

Aus der Höhendifferenz des bereits abgelagerten Bodenmaterials und des absoluten Wasserstandes, kann der relative Wasserstand errechnet werden, welcher durch das Ablassen in Bodenplatten konstant zu halten ist. Dadurch wird eine gleichbleibende Sedimentationslänge für alle Befüllungen erreicht.

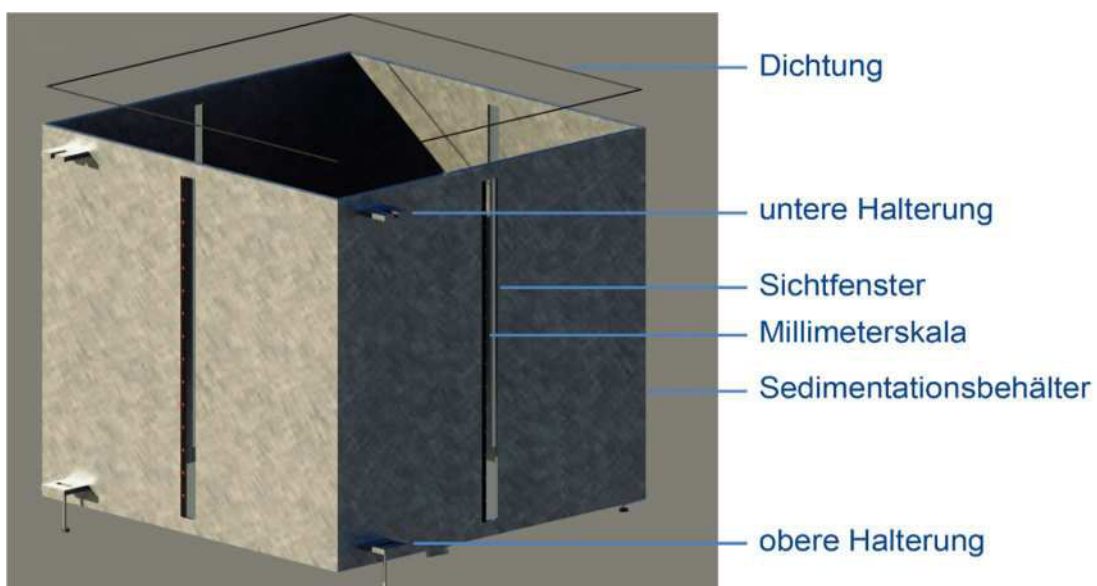


Abb. 78 Sedimentationsbehälter

5.3.4 Dichtung und Halterung

In dem Bodenbehälter und der Sedimentationseinrichtung ist eine Nut für die innenliegende Dichtung eingefräst. Zur optimalen Kraftverteilung der drei Behälter, sind an jeder Seite Halterungen angebracht, welche diese dicht verriegeln.

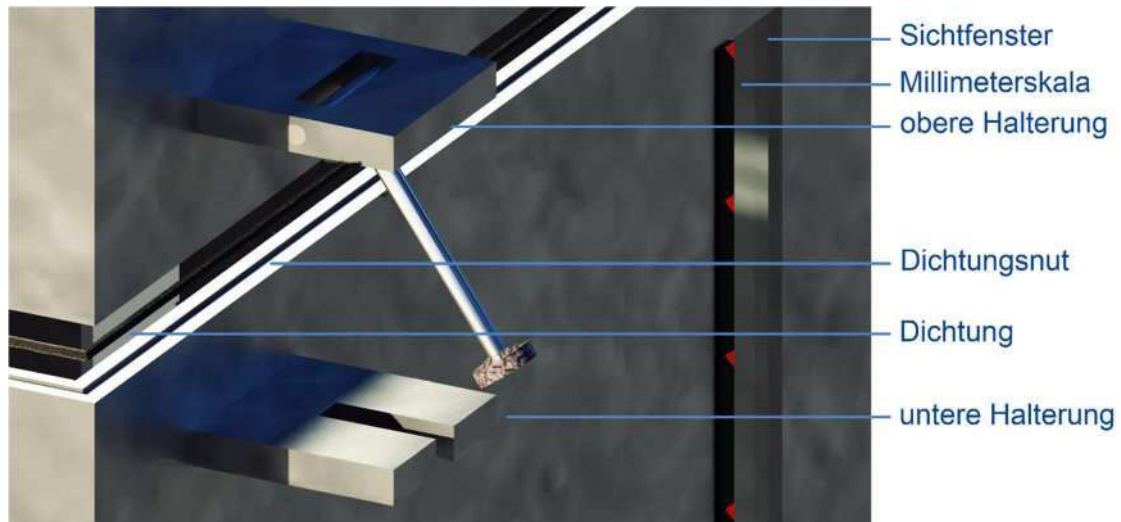


Abb. 79 Dichtung und Halterung

5.3.5 Filterplatte und Gitterrost

Der Filter ist entsprechend dem Bodenmaterial zu wählen, zur Lastverteilung wird ein Gitterrost unterhalb angebracht, da dieser die Entwässerung nicht behindert.

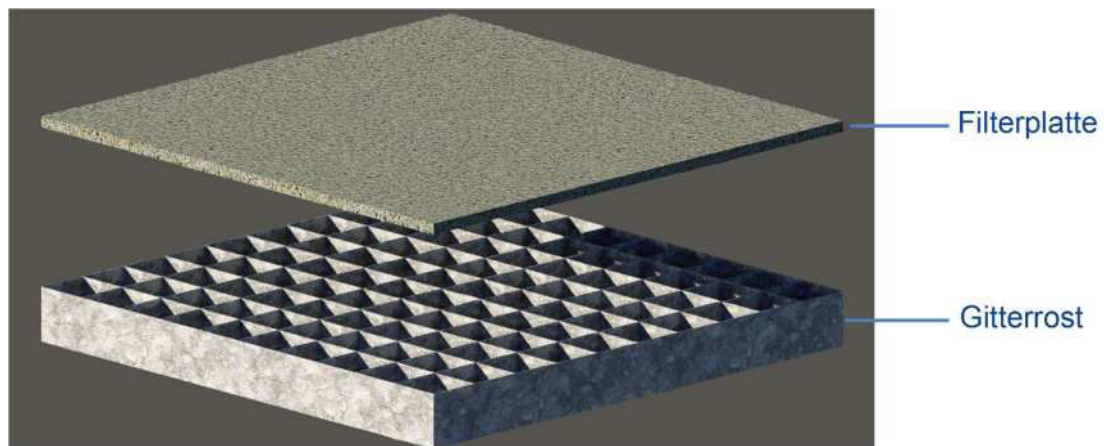


Abb. 80 Filterplatte und Gitterrost

5.3.6 Bodenbehälter

Der Gitterrost und die Filterplatten werden von der unteren Umfassung, durch mehrere Auflagerbleche in der korrekten Position gehalten und die Bodenplatte wird dauerhaft mit der unteren Umfassung verschraubt. In die Bodenplatte sind fünf Ventile eingepasst, um einen einheitlichen Unterdruck unterhalb der Bodenprobe anzubringen,

damit sich ein vollständiges Absetzen beschleunigt und der Sedimentationsweg konstant gehalten werden kann. Wenn die Vorkonsolidierung in der Vorrichtung durchgeführt wird, ist der Einsatz zur Kraftübertragung vor Sedimentationsbeginn einzulegen, um Durchbiegungen zu verhindern.

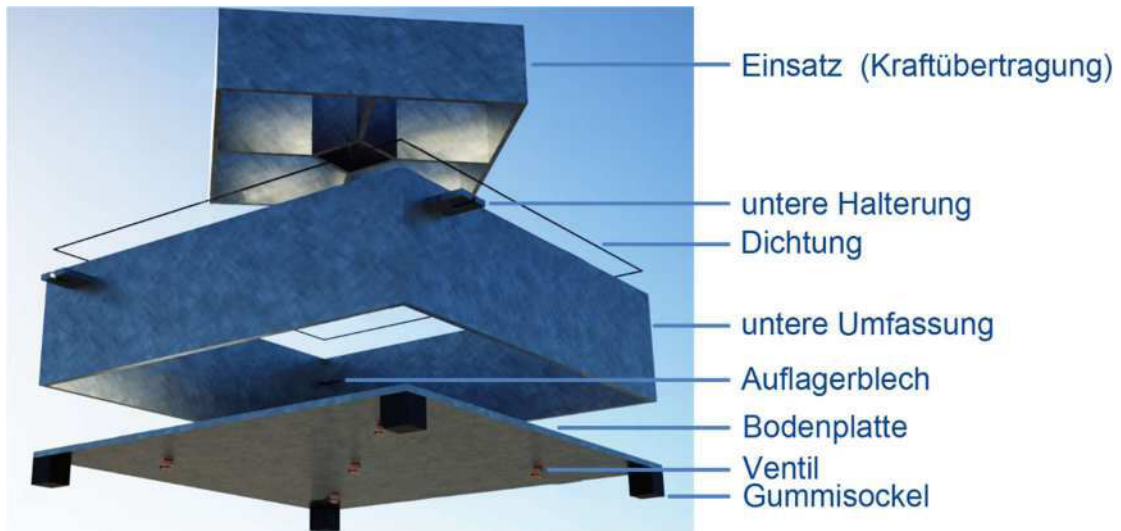


Abb. 81 Explosionszeichnung Bodenbehälter

5.4 Entnahmebehälter

Der Entnahmebehälter besteht aus der identen Bodenplatte der Sedimentationseinrichtung, welche mit der Entnahmeumfassung verschraubt ist. In dieser befindet sich die gleiche Filterplatte, welche auf den Blechen aufgelagert ist. Die Ventile übernehmen hier die Funktion der dezenten Belüftung, um die kompakte Lage der Sandsuspensionen aufzubrechen und eine Entnahme durch die Pipetten mittels Unterdruck zu ermöglichen.

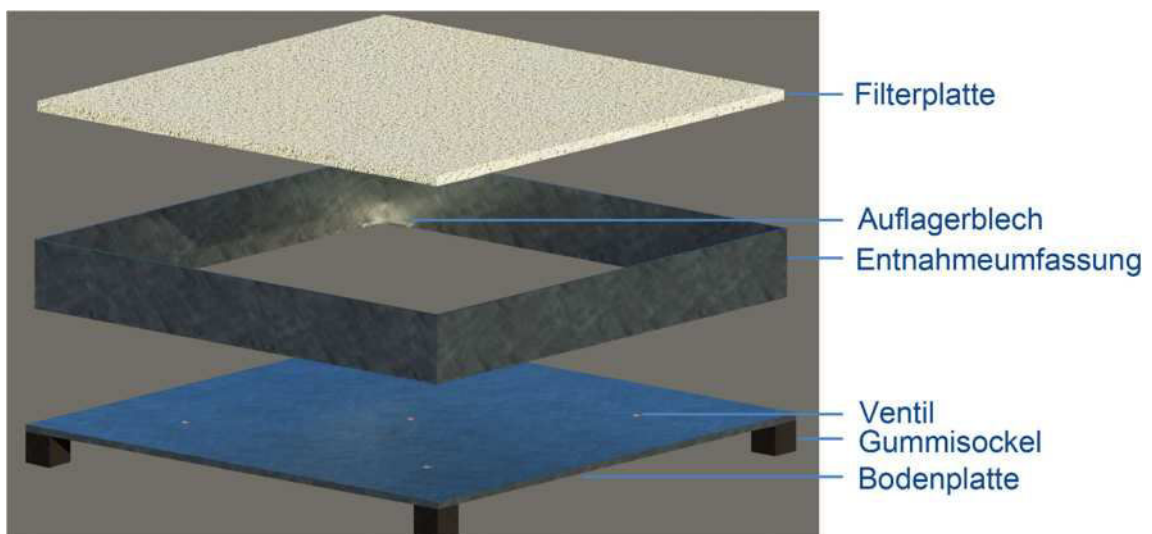


Abb. 82 Explosionszeichnung Entnahmevorrichtung

5.5 Vorkonsolidierungsvorrichtung

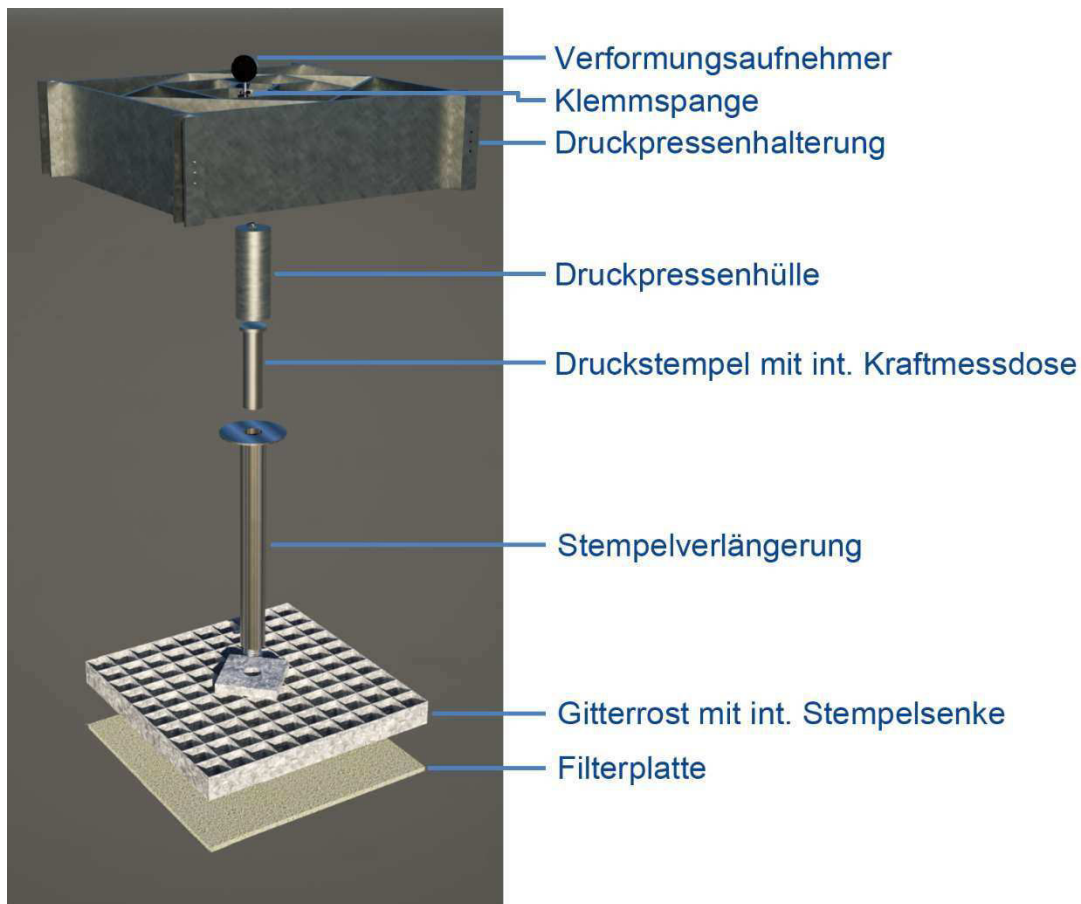


Abb. 83 Explosionszeichnung Vorkonsolidierungsvorrichtung

Die Vorkonsolidierungsvorrichtung besteht aus der Druckpresse, welche durch die Druckpressenhalterung, der Druckpressenhülle und dem Druckstempel mit integrierter Kraftmessdose gebildet wird, diese Komponenten sind dauerhaft mit einander verbunden. Um die Filterplatte und den Gitterrost mit integrierter Stempelsenke mit dem Druckstempel zu verbinden, werden Stempelverlängerungen verwendet. Die Verlängerungen sind so modelliert, dass diese wahlweise miteinander verschraubt werden können oder das obere Ende als Stempelsenke dient.

Der Verformungsaufnehmer wird in der Klemmspange befestigt und am Ring der Stempelverlängerung aufgesetzt, um den Zeitsetzungsweg der Vorkonsolidierungsphase aufzuzeichnen.

Die Filterplatte und der Gitterrost mit integrierter Stempelsenke, welche den Abbau des Porenwasserüberdruckes nicht behindern darf, werden auf den sedimentierten Boden aufgelegt. Die Verlängerungen werden angebracht und die Druckpresse wird mit den Profilen zur Höhenverstellung kraftschlüssig mit dem Rahmen der Sedimentationseinrichtung verbunden.

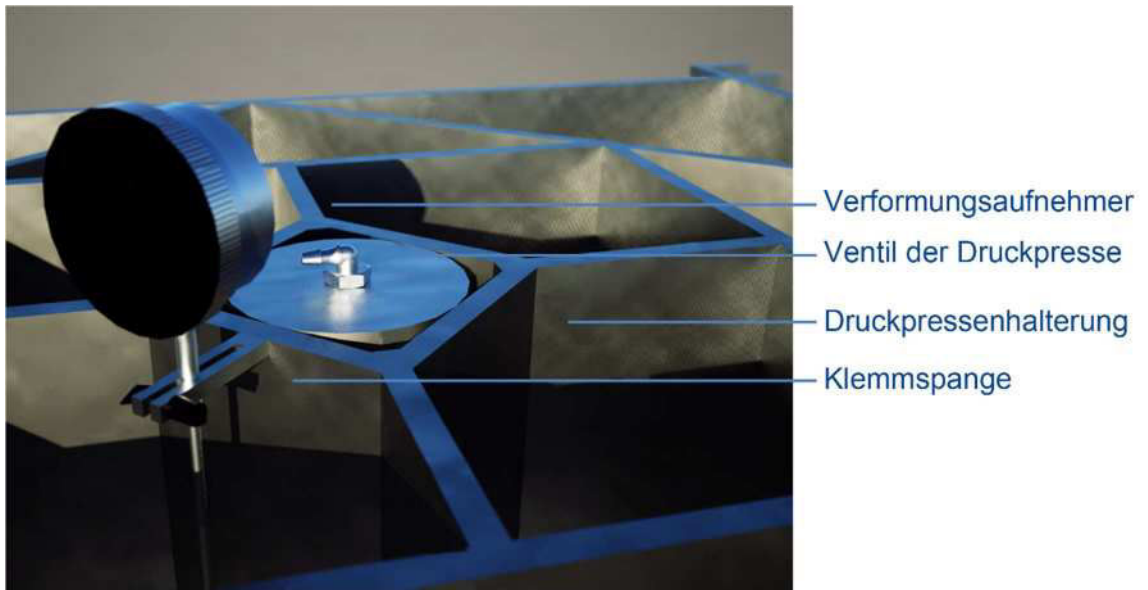


Abb. 84 Detail Verformungsaufnehmerhalterung

6 Untersuchung von nat. und künstl. wiederhergestellten Bodenproben

Zusammenfassend sind die Ergebnisse aller durchgeführten Versuche der unterschiedlichen Versuchsreihen inhaltlich nach dem Entnahmeort, der Vorkonsolidierung und dem Kompressionsversuch gemeinsam grafisch und tabellarisch dargestellt. Der Kompressionsversuch beinhaltet zusätzlich die Darstellung der Korngrößenverteilung, die zugehörigen Querschnittsbilder und die Bodenparameter vor und nach dem Ödometerversuch. Zur besseren Vergleichbarkeit über die Versuchsreihen hinweg, wurde ein einheitlicher Maßstab der Diagramme gewählt.

Sämtliche Untersuchungen wurden auf einer automatisierten, einaxialen Druckpresse durchgeführt, um die Qualität der Ergebnisse und die Reproduzierbarkeit zu verbessern. Die Probenbenennung wird im Kap. 4.1.2 erläutert.



Abb. 85 Querschnittsbildausrichtung

Die Querschnittsbilder sind für alle Versuche wie in Abb. 85 dargestellt, zu lesen und sind nach dem abgeschlossenen Kompressionsversuch und der Trocknung aufgenommen.

Die zumeist deutlich größeren Anfangssetzungen der wiederhergestellten Proben, werden auf die Schließung des Ringspalt zurückgeführt. Wenn im Zusammenhang mit den Kompressionskurven von einem steiferen bzw. weicherem Verhalten gesprochen wird, ist damit der Steifemodul E_{oed} gemeint.

Bei denjenigen Sättigungswerten, welche mit * gekennzeichnet sind, wurde die Feuchtmasse so angepasst, dass sich ein Sättigungsgrad von $S_r = 1,00$ einstellt, da dieser vorher über 100 % betrug. Diese Änderung basiert auf der Annahme, dass sich im Ringspalt und / oder an der Oberfläche freies Wasser befindet.

Die Gesamtheit der Einzelergebnisse jeder Beprobung, kann dem Anhang 9.2 entnommen werden.

6.1 GIN_0,80-1,20

6.1.1 Probeentnahmeort



Abb. 86 Ginau, St Johann im Pongau (Bing Maps2017)

In der Katastralgemeinde Ginau im Bezirk St. Johann im Pongau, welche nordwestlich von Wagrain gelegen ist, wurden Untersuchungen an einem Rutschhang durchgeführt. Während der Besichtigung vor Ort wurden auf dem gegenüberliegenden Hang oberflächliche, postglaziale lakustrine Seeablagerungen festgestellt. Die Probe wurde an den Koordinaten $47^{\circ}21'11.0''\text{N}$, $13^{\circ}15'38.7''\text{E}$ (WGS84) auf +983,66 müA, mittels Entnahmezylinder aus Edelstahl DN100 ohne Liner aus einer Tiefe von 0,80 – 1,20 m entnommen.

6.1.2 Vorkonsolidierung

Die maximale geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ wurde für die natürliche Bodenprobe nach den ermittelten Werten der beiden Verfahren Murayama & Shibata und Kotzias mit 20 kPa bestimmt. Plausibilisiert wurde diese mit der Tatsache, dass der Boden eine postglaziale lakustrine Seeablagerung ist und somit die in situ Spannung der Vorkonsolidierungsspannung entspricht, da dieser Boden noch keine Überkonsolidierung erfahren hat.

Die Belastungssequenz wurde mit 10 kPa und 20 kPa festgelegt, das Belastungsintervall wurde wie in Abschnitt F01 beschrieben, angesetzt.

Die zusammengefassten Einzelergebnisse der unterschiedlichen Verfahren zur Bestimmung der maximalen geologischen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ können der Tab. 9 entnommen werden. Die errechneten Werte der wiederhergestellten Proben und die angelegte Vorbelastung an die Proben kongruieren.

Tab. 9 max. geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ GIN_0,80-1,20

Probe	Erstbelastungsast	$\sigma_{in\ situ}$	$\sigma_{v,max}$	Casagrande	Van Zelst	Burmister	Ohde	Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	Kompression- & Schwellbeiwert	Murayama, Shibata	Kotzias
	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
NP.1	160 -320	20	20	k.A.	16	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	20	-2
	320 -640			k.A.	38	k.A.	k.A.	16	16		
SD.1	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	20	25
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		

Das ermittelte Abbruchkriterium laut Kap 4.1.7 wurde im Zeitsetzungsverlauf der Vorkonsolidierungsphase Abb. 98 bestätigt, da deutlich zu erkennen ist, dass die Setzungen je Belastungsstufe soweit abgeschlossen sind, dass sie sich im Bereich der Sekundärsetzungen befinden.

Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

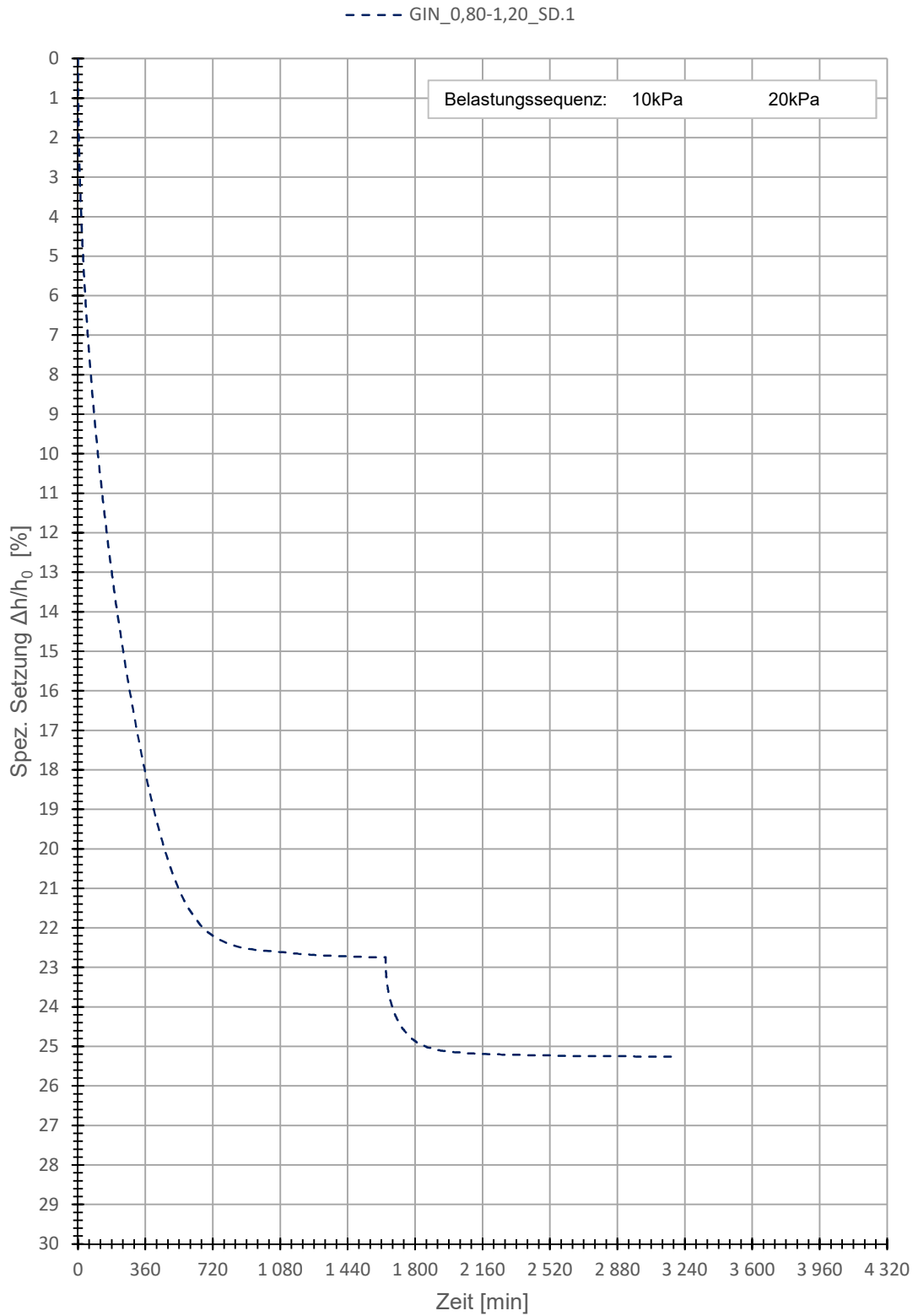


Abb. 87 Zeitsetzungsverlauf der Vorkonsolidierung GIN_0,80-1,20

6.1.3 Kompressionskurve

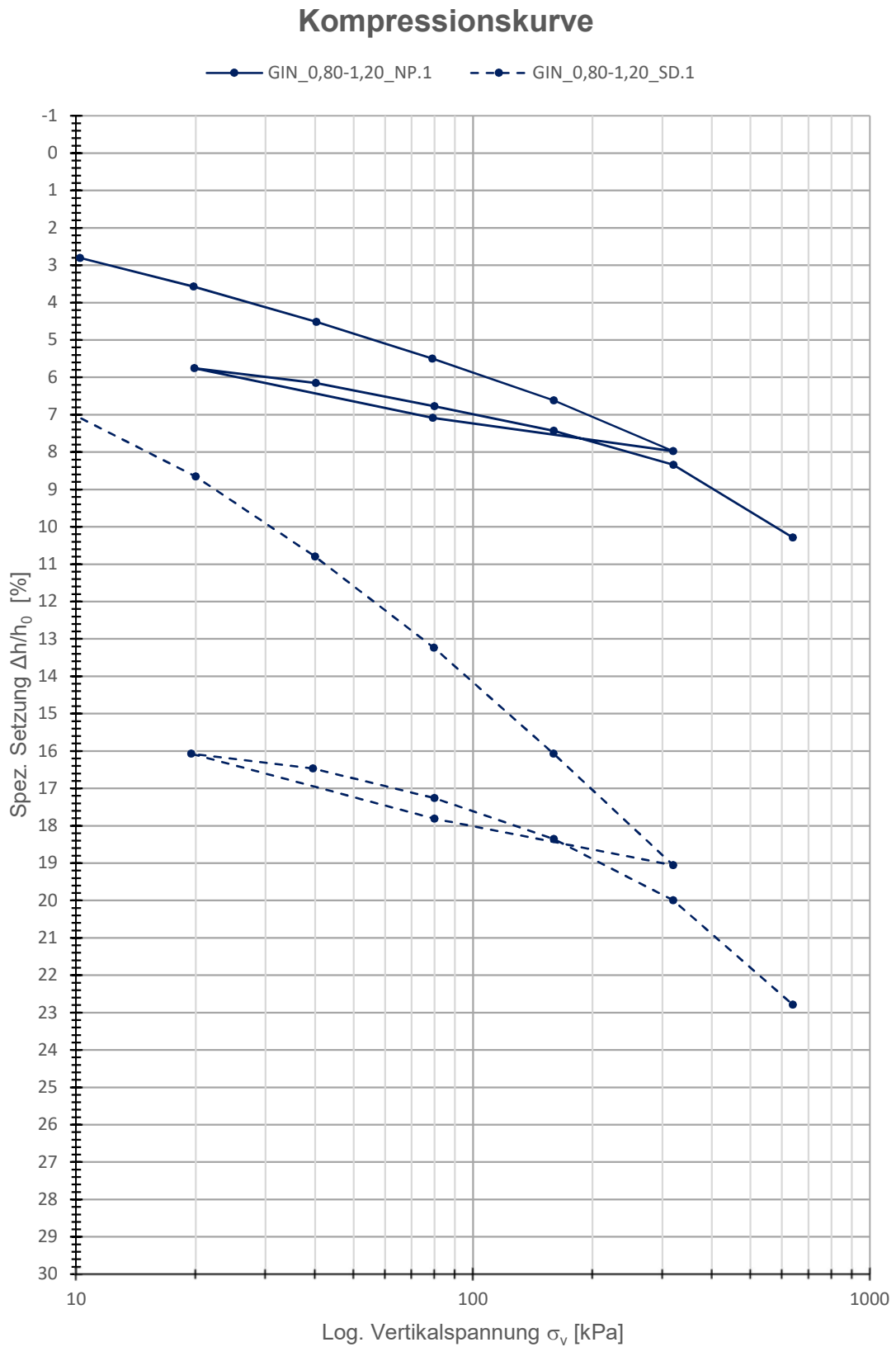


Abb. 88 Kompressionskurve GIN_0,80-1,20

Aus dem Bodenmaterial von GIN_0,80-1,20 wurde eine natürliche Probe und eine Slurry Deposition Probe angefertigt. Dabei ist ein deutlich weiches Verhalten der SD Probe über den gesamten Belastungsverlauf zu erkennen, dies ist auch aus den zugehörigen Steifemoduln E_{oed} der Tab. 10 ersichtlich.

Tab. 10 Steifemodule E_{oed} GIN_0,80-1,20

Probe	Laststufen [kPa]		10-20	20-40	40-80	80-160	160-320	320-640
NP.1	Steifemodule E_{oed} [kPa]	Erstbelastung	1242	2176	3922	7240	11776	---
		Wiederbelastung	---	5087	6414	12228	17520	16438
SD.1	Steifemodule E_{oed} [kPa]	Erstbelastung	603	935	1631	2812	5360	---
		Wiederbelastung	---	5025	5088	7286	9730	11486

Dieser Steifigkeitsunterschied kann nicht auf die Unterschiede in der Korngrößenverteilung zurückgeführt werden. Zusätzlich konnten in der SD Probe keine Absetzeffekte, wie der Abb. 89 zu entnehmen ist, festgestellt werden.



Abb. 89 Korngrößenverteilung GIN_0,80-1,20

Dieses Verhalten ist ausschließlich auf die deutlich höhere Porenzahl e der SD.1 Probe gegenüber der natürlichen Probe zurückzuführen, obwohl die SD Probe die doppelte Zeit 24 Stunden gegenüber der natürlichen Probe in jeder Belastungsstufe zur Verfügung hatte um zu konsolidieren, siehe Zeitsetzungskurve.

Tab. 11 Bodenparameter GIN_0,80-1,20

Probe	Parameter	ρ_f	ρ_d	w	n	e	S_r
		[g/cm ³]	[g/cm ³]	[%]	[%]	[-]	[-]
NP.1	vorher	2,09	1,70	22,85	41,58	0,71	0,94
	nachher	2,25	1,90	18,58	34,88	0,54	1,00*
SD.1	vorher	1,83	1,26	45,40	56,86	1,32	1,00*
	nachher	2,07	1,63	27,16	44,09	0,79	1,00*

In dem Querschnittsbild der natürlichen Probe sind die einzelnen Schichtungen deutlich zu erkennen. Die SD Probe weist ein homogeneres Gesamtbild auf, Absetzeffekte sind nicht festzustellen was auch durch die Korngrößenverteilung bestätigt wird.

Natürliche Probe



Abb. 90 GIN_0,80-1,20_NP.1_QB

Wiederhergestellte Probe



Abb. 91 GIN_0,80-1,20_SD.1_QB

Zeitsetzungskurve

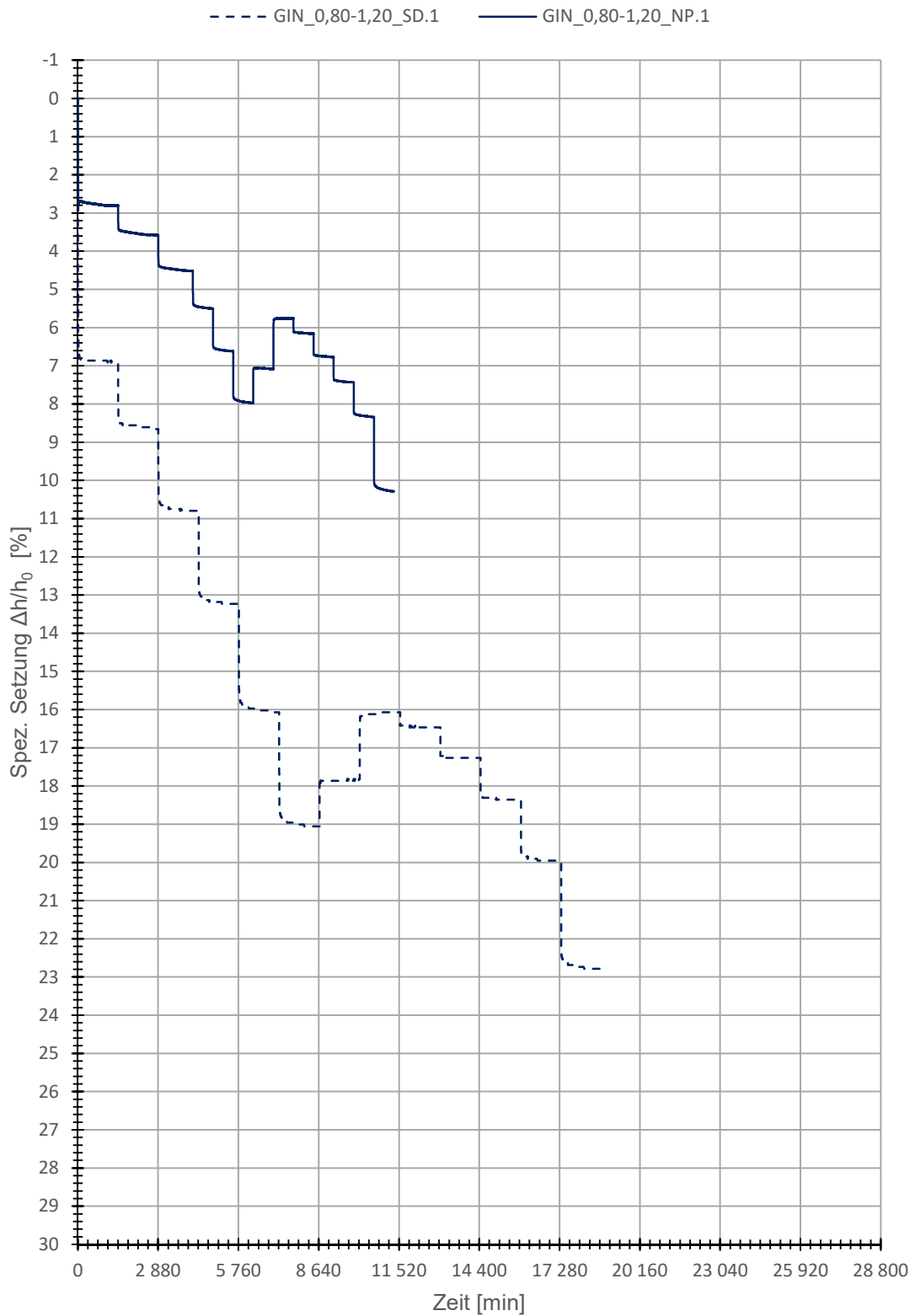


Abb. 92 Zeitsetzungskurve des Kompressionsversuches GIN_0,80-1,20

6.2 GIN_0,90-1,30

6.2.1 Probeentnahmeort

Die Umstände sowie Örtlichkeiten der Beprobung können dem Kap. 6.1.1 entnommen werden. Diese Probe wurde an den Koordinaten 47°21'11.0"N, 13°15'38.7"E (WGS84) auf +983,66 müA, mittels Entnahmezylinder aus Edelstahl DN100 ohne Liner aus einer Tiefe von 0,90 – 1,30 m entnommen.

6.2.2 Vorkonsolidierung

Da die Tiefenverhältnisse und der Entnahmeort der Probe jener aus GIN_0,80-1,20 ähnelt, wurden übereinstimmende Ergebnisse für die natürlichen Proben erwartet. Wie sich in der Auswertung der maximalen geologischen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ zeigt, wurde diese Erwartung bestätigt und die Vorbelastung mit 20 kPa, sowie die Belastungssequenz ident gewählt.

Die errechneten Werte der wiederhergestellten Proben und die aufgebrauchte Vorbelastung an die Proben sind mit Ausnahme von GIN_0,90-1,30_WP.1 konsistent. Diese Abweichung wird auf den schleifenden Schnitt der beiden Geraden im Verfahren nach Kotzias zurückgeführt.

Tab. 12 max. geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ GIN_0,90-1,30

Probe	Erstbelastungsast	σ in situ	$\sigma_{v,max}$	Casagrande	Van Zelst	Burmister	Ohde	Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	Kompression- & Schwellbeiwert	Murayama, Shibata	Kotzias
	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
NP.1	160 -320	20	20	53	69	k.A.	k.A.	83	69	27	21
	320 -640			59	75	k.A.	k.A.	88	76		
NP.2	160 -320	20	20	38	60	k.A.	k.A.	59	48	20	20
	320 -640			50	72	k.A.	k.A.	68	67		
NP.3	160 -320	20	20	k.A.	48	k.A.	k.A.	50	60	25	26
	320 -640			k.A.	55	k.A.	k.A.	60	68		
SD.1	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	19	17
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
SD.1.2	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	19	8
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
SD.2	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	20	22
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
SD.3	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	20	29
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
WP.1	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	19	146
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		

Im Zeitsetzungsverlauf der Vorkonsolidierungsphase ist ein deutlicher Unterschied im Setzungsverhalten zwischen den wiederhergestellten Proben mit Slurry Deposition und jener mit der In-Place Wet Pluviation Methode zu erkennen. Die WP Probe weist einen abrupten Übergang vom Primär- zum Sekundärsetzungsverhalten auf. Demgegenüber zeigen die SD Proben alle einen kontinuierlichen Übergang. Dieses Verhalten kann der Abb. 94 entnommen werden. Es liegt nahe zu vermuten, dass es auch Unterschiede in der spezifischen Setzung s' gibt. Der Vergleich der spezifischen Setzung s' über die zweite Belastungsstufe lässt keine Tendenz erkennen und es sind nur geringe Unterschiede auszumachen, siehe Abb. 94. Die Betrachtungsweise, dass das seitliche Umfließen der Suspension im Ringspalt der Probe GIN_0,90-1,30_WP.1 damit in Zusammenhang steht, kann definitiv ausgeschlossen werden, da diese Daten nicht in die Auswertung miteingeflossen sind. Um zu eruieren ob ein derartiges Verhalten auch im Kompressionsversuch zu beobachten ist, wurden vergrößerte Ausschnitte der Zeitsetzungskurve betrachtet, welche in der Abb. 93 dargestellt sind. Dort konnte kein derartiges Verhalten festgestellt werden. Da dies ein einzelnes Ergebnis ist, kann keine eindeutige Aussage getroffen werden. Es wird vermutet, dass es durch die beiden Wiederaufbereitungsmethoden Unterschiede im Korngerüst gibt.

Abschließend wird noch festgehalten, dass dies kein Problem der Datenpunktdichte ist, da sowohl in der Vorkonsolidierung und im Kompressionsversuch in den ersten beiden Belastungsstufen ca. 560 Werte aufgezeichnet wurden.

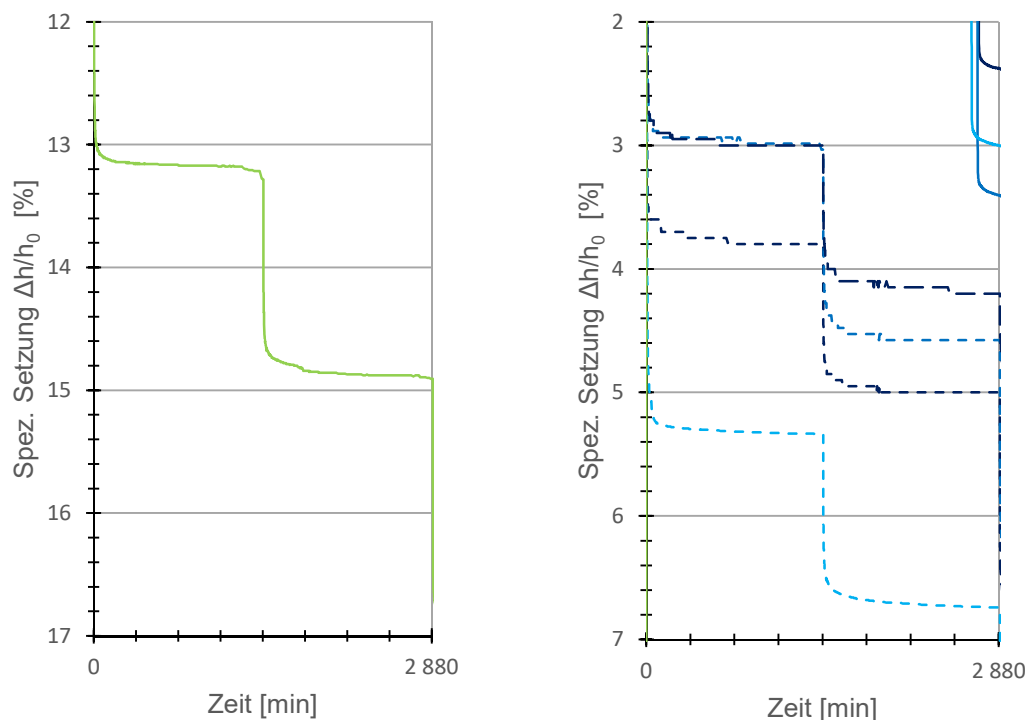


Abb. 93 Ausschnitte der Zeitsetzungskurven rechts WP und links SD

Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidierung

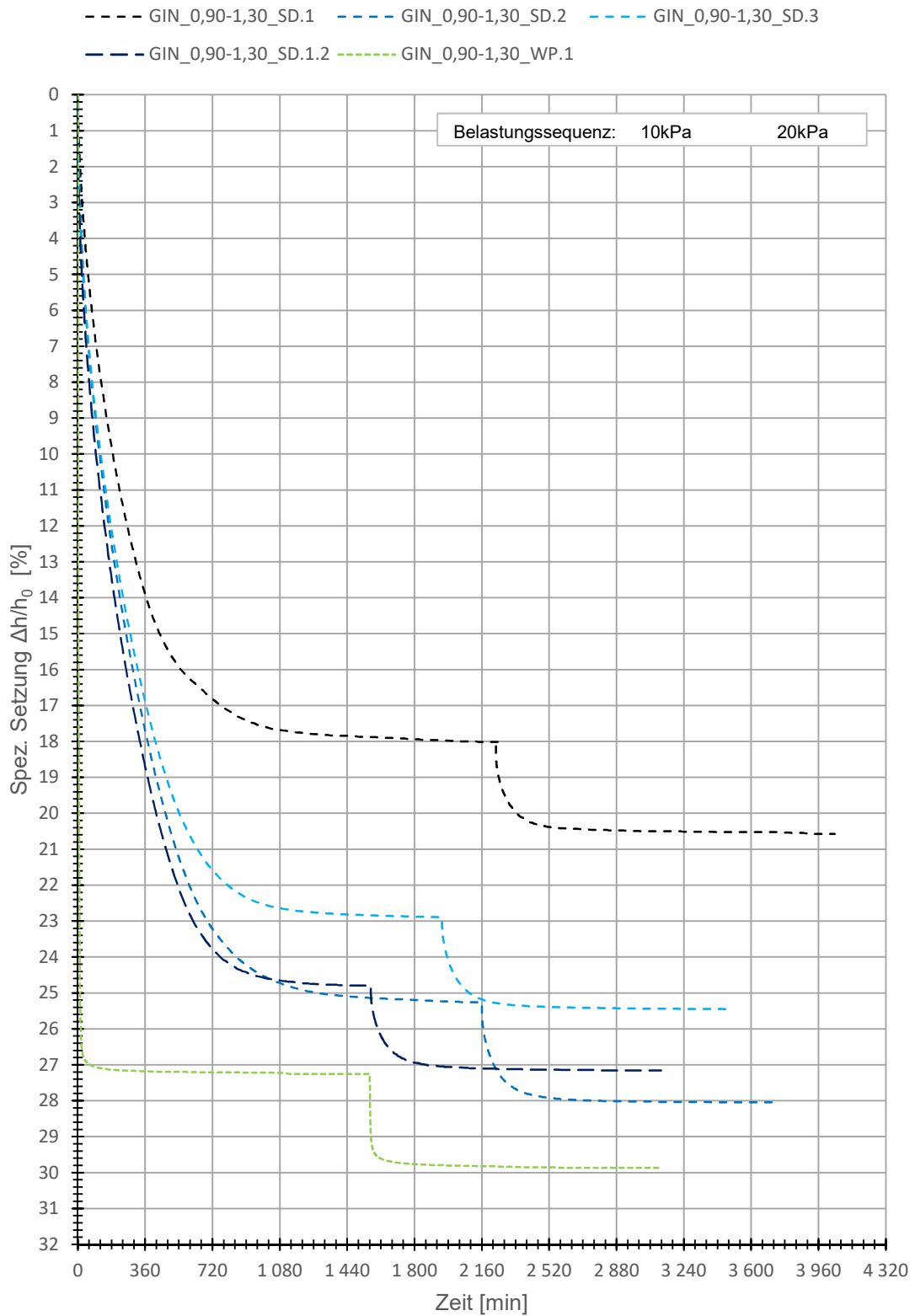


Abb. 94 Zeitsetzungskurve – Vorkonsolidierung GIN_0,90-1,30

6.2.3 Kompressionsversuch

Kompressionskurve

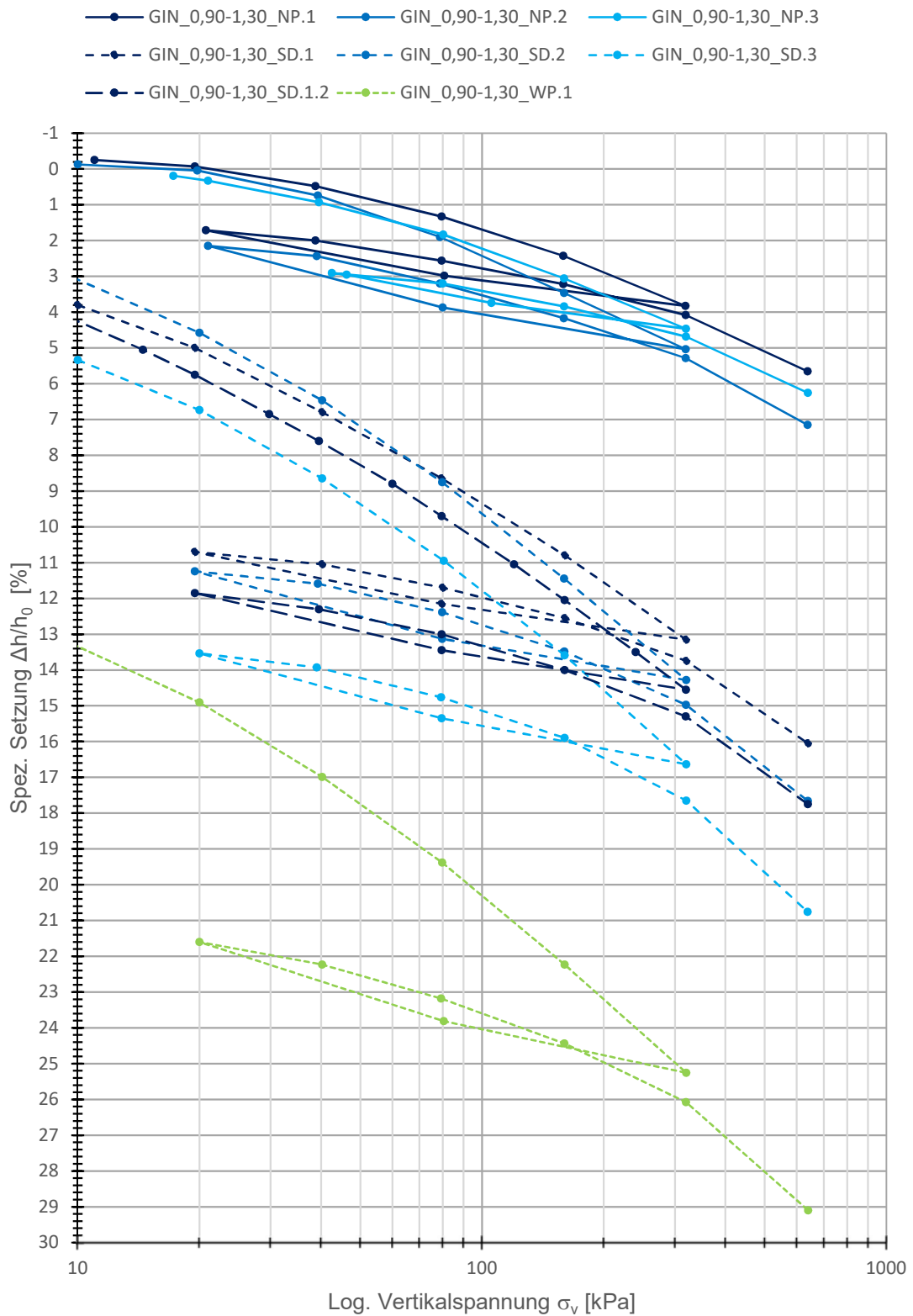


Abb. 95 Kompressionskurve GIN_0,90-1,30

Aus der entnommenen Bodenproben wurde drei natürliche Proben, wie in Abb. 24 dargestellt, entnommen. Aus dem Abschnittsmaterial wurden jeweils eine SD Probe angefertigt. Aus dem ersten Abschnittsmaterial wurde noch eine zweite Probe GIN_0,90-1,30_1.2 angefertigt, welche mit doppelt so vielen Laststufen im Erstbelastungszyklus als im Kap. 3.1 angegeben durchgeführt wurde. Die Hintergründe sind im Kap. 2.3.9 näher erläutert. Das gesamte Abschnittsmaterial wurde zur Aufbereitung für eine In Place Wet Pluviation Probe GIN_0,90-1,30_WP.1 verwendet. Aufgrund eines Softwarefehlers der automatischen einaxialen Druckpresse hat GIN_0,90-1,30_NP.3 drei abweichende Laststufen, als jene im Kap. 3.1. Jene Steifemodule die davon betroffen sind, wurden mit ** gekennzeichnet und sind zwischen abweichenden Belastungsstufen ermittelt worden, als wie in Tab. 13 angegeben.

Die Initialsetzung ist bei den wiederhergestellten Proben höher, wobei nochmals ein merklicher Unterschied zwischen der Slurry Deposition und der In-Place Wet Pluviation Methode besteht. Bei den natürlichen Proben ist anfangs ein Schwellen zu erkennen und zeigt ein einheitliches Kompressionsverhalten. Im Vergleich zu den natürlichen Proben weisen sämtliche wiederhergestellte Proben geringere Steifigkeiten auf und der Verlauf der Kompressionskurven der wiederhergestellten Proben ist annähernd deckungsgleich.

Die Zusammengehörigen natürlichen Proben und Slurry Deposition Proben (z.B. NP.1 und SD.1) zeigen kein gekoppeltes Verhalten. Dies bedeutet das z.B. ein steiferes Kompressionsverhalten (im Vergleich zu den anderen ausgewerteten Proben) einer natürlichen Probe nicht zwingend in der zugehörigen wiederhergestellten Probe zu beobachten ist.

In dieser Betrachtung wurden die Ent- & Wiederbelastungsäste nicht miteingeschlossen. Dieses Verhalten kann der Abb. 95 oder deutlich erkennbarer, der Abb. 122 im Kap 6.4.1 entnommen werden.

Tab. 13 Steifemodule E_{oed} GIN_0,90-1,30

Probe	Laststufen [kPa]		10-20	20-40	40-80	80-160	160-320	320-640
NP.1	Steifemodule Eoed [kPa]	Erstbelastung	4722	3500	4794	7205	11470	---
		Wiederbelastung	---	6429	7149	12192	18526	20286
NP.2	Steifemodule Eoed [kPa]	Erstbelastung	5764	2780	3408	5153	10178	---
		Wiederbelastung	---	6238	5222	8255	14335	17184
NP.3	Steifemodule Eoed [kPa]	Erstbelastung	2683**	3088	4510	6479	11324	---
		Wiederbelastung	---	8346**	12731	12344	19076	20348
SD.1	Steifemodule Eoed [kPa]	Erstbelastung	792	1153	2122	3756	6787	---
		Wiederbelastung	---	5929	6115	9441	13313	13924
SD.1.2	Steifemodule Eoed [kPa]	Erstbelastung	629	1081	1905	3426	6380	---
		Wiederbelastung	---	4444	5714	8050	12250	13082
SD.2	Steifemodule Eoed [kPa]	Erstbelastung	665	1071	1726	2968	5660	---
		Wiederbelastung	---	5671	5088	7309	10720	11911
SD.3	Steifemodule Eoed [kPa]	Erstbelastung	713	1062	1749	3010	5245	---
		Wiederbelastung	---	4879	4828	7094	9157	10264
WP.1	Steifemodule Eoed [kPa]	Erstbelastung	632	971	1656	2809	5296	---
		Wiederbelastung	---	3185	4136	6403	9739	10624

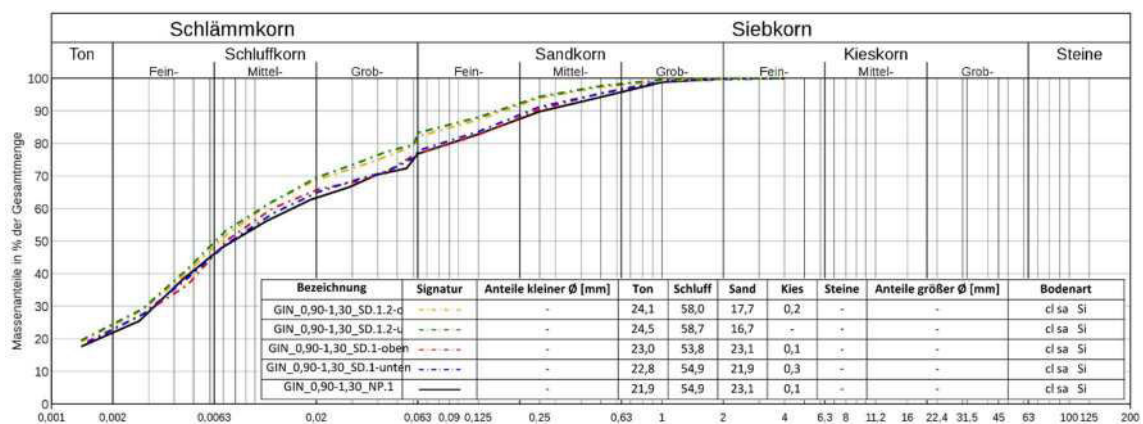


Abb. 96 Korngrößenverteilung 1. Probenreihe GIN_0,90-1,30

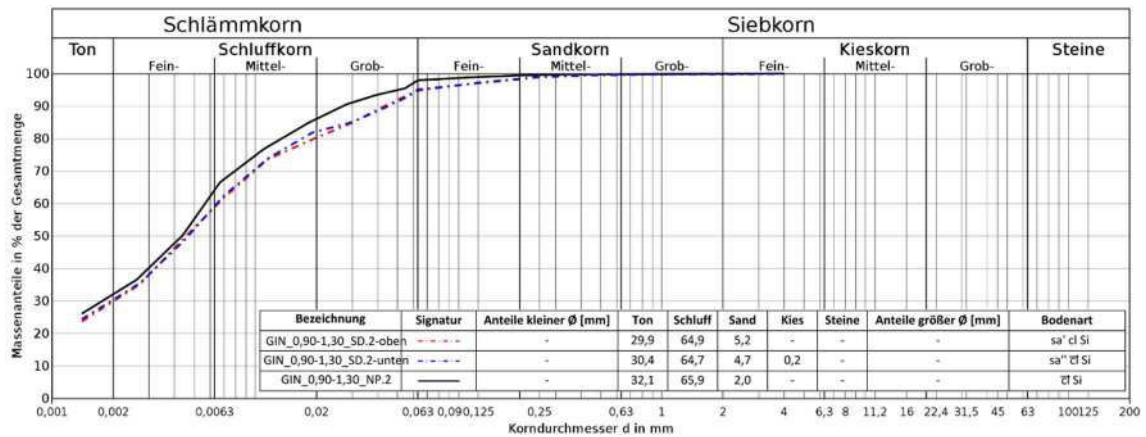


Abb. 97 Korngrößenverteilung 2.Probenreihe GIN_0,90-1,30

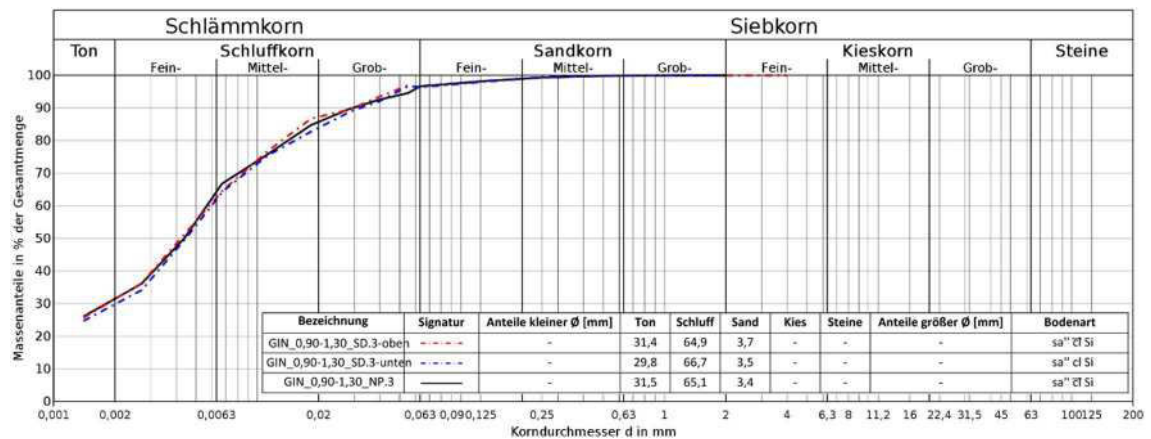


Abb. 98 Korngrößenverteilung 3.Probenreihe GIN_0,90-1,30

In den Korngrößenverteilungen Abb. 96 – Abb. 98 können keine Absetzeffekte festgestellt werden und es sind keine Rückschlüsse auf das unterschiedliche Kompressionsverhalten erkennbar.

Die In-Place Wet Pluviation Abb. 99 wurde nicht direkt nach einer dieser natürlichen Proben sedimentiert, sondern nach einer Referenzprobe aus dem Abschnittsmaterial Kap. 4.2.2 , daher die mäßige Anpassung an die natürlichen Proben.

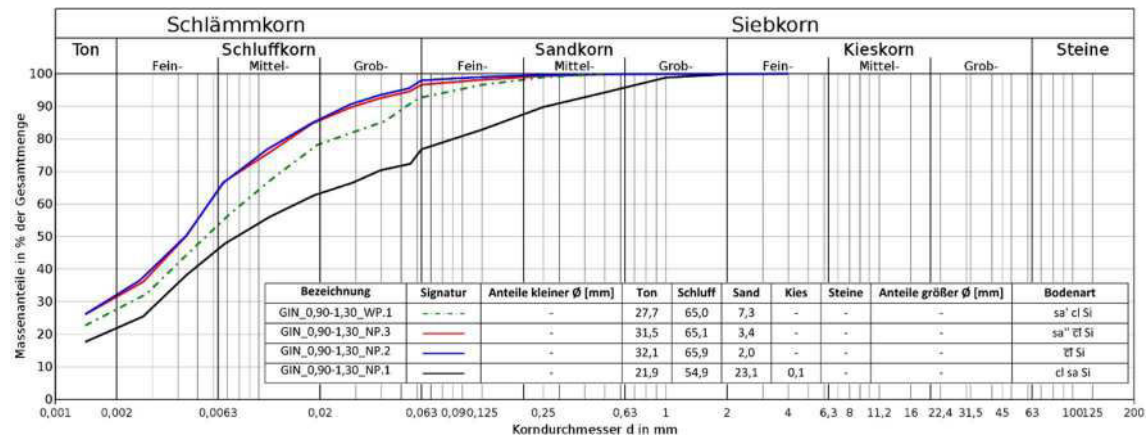


Abb. 99 Korngrößenverteilung Wet Pluviation Probe GIN_0,90-1,30

Tab. 14 Bodenparameter GIN_0,90-1,30

Probe	Parameter	ρ_r	ρ_d	w	n	e	S_r
		[g/cm ³]	[g/cm ³]	[%]	[%]	[-]	[-]
NP.1	vorher	2,12	1,75	20,78	36,54	0,58	0,99
	nachher	2,19	1,86	17,42	32,56	0,48	1,00*
NP.2	vorher	2,06	1,66	23,95	39,67	0,66	1,00*
	nachher	2,15	1,80	19,66	34,94	0,54	1,00*
NP.3	vorher	2,07	1,68	23,57	39,52	0,65	1,00*
	nachher	2,14	1,79	19,84	35,48	0,55	1,00*
SD.1	vorher	1,94	1,46	32,21	46,97	0,89	1,00*
	nachher	2,11	1,74	21,02	36,83	0,58	1,00*
SD.1.2	vorher	1,87	1,37	36,42	50,37	1,01	1,00*
	nachher	2,06	1,67	23,96	39,65	0,66	1,00*
SD.2	vorher	1,85	1,33	38,88	51,71	1,07	1,00*
	nachher	2,04	1,62	25,76	41,35	0,71	1,00*
SD.3	vorher	1,82	1,29	41,58	53,57	1,15	1,00*
	nachher	2,04	1,62	25,61	41,41	0,71	1,00*
WP.1	vorher	1,87	1,37	36,24	50,33	1,01	0,99
	nachher	2,24	1,93	15,60	29,95	0,43	1,00*

Die Porenzahl e_{vorher} kongruiert mit dem Steifigkeitsverhalten der zugehörigen Probe.

Eine vergleichbare Endporenzahl e_{nachher} konnte nur mit der In-Place Wet Pluviation Methode erreicht werden, obwohl die wiederhergestellten Proben doppelt so viel Zeit je Laststufen zur Konsolidierung hatten, als die natürlichen Proben.

Eine mögliche Erklärung für das Verhalten ist die niedrigere Anfangshöhe der WP Probe und der dadurch kürzere Entwässerungspfad. Eine zweite Möglichkeit liegt in strukturellen Unterschieden auf makroskopischer Ebene im Korngerüst, die aufgrund der unterschiedlichen Wiederherstellungsmethoden zu Stande kommt oder ev. auch eine Kombination von beiden.

Wie schon in Kap. 3.4 ausgeführt, ist das Querschnittsbild von GIN_0,90-1,30_NP.3 durch das Entnehmen des Kernstechzylinders und das daraus folgende Abschneiden so beeinflusst, dass dieses zur Auswertung unbrauchbar wird.

In dem Querschnittsbild der In-Place Wet Pluviation Probe sind beide Sandschichten deutlich sichtbar und stimmen mit der Referenzprobe annähernd überein. Zu beachten ist, dass das Bild der Referenzprobe welches vor einem Ödometerversuch aufgenommen wurde.

Während in den natürlichen Proben einzelne Schichtungen zu erkennen sind, ist in den SD Proben eine absetzeffektfreie Homogenität zu erkennen.

Natürliche Probe



Abb. 100 GIN_0,90-1,30_NP.1_QB

Wiederhergestellte Probe



Abb. 101 GIN_0,90-1,30_SD.1_QB



Abb. 102 GIN_0,90-1,30_SD.1.2_QB

Natürliche Probe



Abb. 103 GIN_0,90-1,30_NP.2_QB

Wiederhergestellte Probe



Abb. 104 GIN_0,90-1,30_SD.2_QB

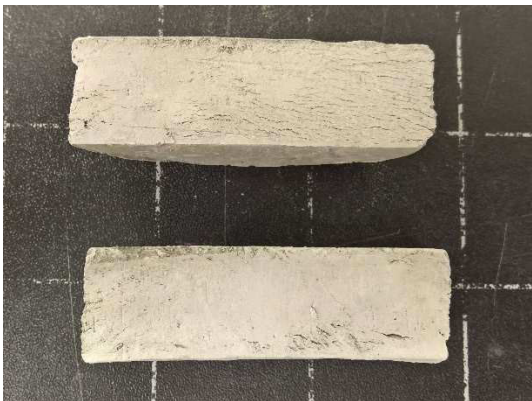


Abb. 105 GIN_0,90-1,30_NP.3_QB



Abb. 106 GIN_0,90-1,30_SD.3_QB

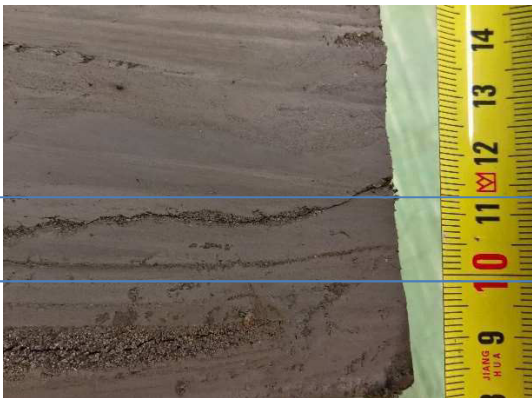


Abb. 107 WP Referenzprobe



Abb. 108 GIN_0,90-1,30_WP.1_QB

Zeitsetzungskurve

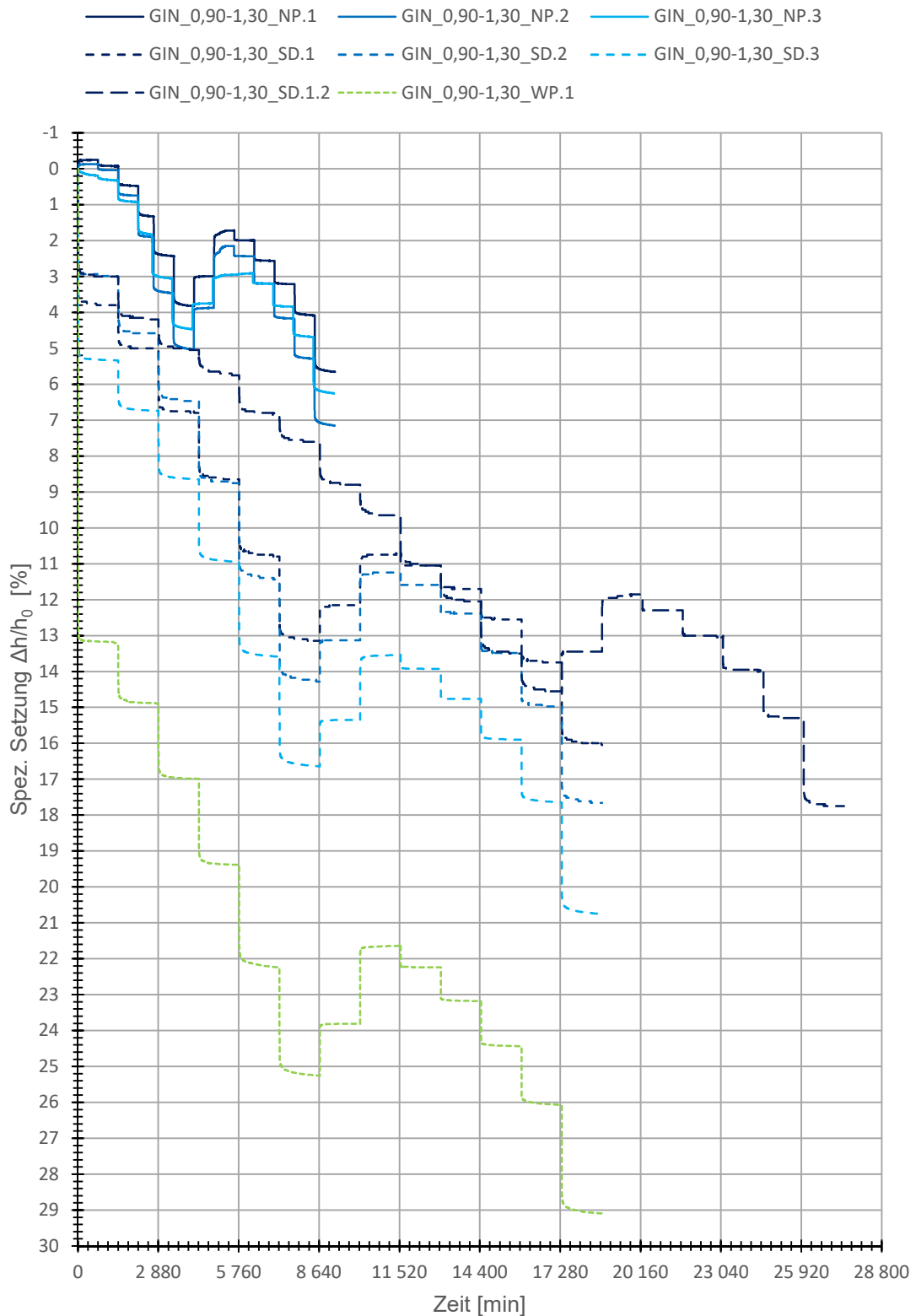


Abb. 109 Zeitsetzungskurve des Kompressionsversuches GIN_0,90-1,30

6.3 HIN_44,10-44,50

6.3.1 Probeentnahmeort

Im Zuge einer Bohrkampagne wurden in der Gemeinde Muhr im Bezirk Tamsweg Bodenproben entnommen. Die Proben wurden mittels Entnahmezylinders mit innenliegendem Liner aus PVC DN125 aus einer Tiefe von 44,10 – 44,50 m entnommen.

6.3.2 Vorkonsolidierung

Die in situ Spannung der natürlichen Proben wurde nach den Boden- und Grundwasserverhältnissen mit 500 kPa ermittelt.

Nach den beiden angewandten Verfahren zur Bestimmung der maximalen geologischen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$, wurde eine große Entspannung auf 20 kPa festgestellt, die einzige Abweichung von HIN_44,10-44,50_NP.2 ist dem schleifenden Schnitt der beiden Geraden nach Kotzias geschuldet. Die Belastungssequenz bleibt wie schon in den beiden Versuchsreihen zuvor, gleich.

Was zur Folge hat, dass mit den Verfahren nach Rutledge, Hvorslev, Schmertmann und unter Nutzung des Kompressions- und Schwellbeiwertes keine plausiblen Resultate erzielt wurden. Dies kann den Darstellungen im Anhang 9.2 entnommen werden.

In den wiederhergestellten Proben ist nur eine Abweichung im Versuch HIN_44,10-44,50_SD.1 zu beobachten und tritt aus dem selben Grund auf, wie bei der natürlichen Probe.

Tab. 15 max. geologische Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ GIN_44,10-44,50

Probe	Erstbelastungsast	$\sigma_{in\ situ}$	$\sigma_{v,max}$	Casagrande	Van Zest	Burmister	Ohde	Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	Kompression- & Schwellbeiwert	Murayama, Shibata	Koizias
	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
NP.1	160 -320	500	20	k.A.	29	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	21	26
	320 -640			k.A.	38	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
NP.2	160 -320	500	20	k.A.	23	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	25	227
	320 -640			k.A.	35	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
NP.3	160 -320	500	20	k.A.	39	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	23	27
	320 -640			k.A.	47	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
SD.1	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	20	-28
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
SD.2	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	18	24
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
SD.3	160 -320	20	20	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	19	31
	320 -640			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		

Aus dem Zeitsetzungsverlauf der Vorkonsolidierung sind unterschiedlich große Setzungen in der Erst-, Zweit- und Gesamtbelastung zu sehen, welche in ähnlicher Proportion zueinanderstehen und zu einer gleichliegenden Anfangsporenzahl e_{vorher} führen. Dieser Zusammenhang konnte bei den Ginau Versuchen nicht beobachtet werden. Hier wiesen alle Proben in der zweiten Laststufe ähnliche Setzungen auf.

Das abgebildete Setzungsverhalten der Slurry Deposition Methode reiht sich nicht zu den bereits bekannten Setzungskurven der Vorkonsolidierung aus Ginau ein, sondern gleicht eher jenen der In-Place Wet Pluviation Methode. Daraus kann kein Zusammenhang abgeleitet werden, da die Korngrößenverteilung und die Bodenparameter voneinander abweichen.

Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidierung

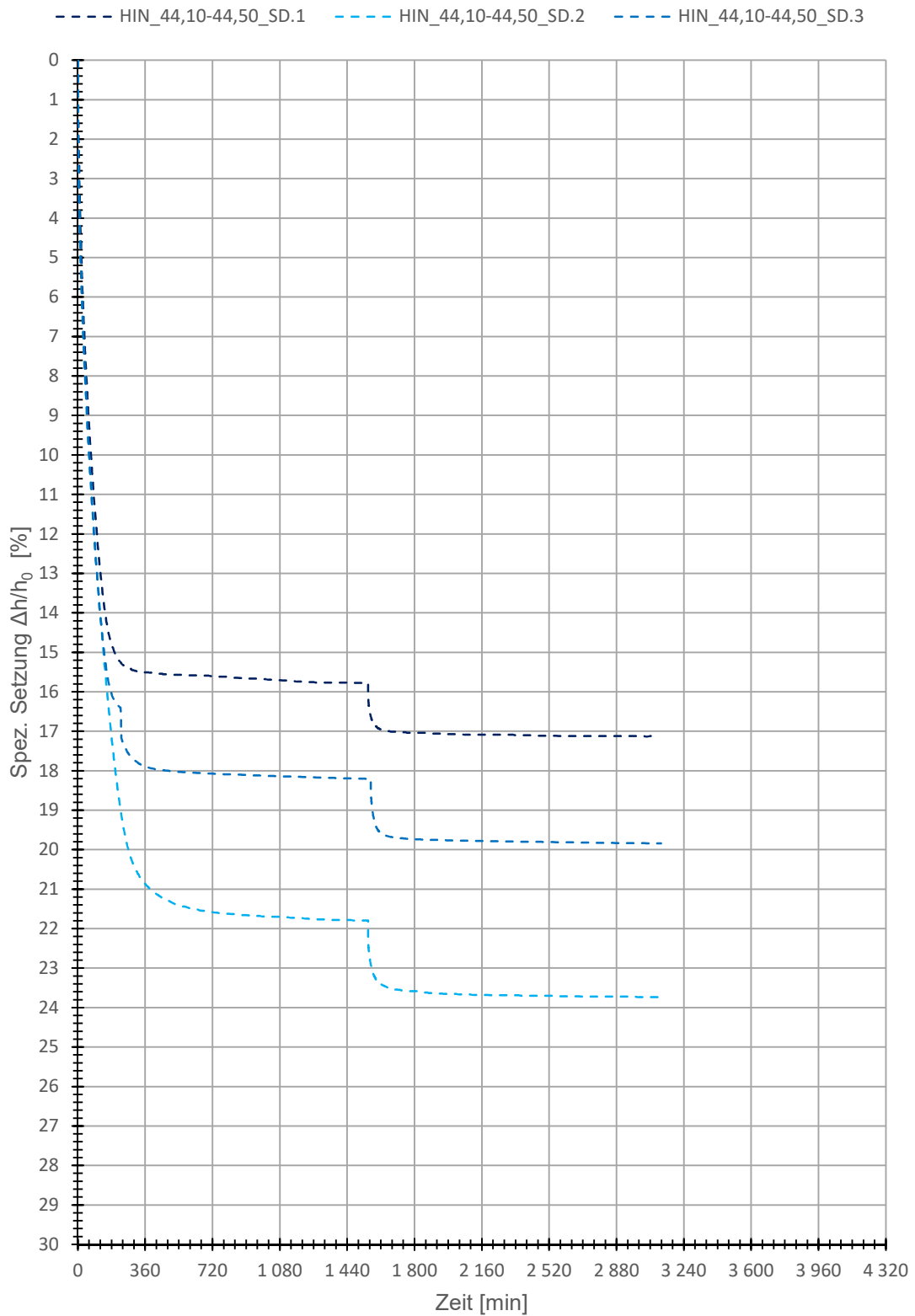


Abb. 110 Zeitsetzungskurve – Vorkonsolidierung HIN_44,10-44,50

6.3.3 Kompressionsversuch

Kompressionskurve

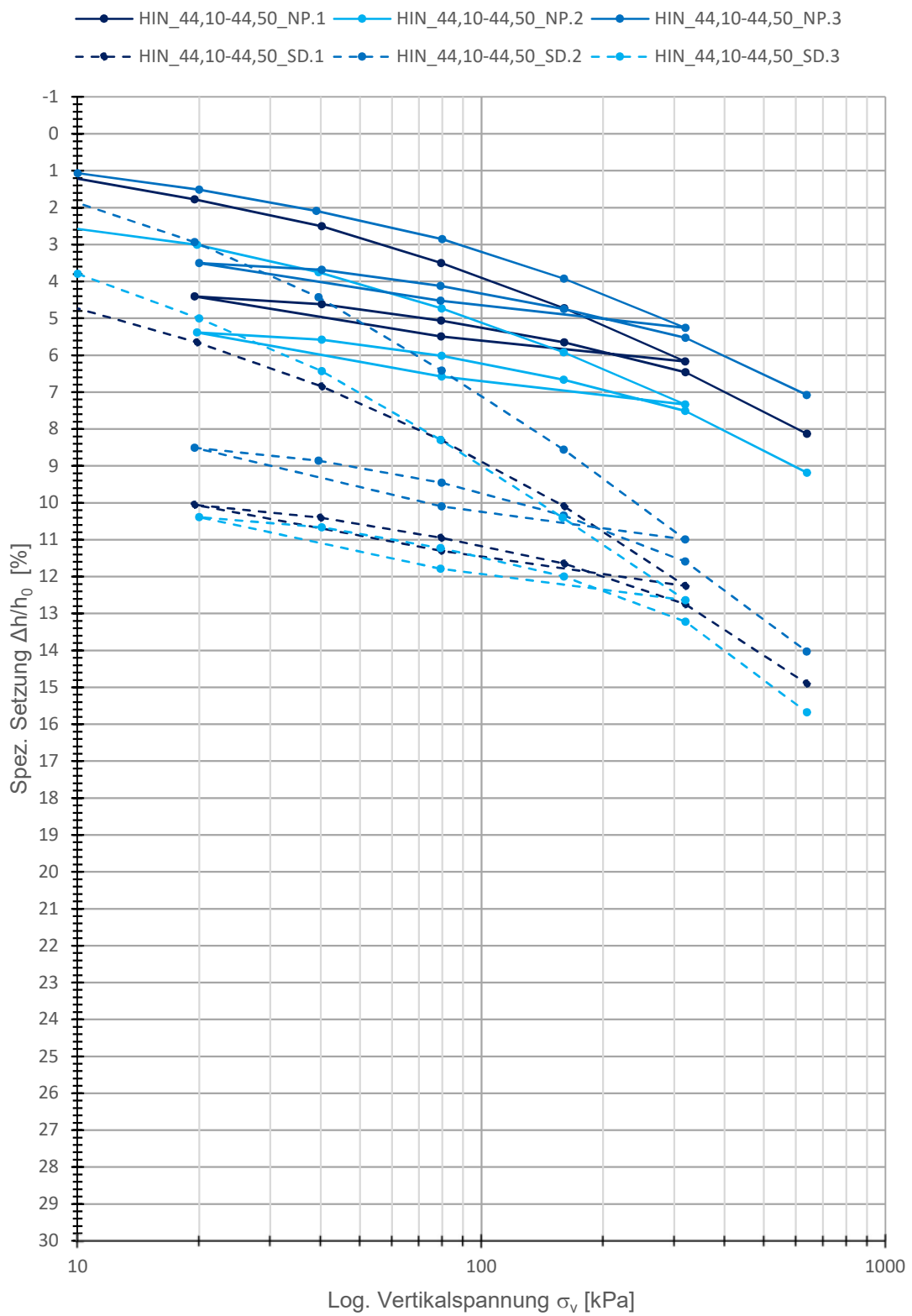


Abb. 111 Kompressionskurve HIN_44,10-44,50

An diesem Entnahmeort wurden drei natürliche Proben und jeweils eine zugehörige Slurry Deposition Probe angefertigt und beprobt.

Die Anfangssetzungen der wiederhergestellten Proben bewegen sich im selben Bereich, wie jene aus Ginau. Bei den Proben ist kein Schwellen erkennbar und diese Proben weisen ein gleichartiges Kompressionsverhalten auf. Ein abweichendes, steiferes Verhalten ist nur für HIN_44,10-44,50_SD.1 zu beobachten, welches aber auf keine ermittelte Größe zurückgeführt werden kann.

Ein Zusammenhang zwischen den Steifigkeiten aus den natürlichen zu den SD Proben, ist hier, wie in Ginau nicht erkennbar, jedoch weisen auch die wiederhergestellten Proben deutlich geringere Steifigkeiten E_{oed} , im Vergleich zu den natürlichen Proben auf. Dies kann der Tab. 13 entnommen werden.

Tab. 16 Steifemodule E_{oed} HIN_44,10-44,50

Probe	Laststufen [kPa]		10-20	20-40	40-80	80-160	160-320	320-640
NP.1	Steifemodule E_{oed} [kPa]	Erstbelastung	1681	2842	3925	6592	11076	---
		Wiederbelastung	---	9881	8820	13803	19601	19204
NP.2	Steifemodule E_{oed} [kPa]	Erstbelastung	2233	2664	4086	6756	11306	---
		Wiederbelastung	---	10301	9126	12275	19000	19086
NP.3	Steifemodule E_{oed} [kPa]	Erstbelastung	2226	3338	5333	7453	12003	---
		Wiederbelastung	---	10962	8979	12837	20676	20561
SD.1	Steifemodule E_{oed} [kPa]	Erstbelastung	1053	1708	2707	4486	7430	---
		Wiederbelastung	---	5857	7182	11536	14500	14860
SD.2	Steifemodule E_{oed} [kPa]	Erstbelastung	874	1340	2023	3740	6553	---
		Wiederbelastung	---	5743	6742	8933	12864	13106
SD.3	Steifemodule E_{oed} [kPa]	Erstbelastung	824	1423	2089	3773	7209	---
		Wiederbelastung	---	7375	6975	10368	13134	13001

Die Probe HIN_44,10-44,50_SD.2 hat einen erhöhten Feinkornanteil gegenüber der natürlichen Probe, daraus ist aber kein abweichendes Verhalten zu den anderen wiederhergestellten Proben ersichtlich. Absetzeffekte konnten generell keine festgestellt werden.

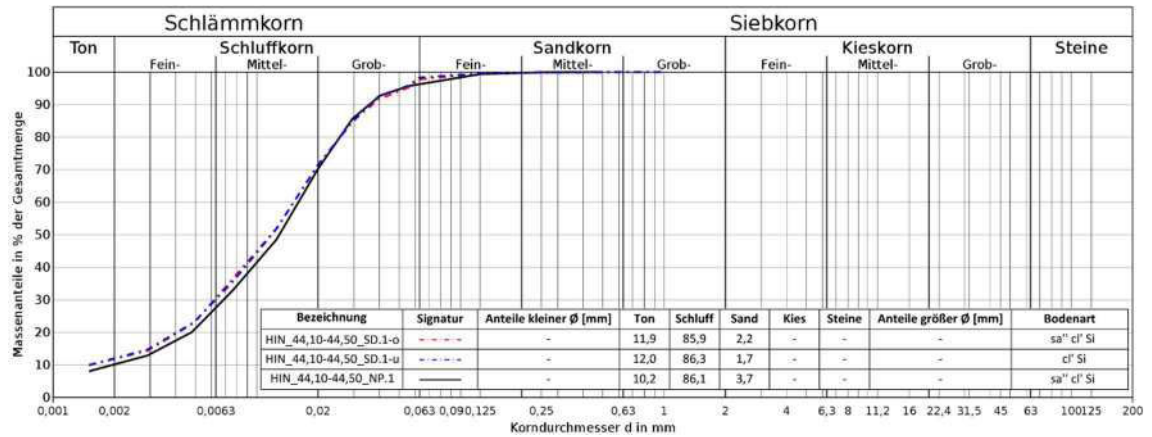


Abb. 112 Korngrößenverteilung 1.Probenreihe HIN_44,10-44,50

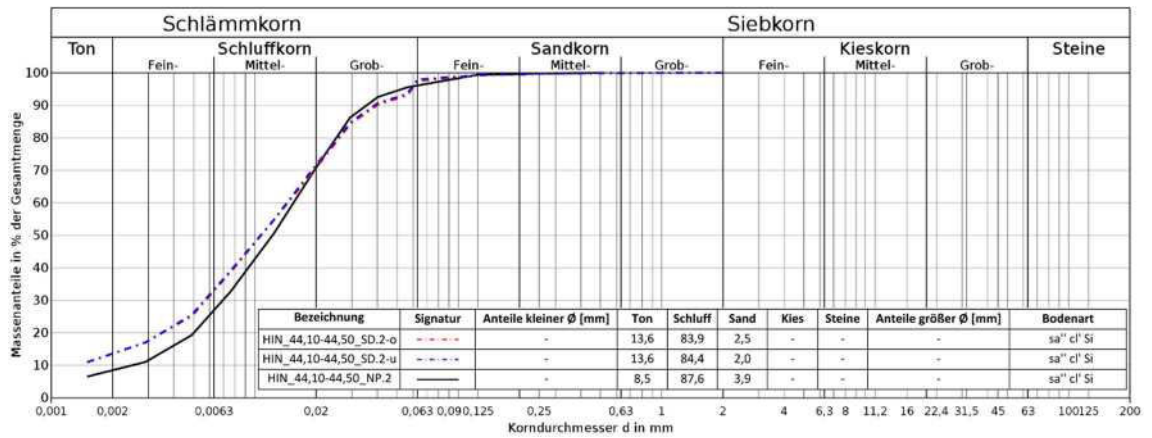


Abb. 113 Korngrößenverteilung 2.Probenreihe HIN_44,10-44,50

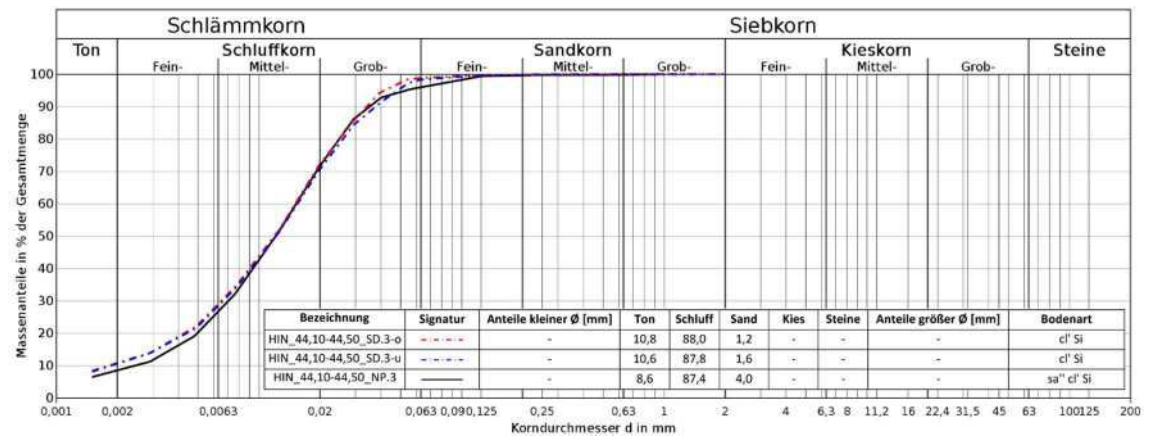


Abb. 114 Korngrößenverteilung 3.Probenreihe HIN_44,10-44,50

Die Porenzahl e_{vorher} kongruiert mit dem Steifigkeitsverhalten der zugehörigen Probe.

Eine vergleichbare Porenzahl e konnte mit keiner Probe erreicht werden, die natürlichen und wiederhergestellten Proben hatten dieselbe Zeit zur Konsolidierung, welche im Kap. 3.1 angegeben ist.

Tab. 17 Bodenparameter HIN_44,10-44,50

Probe	Parameter	ρ_r	ρ_d	w	n	e	S_r
		[g/cm ³]	[g/cm ³]	[%]	[%]	[-]	[-]
NP.1	vorher	1,96	1,50	30,07	45,48	0,83	1,00
	nachher	2,04	1,64	24,71	40,65	0,68	1,00*
NP.2	vorher	1,99	1,55	27,97	43,58	0,77	1,00*
	nachher	2,09	1,71	22,19	37,87	0,61	1,00*
NP.3	vorher	1,98	1,56	27,41	43,65	0,77	0,98
	nachher	2,07	1,67	23,53	39,36	0,65	1,00*
SD.1	vorher	1,86	1,35	37,69	51,04	1,04	1,00*
	nachher	2,01	1,59	26,84	42,47	0,74	1,00*
SD.2	vorher	1,83	1,31	40,32	52,53	1,11	1,00*
	nachher	1,97	1,52	29,42	44,79	0,81	1,00*
SD.3	vorher	1,83	1,31	40,16	52,66	1,11	1,00*
	nachher	1,99	1,55	28,32	43,86	0,78	1,00*

Der merkliche Farbtonunterschied zwischen den natürlichen und wiederhergestellten Proben, entstand durch die Verwendung unterschiedlicher Kameras. Die Schichtungen der natürlichen Probe und die Homogenität der Slurry Deposition Methode sind in den Querschnittsbildern Abb. 115 – Abb. 120 abgelichtet.

Natürliche Probe



Abb. 115 HIN_44,10-44,50_NP.1_QB

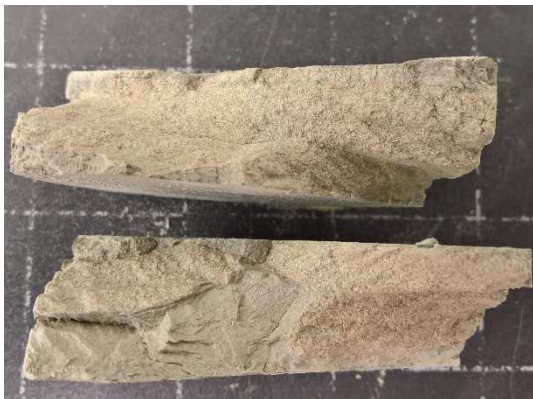


Abb. 117 HIN_44,10-44,50_NP.2_QB



Abb. 119 HIN_44,10-44,50_NP.1_QB

Wiederhergestellte Probe

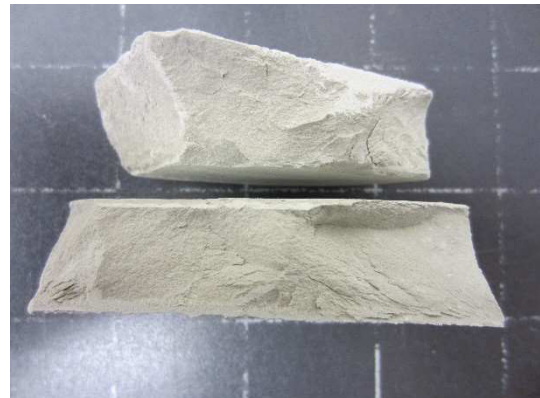


Abb. 116 HIN_44,10-44,50_SD.1_QB



Abb. 118 HIN_44,10-44,50_SD.2_QB



Abb. 120 HIN_44,10-44,50_SD.1_QB

Zeitsetzungskurve

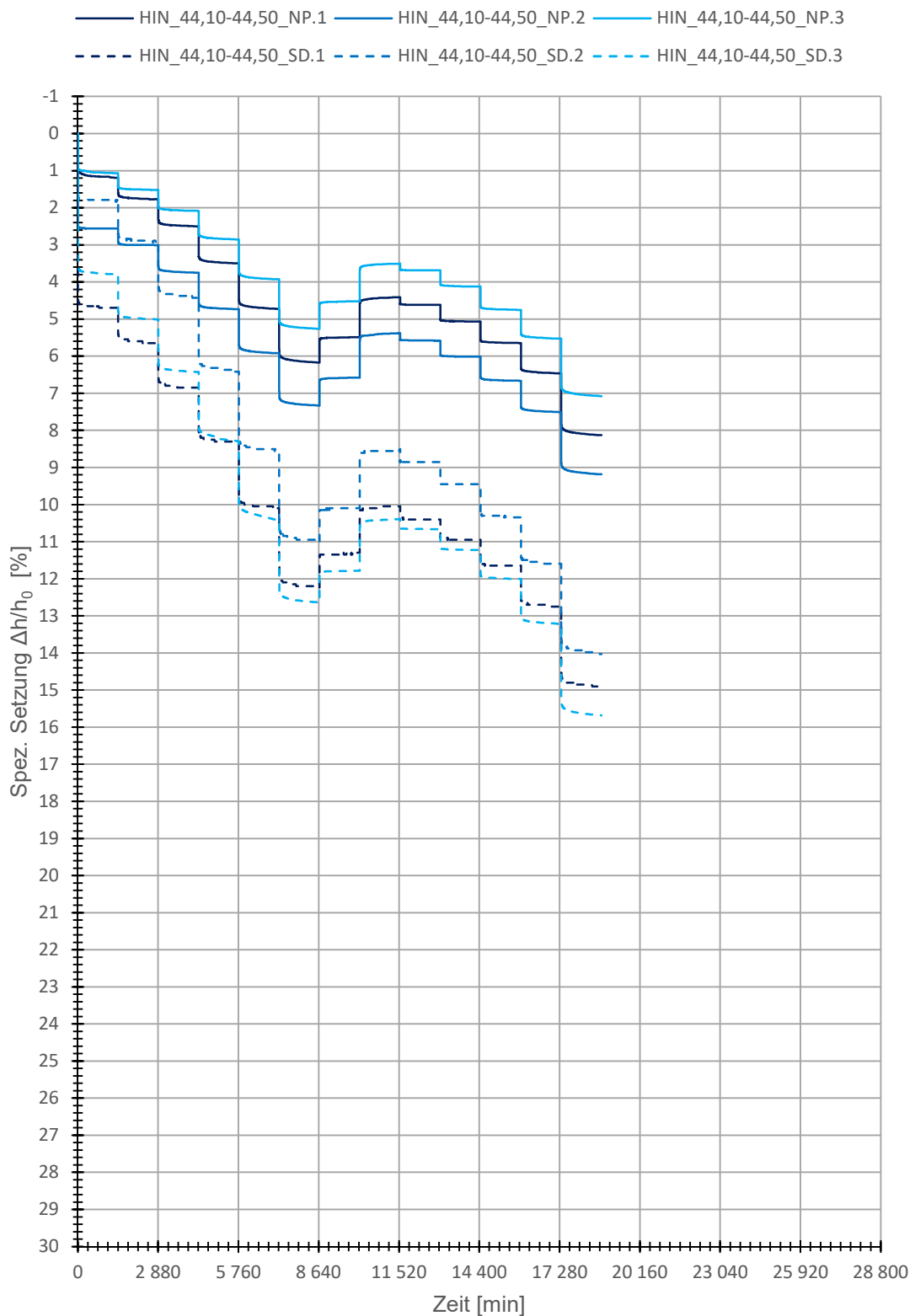


Abb. 121 Zeitsetzungskurve des Kompressionsversuches HIN_44,10-44,50

6.4 Vergleich zwischen den Versuchsreihen

In diesem Kapitel werden Resultate unterschiedlicher Versuchsreihen verglichen, um essentielle Aussagen zu beschreiben.

- **Natürliche Korngrößenverteilung**

Der Überblick über die getesteten natürlichen Bodenproben hinsichtlich der Korngrößenverteilung, kann der Abb. 22 im Kap. 3.5 entnommen werden.

6.4.1 GIN_0,80-1,20 und GIN_0,90-1,30

Um den Vergleich der Kompressionskurven deutlicher darzustellen, wurden die Initialsetzungen auf Null kalibriert und in der Abb. 122 gemeinsam dargestellt. Alle für den Vergleich untergeordnete Kurven sind transparent, da auf diese hier nicht Bezug genommen wird. Allgemein sind keine markanten Unterschiede zwischen den Proben zu erkennen, außer das natürliche Proben größere Steifigkeiten besitzen.

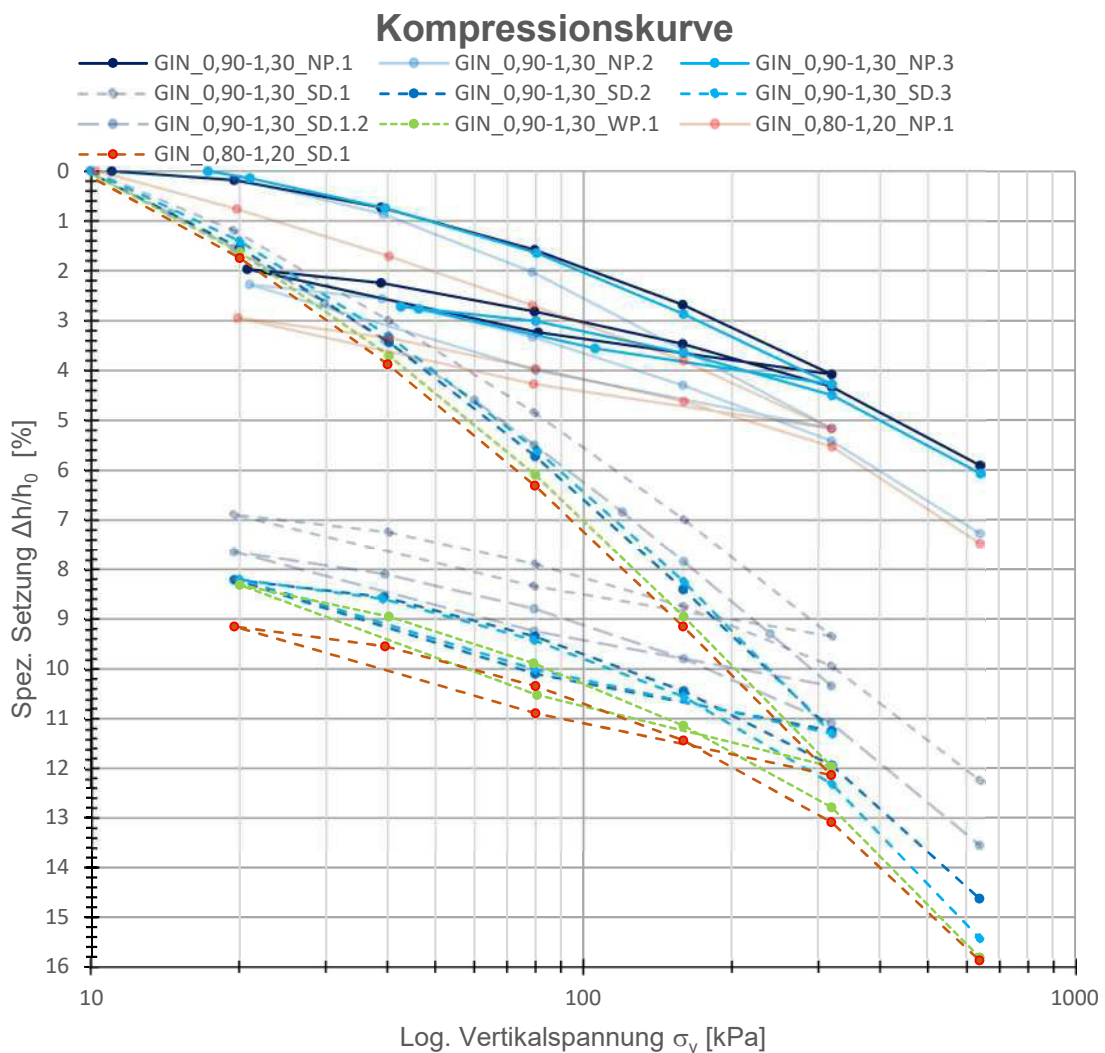


Abb. 122 sämtliche Kompressionskurven aus Ginau

- **GIN_0,90-1,30_NP.1 & 3**

Die beiden Kompressionskurven zeigen ein nahezu identes Verhalten für die Erst-, Ent-, und Wiederbelastungszyklus. Die einzige Unstetigkeit ist dem Softwarefehler geschuldet, der drei abweichende Belastungsstufen im Versuch GIN_0,90-1,30_NP.3 verursachte. Mit Ausnahme dieser Belastungen, weichen die Steifemodule E_{oed} im einstelligen bis unteren zweistelligen Prozentbereich voneinander ab. Ein direkter Zusammenhang zwischen den Porenzahlen e_{vorher} und $e_{nachher}$ kann nicht festgestellt werden, denn dazu müssten die Probe NP.2 und NP.3 idente Kompressionskurven aufweisen.

- **GIN_0,90-1,30_SD.2 & 3**

Diese wiederhergestellten Proben beschreiben über den Erst- und Entlastungszyklus eine idente Kurve und erst im Wiederbelastungsast stellen sich ab 160 kPa zunehmend Abweichungen ein. Bis dort bleiben auch die Abweichungen der Steifemodule im einstelligen Prozentbereich.

- **GIN_0,80-1,20_SD.1 & 0,90-1,30_WP.1**

Aus der Abb. 122 ist zu erkennen, dass die beiden Proben, wobei eine mit der Slurry Deposition und die andere mit der In-Place Wet Pluviation Methode hergestellt wurde, ein affines Verhalten aufweisen. Der Erstbelastungsast ist ident, in der Ent- und Wiederbelastungsschleife sind kleinere Abweichungen zu erkennen, um am Ende des Wiederbelastungszyklus wieder zusammenzutreffen. Die Korngrößenverteilung dieser beiden Proben, passen am besten unter den getesteten Proben zusammen, dies kann aus dem Vergleich der Abb. 123 mit der Abb. 99 entnommen werden.

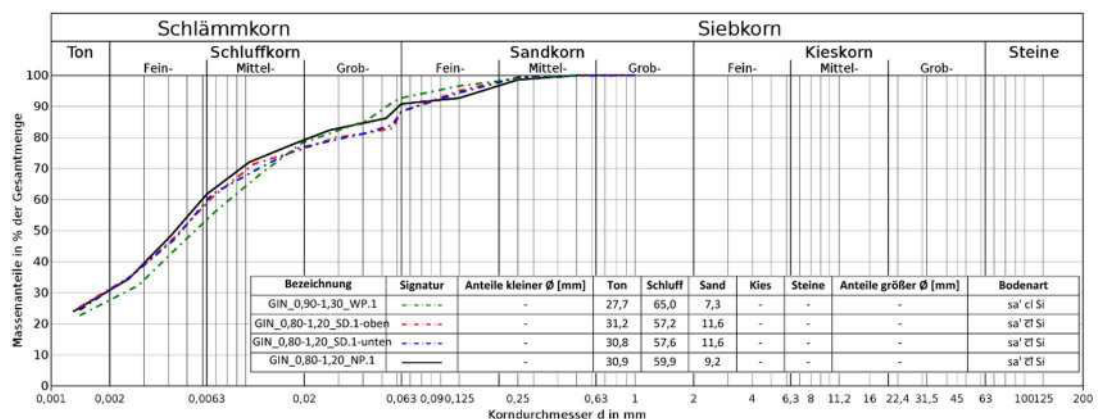


Abb. 123 Korngrößenverteilung GIN_0,80-1,20_SD.1 vs. GIN_0,90-1,30_WP.1

Aus diesem einmaligen Ereignis sind keine direkten Aussagen ableitbar, es lässt sich vermuten, dass die beiden Probenherstellungsarten keinen Einfluss auf die

Ergebnisse der Kompressionskurve haben sondern lediglich von der Korngrößenverteilung und den Mineralien beeinflusst werden.

Die Porenzahl e wird durch die beiden Methoden unterschiedlich beeinflusst, da wahrscheinlich durch das Aufmischen bei der Slurry Deposition Methode das Korngerüst bereits vorverdichtet wird, was bei der In-Place Wet Pluviation nicht geschieht. In den Tab. 11 und Tab. 14 ist zu erkennen das die Porenzahlen e keine Übereinstimmung aufweisen. Die Porenzahl e beeinflusst das Kompressionsverhalten nicht in ihrer Gestalt, sie verschiebt diese lediglich parallel, da diese von der Korndichte abhängig ist.

Dazu sollten weitere Vergleichsversuche zwischen diesen beiden Methoden angestrebt werden.

6.4.2 Gesamtmineral- und Tonmineralbestand

Zur Bestimmung des Gesamtmineral- und Tonmineralbestandes wurde ein Teil der Ödometerprobe von GIN_0,80-1,20_NP.1 und HIN_44,10-44,50_NP.3 am Institut für Angewandte Geowissenschaften analysiert. Die zusammengefassten Ergebnisse sind den nachfolgenden tabellarischen und grafischen Darstellungen und die vollständigen Resultate sind dem Anhang 9.2 zu entnehmen.

Tab. 18 Gesamtmineralbestand GIN_0,80-1,20_NP.1 & HIN_44,10-44,50_NP.3

Bezeichnung	Gesamtmineralbestand														Summe		
	Verteilung der Mineralbestandteile in %																
	Quarz	Muskovit	Chlorit	Plagioklas	Kalifeldspat	Kalzit	Dolomit	Magnesit	Gips	Pyroxen	Hämatit	Amphibol	Kaolinit	Smektit		Mixed Layer	Sonstiges
GIN_0,80-1,20_NP.1	20	52	13	6	3	3	3										100
HIN_44,10-44,50_NP.3	13	40	11	11	6	11	1				3	4					100

Tab. 19 Tonmineralbestand GIN_0,80-1,20_NP.1 & HIN_44,10-44,50_NP.3

Bezeichnung	Tonmineralbestand								
	Mineralverteilung % in der Fraktion < 2µm (%)						Fraktion < 40µm	Fraktion < 2µm	Smektit eff
	Muskovit	Chlorit	Smektit	Kaolinit	Vermikulit	Mixed Layer			
GIN_0,80-1,20_NP.1	67	33					95	37	
HIN_44,10-44,50_NP.3	29	35		36			100	10	

Korngrößenverteilung

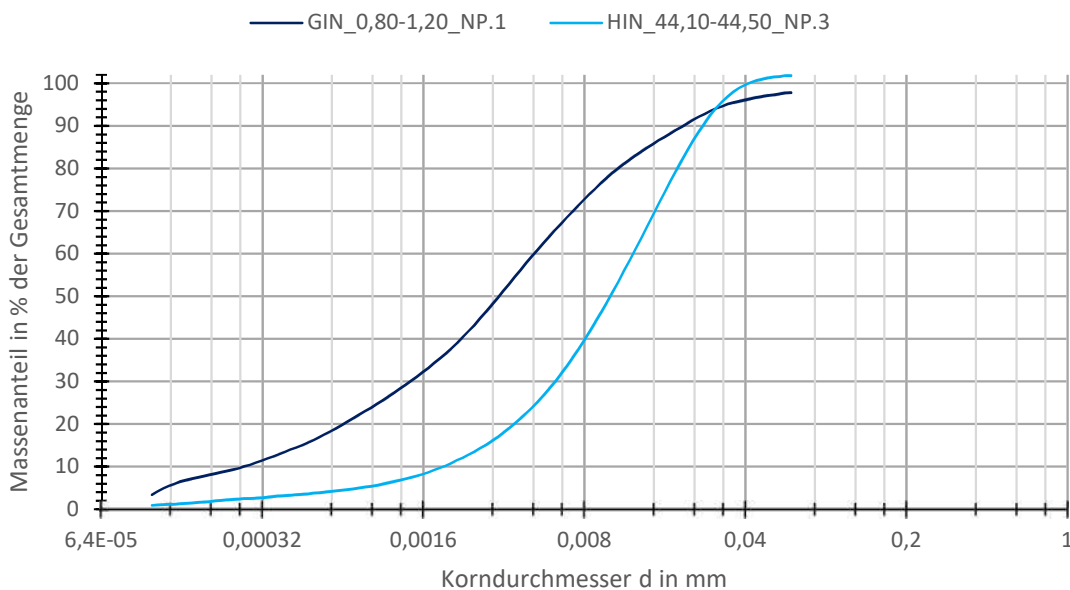


Abb. 124 KGV: im µm-Bereich GIN_0,80-1,20_NP.1 & HIN_44,10-44,50_NP.3

7 Fazit & Handlungsempfehlung

Aus den ausgewerteten Versuchsreihen und der Literatur erschließt sich die Gesamtsituation wie folgt.

Um die Ergebnisse der maximalen geologischen Vorkonsolidierungsspannung $\sigma_{v,max}$ vollständig zu evaluieren, muss vorab eine Einschätzung der Vorkonsolidierungsverhältnisse getroffen werden. Für die getesteten, natürlichen Bodenproben haben sich die Verfahren nach Murayama und Shibata (1958) und Kotzias (1963) als am geeignetsten erwiesen, wobei das Verfahren nach Kotzias etwas fehleranfälliger ist.

In den ausgewerteten Zeitsetzungskurven der Vorkonsolidation Abb. 94, ist ein erheblicher Unterschied zwischen der Slurry Deposition und der In-Place Wet Pluviation Methode im Übergang von dem Primär- zum Sekundärsetzungsverhalten zu erkennen. In den Kompressionsversuchen konnte kein Unterschied im Zeitsetzungsverhalten zwischen den beiden verwendeten Wiederaufbereitungsmethoden festgestellt werden.

Vermutet wird, dass durch das Aufmischen bei der Slurry Deposition Methode das Korngerüst in einer dichteren Form sedimentiert wird und dies durch den Sedimentationsprozess der In-Place Wet Pluviation Methode nicht eintritt. Dieses Verhalten ist nur bei Erstbelastung in den geringen Laststufen ersichtlich, danach hat sich das Korngerüst soweit angenähert, dass nur mehr die Beeinflussung der Porenzahl e zu erkennen ist.

Die Ergebnisse der Kompressionsversuche legen nahe, dass die Verlauf der Kompressionskurve, ohne Betrachtung der initialen Setzungen, nicht durch die unterschiedlichen Aufbereitungsmethoden oder der Porenzahl e beeinflusst wird, siehe Abb. 122, sondern von der Korngrößenverteilung und den Mineralien.

Am Prozess der Slurry Deposition Methode sollte festgehalten werden. Es müsste nur überlegt werden, wie die wiederhergestellten Proben auf die idente Anfangsporenzahl e_{vorher} der natürlichen Bodenproben gebracht werden können - Ansatz siehe Aufzählung.

Der Prozess der In-Place Wet Pluviation sollte weiter verbessert werden und mit den natürlichen Proben und Slurry Deposition Proben verglichen werden, um die

Ergebnisse weiter zu stützen und die diskutierten Vermutungen und Annahmen zu verifizieren, hierzu sind weitere Versuche notwendig.

Bei weiteren Untersuchungen von natürlichen und wiederhergestellten, fein laminierten Böden mittels Kompressionsversuch, sollten unbedingt nachfolgende Details beachtet werden:

- Einsatz eines Feuchtemessgerätes zur weiteren Bestimmung des Sättigungsgrades, da die Ödometerproben nur geringfügig beeinflusst werden.
- Versuchsreihen sollten vorzugsweise aus drei natürlichen Proben und jeweils einer zugehörigen Slurry Deposition und einer In-Place- oder Wet Pluviation, mit identer Korngrößenverteilung und Schichtung bestehen.
- idente Anfangsporenzahl e_{vorher} der wiederhergestellten Proben. Dies könnte wie folgt erreicht werden. Nach der Bestimmung der Vorkonsolidierungsspannung, wird die idente Trockenmasse der natürlichen Probe, in derselben Ödometerzelle mit Aufsatzzylinder stufenweise mit einem Abbruchkriterium vorkonsolidiert, bis die Ödometerringhöhe erreicht ist.
- Erhöhter Fertigungsgrad der Aufsatzzylinder, um ein seitliches Umfließen der Suspension zu verhindern.
- Auswertung des Zusammenhangs zwischen der Porenzahl e und den Steifemoduln
- Enger gestufte Belastungsschritte im Erstbelastungszyklus, siehe GIN_0.90-1,30_SD1.2 und eine weitere Laststufe (1280 kPa) für natürliche Proben, um die Vorkonsolidierungsspannung präziser zu ermitteln.
- Weitere Verbesserung in der Umsetzung der Wet Pluviation Methode für Prozessschritte und Sedimentationseinrichtung.
- Makroskopische Untersuchung des Korngerüstes vor und nach der Vorkonsolidierung, um das Zeitsetzungsverhalten der Vorkonsolidierung zu verstehen.
- Erprobung der vollständigen Sedimentationszeit für die verwendeten Bodengemische bei einer Füllung und sind weitere zeitliche Effekte ersichtlich, wenn die Füllmenge durch mehrere Befüllungsschritte zunimmt, siehe Kap. 4.2.4 – Lagerungsdichte.

Abschließend kann festgehalten werden, dass weitere Versuche durchgeführt werden müssen, um die natürlichen und wiederhergestellten Proben in den Kompressionsversuchen und den zugehörigen Bodenparametern zu einen.

8 Literaturverzeichnis

DIN 18135 (2012-04): Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Eindimensionaler Kompressionsversuch.

Bing Maps (2017), zuletzt geprüft am 27.02.2017.

Burmister (1952): The application of controlled test methods in consolidation testing. Symposium on Consolidation Testing of Soils. Am Soc. Test. Mat. Sp. Techn. Public Nr.126. West Conshohocken: American Society for Testing & Materials.

Casagrande (1936): The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Cambridge (Mass.) (Band, 3), S.60.

Donahue et al. (2007): The liquefaction susceptibility, resistance, and response of silty and clayey soils. University of California, Berkeley.

ÖNORM B 4400-1 (2010-03-15): Geotechnik - Teil 1: Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden.

ÖNORM EN ISO 17892-12 (2017-02-01): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 12: Bestimmung der Zustandsgrenzen.

ÖNORM EN ISO 17892-3 (2016-08-15): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 3: Bestimmung der Korndichte.

ÖNORM EN ISO 17892-4 (2014-07-15): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung.

ÖNORM EN ISO 17892-5 (2015-02-15): Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 5: Oedometerversuch mit stufenweiser Belastung.

Hvorslev (1949): Subsurface exploration and sampling of soils for civil engineering purposes. Report on a research project of the. Vicksburg, Miss.: Waterways Experiment Station.

Kotzias (1963): Die Zusammendrückbarkeit von Schluff. Aachen: Inst. für Verkehrswasserbau, Grundbau und Bodenmechanik der TH Aachen (Mitteilungen aus dem Institut für Verkehrswasserbau, Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Hochschule Aachen), S.V, 131.

- Murayama und Shibata (1958): On the secondary consolidation of clay. Proc. II. Japan. Congr. Test. Mat. Non Metallic Materials. Kyoto, S.178.
- Ohde (1949): Vorbelastung und Vorspannung des Baugrundes und ihr Einfluß auf Setzung, Festigkeit und Gleitwiderstand (Bautechnik, 26), S.129 u. 163.
- Pelz (2010): Die Berücksichtigung einer Vorbelastung bei der Mobilisierung des passiven Erddruckes feinkörniger Böden: Technische Universität München.
- Riemer (1992): The effects of testing conditions on the constitutive behavior of loose, saturated sands under monotonic loading. Ph.D. Thesis: University of California, Berkeley.
- Rutledge (1944): Relation of undisturbed sampling to laboratory testing. Trans. Am. Soc. Civ. Eng. 109, Paper Nr. 2229, S.1155. Auch abschließende Diskussion, S. 1208.
- Scheriau (2015): Vergleich von natürlichen und wiederhergestellten Schluff-Böden: Technische Universität Graz.
- Schmertmann (1953): Estimating the tone consolidation behaviour of clay from laboratory test results. Proc. Am. Soc. Eng. 79, Separate 311.
- Schultze und Muhs (1967): Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. 2., völlig Neubearb. u. erw. Aufl. Berlin: Springer, S.722.
- Terzaghi und Peck (1996): Die Bodenmechanik in der Baupraxis. Hydraulische Probleme des Baugrundes und im Erdbau. Berlin: Springer.
- Van Zelst (1948): An investigation of the factors affecting laboratory consolidation of clay. Proc. II. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Rotterdam (Band, 7), S.52.
- Watabe und Saitoh (2015): Importance of sedimentation process for formation of microfabric in clay deposit. The Japanese Geotechnical Society, Soils and Foundation. Vol. 55, No. (2): Elsevier B.V, S.276 - 283.

9 Anhang

9.1 Abmessungen der Wet Pluviation Sedimentationseinrichtung

9.1.1 Bodenentnahmevorrichtung

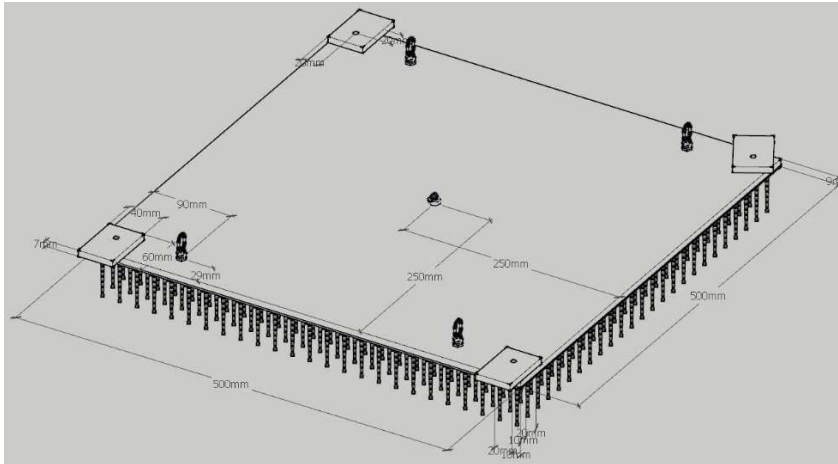


Abb. 125 Abmessungen Bodenentnahmevorrichtung

9.1.2 Wasserbehälter und Höhenverstellung

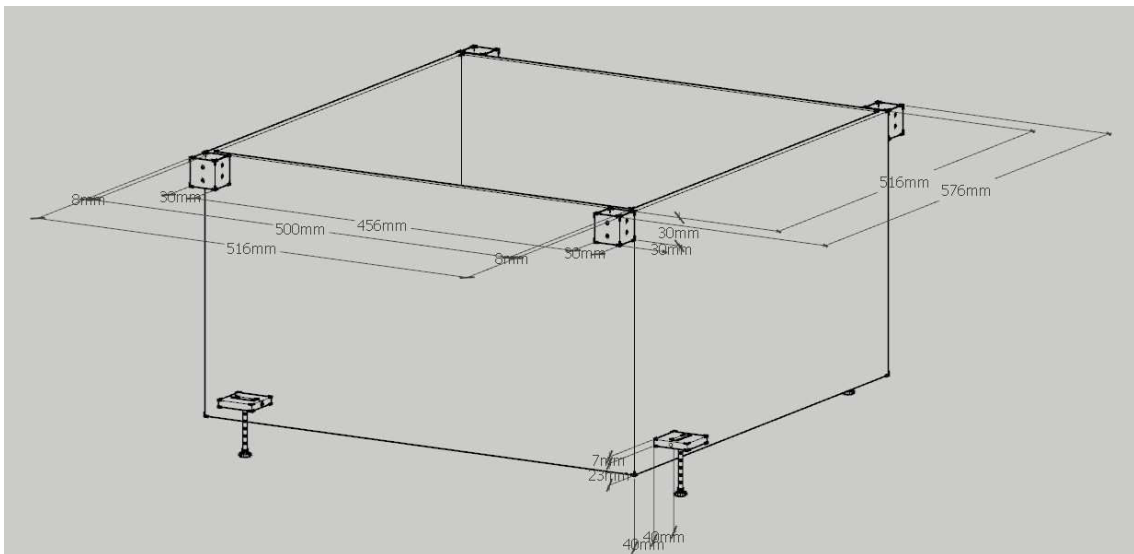


Abb. 126 Abmessungen Wasserbehälter und Höhenverstellung

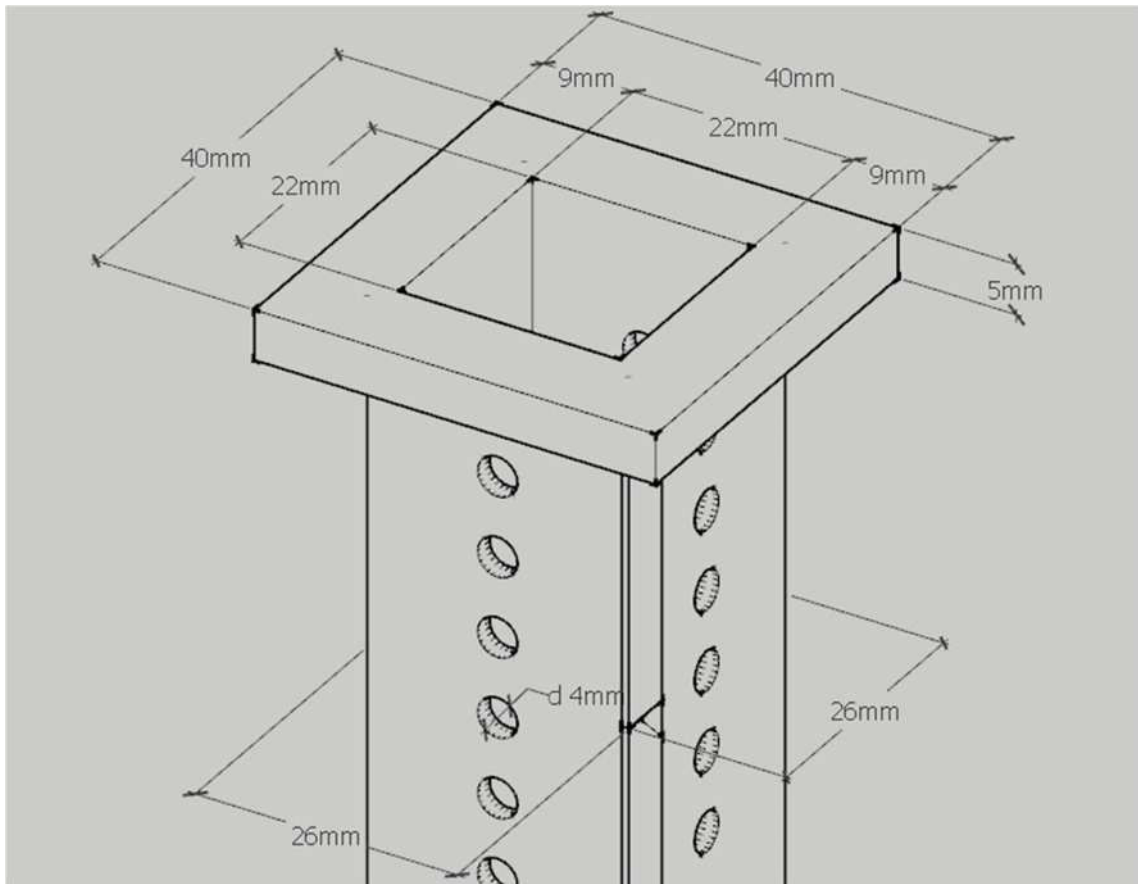


Abb. 127 Abmessungsdetail Höhenprofil

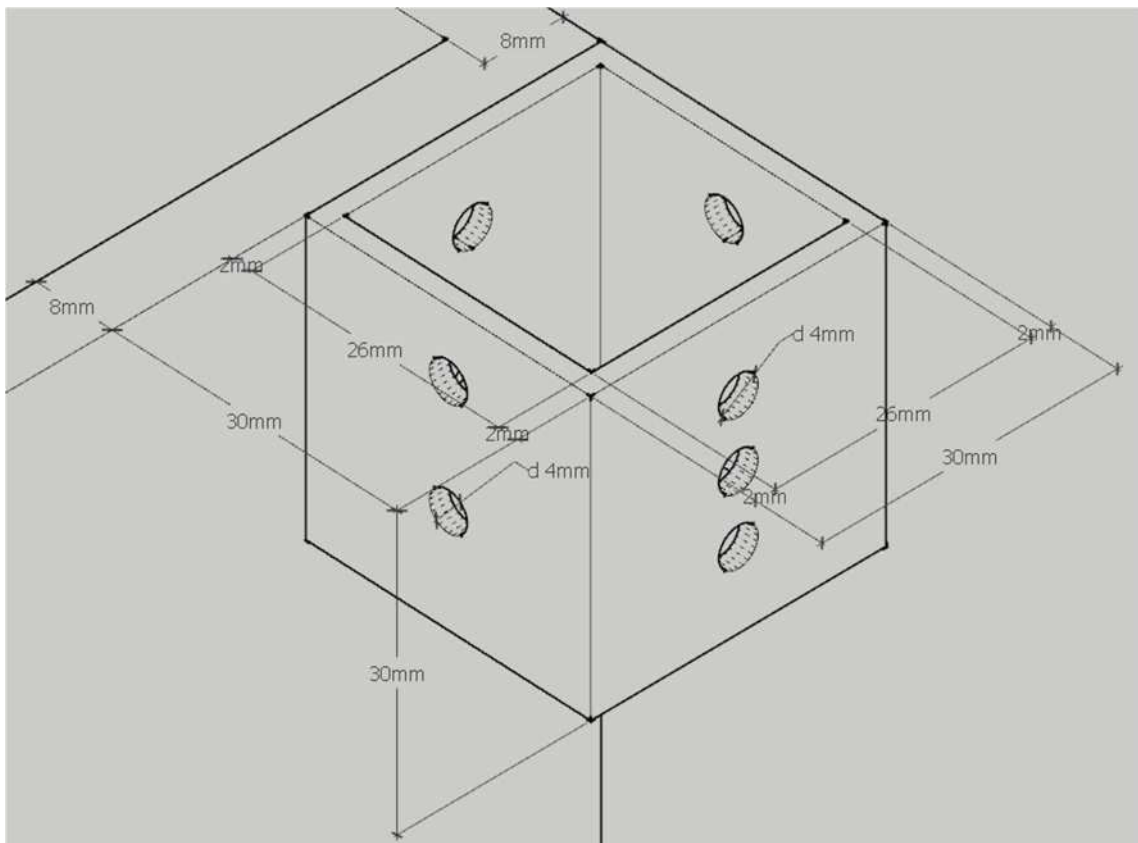


Abb. 128 Abmessungsdetail Höhenverstellung

9.1.3 Sedimentationsbehälter

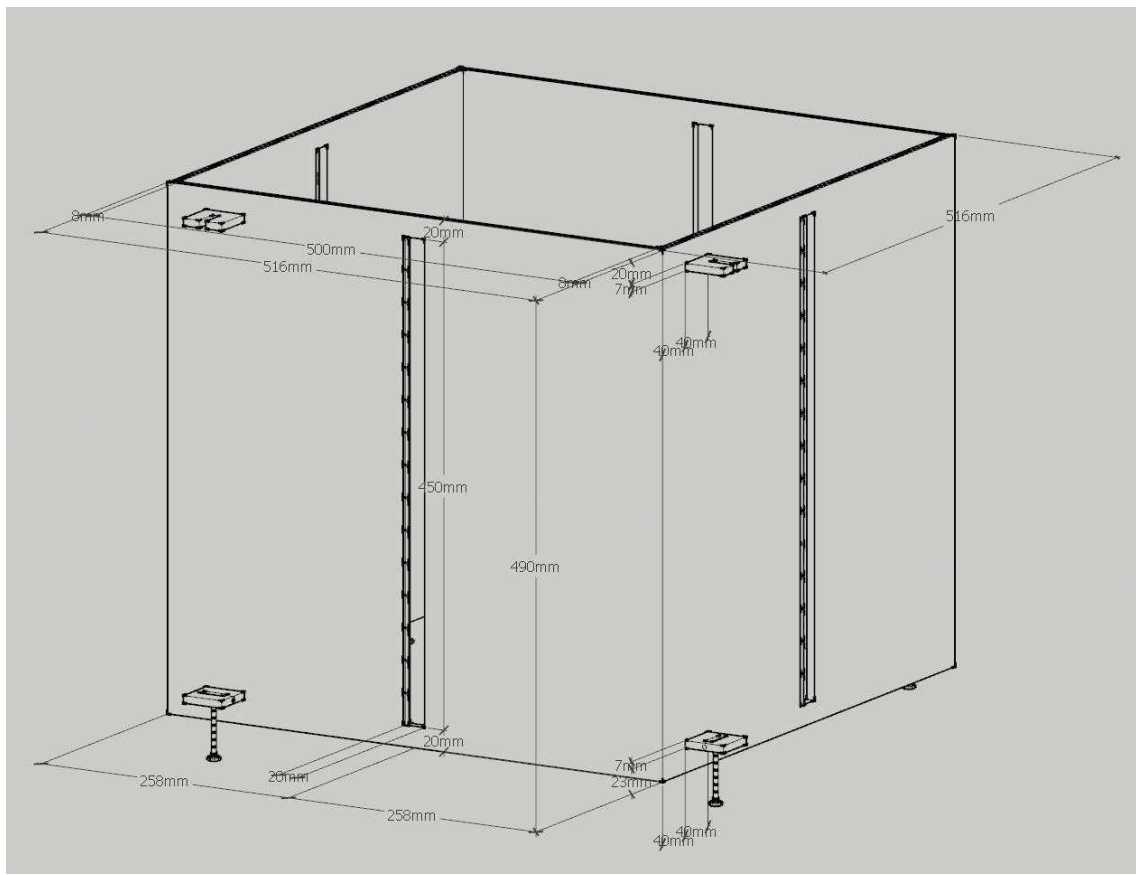


Abb. 129 Abmessungen Sedimentationsbehälter

9.1.4 Dichtung und Halterung

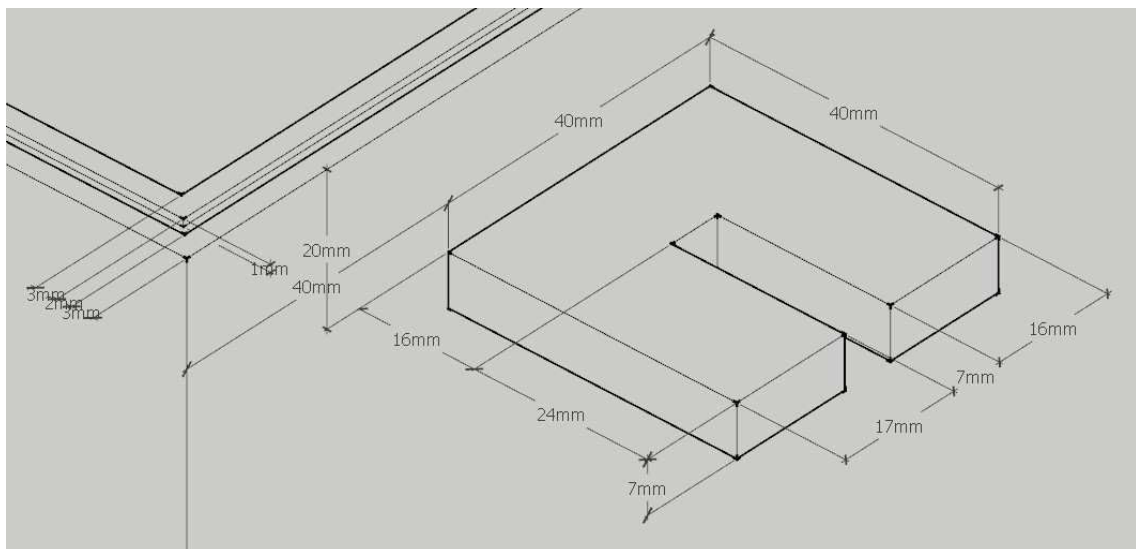


Abb. 130 Abmessungen untere Halterung

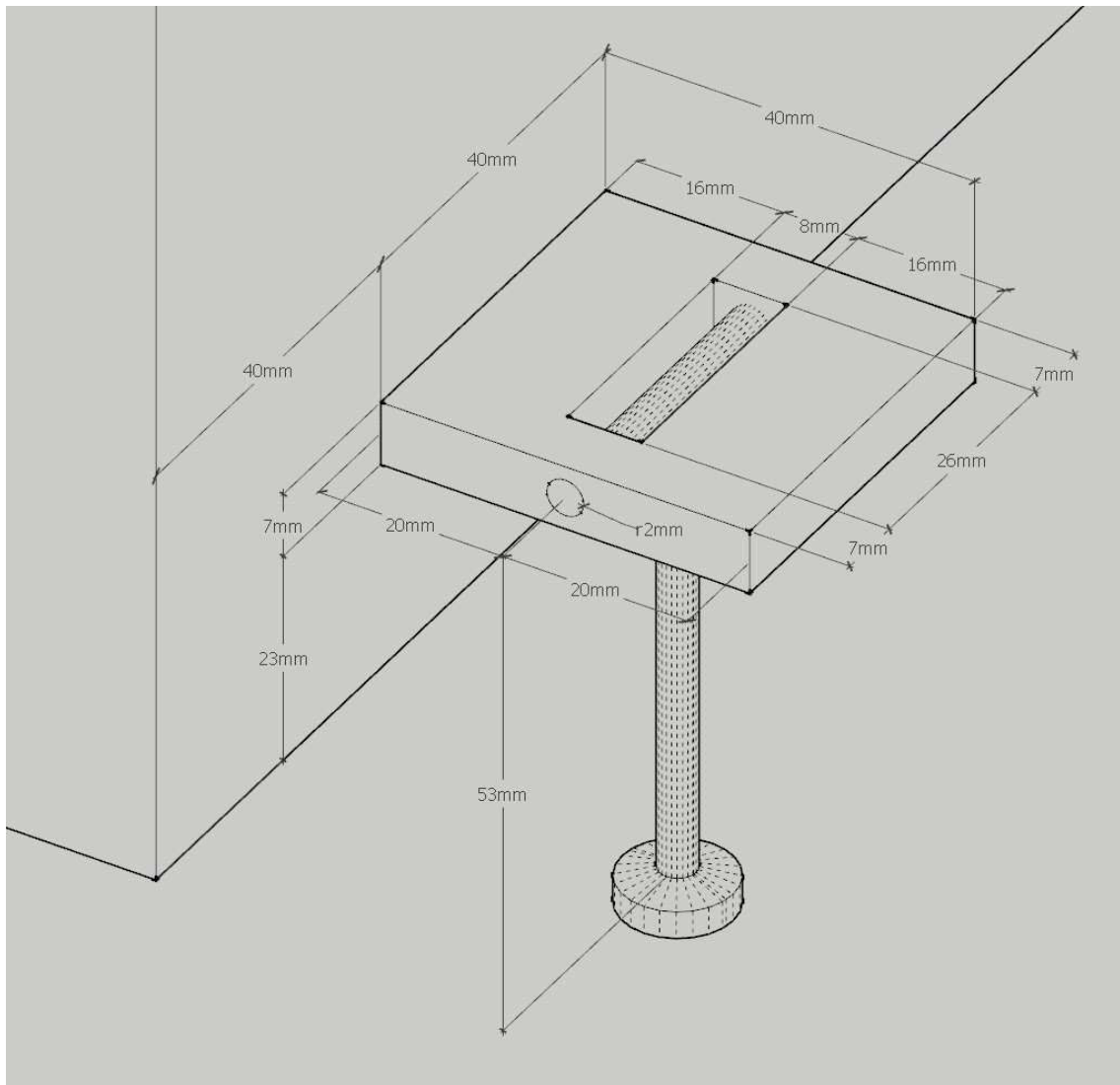


Abb. 131 Abmessungen obere Halterung

9.1.5 Filterplatte und Gitterrost

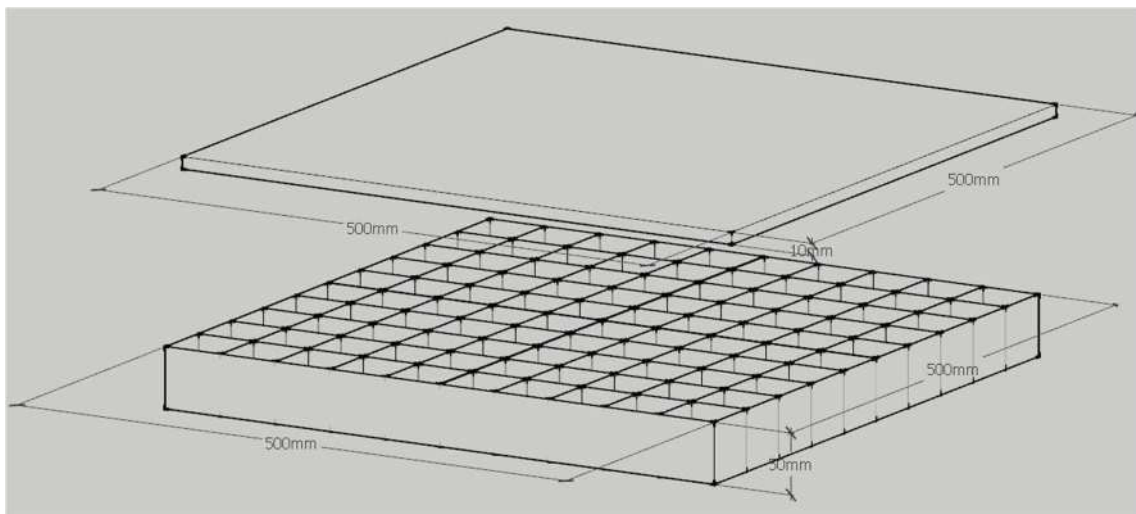


Abb. 132 Abmessungen Filterplatte und Gitterrost

9.1.6 Bodenbehälter

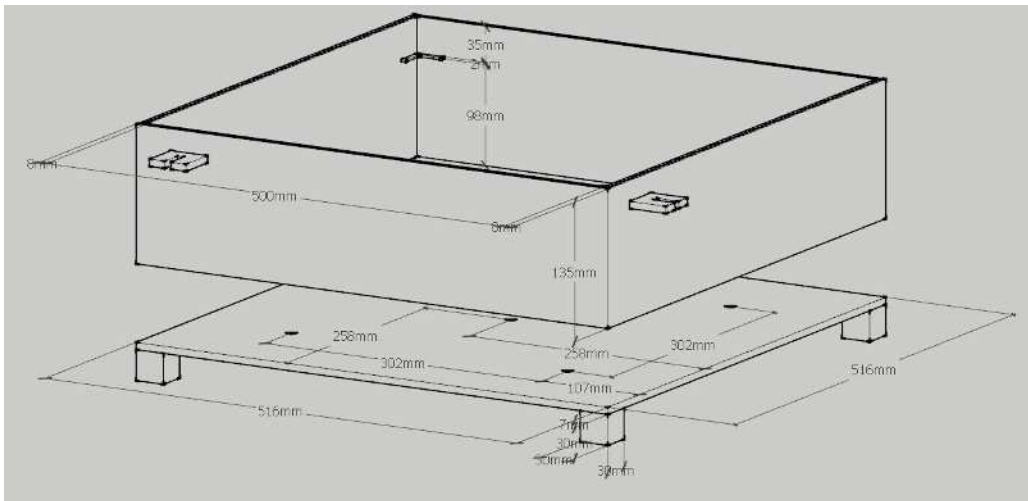


Abb. 133 Abmessungen Bodenbehälter

9.1.7 Entnahmebehälter

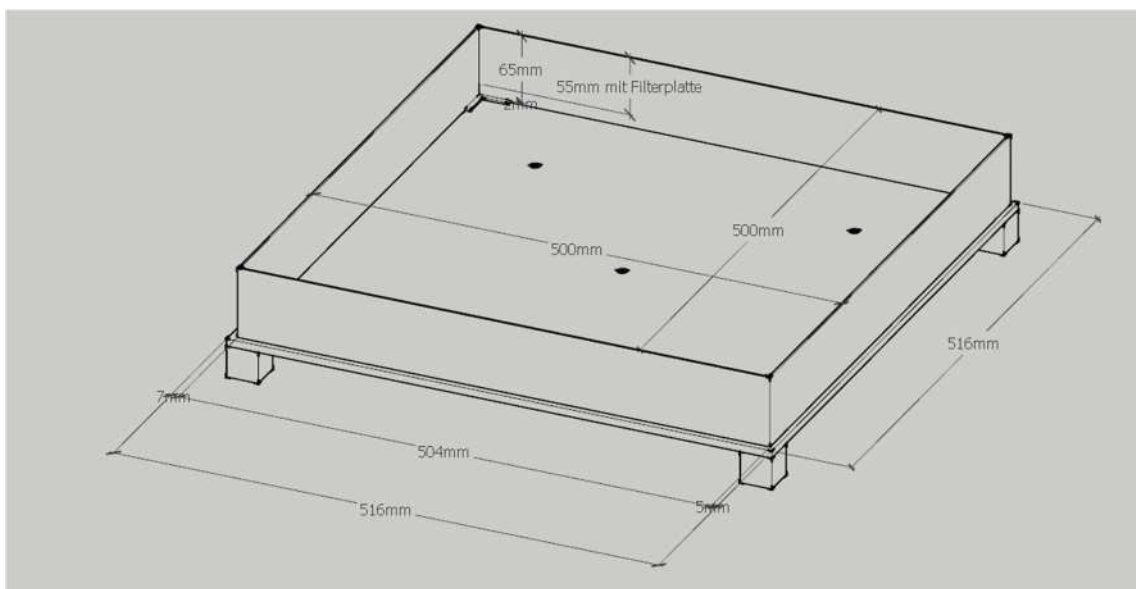


Abb. 134 Abmessungen Entnahmevorrichtung

9.1.8 Vorkonsolidierungsvorrichtung

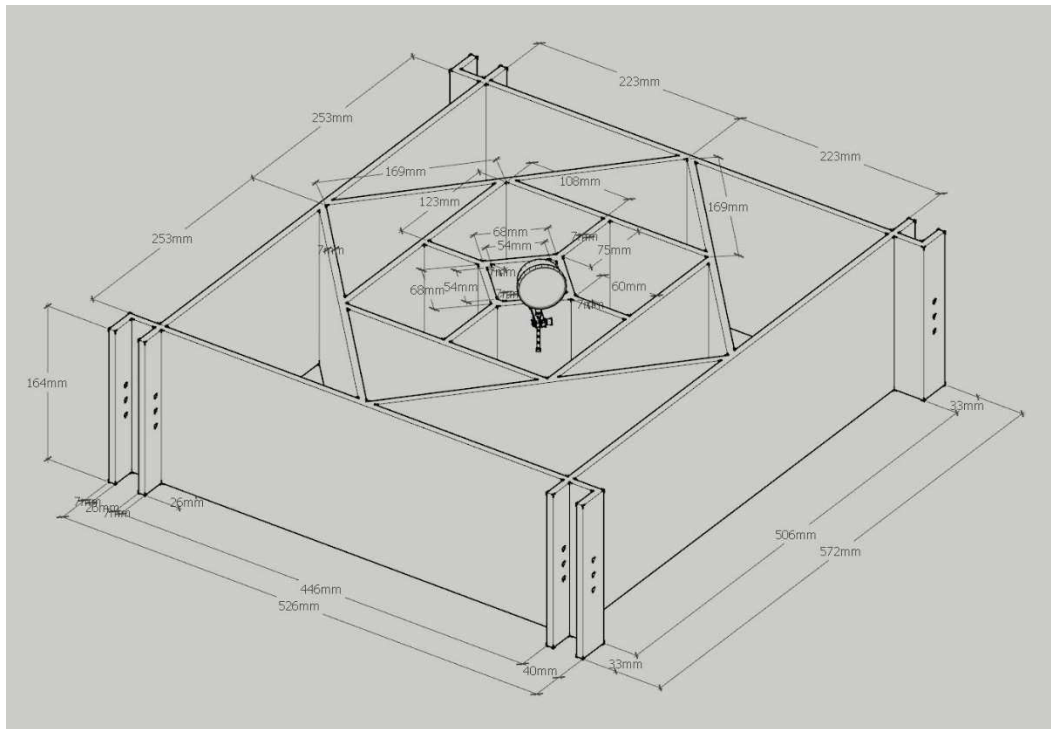


Abb. 135 Abmessungen Druckpressenhalterung

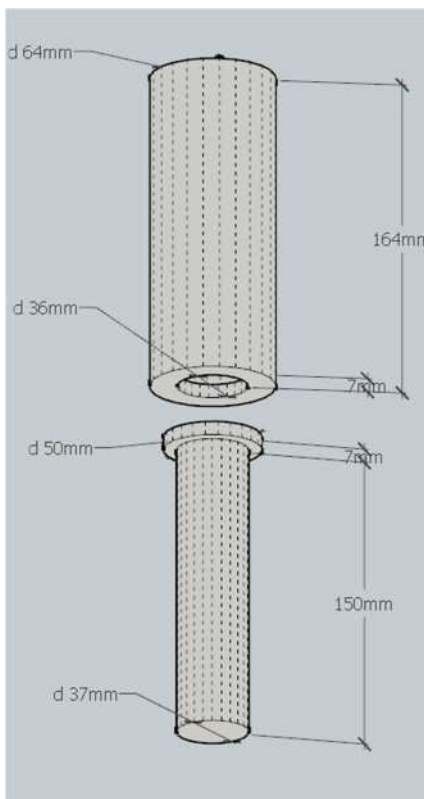


Abb. 136 Abmessungen Druckstempelhülle, Druckstempel

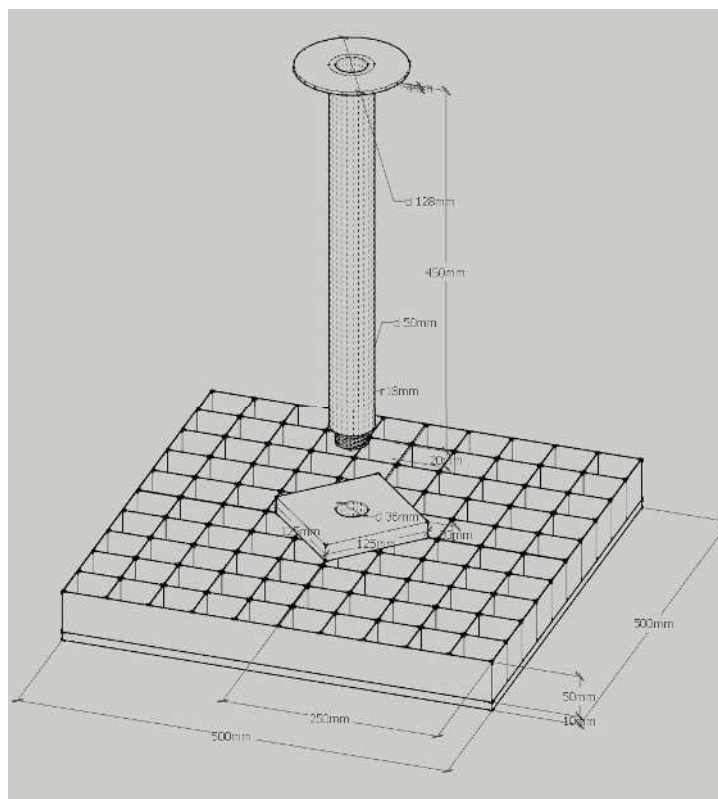


Abb. 137 Abmessungen Filterplatte, Gitterrost und Stempelverlängerung

9.2 Versuchs- und Auswertungsübersicht

Tab. 20 Versuchs- und Auswertungsübersicht

Versuchsart / Versuchsnummer	Versuchsübersicht						Auswertungsübersicht										
	Kompressionsversuch		Korngrößenverteilung	Korndichte	Konsistenzgrenzen	Gesamtmineral- & Tonmineralbestimmung	Anmerkungen	Allgemein					max. geol. $\sigma_{v,max}$				
	oben	unten						Übersichtsblatt	Zeitsetzkurve - Vorkonsolidierung	Zeitsetzkurve - Kompressionsversuch	Kompressionsversuch (Roh)	Kompressionskurve	Murayama & Shibata	Kotzias	Casagrande	Van Zest	Rutledge, Hvorslev, Schmettmann
Natürliche Probe																	
1 GIN_0,80-1,20_NP.1	X	X	X	X	BM1	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2 GIN_0,90-1,30_NP.1	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
3 GIN_0,90-1,30_NP.2	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
4 GIN_0,90-1,30_NP.3	X	X	X			3 abw. Lastst.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
5 HIN_44,10-44,50_NP.1	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
6 HIN_44,10-44,50_NP.2	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
7 HIN_44,10-44,50_NP.3	X	X	X	X	BM4	---	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Slurry Deposition Methode																	
1 GIN_0,80-1,20_NP.1	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X				
2 GIN_0,90-1,30_SD.1	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X				
3 GIN_0,90-1,30_SD.1.2	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X				
4 GIN_0,90-1,30_SD.2	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X				
5 GIN_0,90-1,30_SD.3	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X				
6 HIN_44,10-44,50_SD.1	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X				
7 HIN_44,10-44,50_SD.2	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X				
8 HIN_44,10-44,50_SD.3	X	X	X			---	X	X	X	X	X	X	X				
Wet Pluviation Methode																	
1 GIN_0,90-1,30_WP.1	X	X				---	X	X	X	X	X	X	X				

Alle grau dargestellten Versuche und Auswertungen sind nicht im Anhang enthalten.

Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch	Ginau (GIN)		11.05.2016	
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.	0,80 - 1,20	NP	1	
Bezeichnung Ödometerring	Ö-U			
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,995	
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	1,995	0,00
Bezeichnung Kernstechzylinder	keiner			
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,91	
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00	
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	2,053	
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	100,154	
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	89,849	
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000	

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)	
Tara	Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	122,800	122,800	0,000
Tara	Behälter	T_B	[g]	1124,432	1124,432	0,000
Tara	Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	1456,400	1449,129	0,000
Tara	Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	1417,501	1417,501	0,000
Masse	feucht	m_f	[g]	209,168	201,897	0,000
Dichte	feucht	ρ_f	[g/cm ³]	2,09	2,25	k.A.
Masse	trocken	m_d	[g]	170,269	170,269	0,000
Dichte	trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,70	1,90	k.A.
Wassergehalt		w	[%]	22,85	18,58	k.A.
Porenanteil		n	[%]	41,58	34,88	k.A.
Porenzahl		e	[-]	0,71	0,54	k.A.
Sättigungsgrad		S_r	[-]	0,94	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	0,000
Wassergehalt mischen (1,75x w_L)	w_{mischen}	[%]	0,000
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	0,000

geologische Vorkonsolidationsspannung

160 - 320kPa 320 - 640kPa

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	16	38
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	16
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	16
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	20	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	-2	

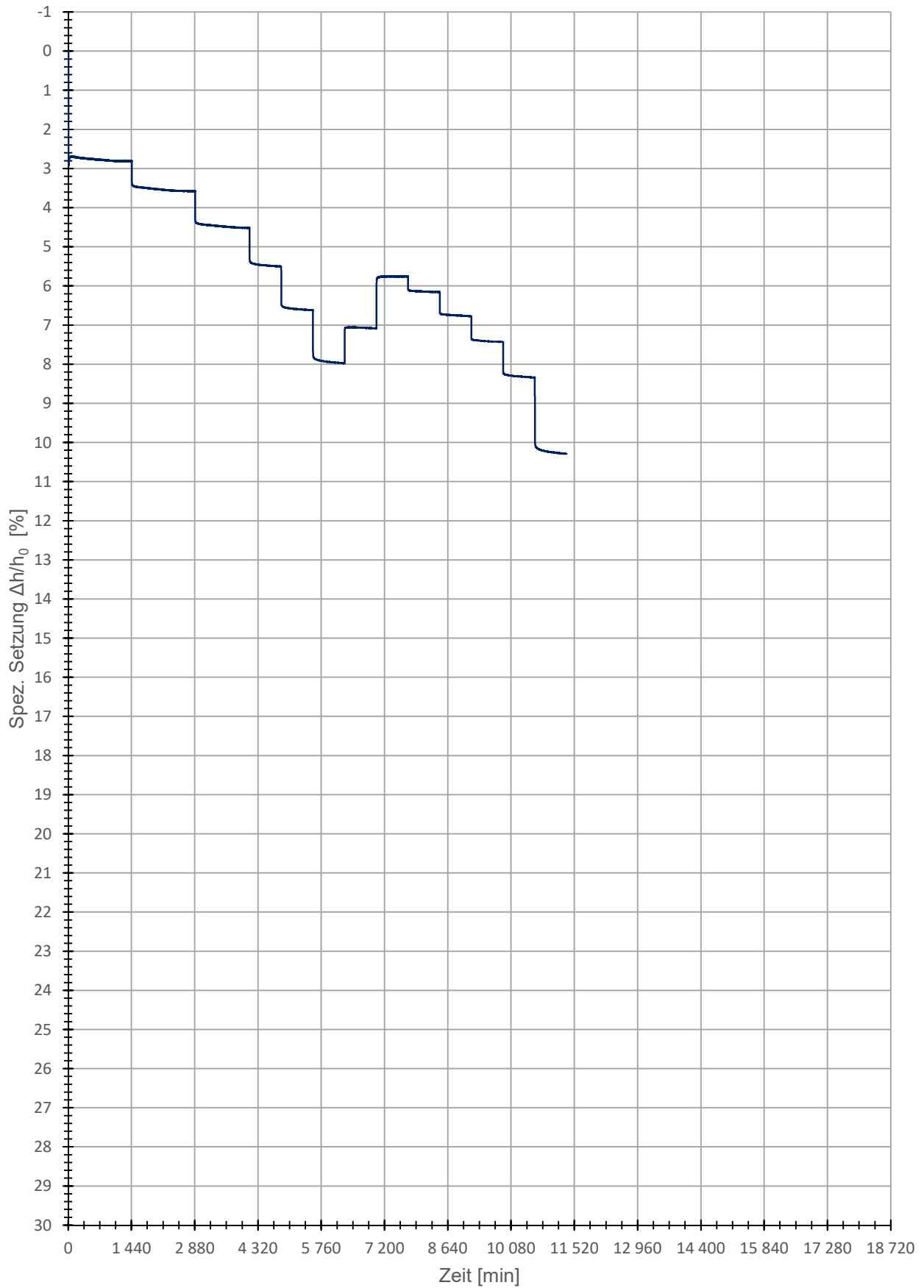
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

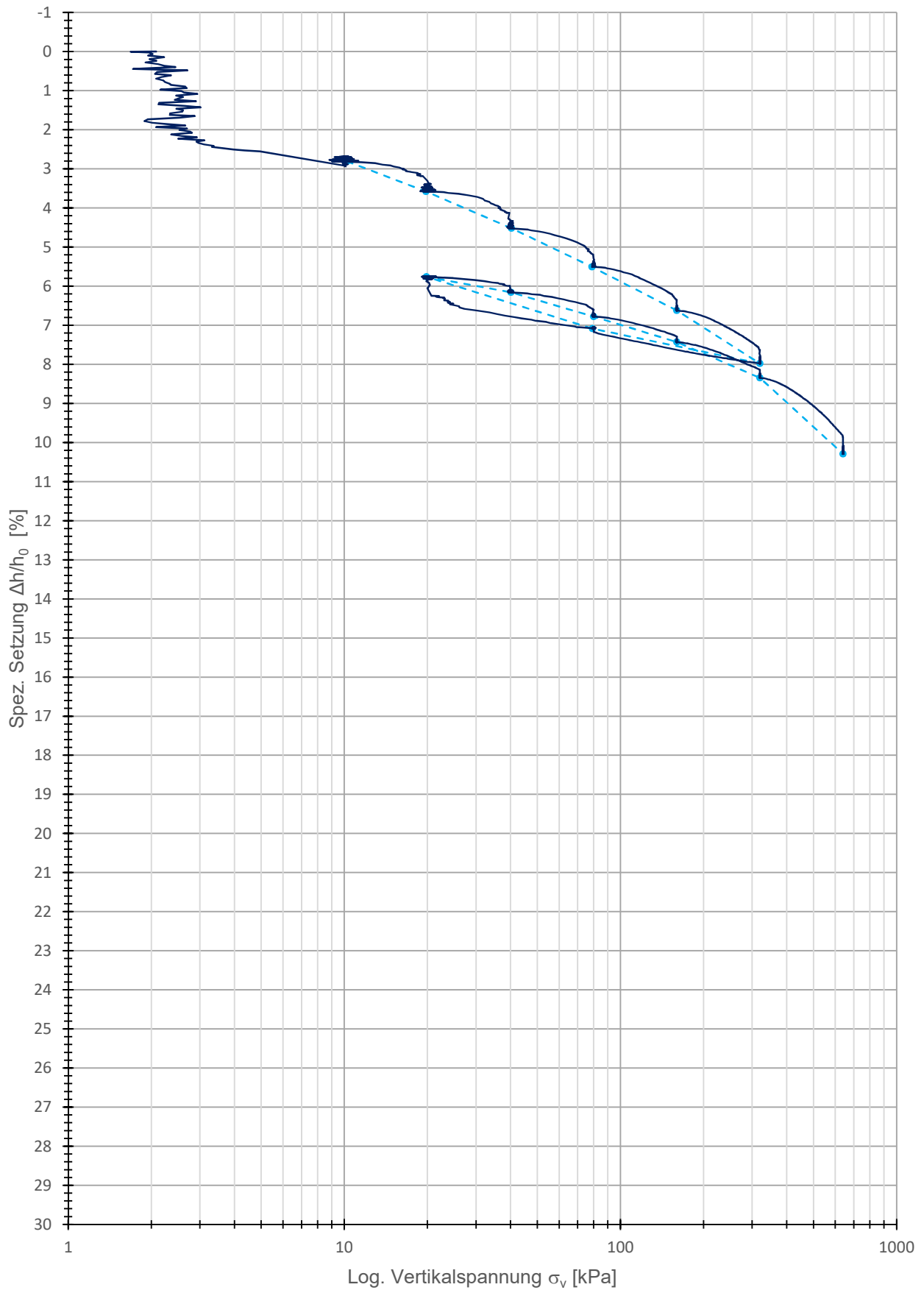
Zeitsetzungskurve

— GIN_0,80-1,20_NP.1



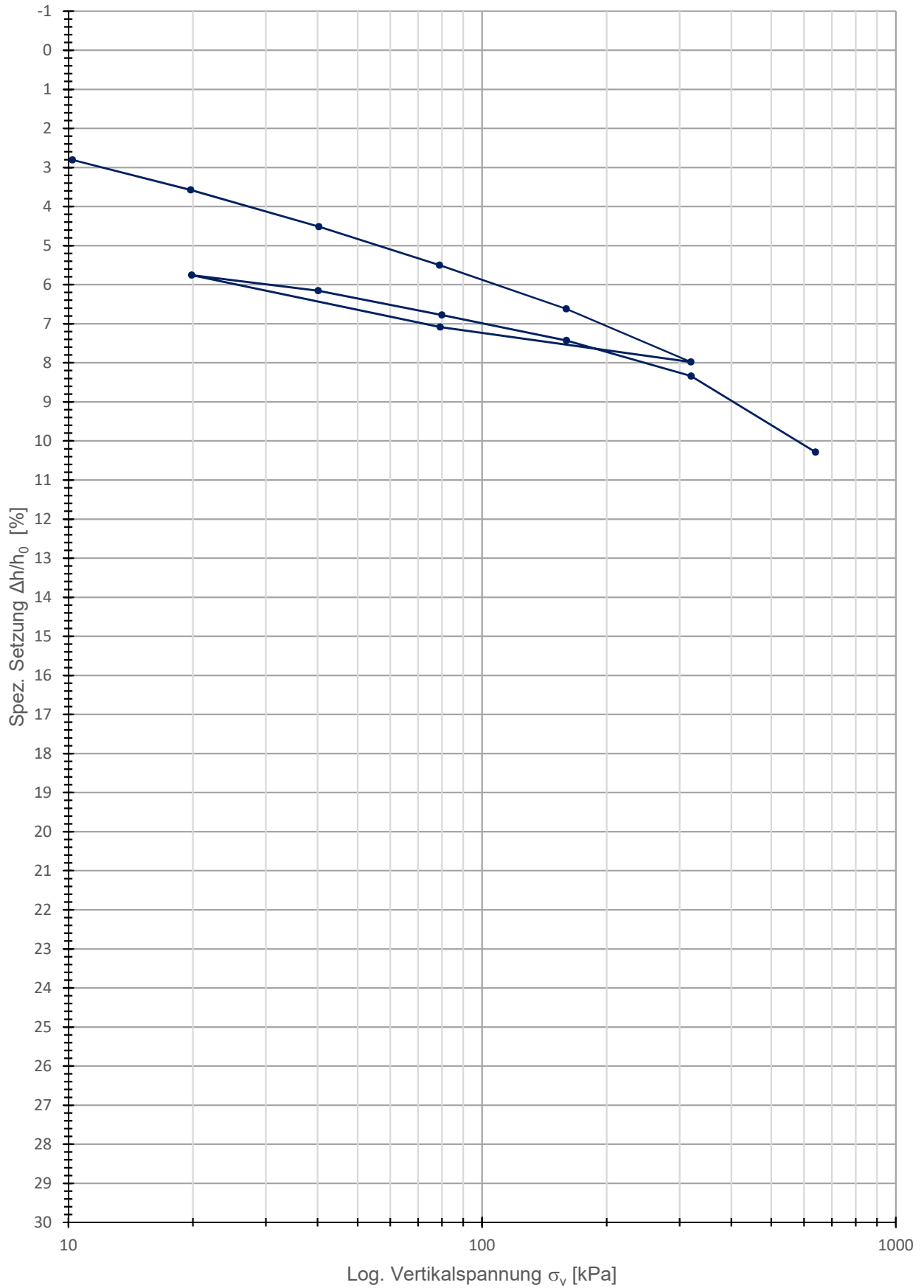
Kompressionsversuch (Roh)

GIN_0,80-1,20_NP.1 GIN_0,80-1,20_NP.1



Kompressionskurve

GIN_0,80-1,20_NP.1



GIN_0,80-1,20_NP.1

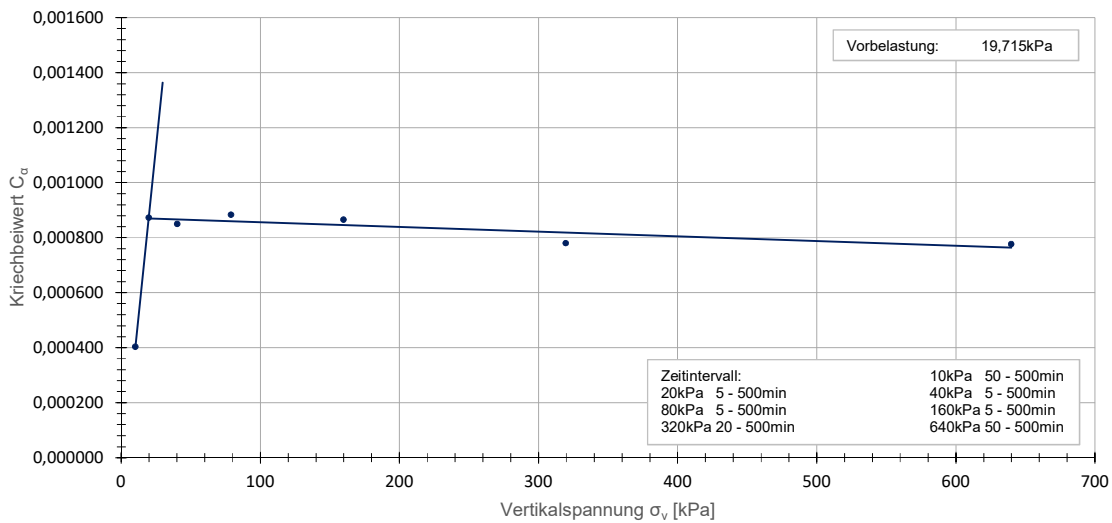
Daten_Kotzias

Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	10,228028	0,000403	50	49,260726	0,665560	500	499,260416	0,664490
2	19,762078	0,000872	5	4,794410	0,653780	500	499,795498	0,651430
3	40,314179	0,000850	5	4,869289	0,637600	500	499,868557	0,635310
4	78,918942	0,000883	5	4,944105	0,620160	500	499,944675	0,617780
5	159,844435	0,000865	5	4,132968	0,600950	500	499,132757	0,598620
6	319,641359	0,000779	20	19,797995	0,577620	500	499,797838	0,575530
13	639,813899	0,000776	50	49,382149	0,538070	500	499,381579	0,536010

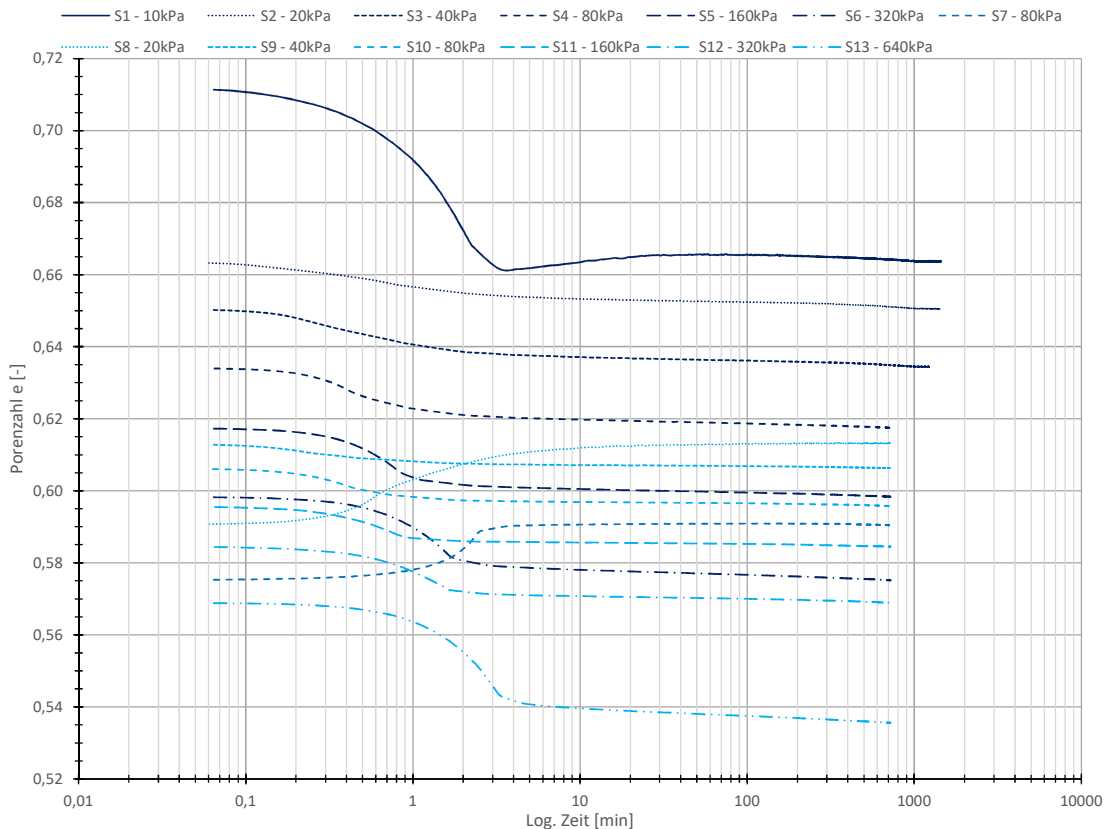
Wiederbelastung	0,000049	-0,000100	$i(x)=0,000049x - 0,0001$	0,000870
Erstbelastung	0,000000	0,000873	$j(x)=0x + 0,000873$	0,000870
			X=	19,714925
			Differenz	0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,80-1,20_NP.1



Murayama & Shibata - Porenzahl



GIN_0,80-1,20_NP.1

Daten_Kotzias

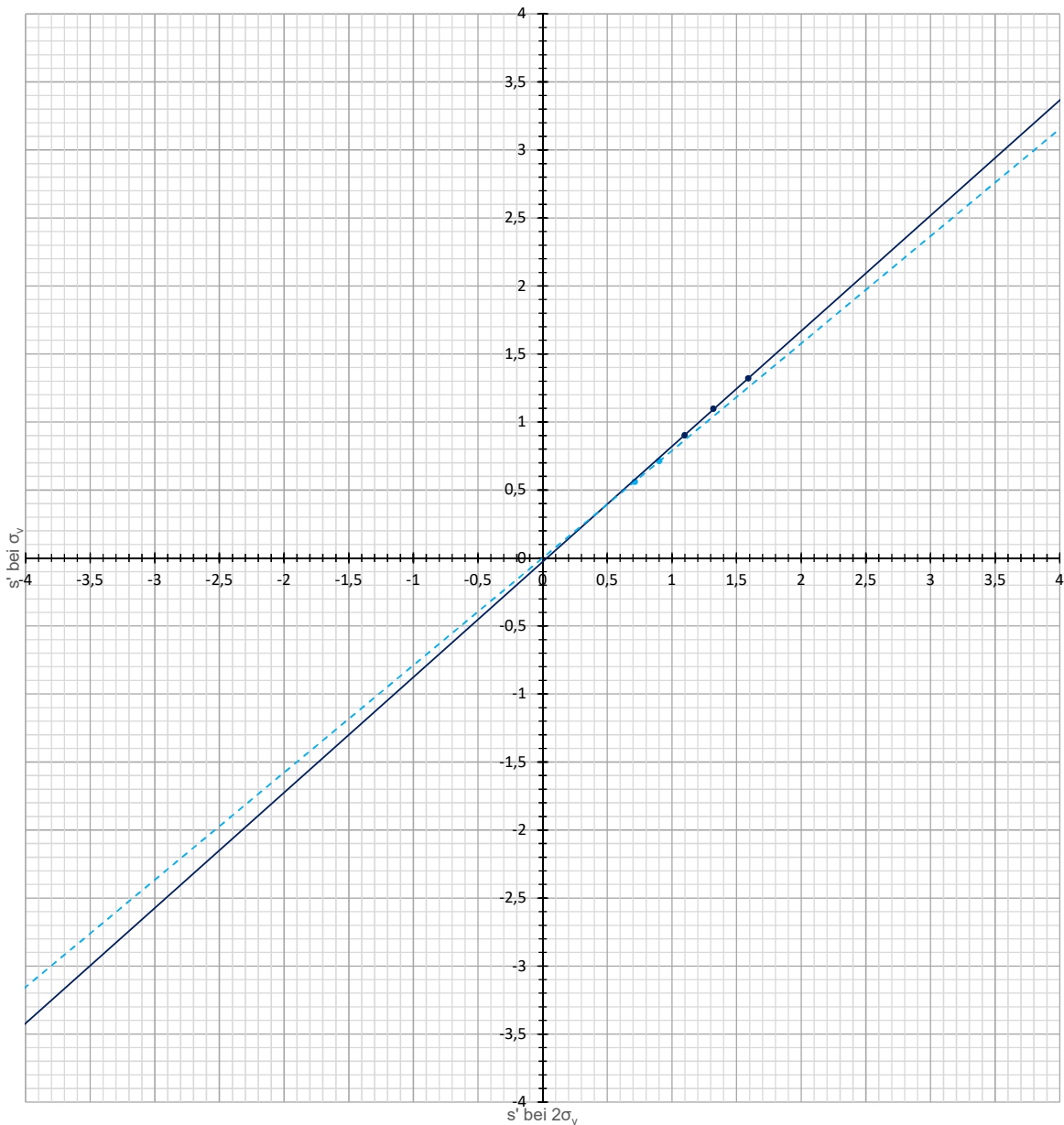
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	10,228028	0,560039	0,713241
2	19,762078	0,713241	0,901659
3	40,314179	0,901659	1,098018
4	78,918942	1,098018	1,321016
5	159,844435	1,321016	1,591726
6	319,641359	1,591726	
7	79,226236	1,413377	
8	19,851296	1,148208	1,227794
9	40,144664	1,227794	1,351627
10	79,956651	1,351627	1,48211
11	159,935279	1,48211	1,664405
12	320,022901	1,664405	2,052522
13	639,813899	2,052522	#NV

Wiederbelastung	0,788788	0,000000	$f(x)=0,789x$	0,362991
Erstbelastung	0,848500	-0,027478	$g(x)=0,848x + -0,027$	0,362991
			X=	0,460188
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,362991
Vorbelastung	62,231890	-24,624257	$h(x)=62,232x + -24,624$	-2,034645

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,363 mm
 Vorbelastung: -2,035kPa

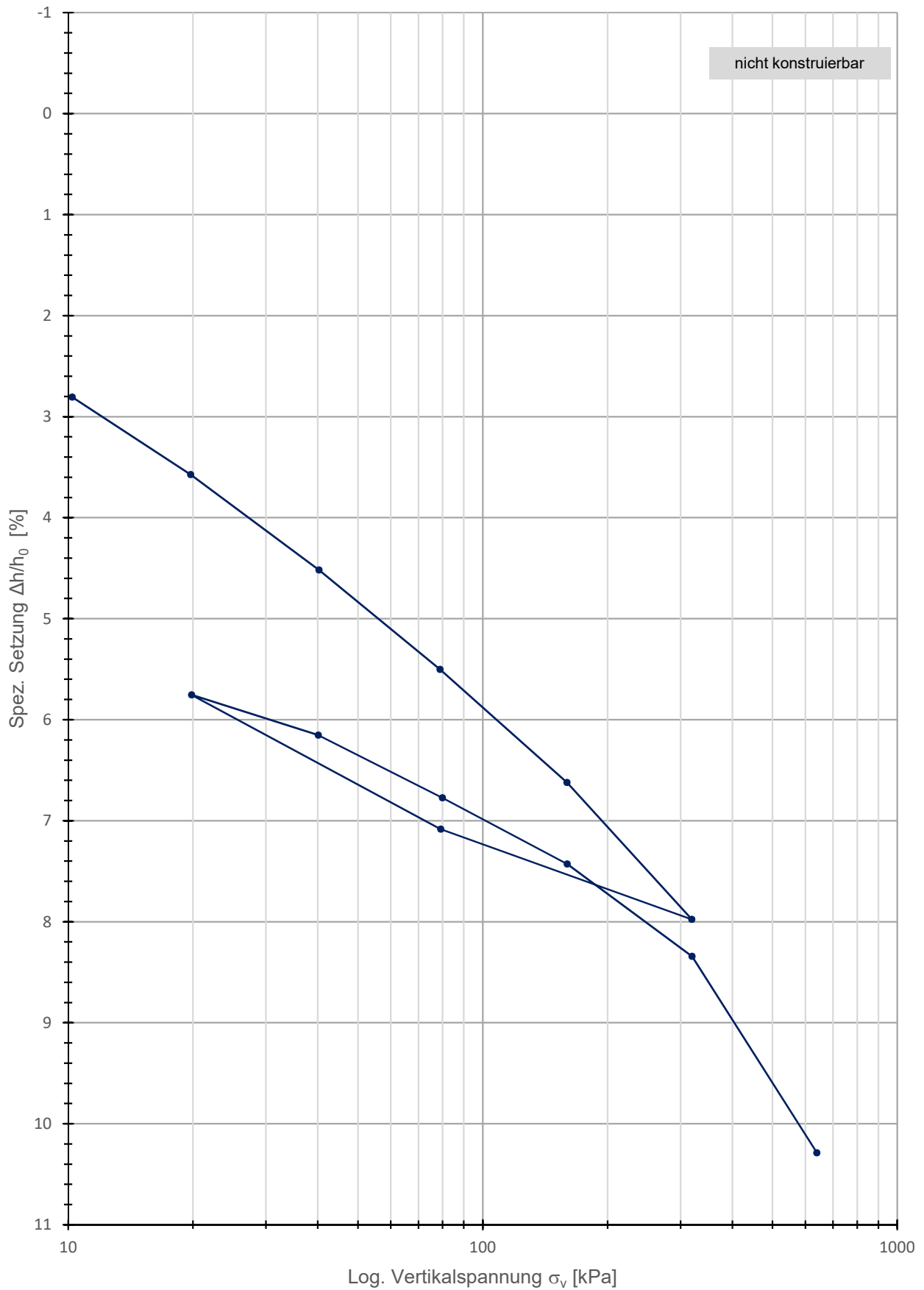
Kotzias - Setzung

- Erstbelastung
- Wiederbelastung
- Linear (Erstbelastung)
- - - Linear (Wiederbelastung)



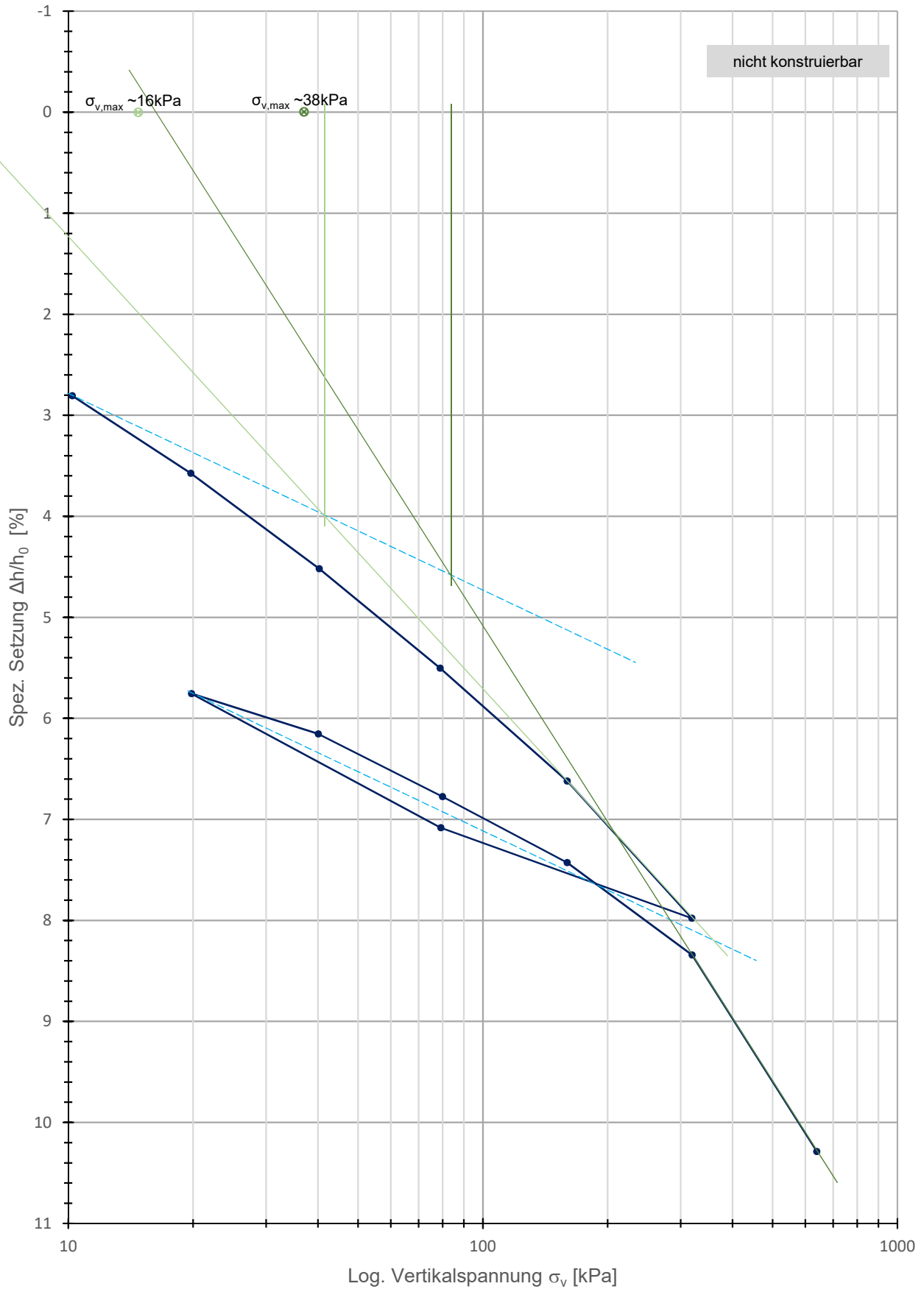
Casagrande

GIN_0,80-1,20_NP.1



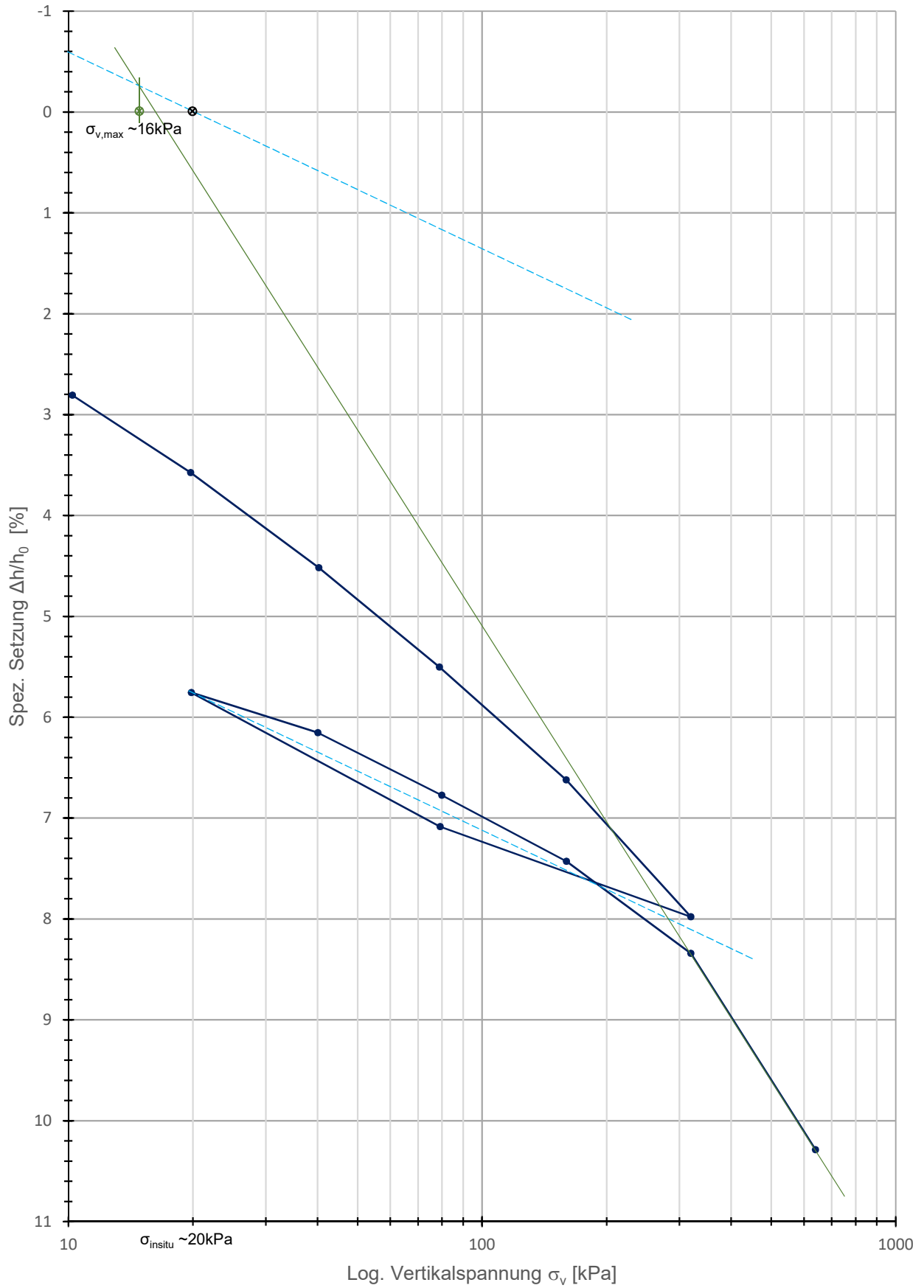
Van Zelst

GIN_0,80-1,20_NP.1



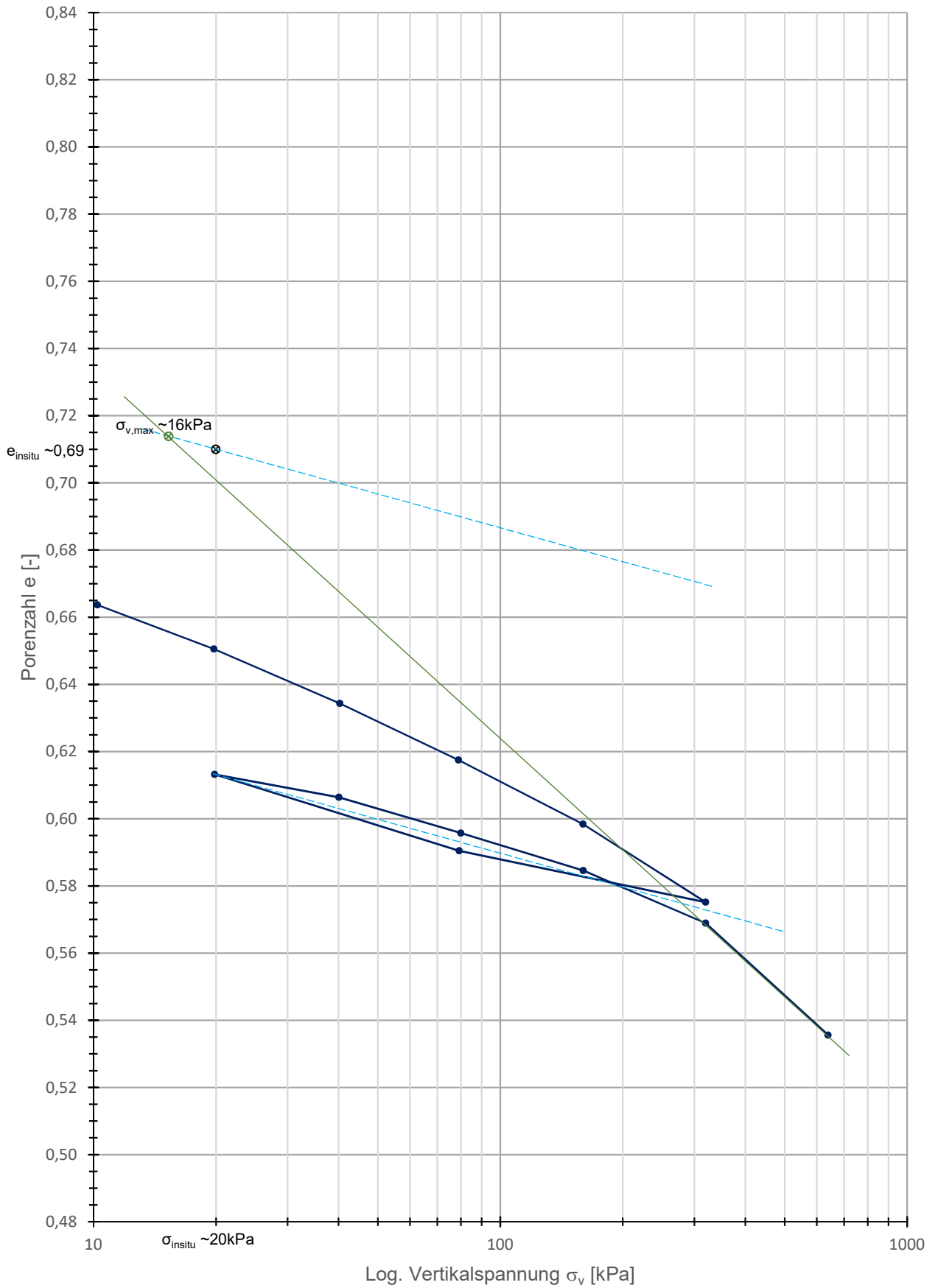
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann

GIN_0,80-1,20_NP.1



Kompression- & Schwellbeiwert

GIN_0,80-1,20_NP.1



Sample: BM1_FEIN
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\5120\DATA\LATAL\BM1_FEIN.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1
 Analyzed: 23.08.2016 10:23:47
 Reported: 23.08.2016 15:31:28
 Liquid Visc: 0.6949 mPa·s
 Analysis Temp: 37.0 °C
 Full Scale Mass: 100.0 %

Analysis Type: Standard
 Run Time: 4:12 hrs:min
 Sample Density: 2.730 g/cm³
 Liquid Density: 0.9934 g/cm³
 Base/Full Scale: 120 / 53 kCnts/s
 Reynolds Number: 0.49

Report by Size Class

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
64.94	61.31	63.10	97.8	0.1	0.0
61.31	57.88	59.57	97.7	0.1	0.0
57.88	54.64	56.23	97.5	0.2	0.0
54.64	51.58	53.09	97.3	0.2	0.0
51.58	48.70	50.12	97.1	0.2	0.0
48.70	45.97	47.32	96.9	0.2	0.0
45.97	43.40	44.67	96.7	0.2	0.0
43.40	40.97	42.17	96.4	0.3	0.0
40.97	38.68	39.81	96.1	0.3	0.0
38.68	36.52	37.58	95.8	0.3	0.0
36.52	34.47	35.48	95.5	0.4	0.0
34.47	32.55	33.50	95.1	0.4	0.0
32.55	30.73	31.62	94.6	0.5	0.0
30.73	29.01	29.85	94.1	0.5	0.0
29.01	27.38	28.18	93.5	0.6	0.0
27.38	25.85	26.61	92.8	0.6	0.0
25.85	24.41	25.12	92.2	0.7	0.0
24.41	23.04	23.71	91.4	0.7	0.0
23.04	21.75	22.39	90.6	0.8	0.0
21.75	20.54	21.13	89.8	0.8	0.0
20.54	19.39	19.95	89.0	0.8	0.0
19.39	18.30	18.84	88.2	0.8	0.0
18.30	17.28	17.78	87.4	0.8	0.0
17.28	16.31	16.79	86.6	0.8	0.0
16.31	15.40	15.85	85.7	0.8	0.0
15.40	14.54	14.96	84.9	0.9	0.0
14.54	13.72	14.13	84.0	0.9	0.0
13.72	12.96	13.34	83.1	0.9	0.0
12.96	12.23	12.59	82.1	1.0	0.0
12.23	11.55	11.89	81.1	1.0	0.0
11.55	10.90	11.22	80.1	1.1	0.0
10.90	10.29	10.59	79.0	1.1	0.0
10.29	9.716	10.00	77.8	1.2	0.0
9.716	9.173	9.441	76.6	1.2	0.0
9.173	8.660	8.913	75.3	1.3	0.0
8.660	8.175	8.414	74.0	1.3	0.0
8.175	7.718	7.943	72.6	1.4	0.0
7.718	7.286	7.499	71.2	1.4	0.0
7.286	6.879	7.079	69.8	1.4	0.0
6.879	6.494	6.683	68.4	1.4	0.0
6.494	6.131	6.310	66.9	1.4	0.0
6.131	5.788	5.957	65.5	1.5	0.0
5.788	5.464	5.623	64.0	1.5	0.0
5.464	5.158	5.309	62.5	1.5	0.0
5.158	4.870	5.012	60.9	1.5	0.0
4.870	4.597	4.732	59.4	1.6	0.0

Sample: BM1_FEIN
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\5120\DATA\LATAL\BM1_FEIN.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 23.08.2016 10:23:47	Run Time: 4:12 hrs:min
Reported: 23.08.2016 15:31:28	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6949 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 120 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

Report by Size Class

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
4.597	4.340	4.467	57.8	1.6	0.0
4.340	4.097	4.217	56.1	1.6	0.0
4.097	3.868	3.981	54.5	1.6	0.0
3.868	3.652	3.758	52.8	1.7	0.0
3.652	3.447	3.548	51.2	1.7	0.0
3.447	3.255	3.350	49.5	1.6	0.0
3.255	3.073	3.162	47.9	1.6	0.0
3.073	2.901	2.985	46.3	1.6	0.0
2.901	2.738	2.818	44.8	1.6	0.0
2.738	2.585	2.661	43.2	1.5	0.0
2.585	2.441	2.512	41.8	1.5	0.0
2.441	2.304	2.371	40.4	1.4	0.0
2.304	2.175	2.239	39.0	1.3	0.0
2.175	2.054	2.113	37.7	1.3	0.0
2.054	1.939	1.995	36.5	1.2	0.0
1.939	1.830	1.884	35.4	1.2	0.0
1.830	1.728	1.778	34.3	1.1	0.0
1.728	1.631	1.679	33.2	1.1	0.0
1.631	1.540	1.585	32.2	1.0	0.0
1.540	1.454	1.496	31.1	1.0	0.0
1.454	1.372	1.413	30.2	1.0	0.0
1.372	1.296	1.334	29.2	1.0	0.0
1.296	1.223	1.259	28.3	0.9	0.0
1.223	1.155	1.189	27.3	0.9	0.0
1.155	1.090	1.122	26.4	0.9	0.0
1.090	1.029	1.059	25.5	0.9	0.0
1.029	0.972	1.000	24.7	0.9	0.0
0.972	0.917	0.944	23.8	0.8	0.0
0.917	0.866	0.891	23.0	0.8	0.0
0.866	0.818	0.841	22.2	0.8	0.0
0.818	0.772	0.794	21.4	0.8	0.0
0.772	0.729	0.750	20.6	0.8	0.0
0.729	0.688	0.708	19.8	0.8	0.0
0.688	0.649	0.668	19.0	0.8	0.0
0.649	0.613	0.631	18.3	0.7	0.0
0.613	0.579	0.596	17.6	0.7	0.0
0.579	0.546	0.562	16.9	0.7	0.0
0.546	0.516	0.531	16.2	0.6	0.0
0.516	0.487	0.501	15.6	0.6	0.0
0.487	0.460	0.473	15.0	0.6	0.0
0.460	0.434	0.447	14.5	0.6	0.0
0.434	0.410	0.422	14.0	0.5	0.0
0.410	0.387	0.398	13.4	0.5	0.0
0.387	0.365	0.376	12.9	0.5	0.0
0.365	0.345	0.355	12.4	0.5	0.0
0.345	0.325	0.335	11.9	0.5	0.0

Sample: BM1_FEIN
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\5120\DATA\LATAL\BM1_FEIN.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 23.08.2016 10:23:47	Run Time: 4:12 hrs:min
Reported: 23.08.2016 15:31:28	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6949 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 120 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

Report by Size Class

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
0.325	0.307	0.316	11.4	0.5	0.0
0.307	0.290	0.299	10.9	0.5	0.0
0.290	0.274	0.282	10.4	0.5	0.0
0.274	0.259	0.266	10.0	0.4	0.0
0.259	0.244	0.251	9.6	0.4	0.0
0.244	0.230	0.237	9.3	0.4	0.0
0.230	0.218	0.224	9.0	0.3	0.0
0.218	0.205	0.211	8.7	0.3	0.0
0.205	0.194	0.200	8.4	0.3	0.0
0.194	0.183	0.188	8.1	0.3	0.0
0.183	0.173	0.178	7.8	0.3	0.0
0.173	0.163	0.168	7.5	0.3	0.0
0.163	0.154	0.158	7.2	0.3	0.0
0.154	0.145	0.150	6.9	0.3	0.0
0.145	0.137	0.141	6.5	0.4	0.0
0.137	0.130	0.133	6.0	0.5	0.0
0.130	0.122	0.126	5.5	0.5	0.0
0.122	0.115	0.119	4.9	0.6	0.0
0.115	0.109	0.112	4.2	0.7	0.0
0.109	0.103	0.106	3.4	0.8	0.0

Sample: BM1_FEIN
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\5120\DATA\LATAL\BM1_FEIN.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 23.08.2016 10:23:47	Run Time: 4:12 hrs:min
Reported: 23.08.2016 15:31:28	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6949 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 120 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

Report by Sieve Size

Sieve Name	Aperture Size (µm)	Cumulative Mass Passed (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
No. 120	125.0	97.9	0.0	0.0
No. 270	53.0	97.4	0.5	0.0
No. 635	20.0	89.5	7.9	0.0

Sample: BM1_FEIN
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\5120\DATA\LATAL\BM1_FEIN.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 23.08.2016 10:23:47	Run Time: 4:12 hrs:min
Reported: 23.08.2016 15:31:28	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6949 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 120 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

Report by Size Table

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
65.00	60.00	62.45	97.8	0.1	0.0
60.00	55.00	57.45	97.5	0.2	0.0
55.00	50.00	52.44	97.2	0.3	0.0
50.00	45.00	47.43	96.8	0.4	0.0
45.00	40.00	42.43	96.3	0.5	0.0
40.00	35.00	37.42	95.6	0.8	0.0
35.00	30.00	32.40	94.4	1.2	0.0
30.00	25.00	27.39	92.4	1.9	0.0
25.00	20.00	22.36	89.5	3.0	0.0
20.00	17.00	18.44	87.2	2.3	0.0
17.00	13.00	14.87	83.1	4.0	0.0
13.00	10.00	11.40	78.4	4.7	0.0
10.00	8.000	8.944	73.4	4.9	0.0
8.000	6.000	6.928	66.4	7.1	0.0
6.000	4.000	4.899	55.5	10.9	0.0
4.000	2.000	2.828	37.2	18.3	0.0

Sample: BM1_FEIN
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\5120\DATA\LATAL\BM1_FEIN.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 23.08.2016 10:23:47	Run Time: 4:12 hrs:min
Reported: 23.08.2016 15:31:28	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6949 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 120 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

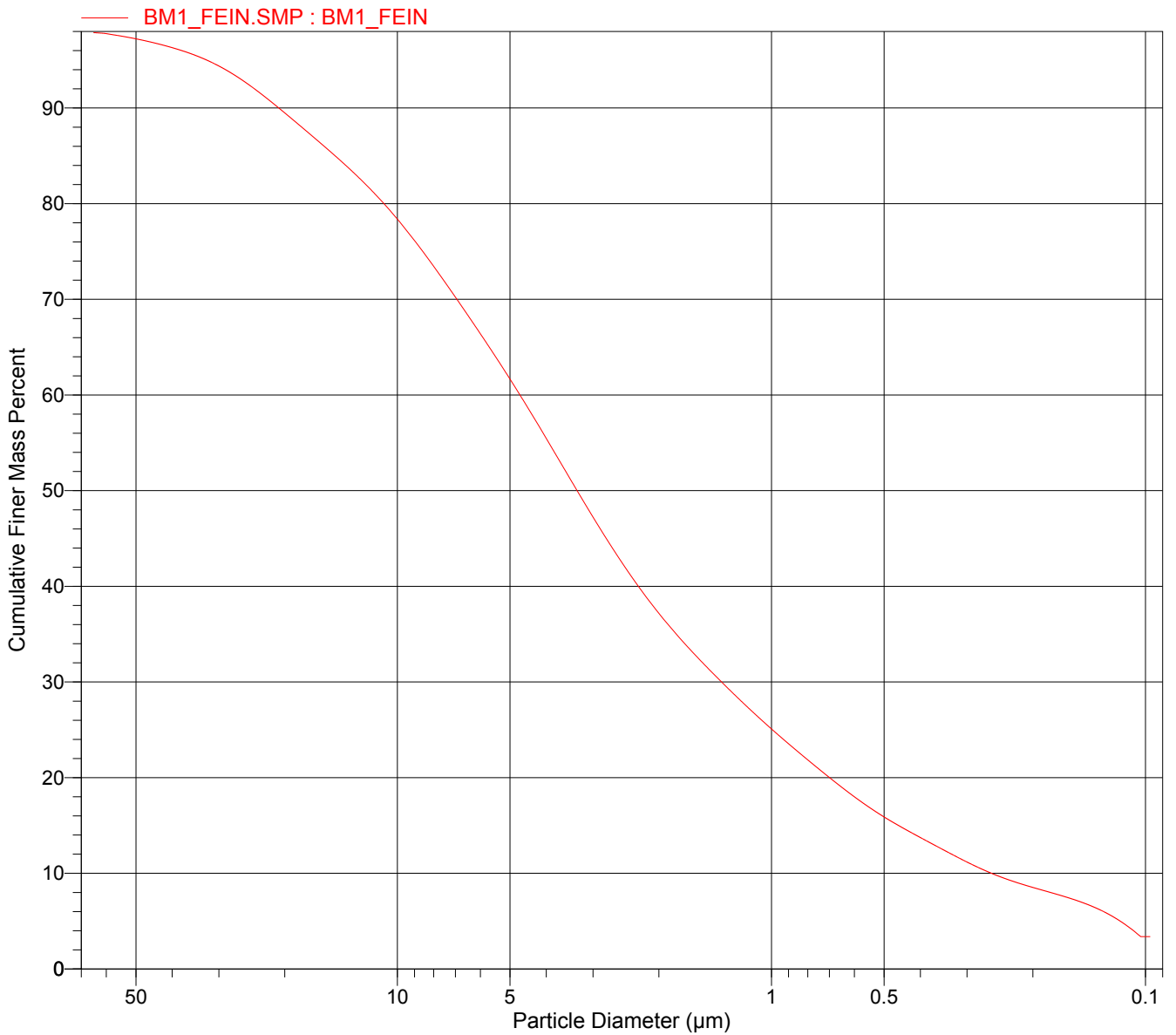
Report by Mass Percent

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
64.94	64.94	64.94	100.0	0.0	0.0
64.94	20.76	36.72	90.0	10.0	0.0
20.76	10.87	15.02	80.0	10.0	0.0
10.87	6.933	8.680	70.0	10.0	0.0
6.933	4.703	5.710	60.0	10.0	0.0
4.703	3.308	3.944	50.0	10.0	0.0
3.308	2.268	2.739	40.0	10.0	0.0
2.268	1.359	1.756	30.0	10.0	0.0
1.359	0.699	0.975	20.0	10.0	0.0
0.699	0.258	0.425	10.0	10.0	0.0
0.258	0.117	0.174	5.0	5.0	0.0

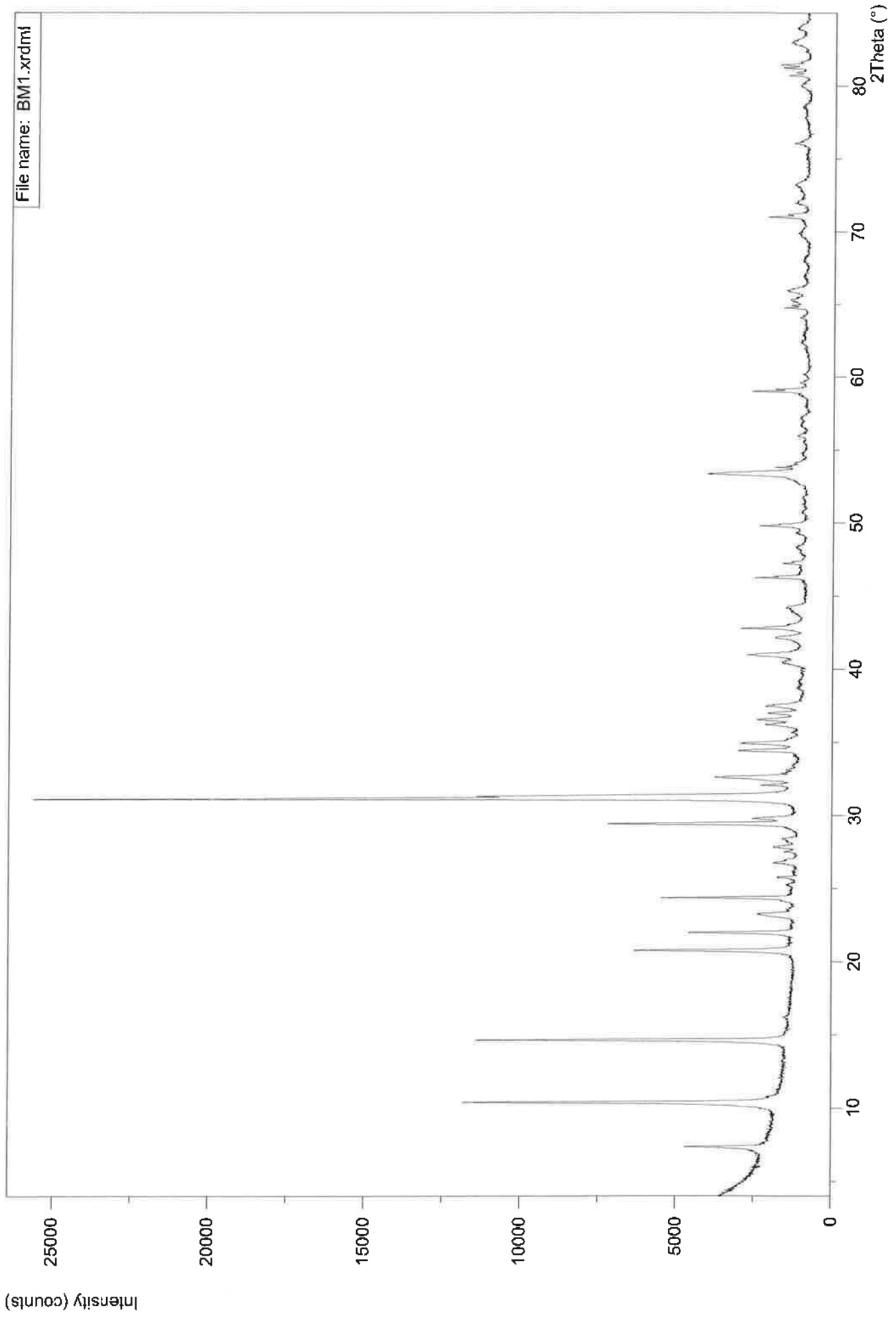
Sample: BM1_FEIN
Operator:
Submitter:
File: C:\5120\DATA\LATAL\BM1_FEIN.SMP
Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 23.08.2016 10:23:47	Run Time: 4:12 hrs:min
Reported: 23.08.2016 15:31:28	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6949 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 120 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

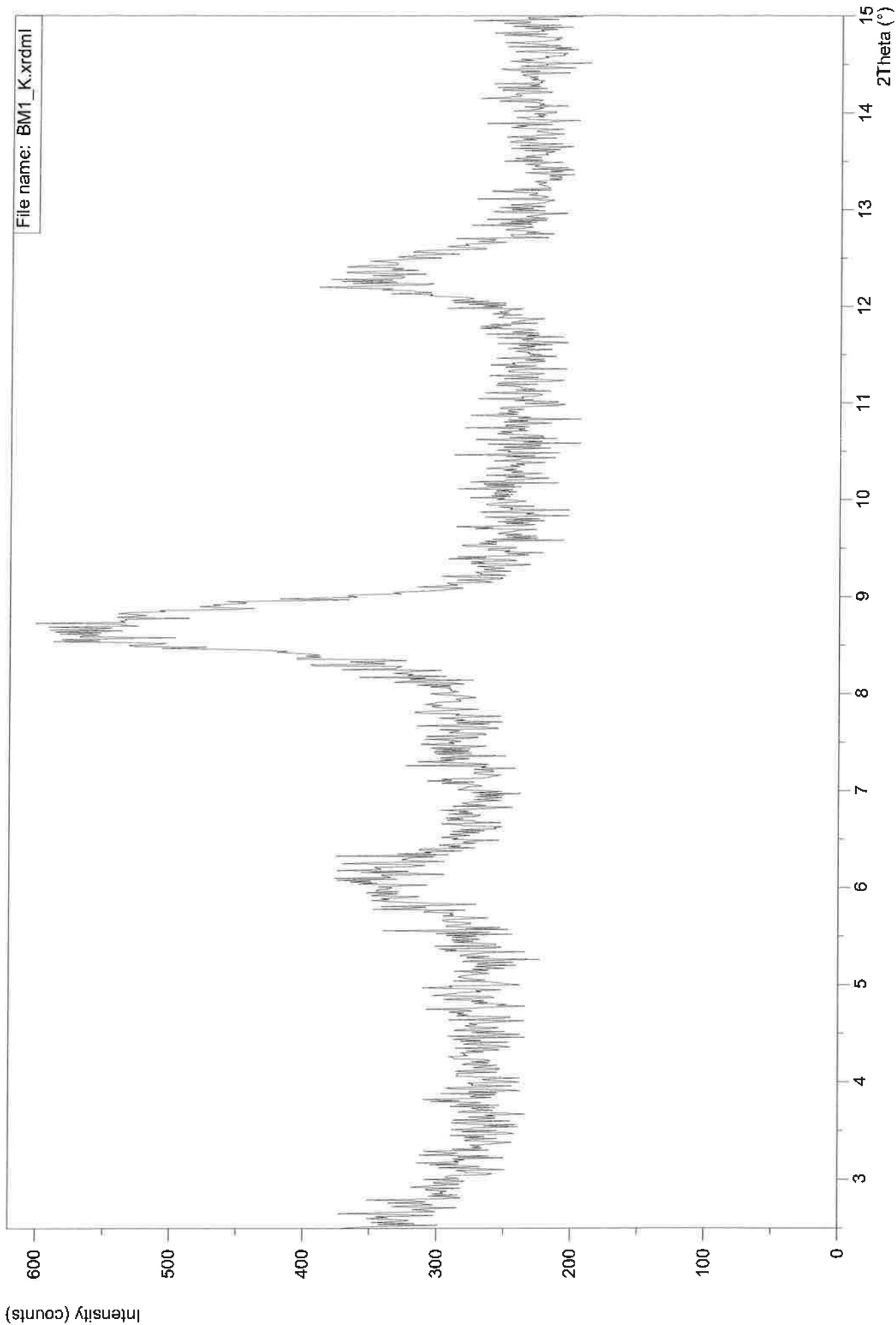
Cumulative Finer Mass Percent vs. Diameter



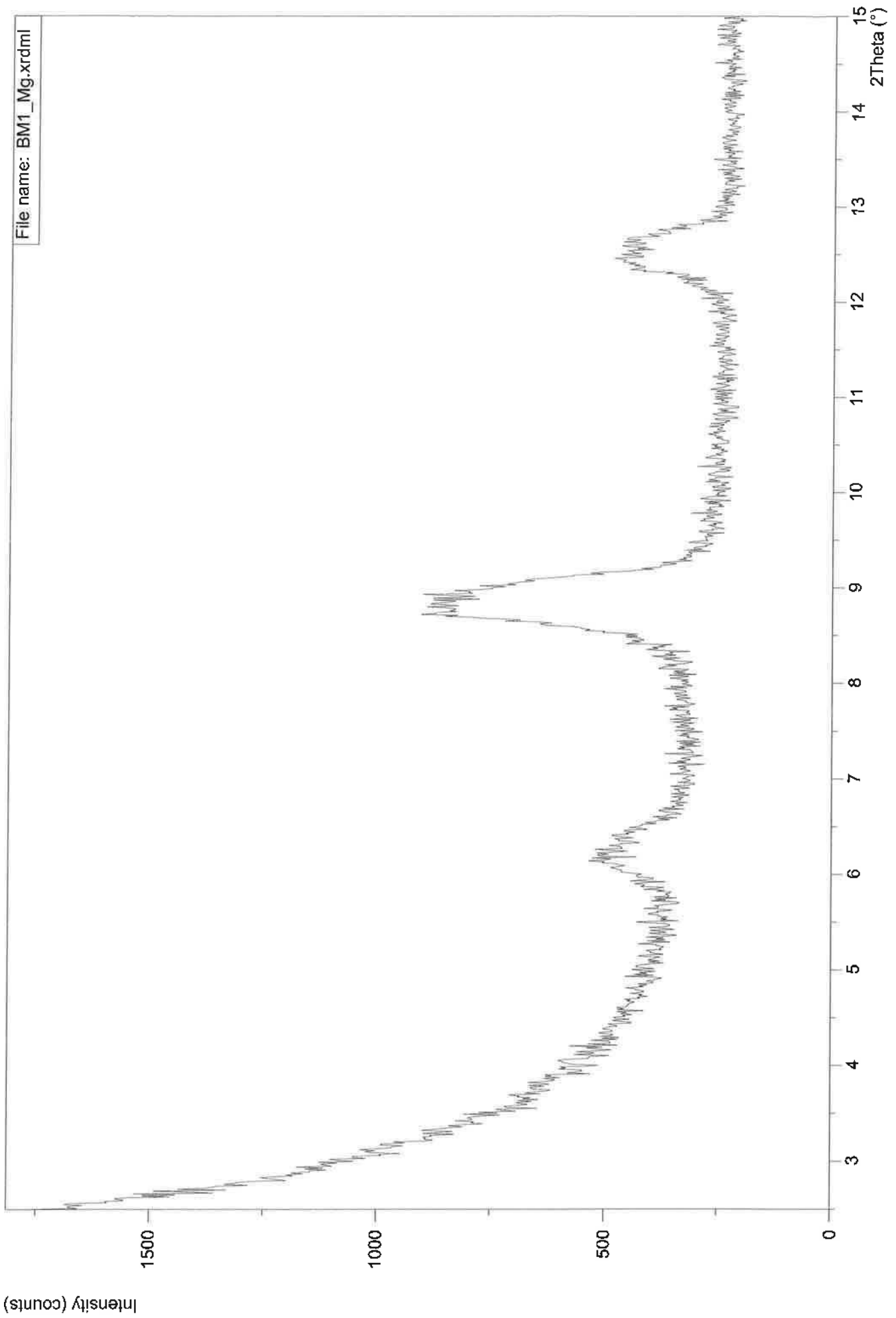
File name: BM1.xrdm1



File name: BM1_K.xrdml

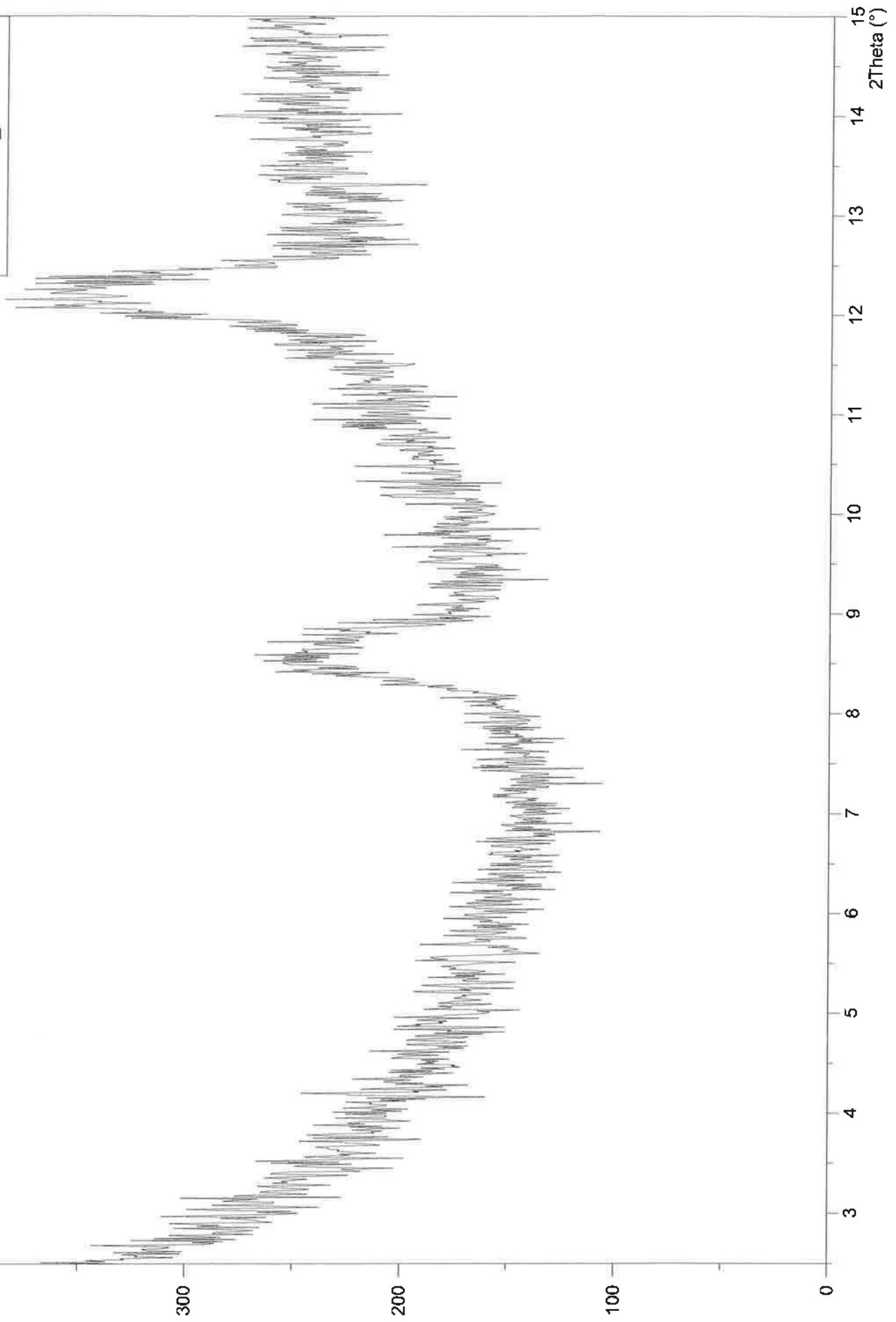


File name: BM1_Mg.xrdml

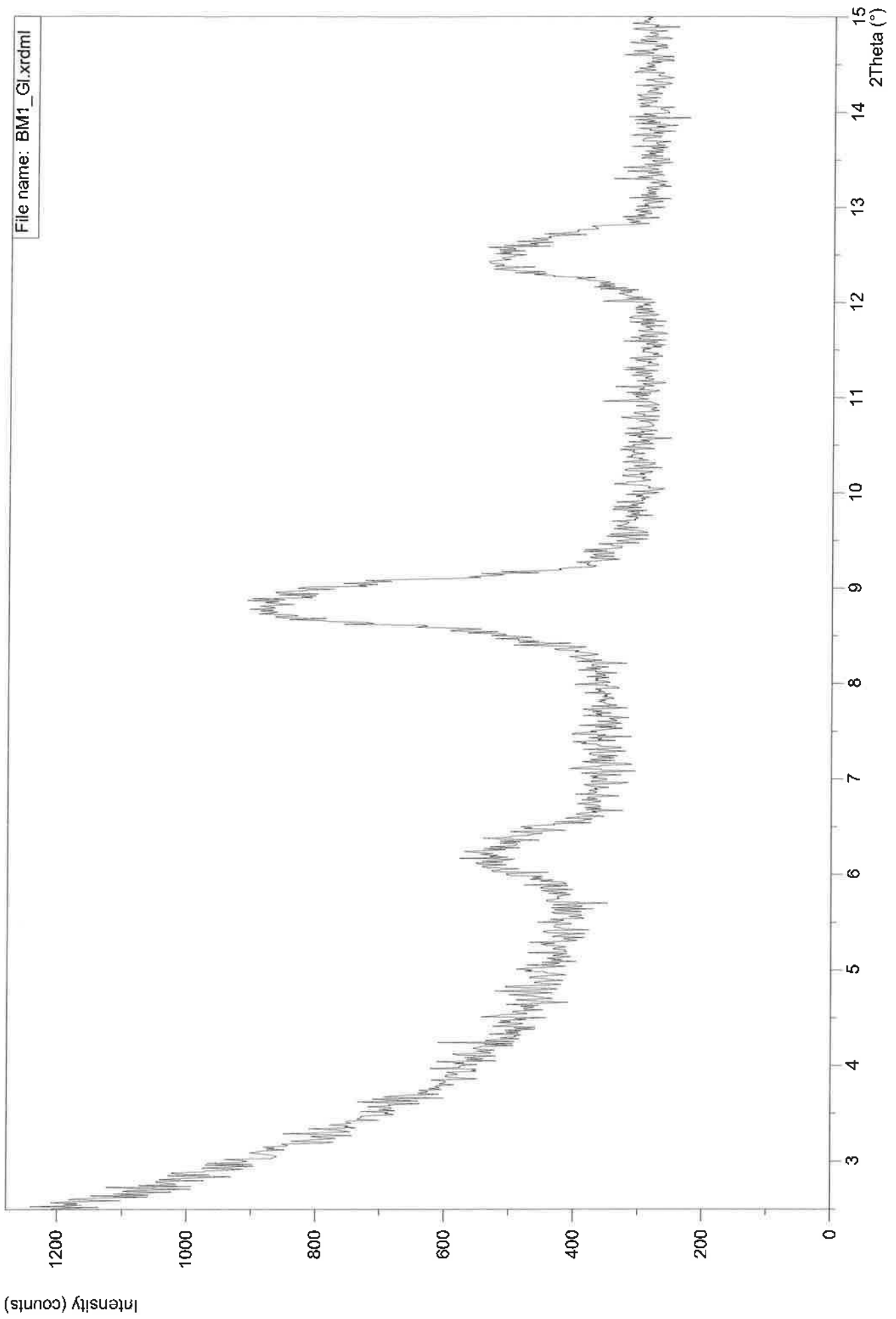


Intensity (counts)

File name: BM1_Dmso.xrdml



File name: BM1_Gl.xrdml



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch	Ginau (GIN)		20.06.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.	0,90 - 1,30	NP	1
Bezeichnung Ödometerring	Ö-I		
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,135
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,000
Bezeichnung Kernstechzylinder	keiner		
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,76
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	1,181
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	79,966
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	75,244
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	109,847	109,847	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	124,802	124,802	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	403,810	399,101	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	374,703	374,703	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	169,161	164,452	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	2,12	2,19	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	140,054	140,054	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,75	1,86	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	20,78	17,42	k.A.
Porenanteil	n	[%]	36,54	32,56	k.A.
Porenzahl	e	[-]	0,58	0,48	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	0,99	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	0,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	0,000
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	0,000

geologische Vorkonsolidationsspannung

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	53	59
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	69	75
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	83	88
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	69	76
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	27	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	21	

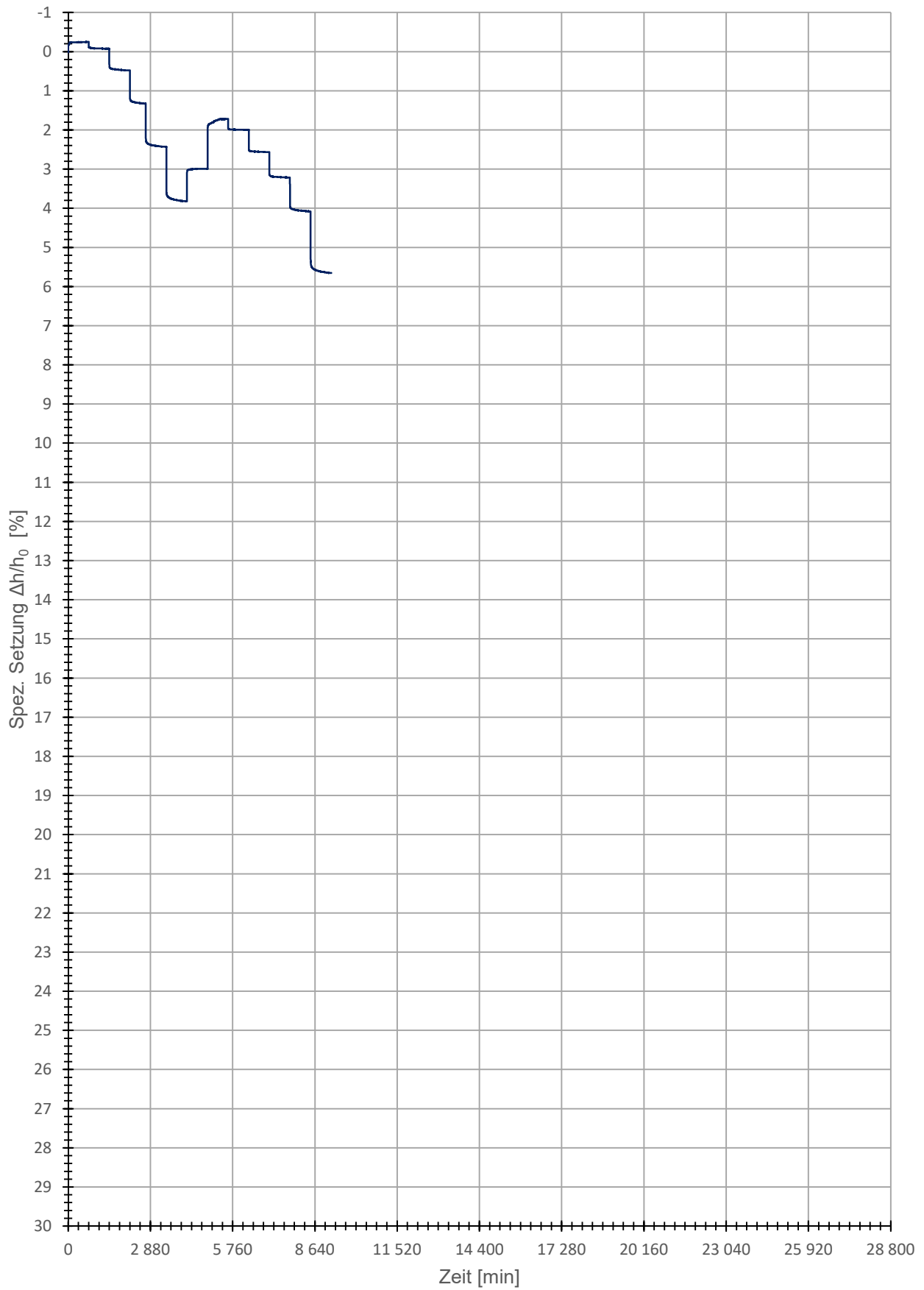
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

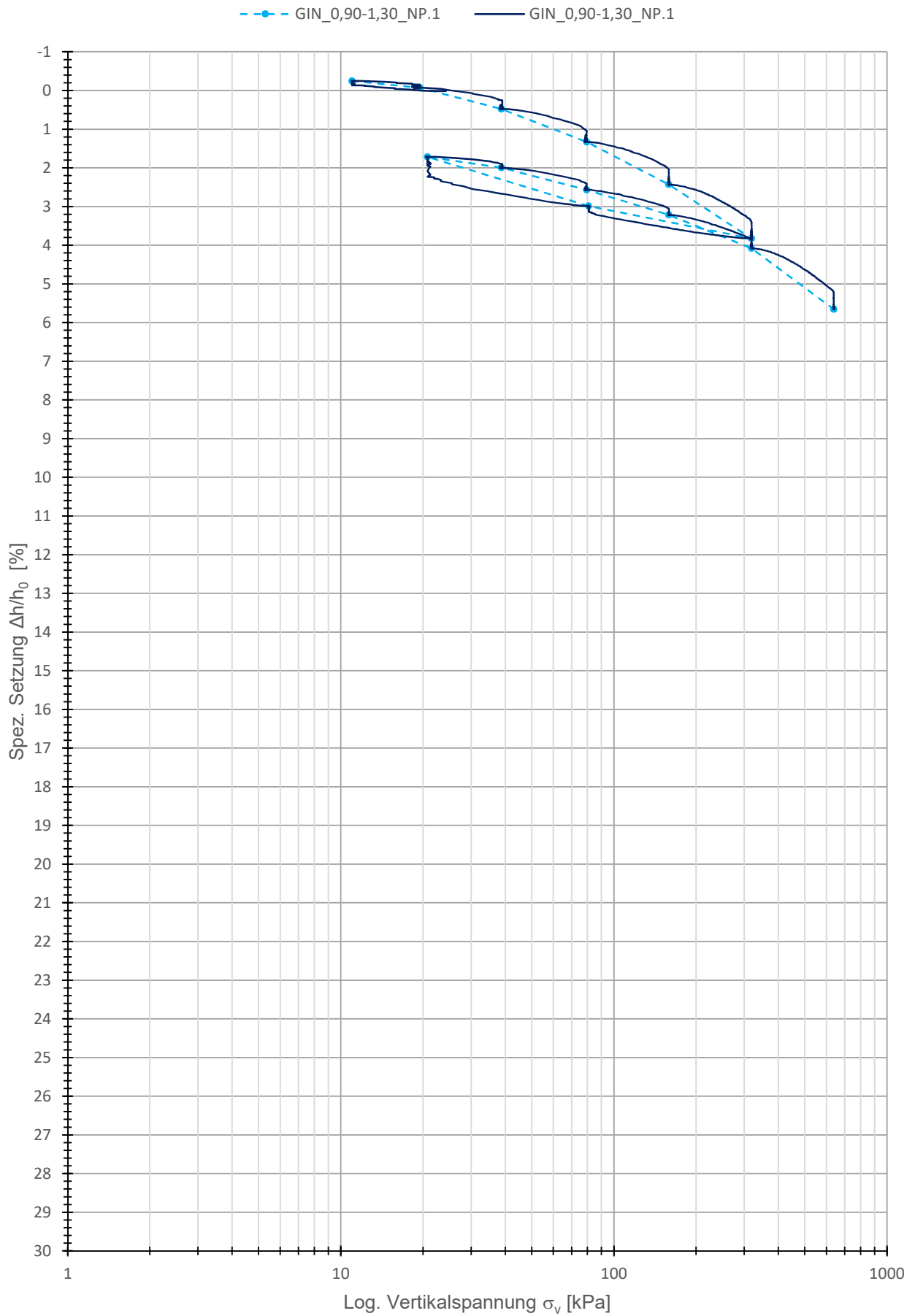
* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

Zeitsetzungskurve

— GIN_0,90-1,30_NP.1

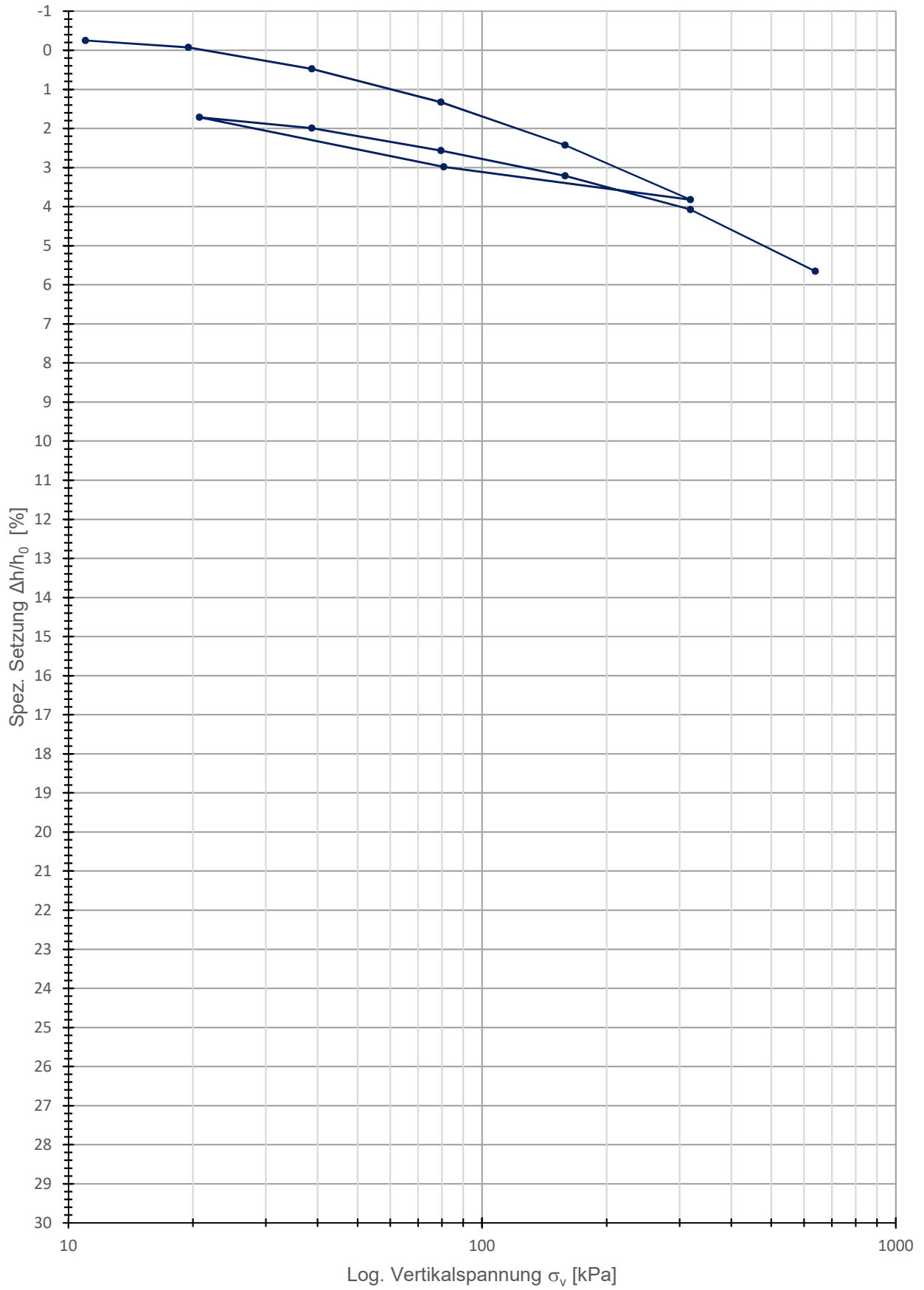


Kompressionsversuch (Roh)



Kompressionskurve

GIN_0,90-1,30_NP.1



GIN_0,90-1,30_NP.1

Daten_Kotzias

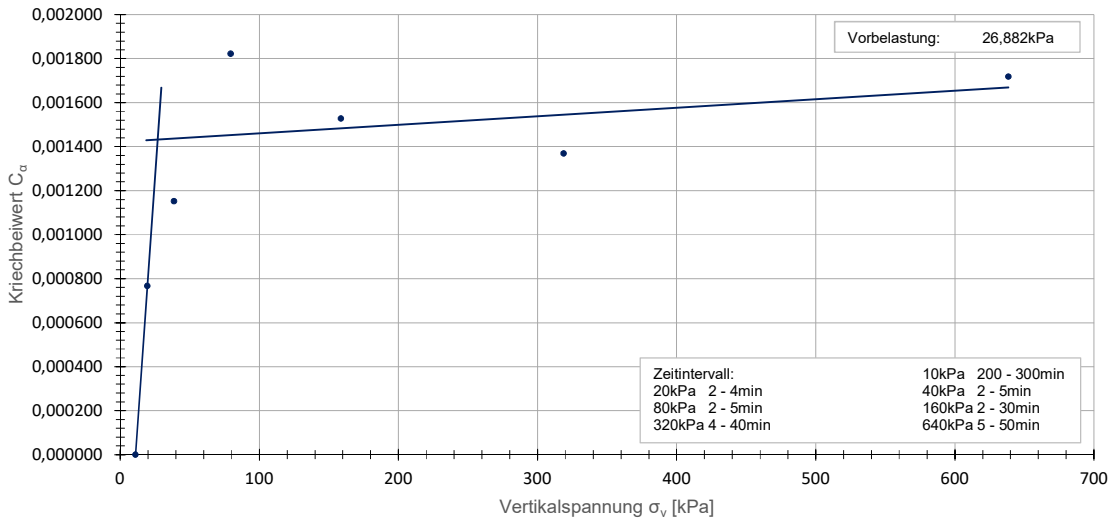
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	11	0,000000	200	199,523180	0,579660	300	299,506185	0,579660
2	19,5	0,000766	2	1,323886	0,577920	4	3,319594	0,577690
3	38,75	0,001152	2	1,383164	0,570440	5	4,386606	0,569890
4	79,5	0,001822	2	1,640038	0,557910	5	4,643479	0,557040
5	158,75	0,001527	2	1,971461	0,541600	30	29,968281	0,539390
6	318,75	0,001369	4	3,872860	0,519850	40	39,854886	0,517720
13	638,5	0,001718	5	4,722518	0,491880	50	49,714869	0,489040

Wiederbelastung	0,000090	-0,000992	$i(x)=0,00009x + -0,000992$	0,001432
Erstbelastung	0,000000	0,001422	$j(x)=0x + 0,001422$	0,001432

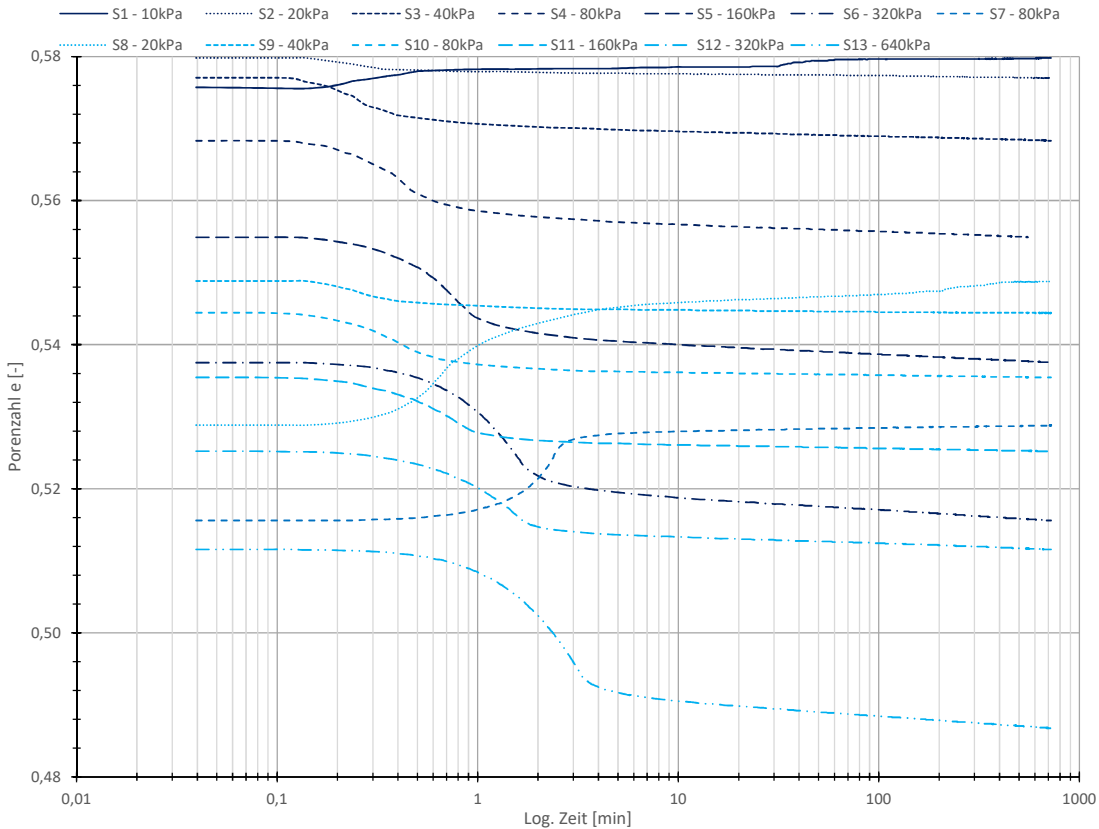
X= 26,881944
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,90-1,30_NP.1



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

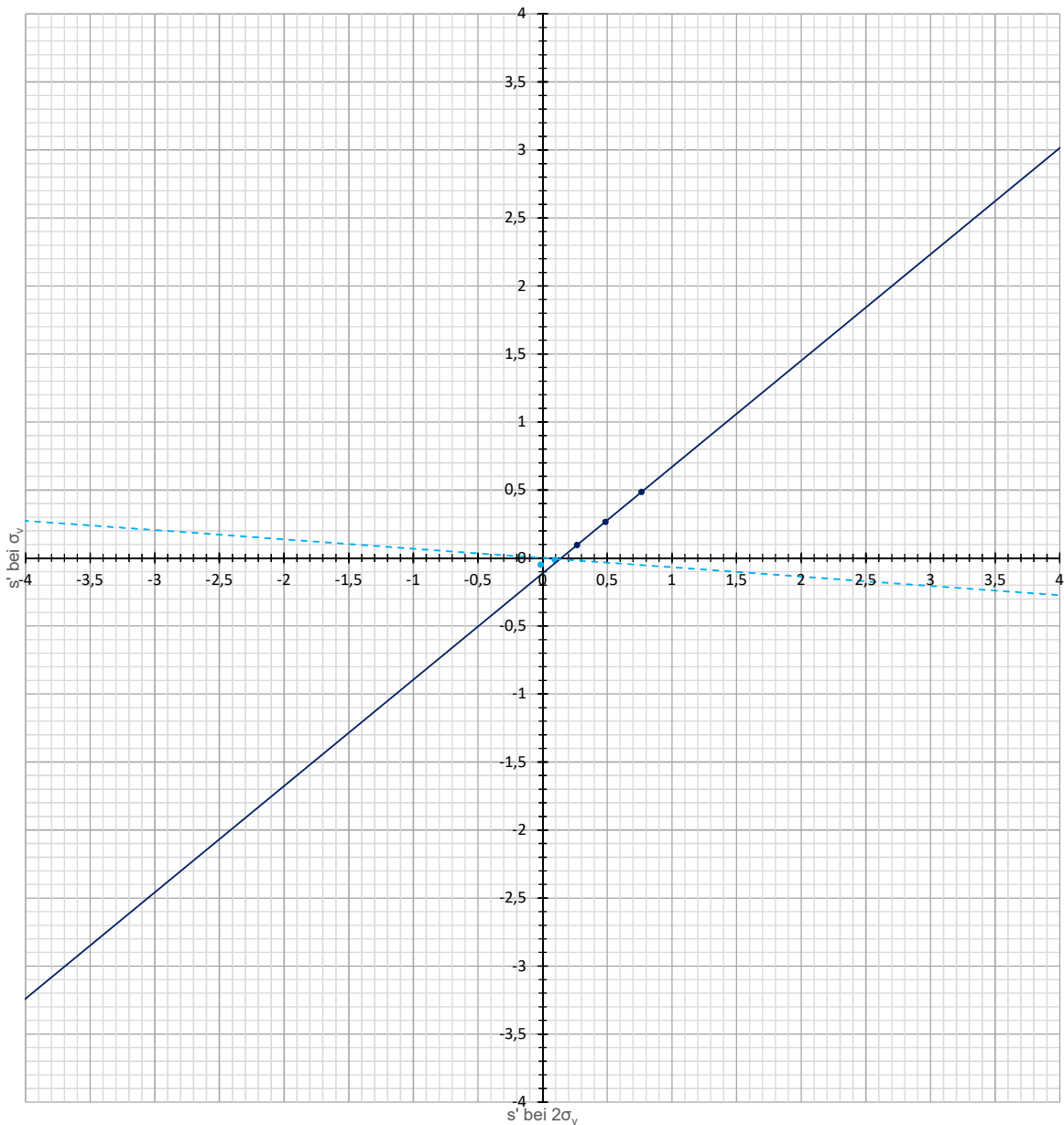
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	11	-0,05	-0,014
2	19,5	-0,014	0,095999
3	38,75	0,095999	0,265999
4	79,5	0,265999	0,486
5	158,75	0,486	0,764999
6	318,75	0,764999	
7	80,75	0,597	
8	20,75	0,343	0,398999
9	38,75	0,398999	0,512999
10	79,5	0,512999	0,642999
11	158,75	0,642999	0,816
12	319	0,816	1,131
13	638,5	1,131	#NV

Wiederbelastung	-0,068423	0,000000	$f(x)=-0,068x$	-0,009069
Erstbelastung	0,781871	-0,112700	$g(x)=0,782x + -0,113$	-0,009069
			X=	0,132542
			Differenz	1,56125E-17
			s' bei $\sigma_{v,max}$	-0,009069
Vorbelastung	236,111111	22,805556	$h(x)=236,111x + 22,806$	20,664279

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: -0,009 mm
 Vorbelastung: 20,664kPa

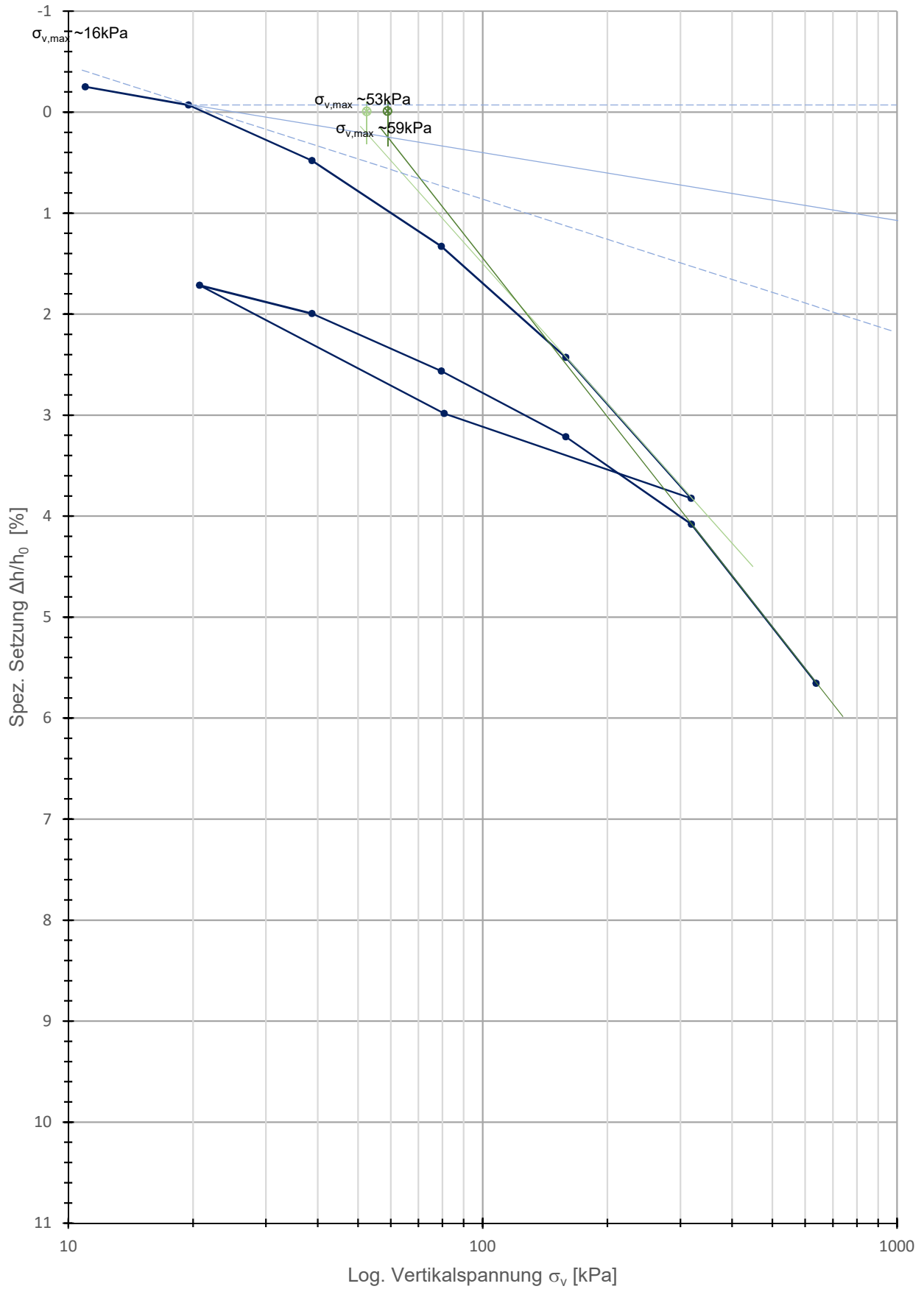
Kotzias - Setzung

• Erstbelastung • Wiederbelastung — Linear (Erstbelastung) - - - Linear (Wiederbelastung)



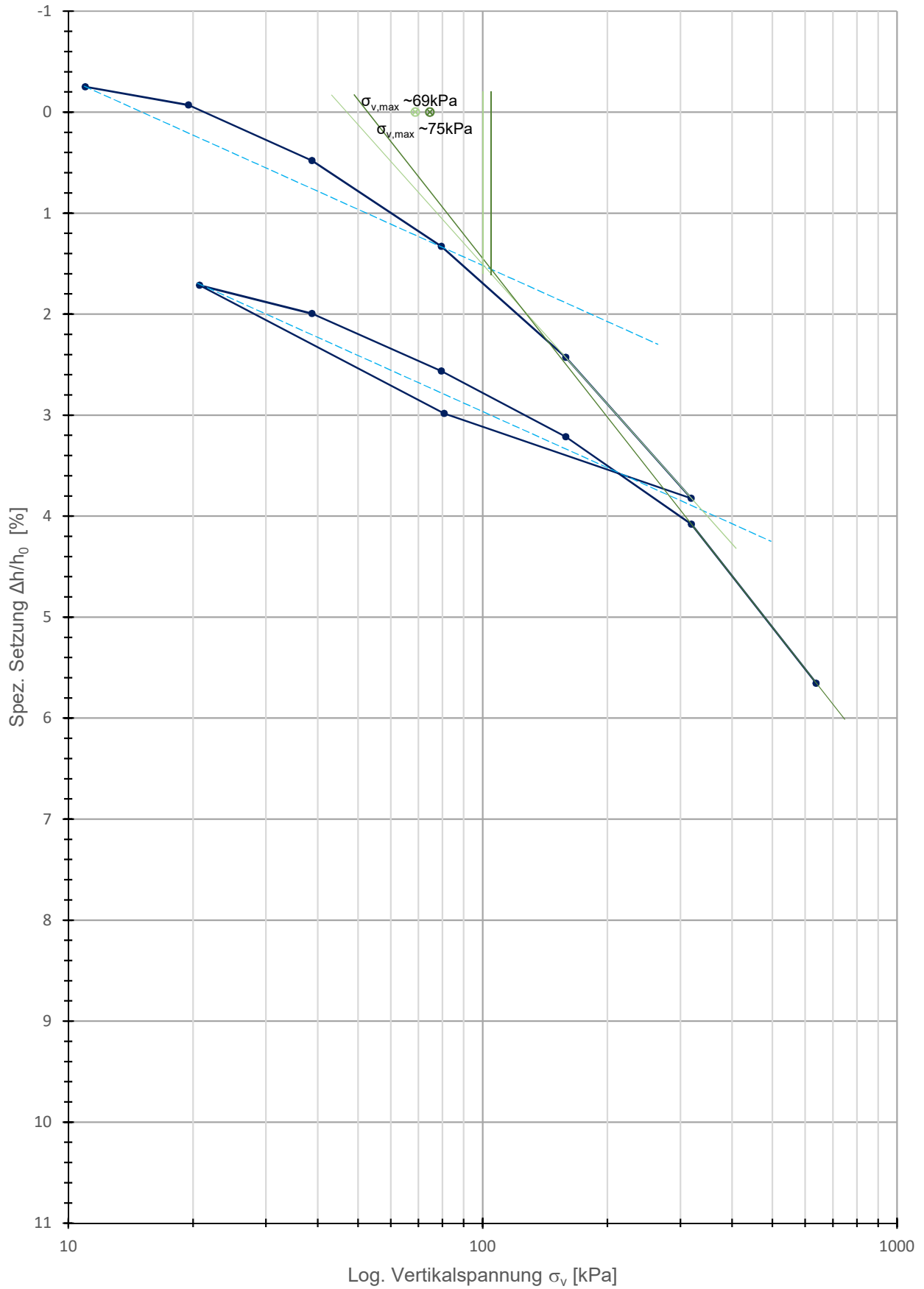
Casagrande

GIN_0,90-1,30_NP.1



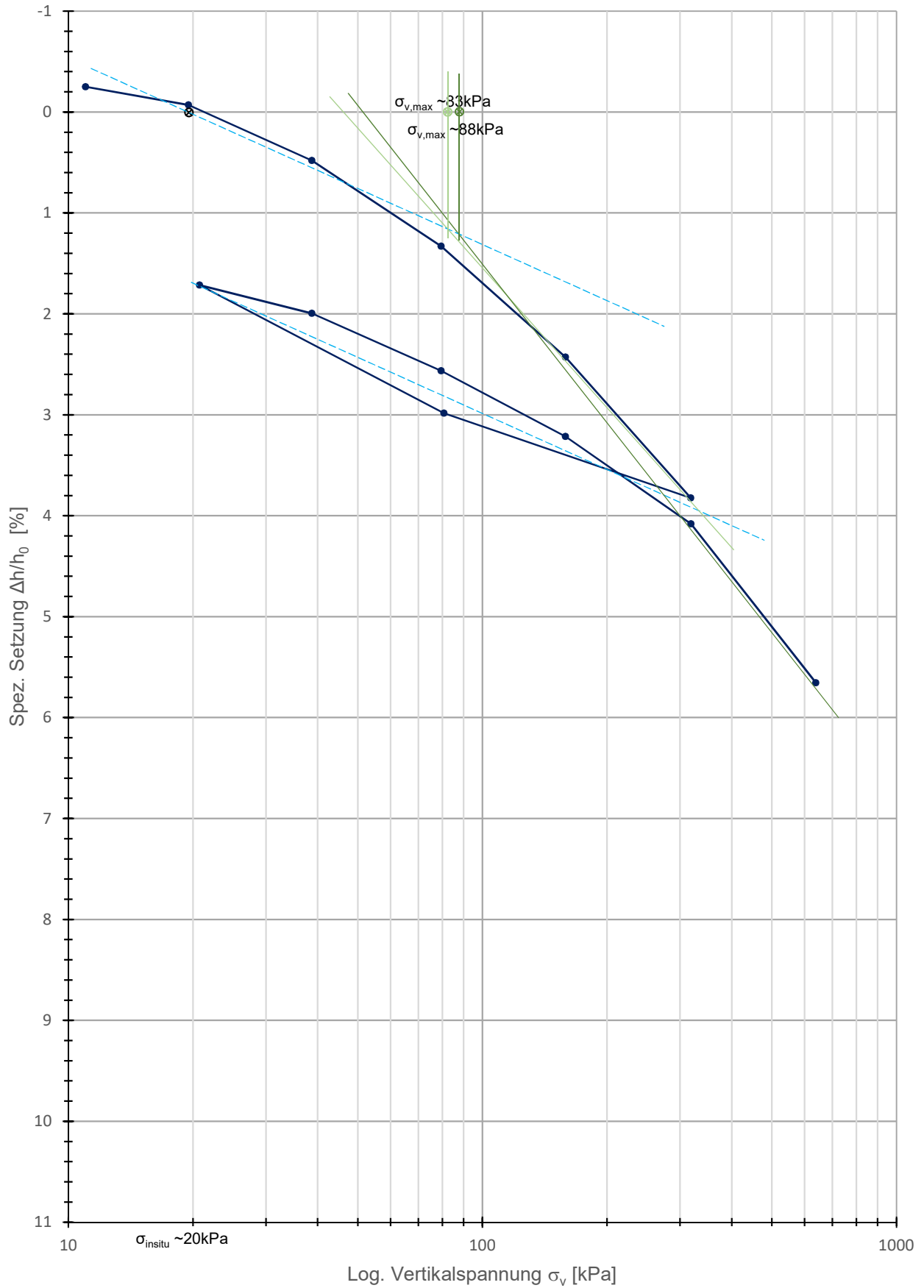
Van Zelst

GIN_0,90-1,30_NP.1



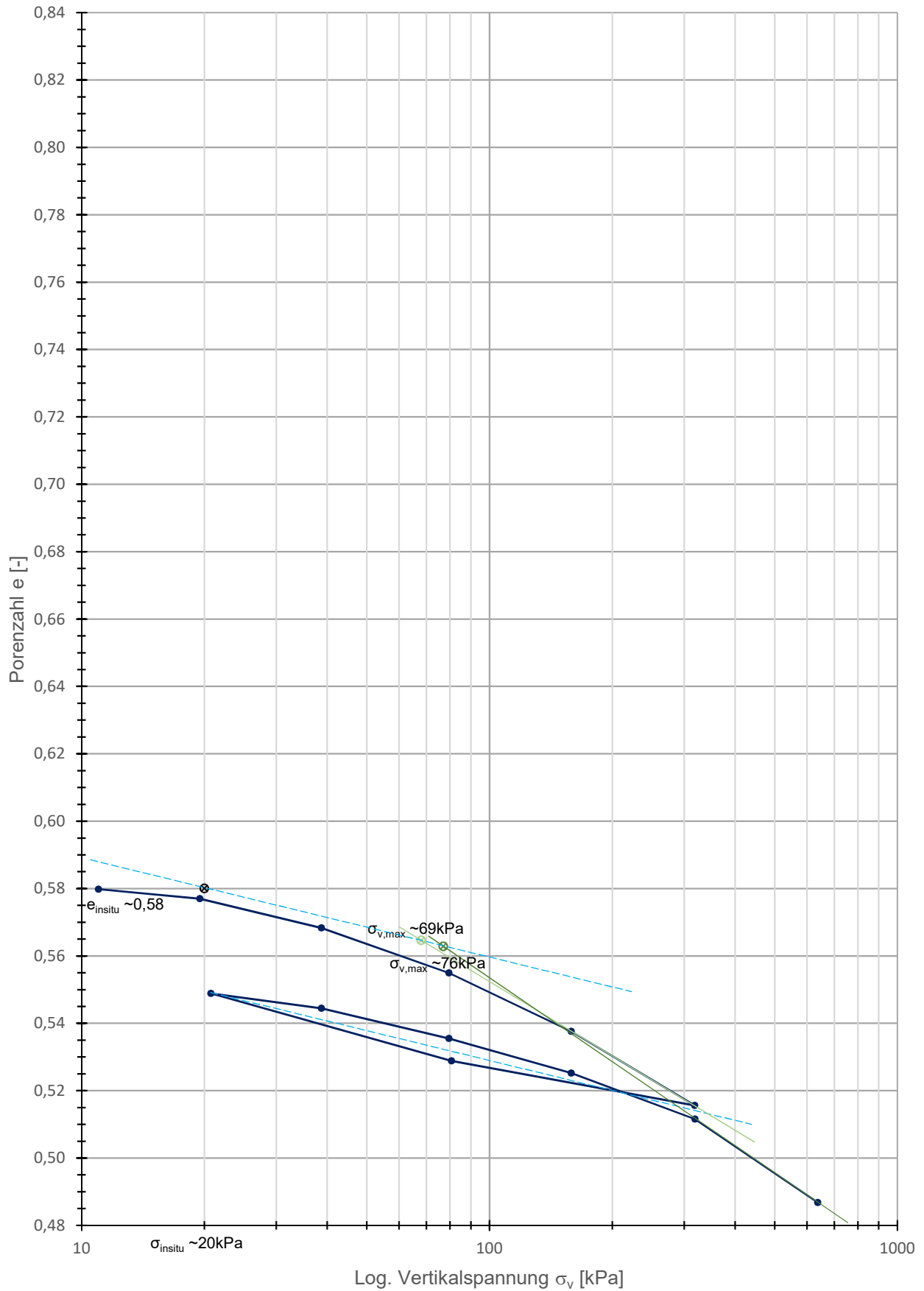
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann

GIN_0,90-1,30_NP.1



Kompression- & Schwellbeiwert

GIN_0,90-1,30_NP.1



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch	Ginau (GIN)		20.06.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.	0,90 - 1,30	NP	2
Bezeichnung Ödometerring	Ö-II		
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,135
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,010
Bezeichnung Kernstechzylinder	keiner		
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,76
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	1,464
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	80,366
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	74,513
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	111,702	111,702	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	131,199	131,199	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	408,756	403,012	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	376,708	376,708	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	165,855	160,111	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	2,06	2,15	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	133,807	133,807	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,66	1,80	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	23,95	19,66	k.A.
Porenanteil	n	[%]	39,67	34,94	k.A.
Porenzahl	e	[-]	0,66	0,54	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	0,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	0,000
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	0,000

geologische Vorkonsolidationsspannung

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	38	50
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	60	72
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	59	68
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	48	67
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	20	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	20	

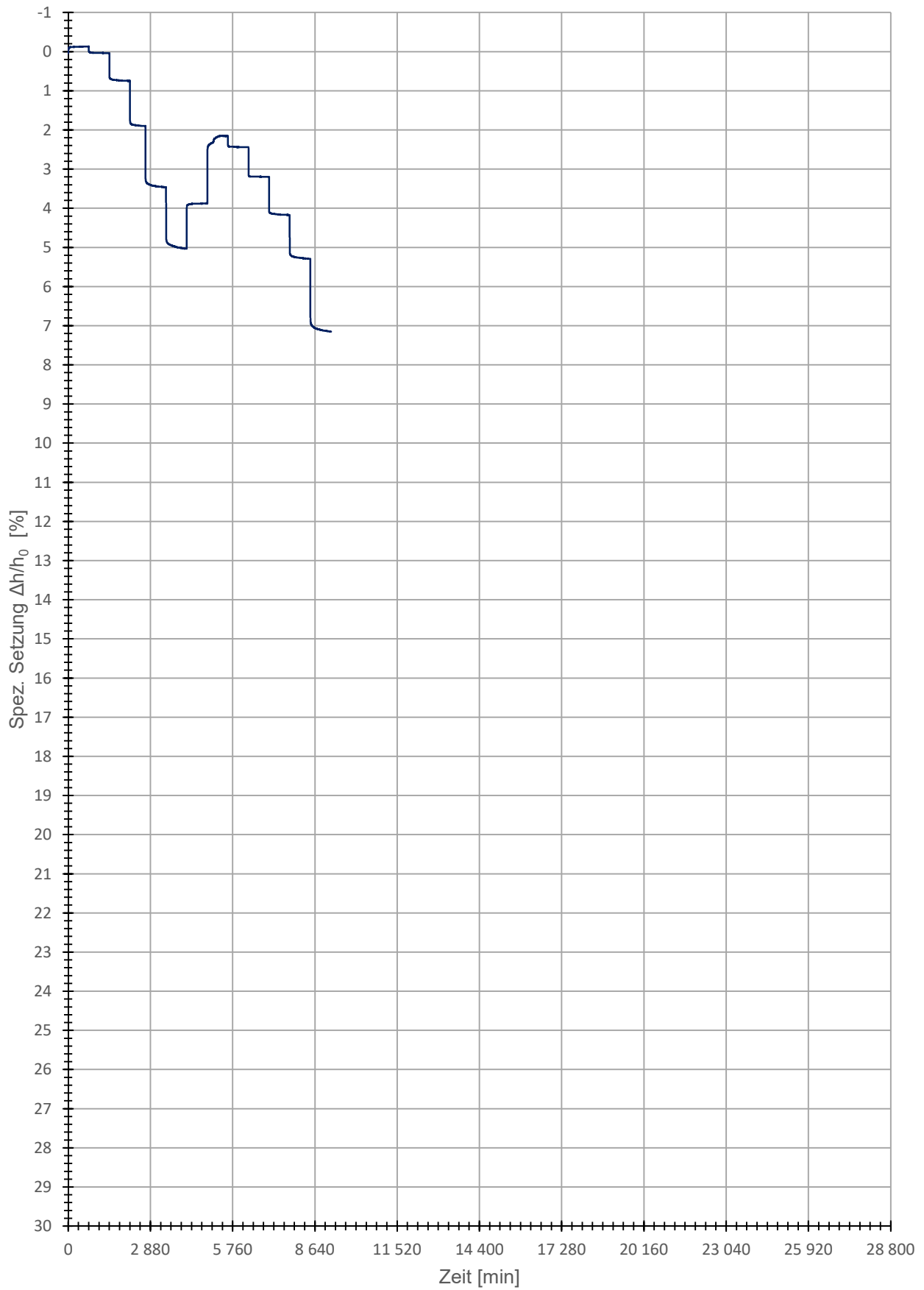
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

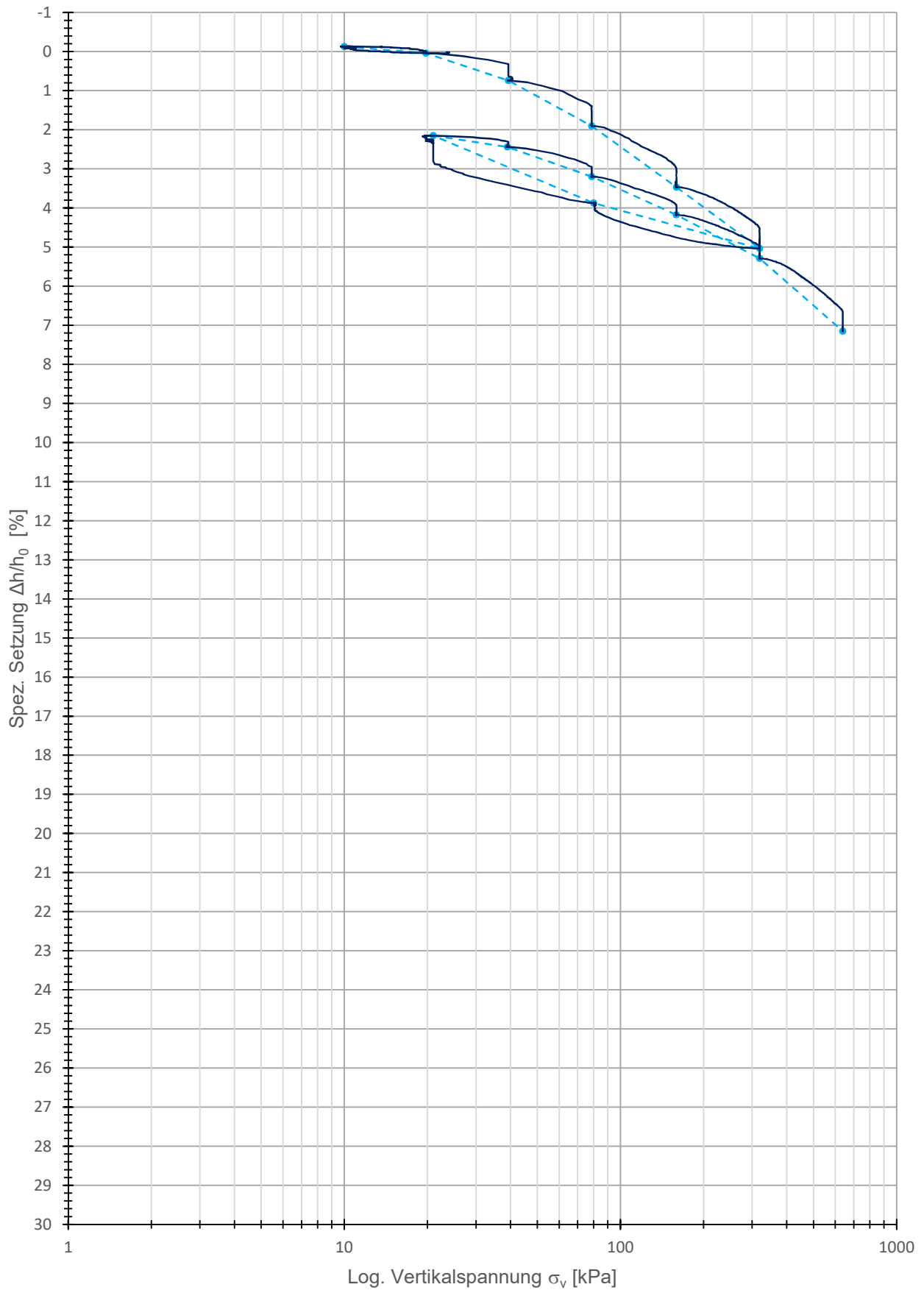
Zeitsetzungskurve

— GIN_0,90-1,30_NP.2



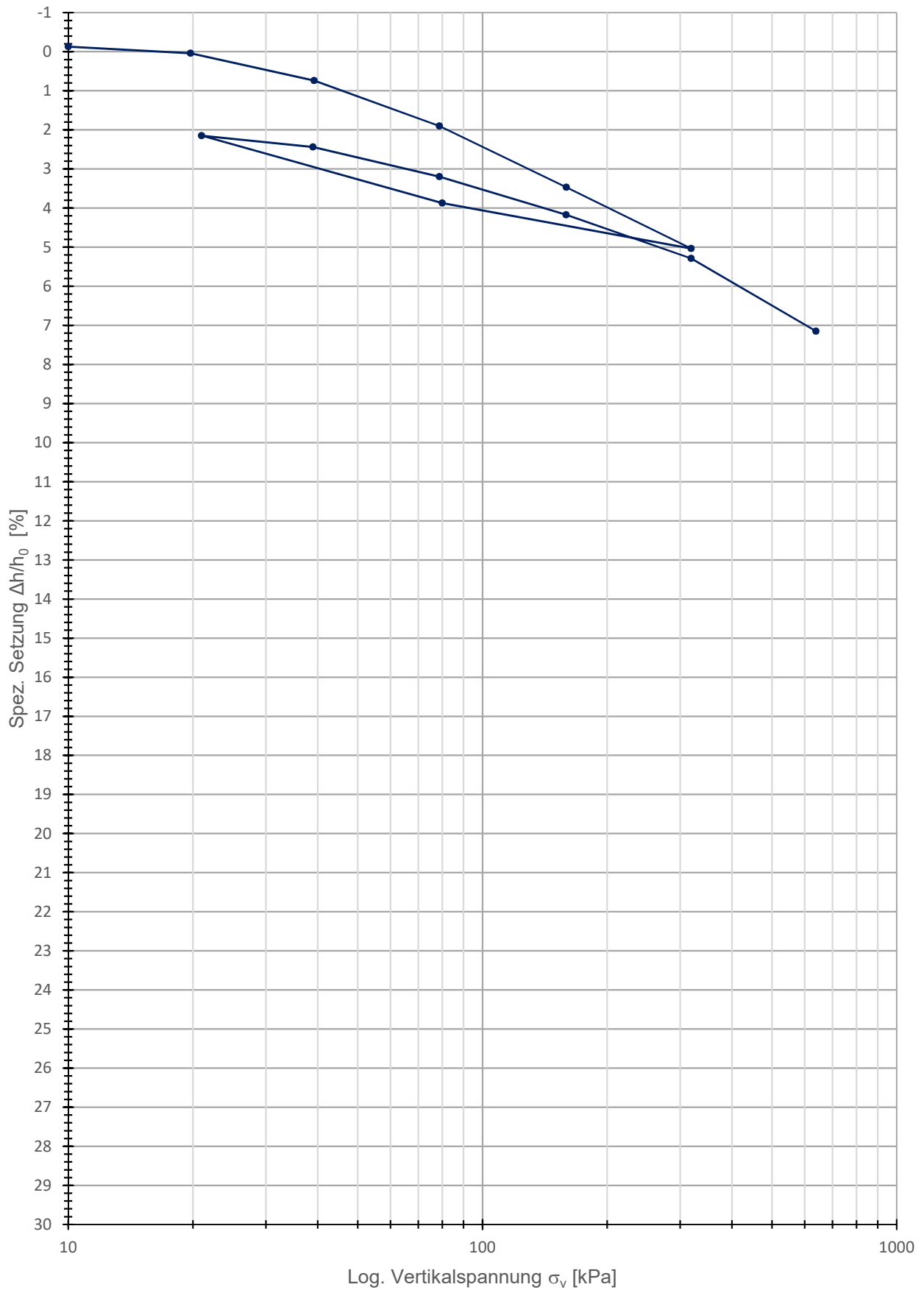
Kompressionsversuch (Roh)

GIN_0,90-1,30_NP.2 GIN_0,90-1,30_NP.2



Kompressionskurve

GIN_0,90-1,30_NP.2



GIN_0,90-1,30_NP.2

Daten_Kotzias

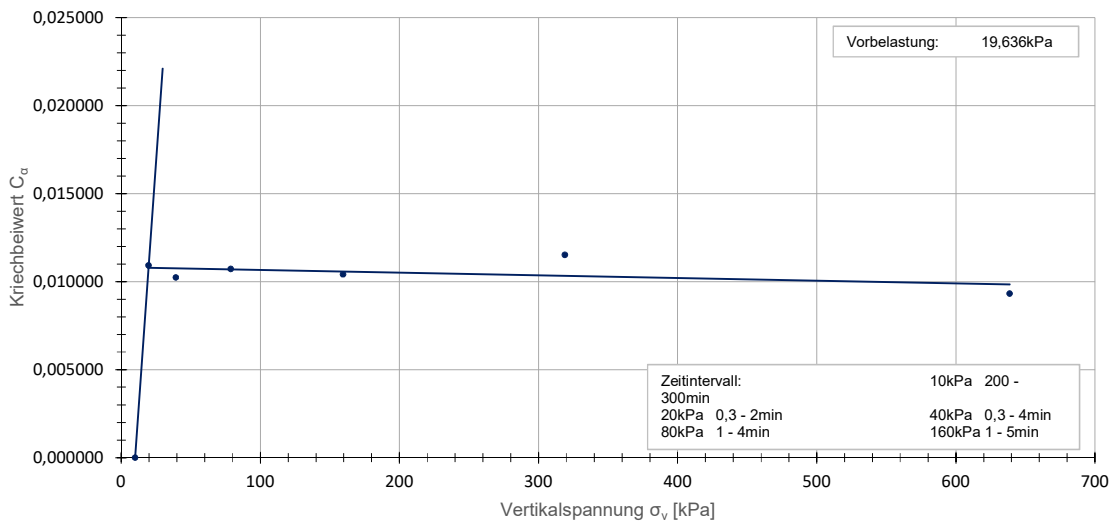
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	10	0,000000	200	199,407297	0,659750	300	299,410061	0,659750
2	19,75	0,010913	0,3	0,276632	0,659510	2	1,620278	0,658110
3	39,25	0,010237	0,3	0,296392	0,652410	4	3,280074	0,647550
4	78,75	0,010711	1	0,790380	0,633450	4	3,536948	0,628750
5	159,5	0,010408	1	0,987975	0,608950	5	4,030936	0,603920
6	319	0,011519	1	0,987974	0,592130	20	19,799006	0,577450
13	638,75	0,009319	2,5	2,489695	0,554190	20	19,463094	0,542730

Wiederbelastung	0,001119	-0,011193	$i(x)=0,001119x + -0,011193$	0,010785
Erstbelastung	-0,000002	0,010815	$j(x)=-0,000002x + 0,010815$	0,010785

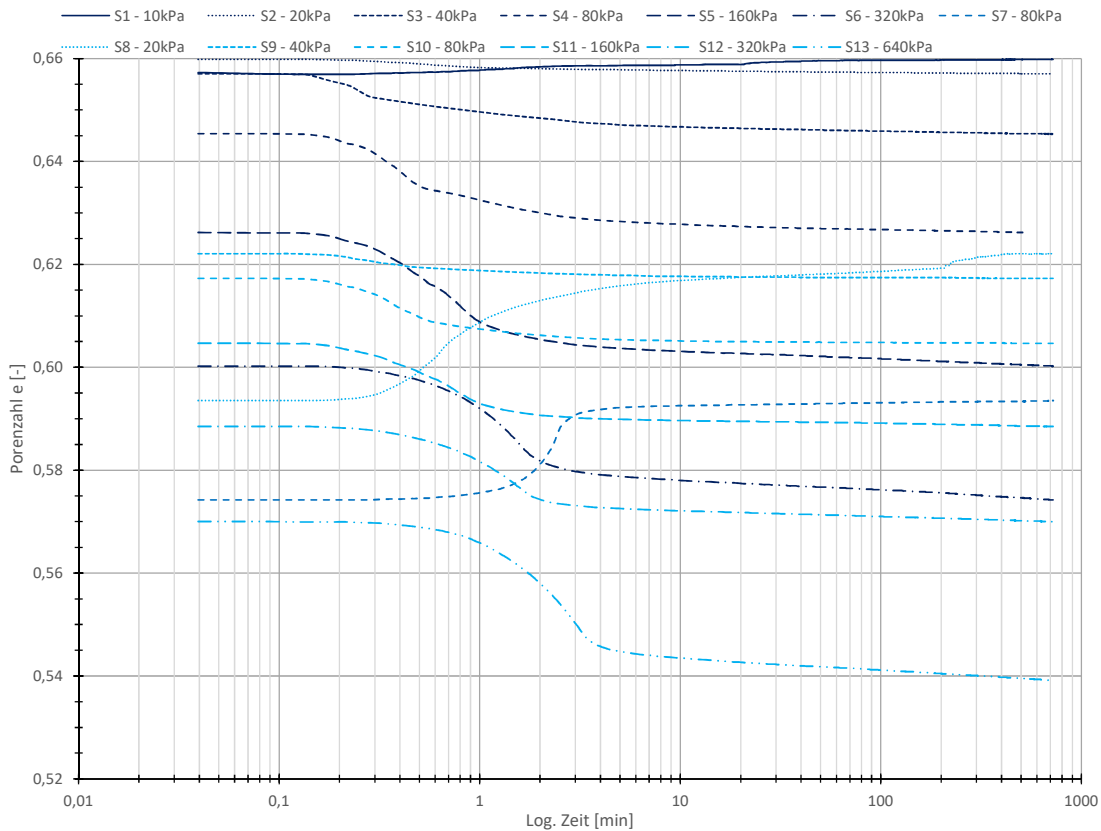
X= 19,635546
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,90-1,30_NP.2



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

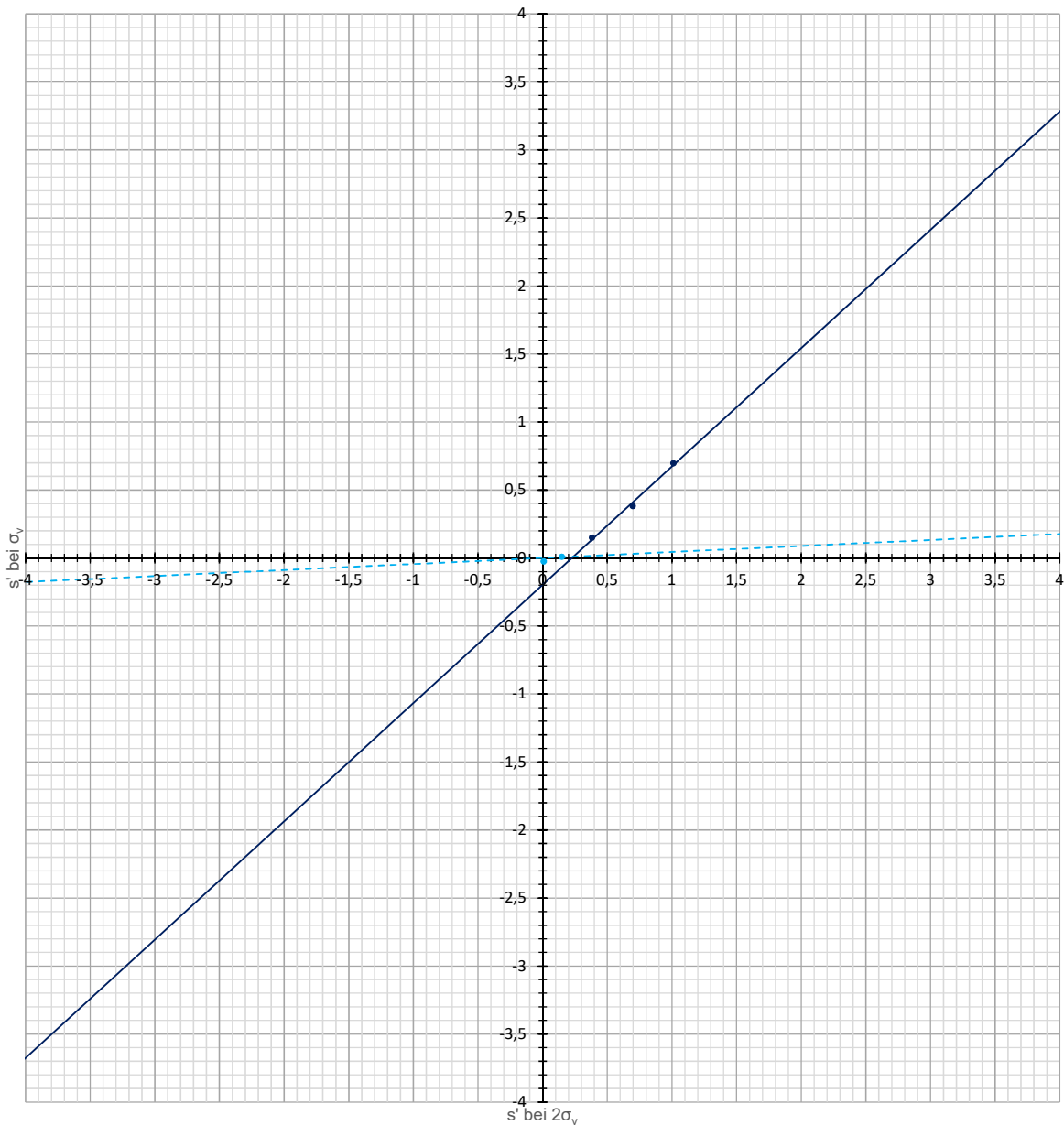
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	10	-0,025999	0,008
2	19,75	0,008	0,149
3	39,25	0,149	0,382
4	78,75	0,382	0,697
5	159,5	0,697	1,011999
6	319	1,011999	
7	80	0,778	
8	21	0,432	0,49
9	39	0,49	0,643
10	78,75	0,643	0,839
11	159,25	0,839	1,063
12	319	1,063	1,436999
13	638,75	1,436999	#NV

Wiederbelastung	0,044195	0,000000	$f(x)=0,044x$	0,010542
Erstbelastung	0,869843	-0,196947	$g(x)=0,87x + -0,197$	0,010542
			X=	0,238536
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,010542
Vorbelastung	286,773140	17,455815	$h(x)=286,773x + 17,456$	20,479026

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,011 mm
 Vorbelastung: 20,479kPa

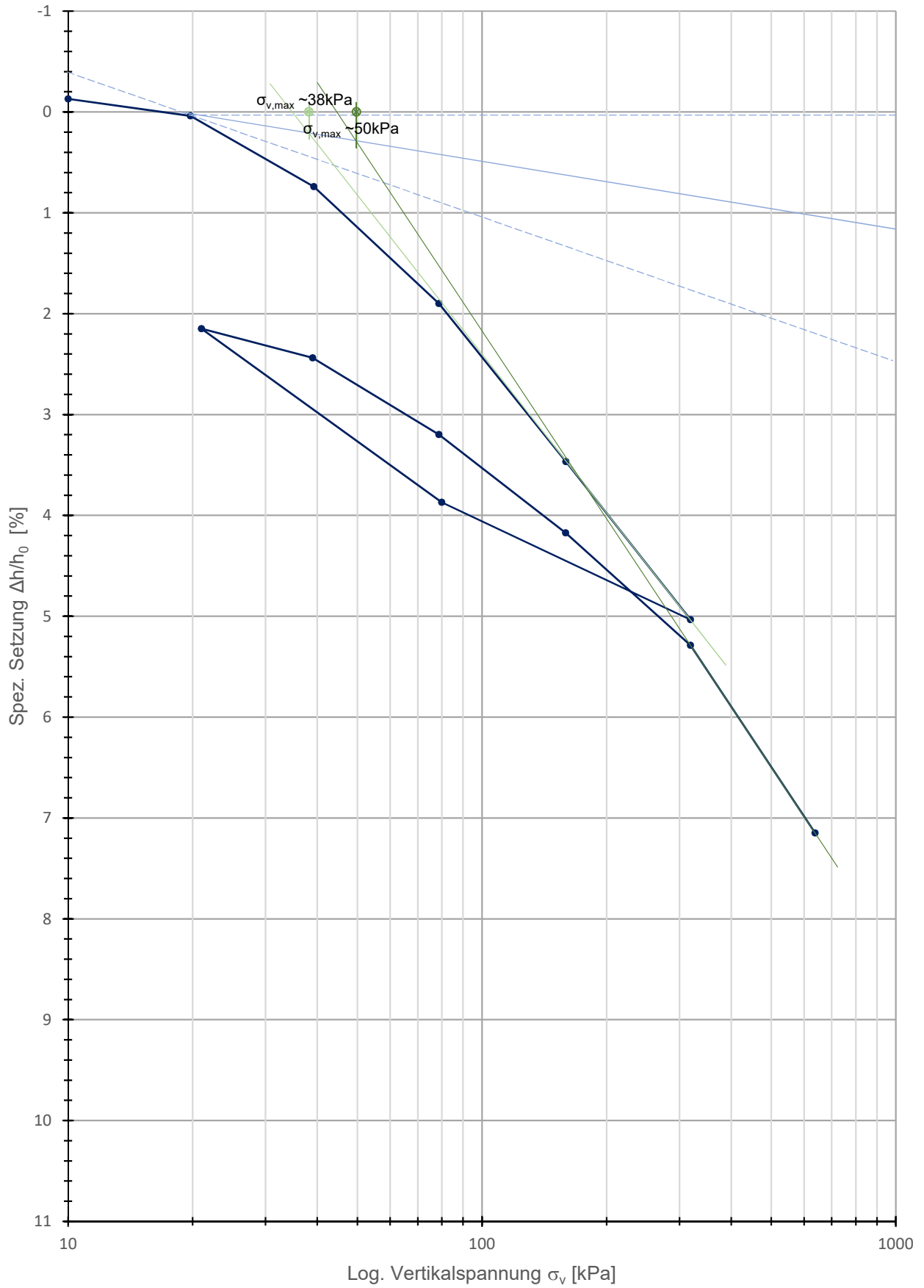
Kotzias - Setzung

• Erstbelastung • Wiederbelastung — Linear (Erstbelastung) - - - Linear (Wiederbelastung)



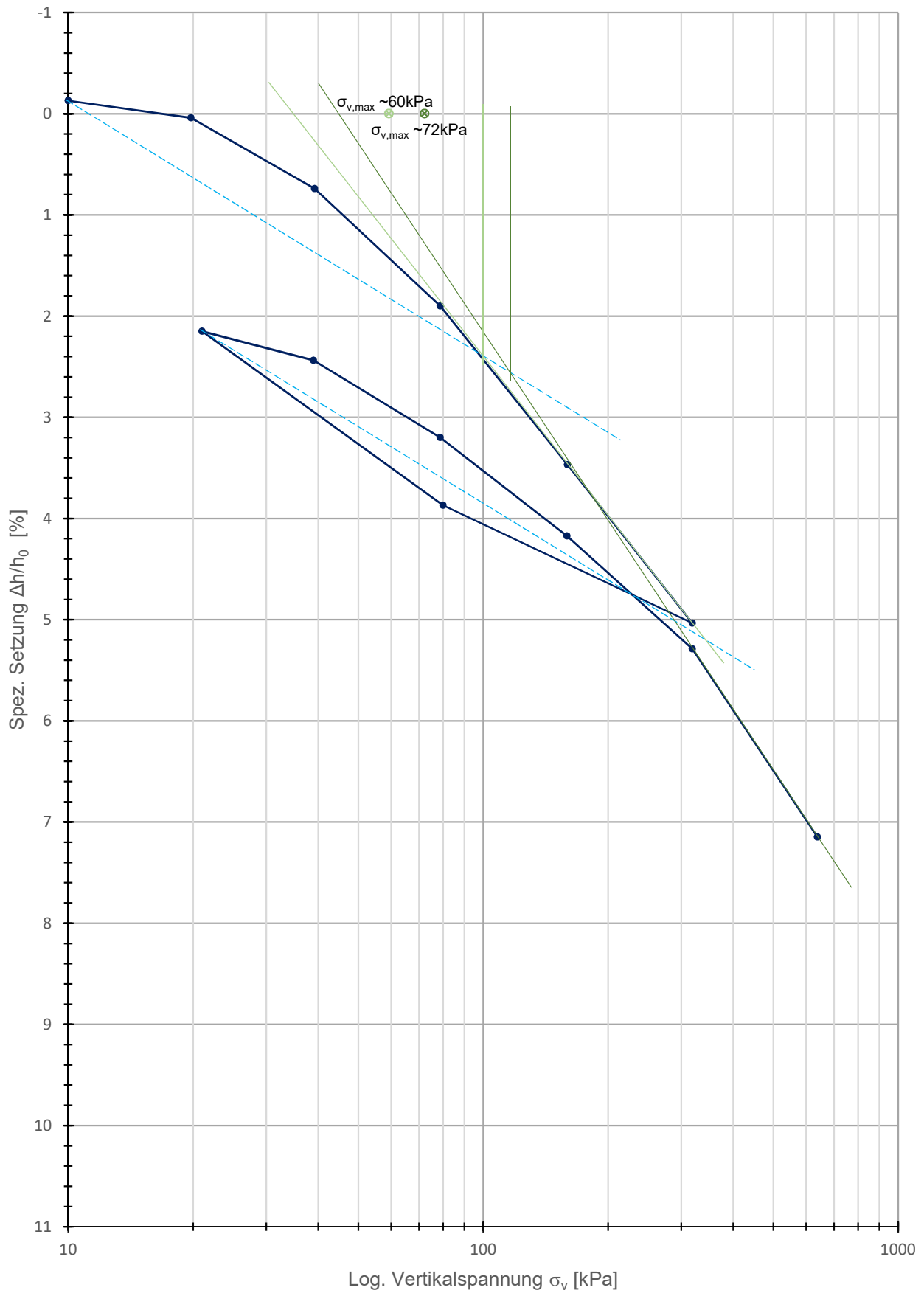
Casagrande

—●— GIN_0,90-1,30_NP.2



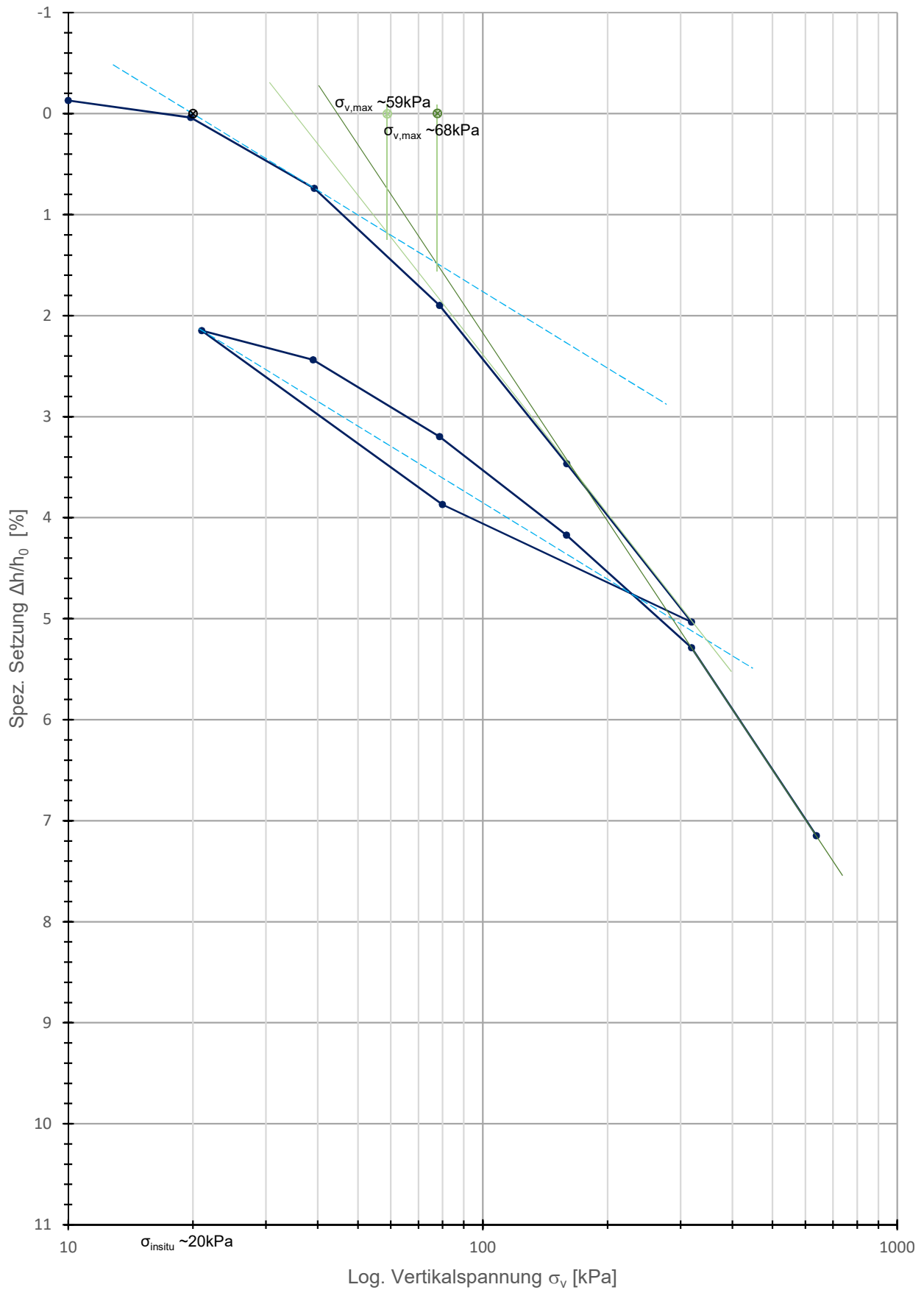
Van Zelst

GIN_0,90-1,30_NP.2



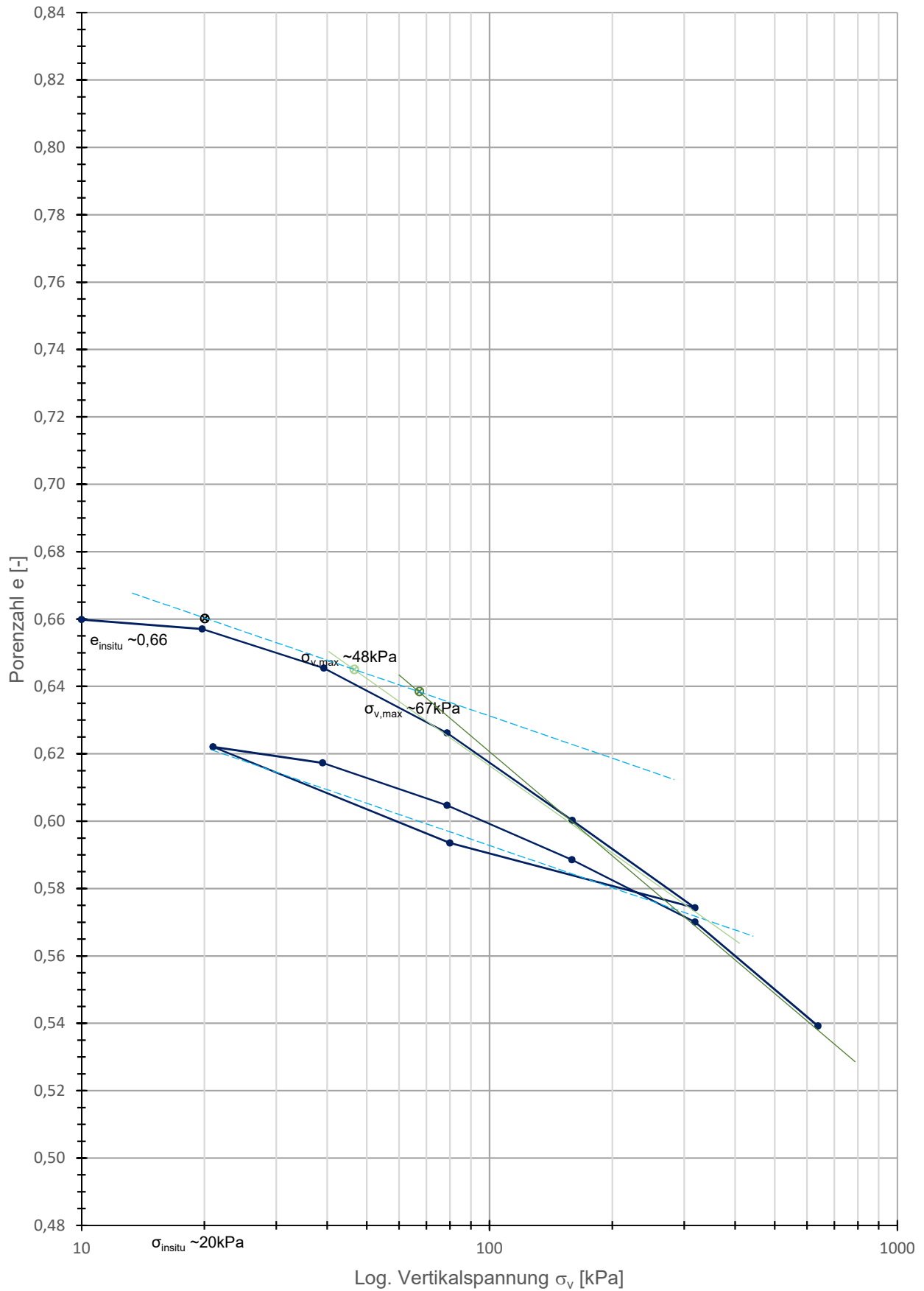
Rutledge, Hvorslev, Schertmann

GIN_0,90-1,30_NP.2



Kompression- & Schwellbeiwert

GIN_0,90-1,30_NP.2



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch	Ginau (GIN)		21.06.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.	0,90 - 1,30	NP	3
Bezeichnung Ödometerring	Ö-III		
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,133
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,003
Bezeichnung Kernstechzylinder	KSZ-I		
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,77
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	1,253
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	80,042
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	75,034
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	5,523

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe	Ödometerprobe	Kernprobe
			(vorher)	(nachher)	(nachher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	110,112	110,112	6,246
Tara Behälter	T_B	[g]	94,988	94,988	3,429
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	370,804	365,801	20,962
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	339,197	339,197	18,860
Masse feucht	m_f	[g]	165,704	160,701	11,287
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	2,07	2,14	2,04
Masse trocken	m_d	[g]	134,097	134,097	9,185
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,68	1,79	1,66
Wassergehalt	w	[%]	23,57	19,84	22,89
Porenanteil	n	[%]	39,52	35,48	39,96
Porenzahl	e	[-]	0,65	0,55	0,67
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00*	1,00*	0,95

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	0,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	0,000
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	0,000

geologische Vorkonsolidationsspannung

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	48	55
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	50	60
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	60	68
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	25	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	26	

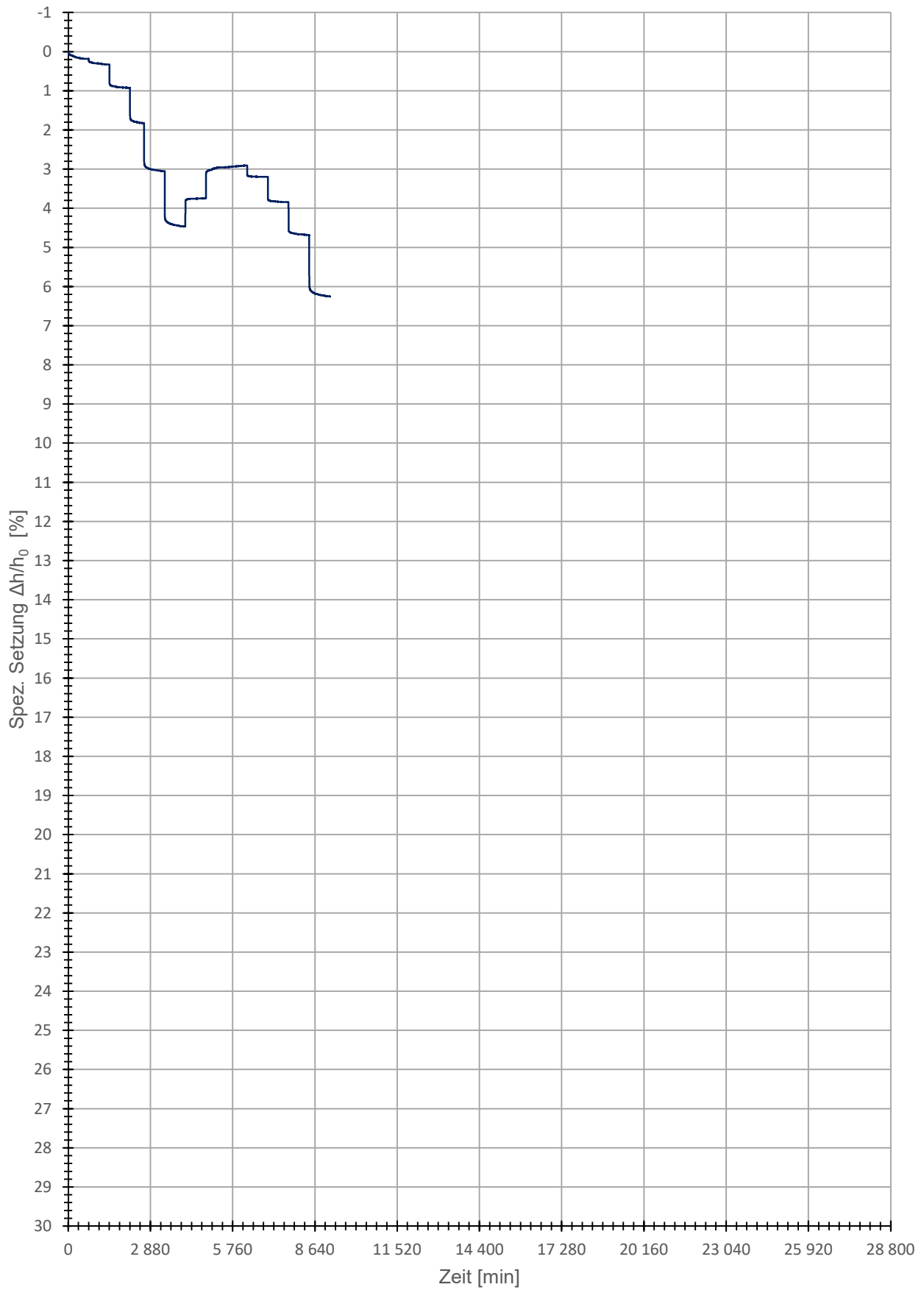
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

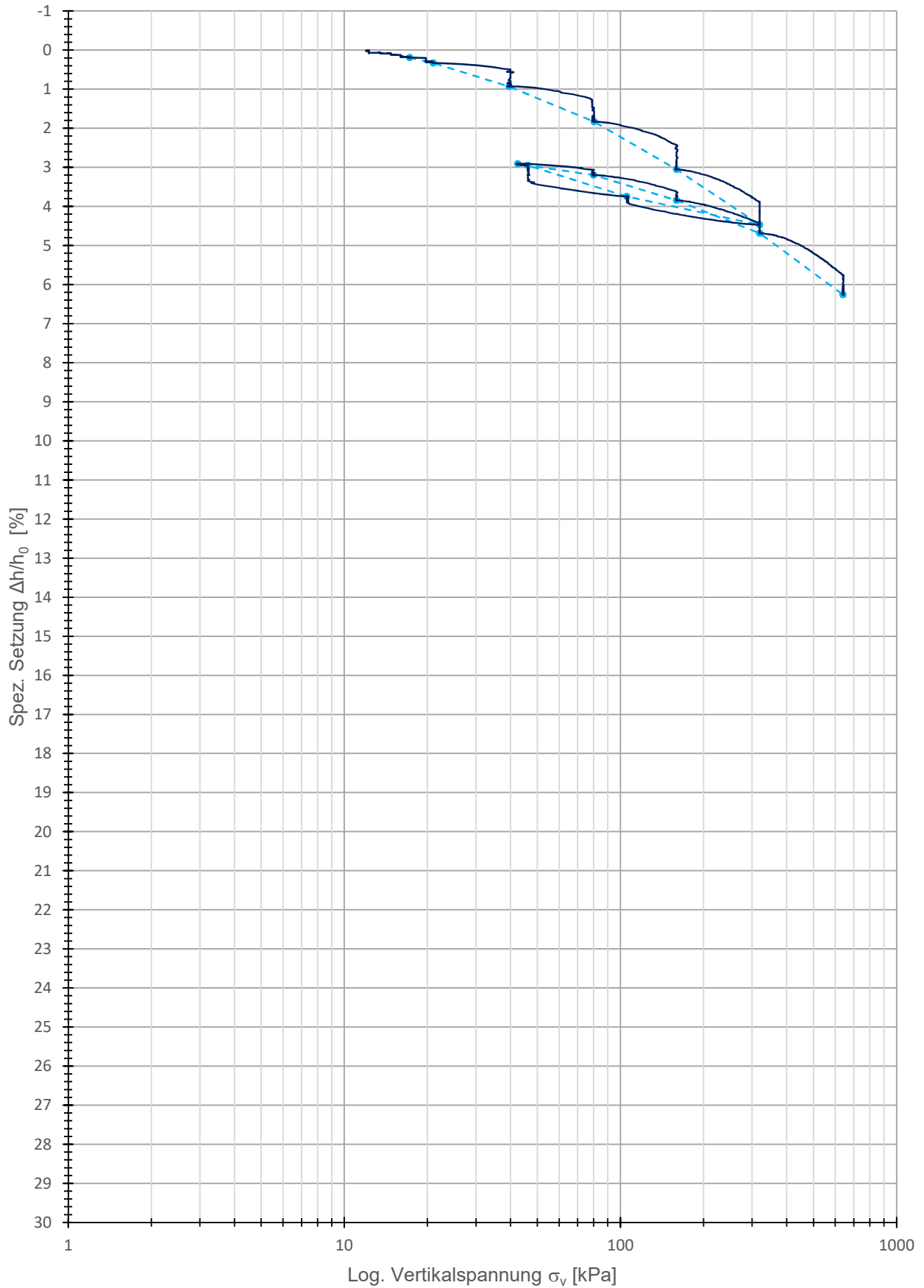
Zeitsetzungskurve

— GIN_0,90-1,30_NP.3



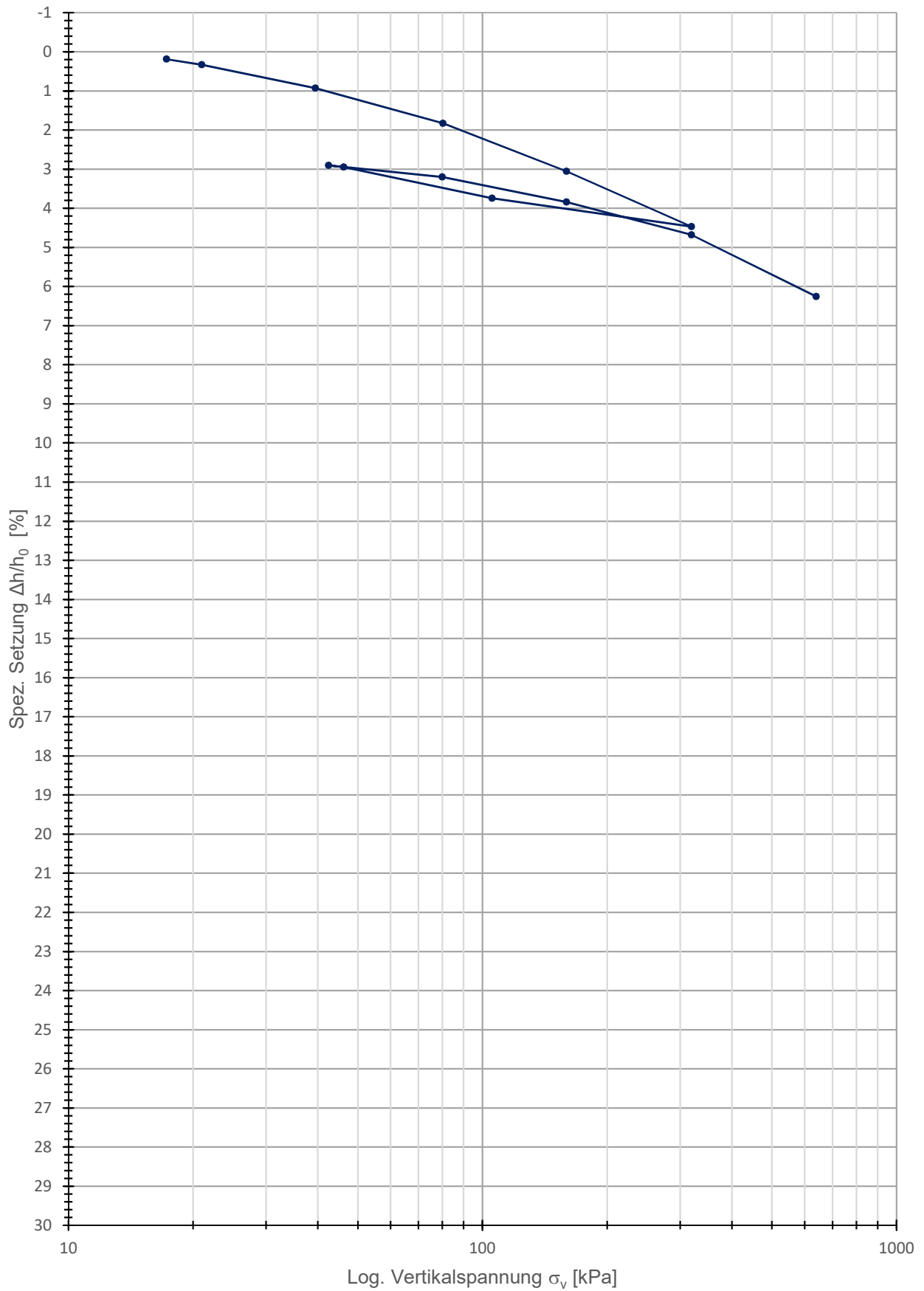
Kompressionsversuch (Roh)

GIN_0,90-1,30_NP.3 GIN_0,90-1,30_NP.3



Kompressionskurve

GIN_0,90-1,30_NP.3



GIN_0,90-1,30_NP.3

Daten_Kotzias

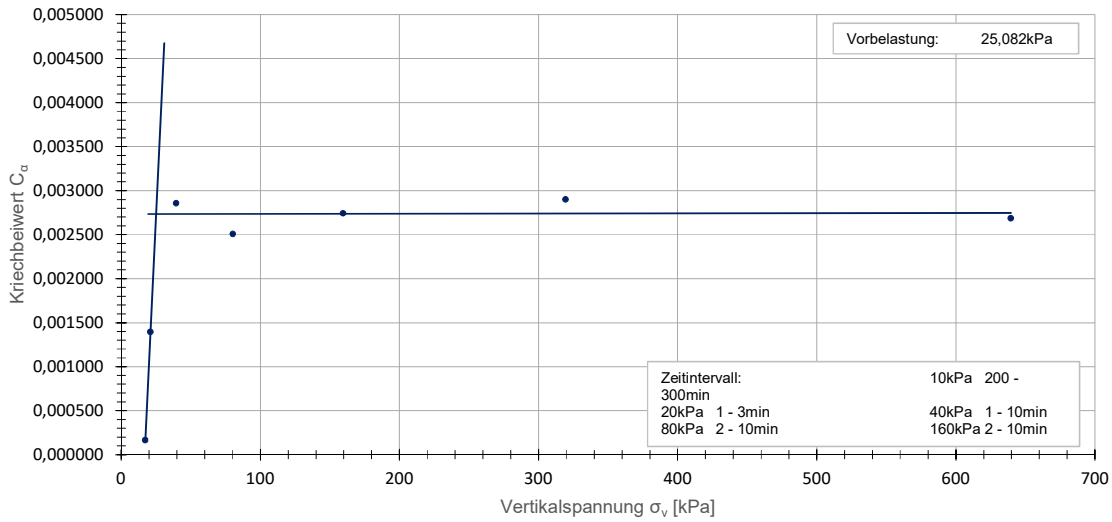
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	17,25	0,000165	200	199,096492	0,651330	300	299,079495	0,651000
2	21	0,001395	1	0,968215	0,649680	3	2,292101	0,649510
3	39,5	0,002857	1	0,968216	0,642500	10	9,365997	0,639860
4	80,25	0,002508	2	1,857392	0,627640	10	9,603110	0,625410
5	159,5	0,002742	2	1,975950	0,608410	10	9,998301	0,605930
6	319,5	0,002900	2	1,975949	0,586780	50	49,793908	0,581910
13	639,5	0,002686	3,5	3,477668	0,557060	50	49,240640	0,552600

Wiederbelastung	0,000328	-0,005494	$i(x)=0,000328x + -0,005494$	0,002734
Erstbelastung	0,000000	0,002734	$j(x)=0x + 0,002734$	0,002734

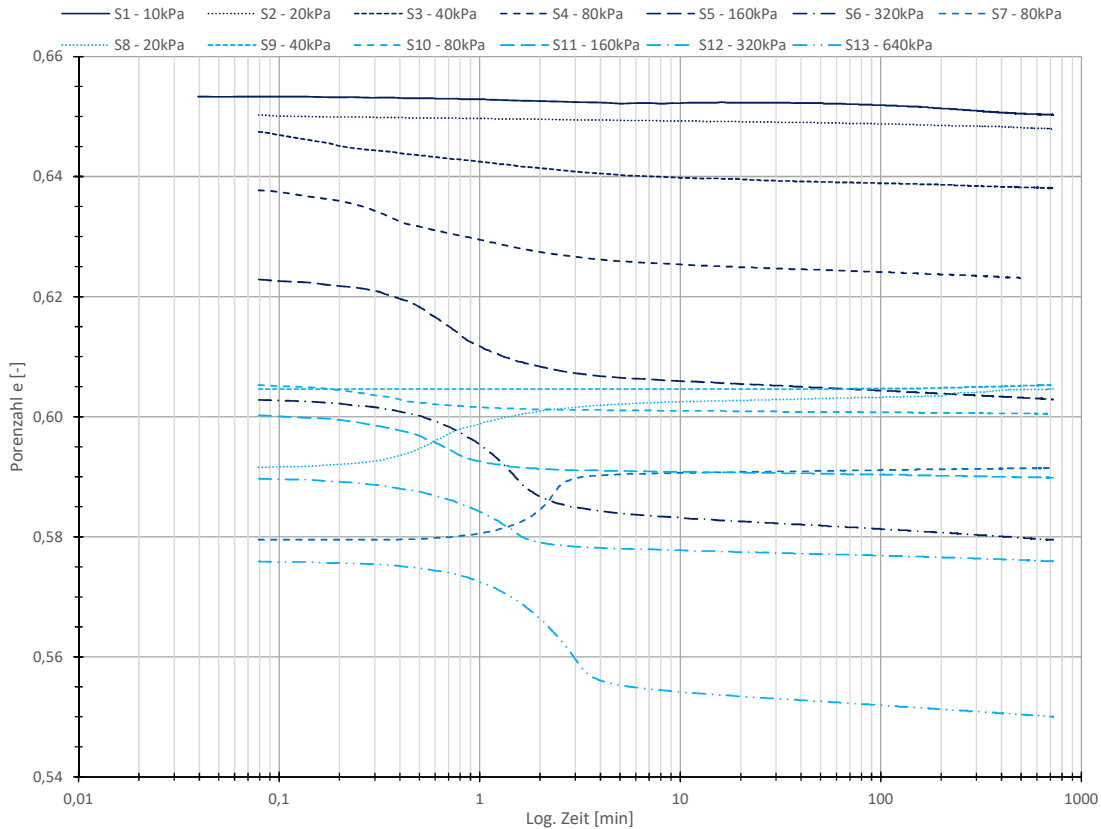
X= 25,082217
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,90-1,30_NP.3



Murayama & Shibata - Porenzahl



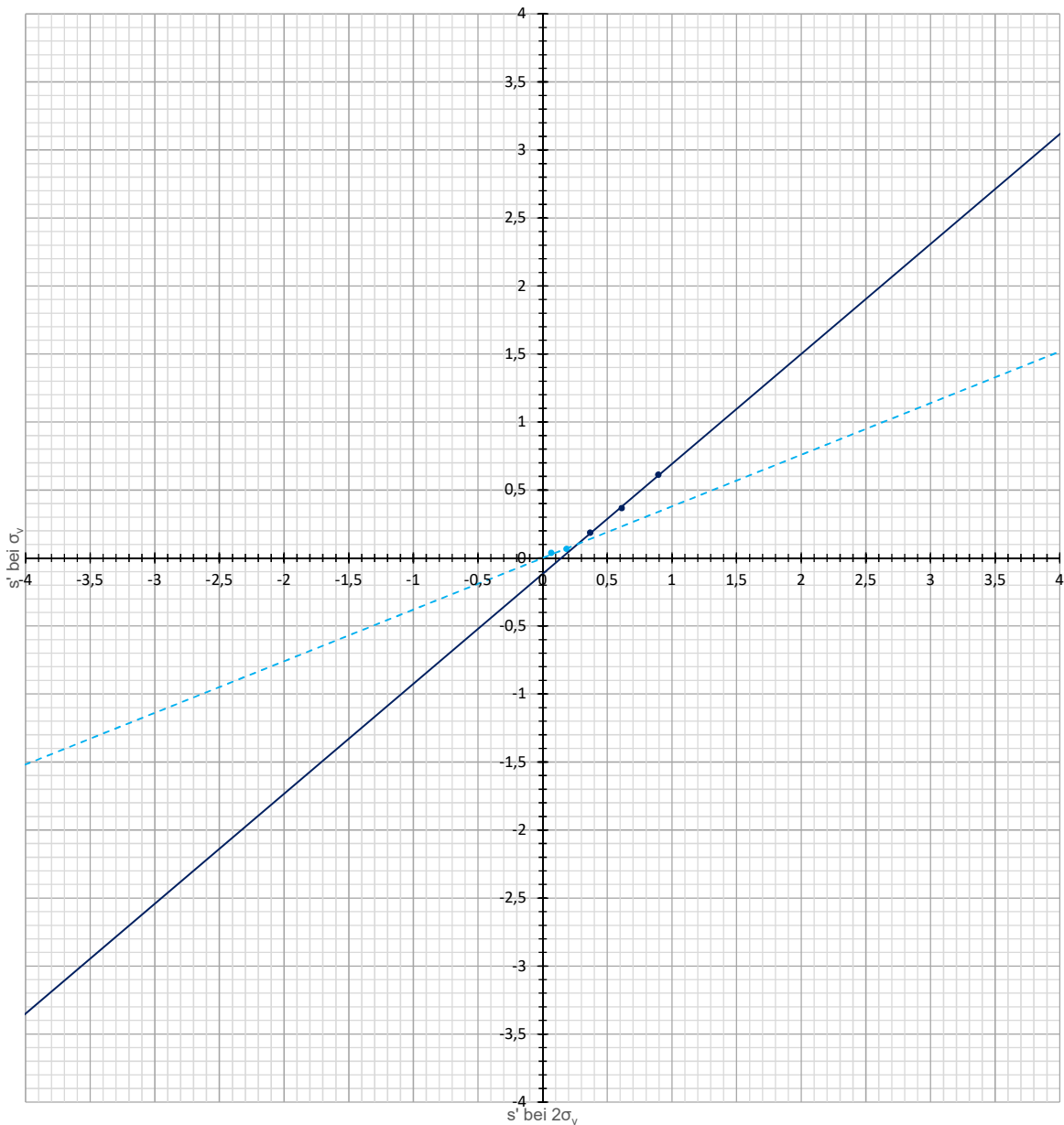
Daten_Kotzias

Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$	
1	17,25	0,038	0,066	
2	21	0,066	0,186	
3	39,5	0,186	0,367	
4	80,25	0,367	0,612	
5	159,5	0,612	0,895	
6	319,5	0,895		
7	105,5	0,749999		
8	46,25	0,591	0,582	
9	42,5	0,582	0,641	
10	80	0,641	0,769999	
11	159,5	0,769999	0,938	
12	319,5	0,938	1,252999	
13	639,5	1,252999	#NV	
Wiederbelastung	0,379544	0,000000	$f(x)=0,38x$	0,103213
Erstbelastung	0,808330	-0,116604	$g(x)=0,808x + -0,117$	0,103213
			X=	0,271939
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,103213
Vorbelastung	133,928571	12,160714	$h(x)=133,929x + 12,161$	25,983862

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,103 mm
 Vorbelastung: 25,984kPa

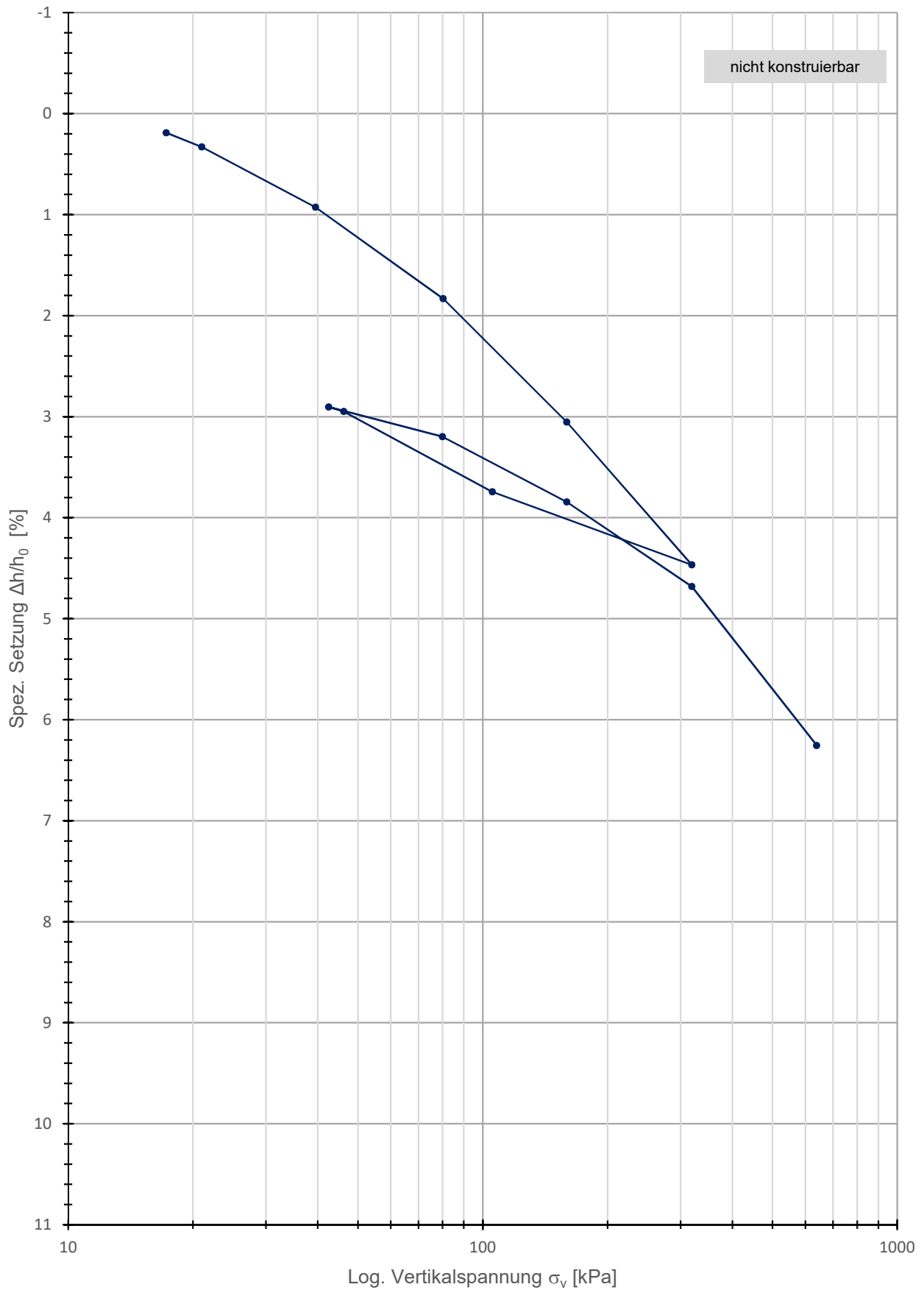
Kotzias - Setzung

• Erstbelastung • Wiederbelastung — Linear (Erstbelastung) - - - Linear (Wiederbelastung)



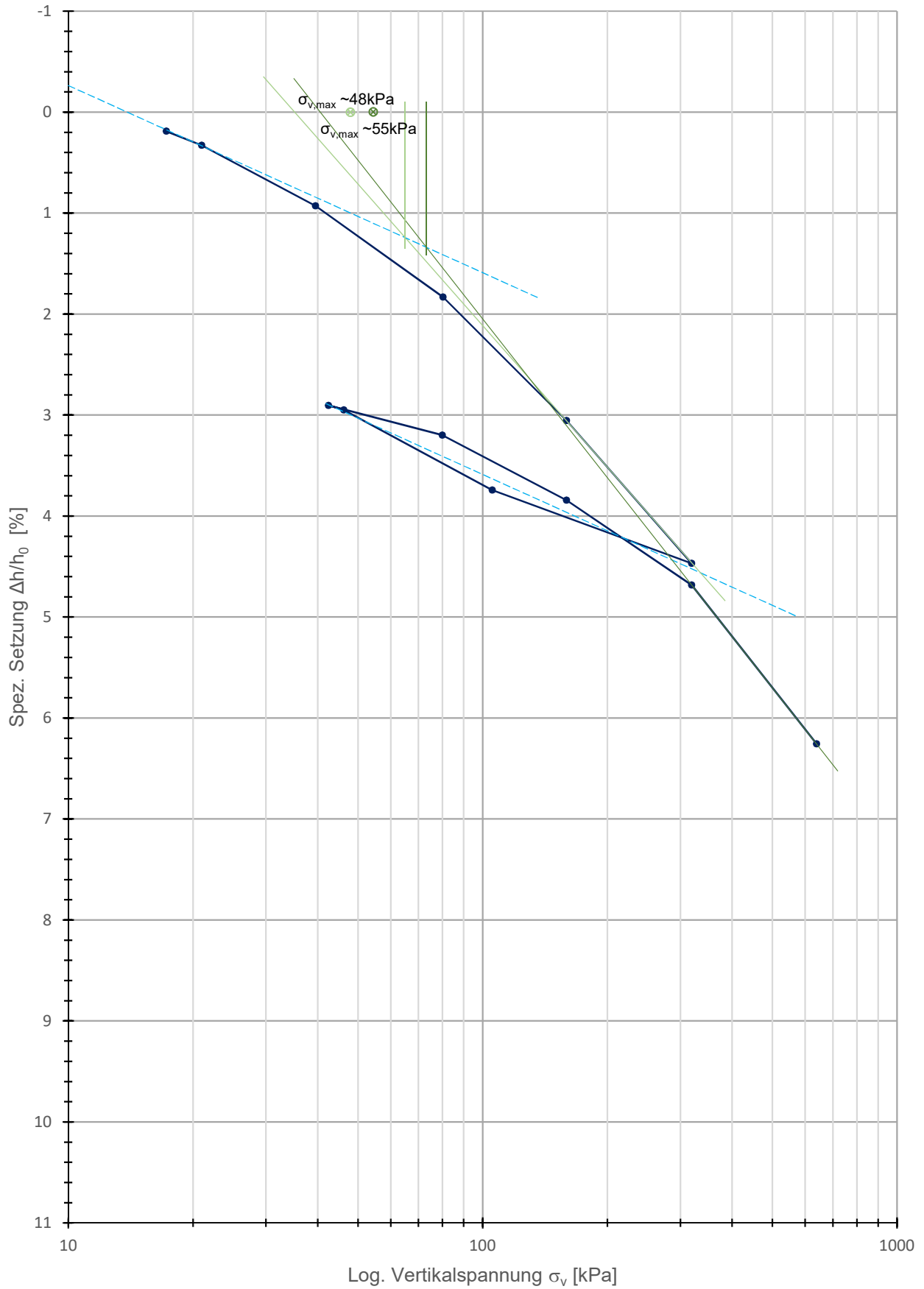
Casagrande

GIN_0,90-1,30_NP.3



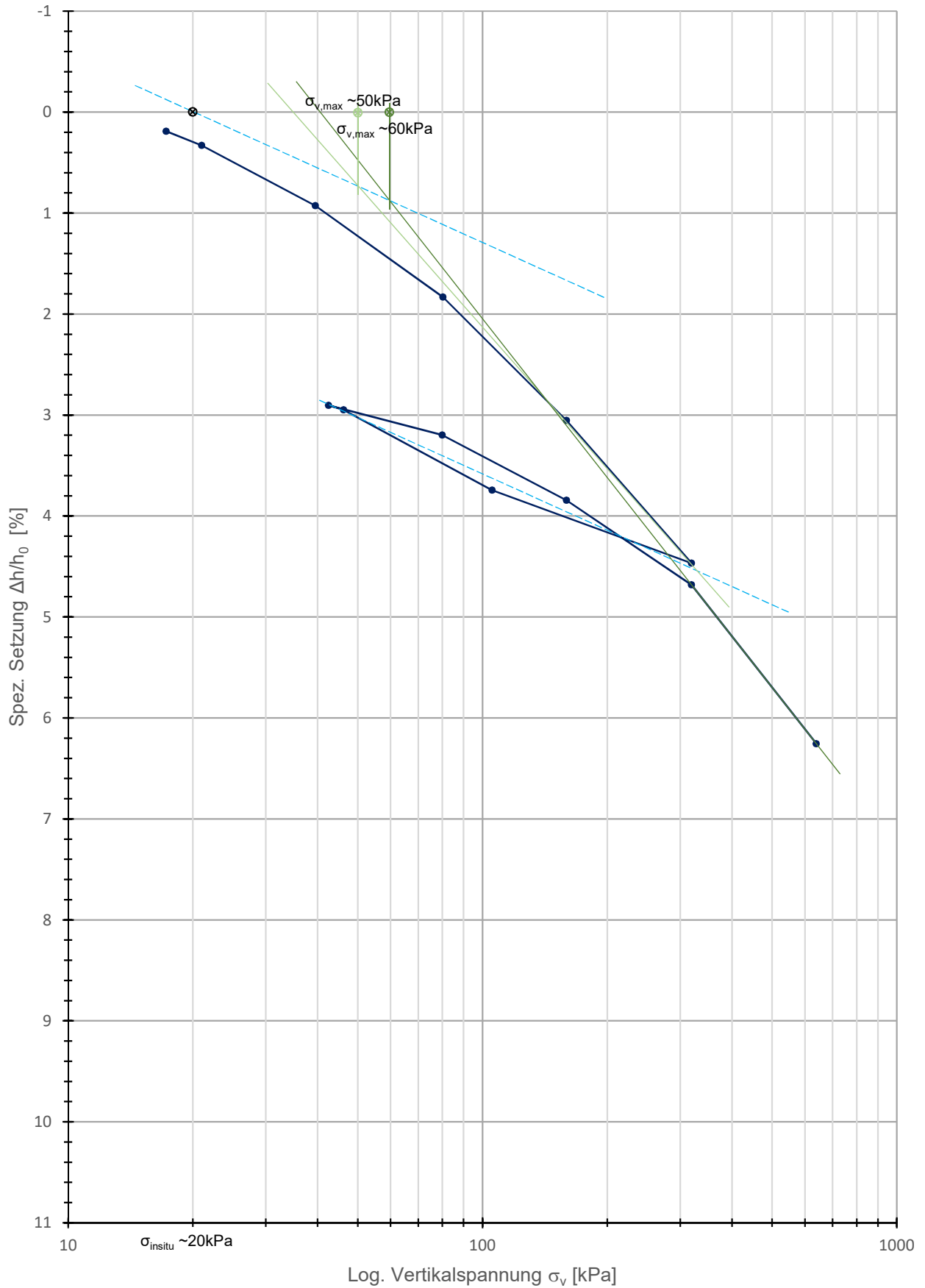
Van Zelst

GIN_0,90-1,30_NP.3



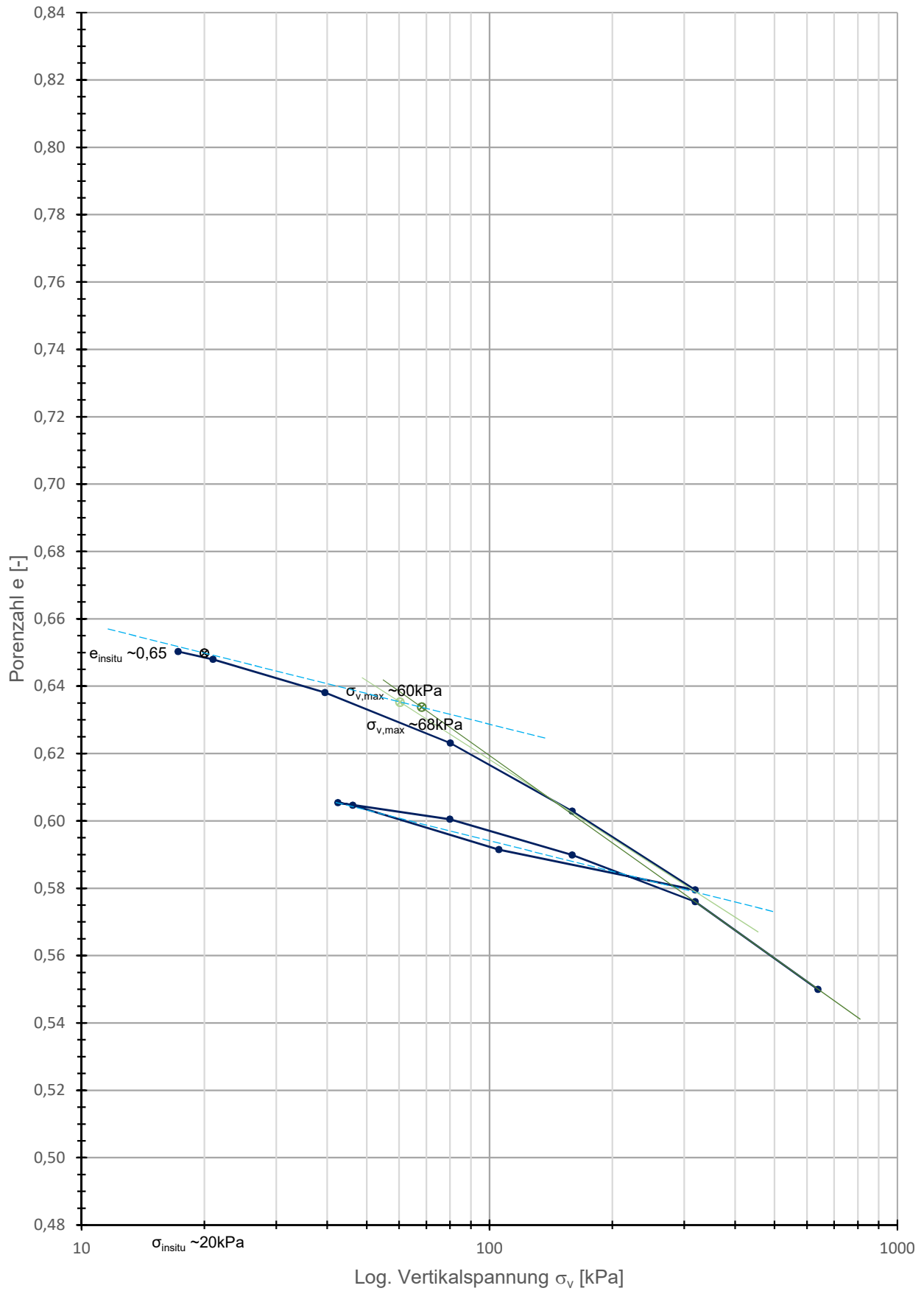
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann

GIN_0,90-1,30_NP.3



Kompression- & Schwellbeiwert

GIN_0,90-1,30_NP.3



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch		Muhr (HIN)	12.07.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.		44,10 - 44,50	NP
Bezeichnung Ödometerring		Ö-I	
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,135
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,000
Bezeichnung Kernstechzylinder		KSZ-II	0,00
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,76
Fließgrenze	w_L	[%]	40,40
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	1,626
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	79,966
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	73,465
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	5,706

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	109,847	109,847	6,126
Tara Behälter	T_B	[g]	93,702	93,702	13,775
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	360,081	353,622	31,254
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	323,889	323,889	28,778
Masse feucht	m_f	[g]	156,532	150,073	11,353
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	1,96	2,04	1,99
Masse trocken	m_d	[g]	120,340	120,340	8,877
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,50	1,64	1,56
Wassergehalt	w	[%]	30,07	24,71	27,89
Porenanteil	n	[%]	45,48	40,65	43,63
Porenzahl	e	[-]	0,83	0,68	0,77
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00	1,00*	1,00*

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	0,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	0,000
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	0,000

geologische Vorkonsolidationsspannung

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	500	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	29	38
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	21	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	26	

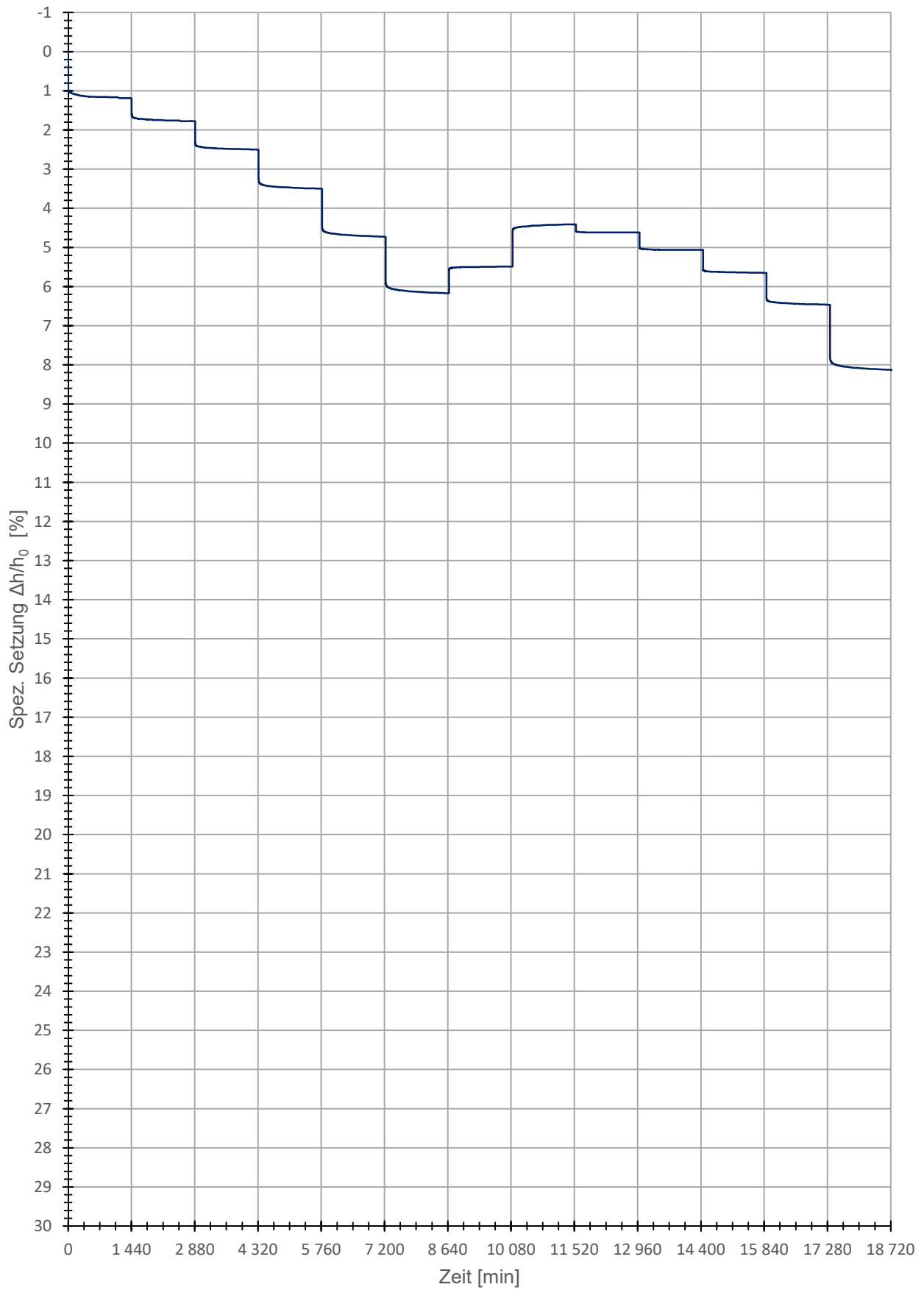
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

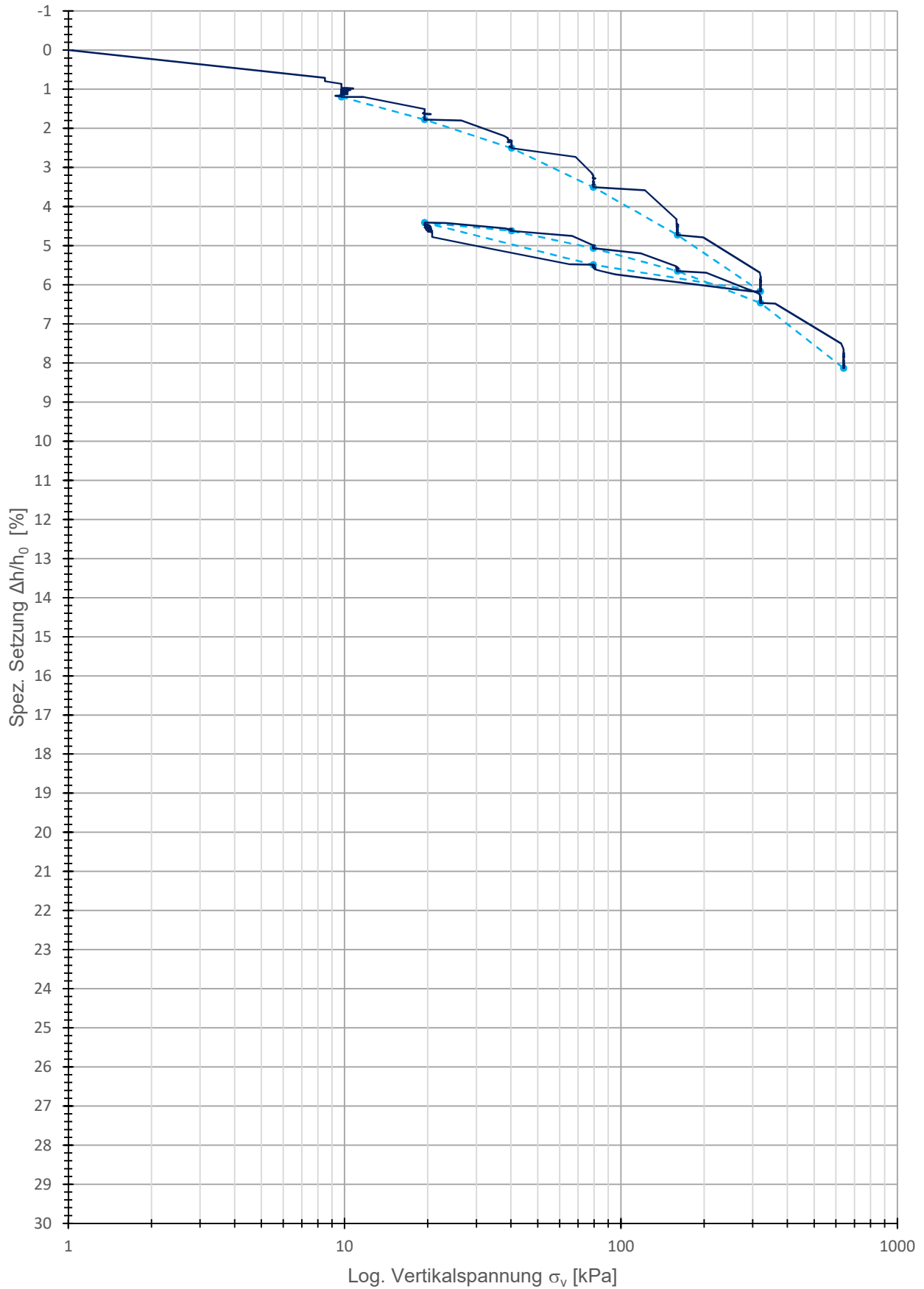
Zeitsetzungskurve

— HIN_44,10-44,50_NP.1



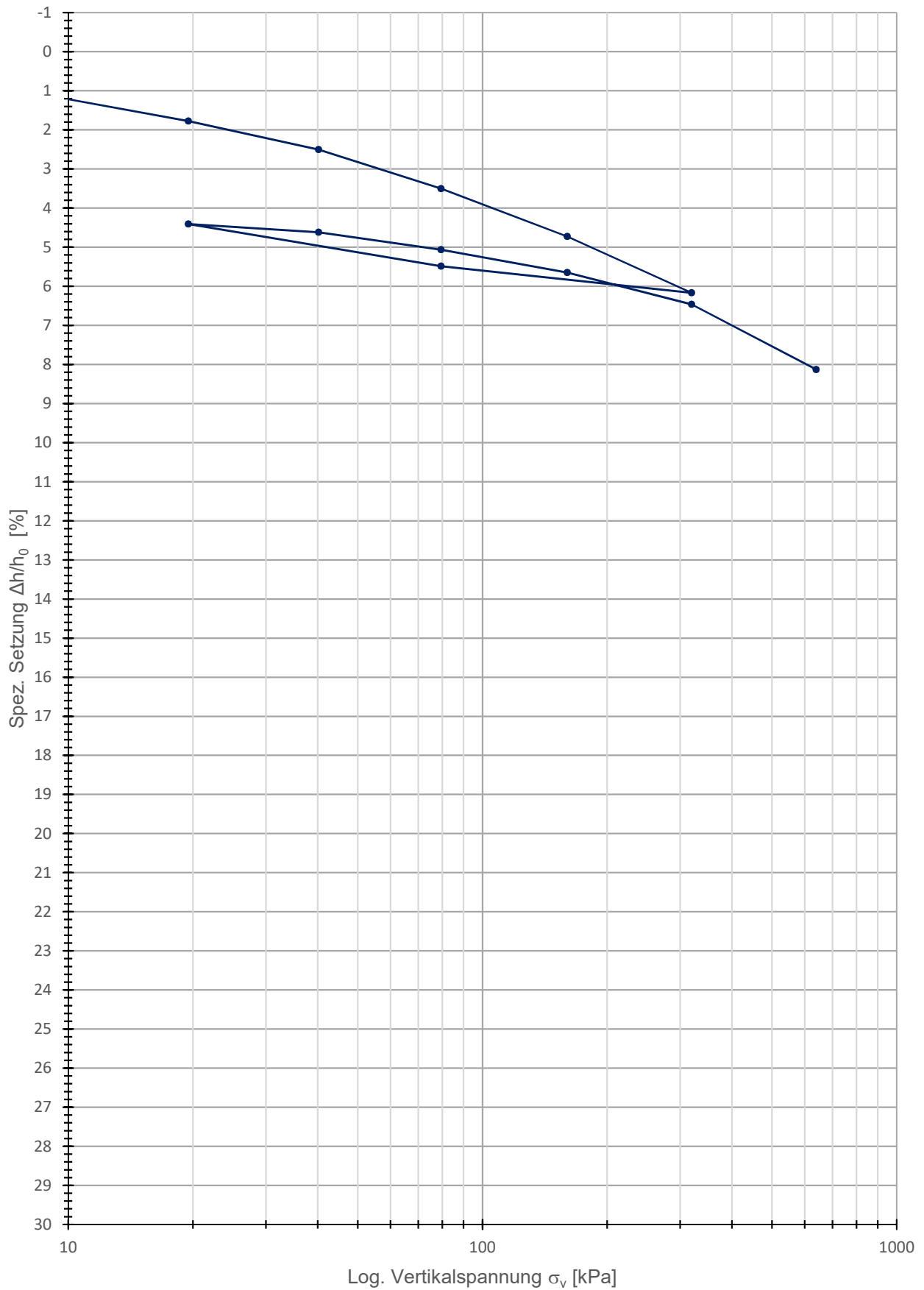
Kompressionsversuch (Roh)

HIN_44,10-44,50_NP.1 HIN_44,10-44,50_NP.1



Kompressionskurve

—●— HIN_44,10-44,50_NP.1



HIN_44,10-44,50_NP.1

Daten_Kotzias

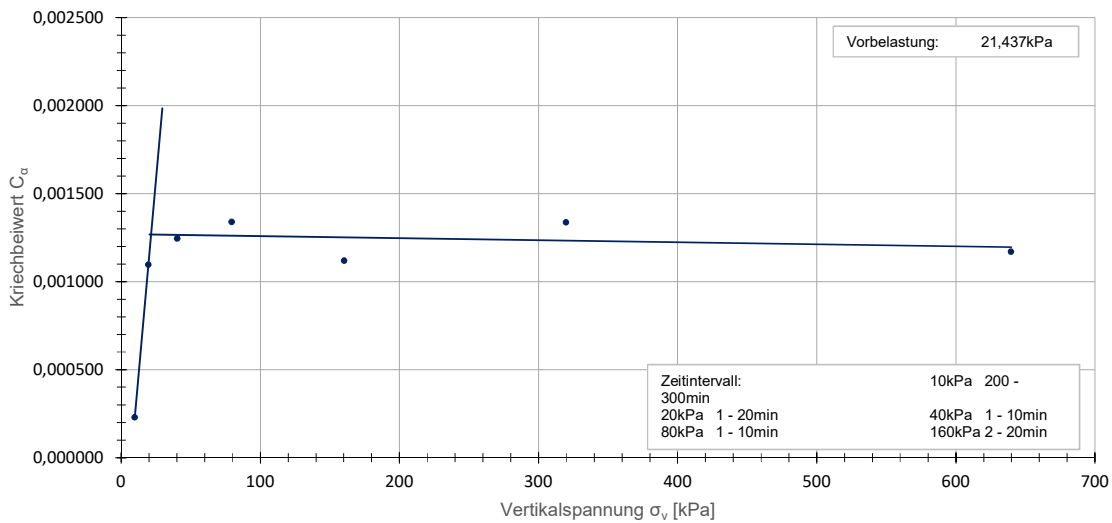
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	9,75	0,000229	200	197,633330	0,813860	300	299,033330	0,813400
2	19,5	0,001096	1	0,933329	0,804780	20	19,099999	0,803400
3	40,25	0,001245	1	0,949999	0,791570	10	9,983329	0,790380
4	79,5	0,001339	1	0,949999	0,774150	10	9,983329	0,772870
5	160,25	0,001118	2	1,949999	0,751780	20	19,099999	0,750400
6	319,75	0,001337	2	1,966669	0,726100	20	19,116669	0,724450
13	639,75	0,001170	4	3,983329	0,690340	20	19,116669	0,688960

Wiederbelastung	0,000089	-0,000637	$i(x)=0,000089x + -0,000637$	0,001268
Erstbelastung	0,000000	0,001271	$j(x)=0x + 0,001271$	0,001268

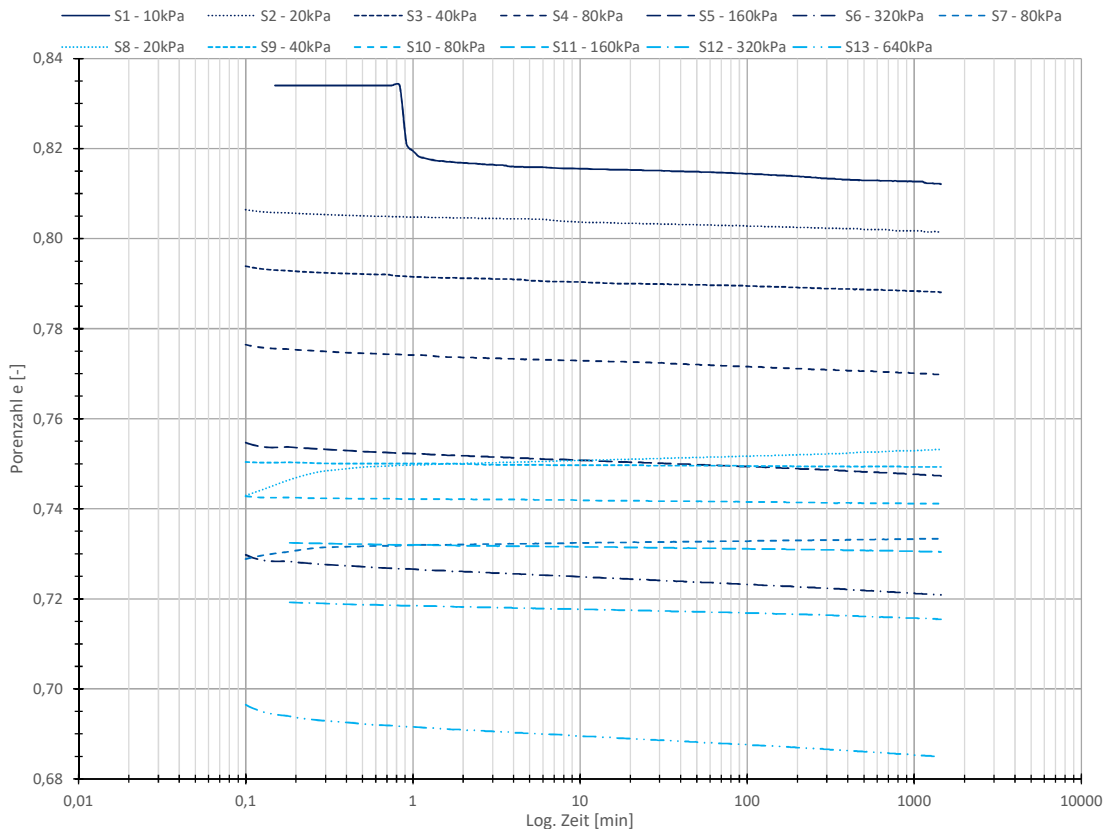
X= 21,437472
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• HIN_44,10-44,50_NP.1



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

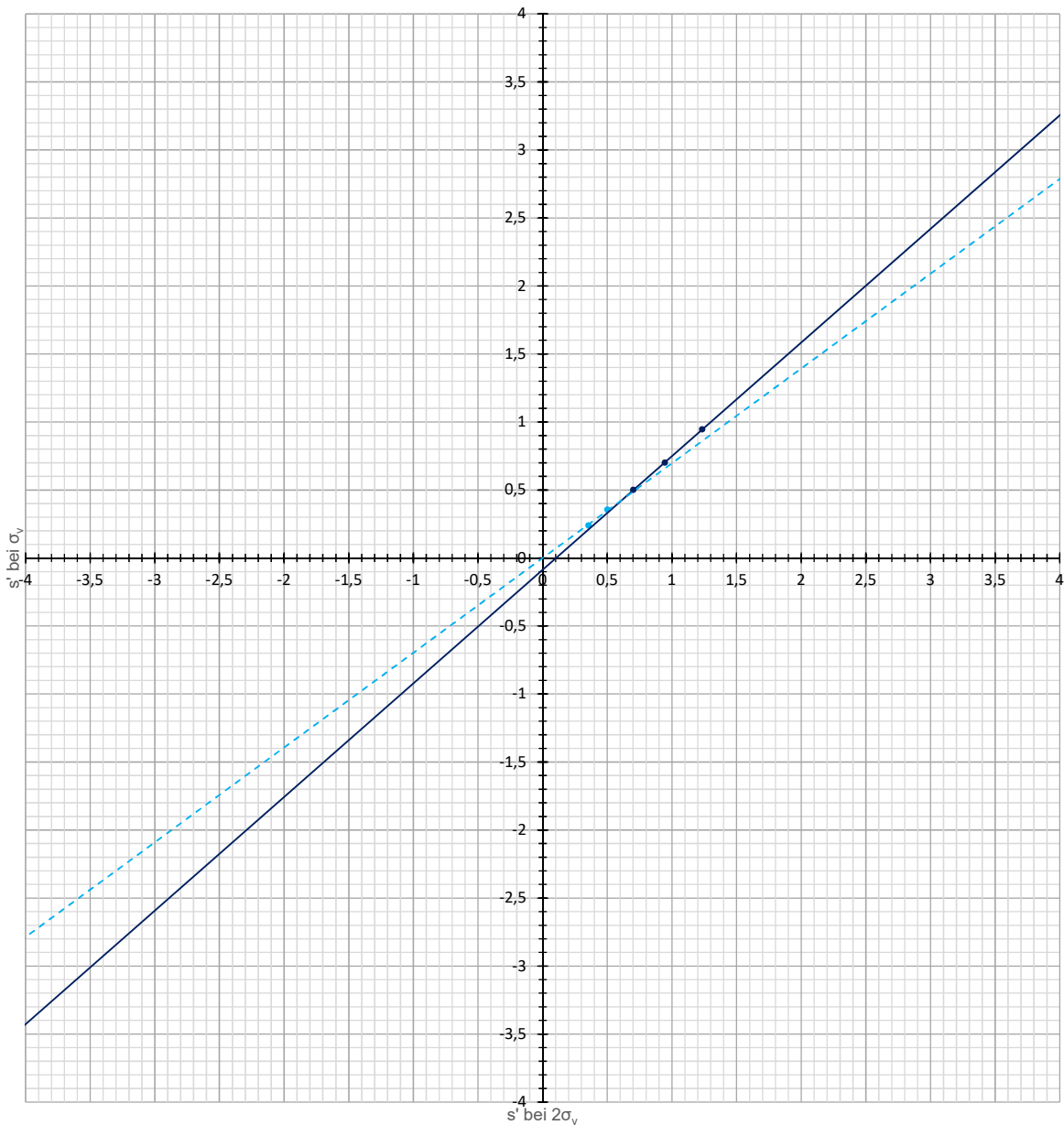
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	9,75	0,239	0,355
2	19,5	0,355	0,501
3	40,25	0,501	0,701
4	79,5	0,701	0,946
5	160,25	0,946	1,234
6	319,75	1,234	
7	79,5	1,098	
8	19,5	0,882	0,924
9	40,25	0,924	1,013
10	79,5	1,013	1,13
11	160,25	1,13	1,293
12	320	1,293	1,626
13	639,75	1,626	#NV

Wiederbelastung	0,696769	0,000000	$f(x)=0,697x$	0,433484
Erstbelastung	0,835355	-0,086219	$g(x)=0,835x + -0,086$	0,433484
			X=	0,622135
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,433484
Vorbelastung	84,051724	-10,338362	$h(x)=84,052x + -10,338$	26,096733

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,433 mm
 Vorbelastung: 26,097kPa

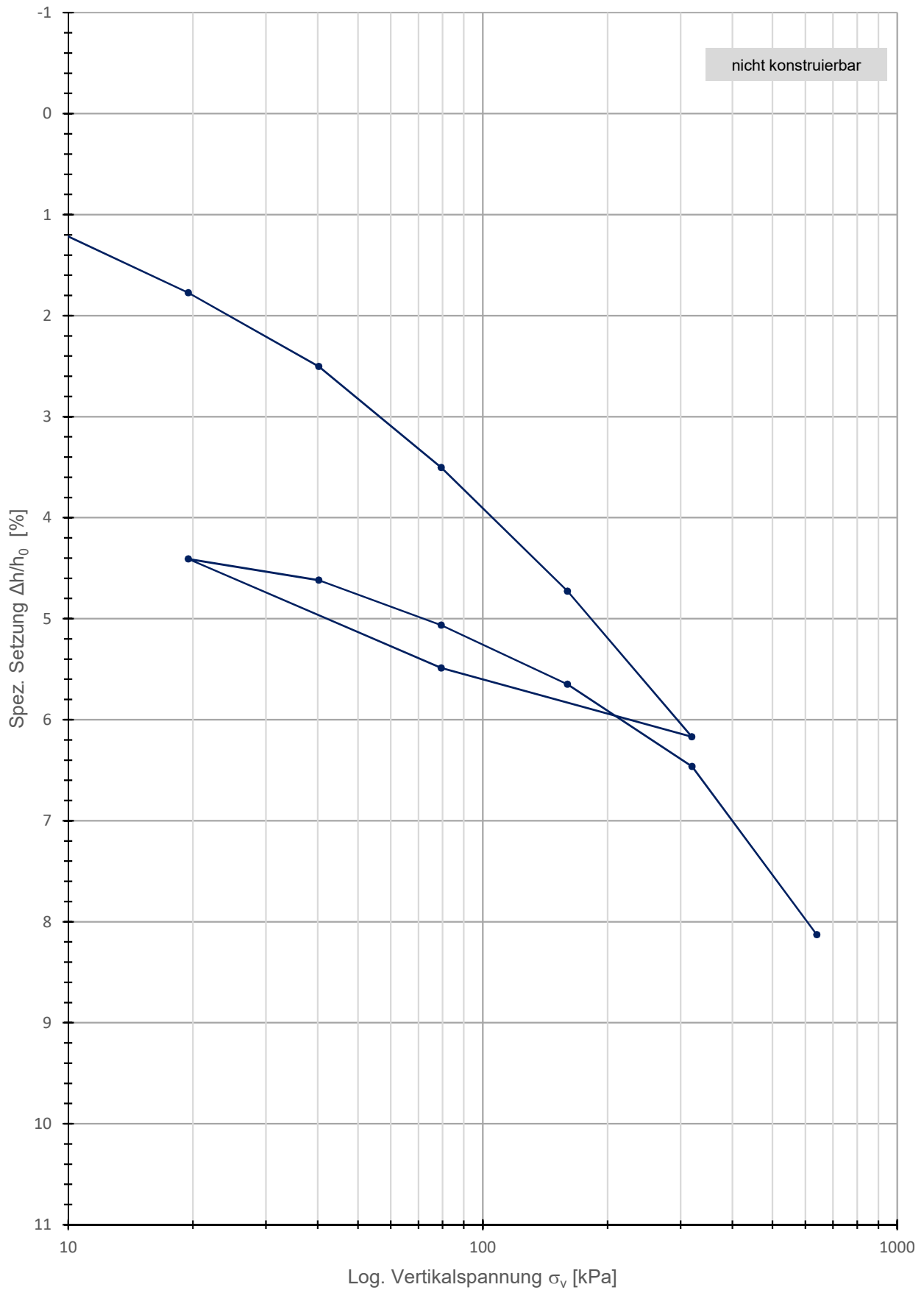
Kotzias - Setzung

- Erstbelastung
- Wiederbelastung
- Linear (Erstbelastung)
- - - Linear (Wiederbelastung)



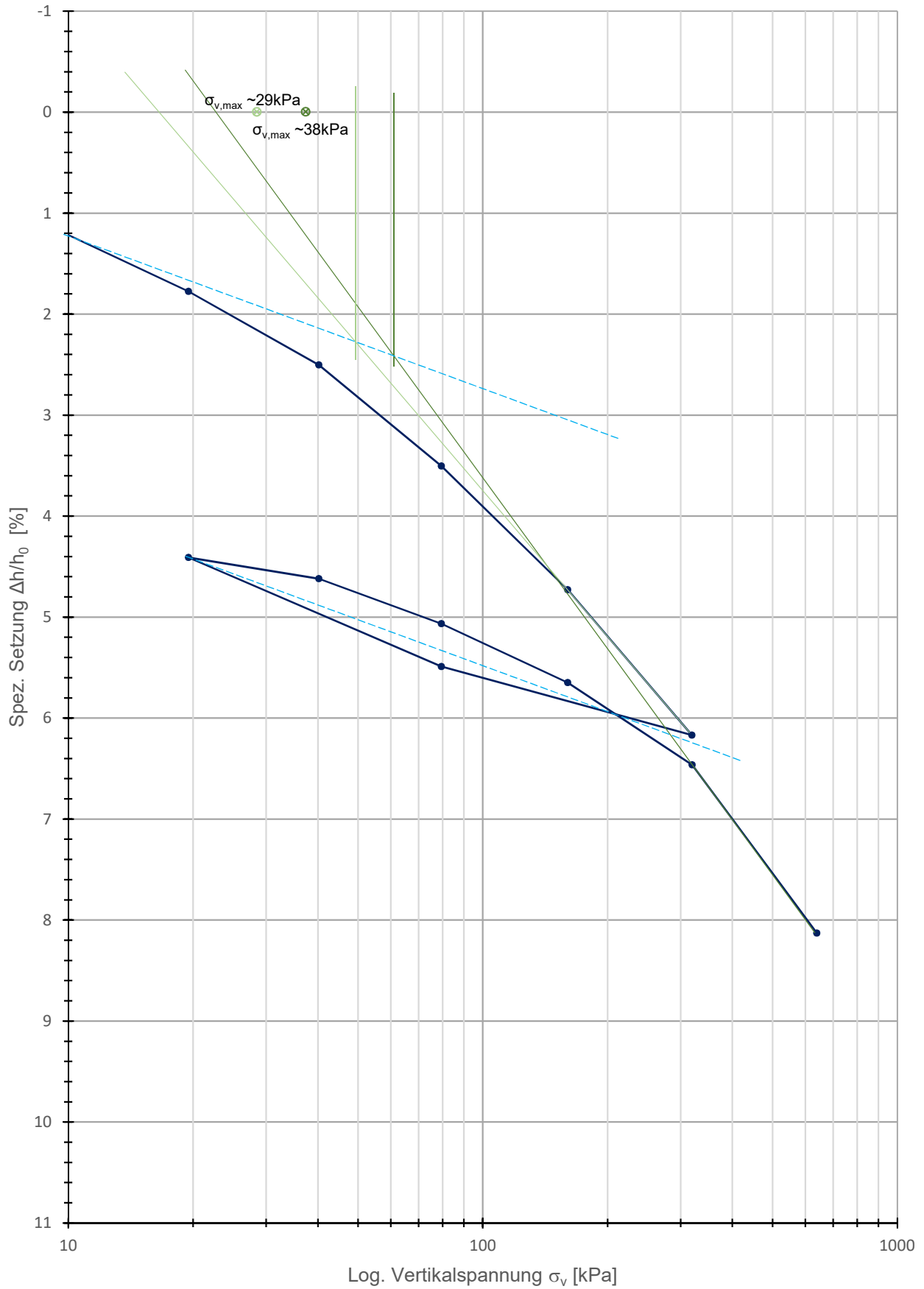
Casagrande

—●— HIN_44,10-44,50_NP.1



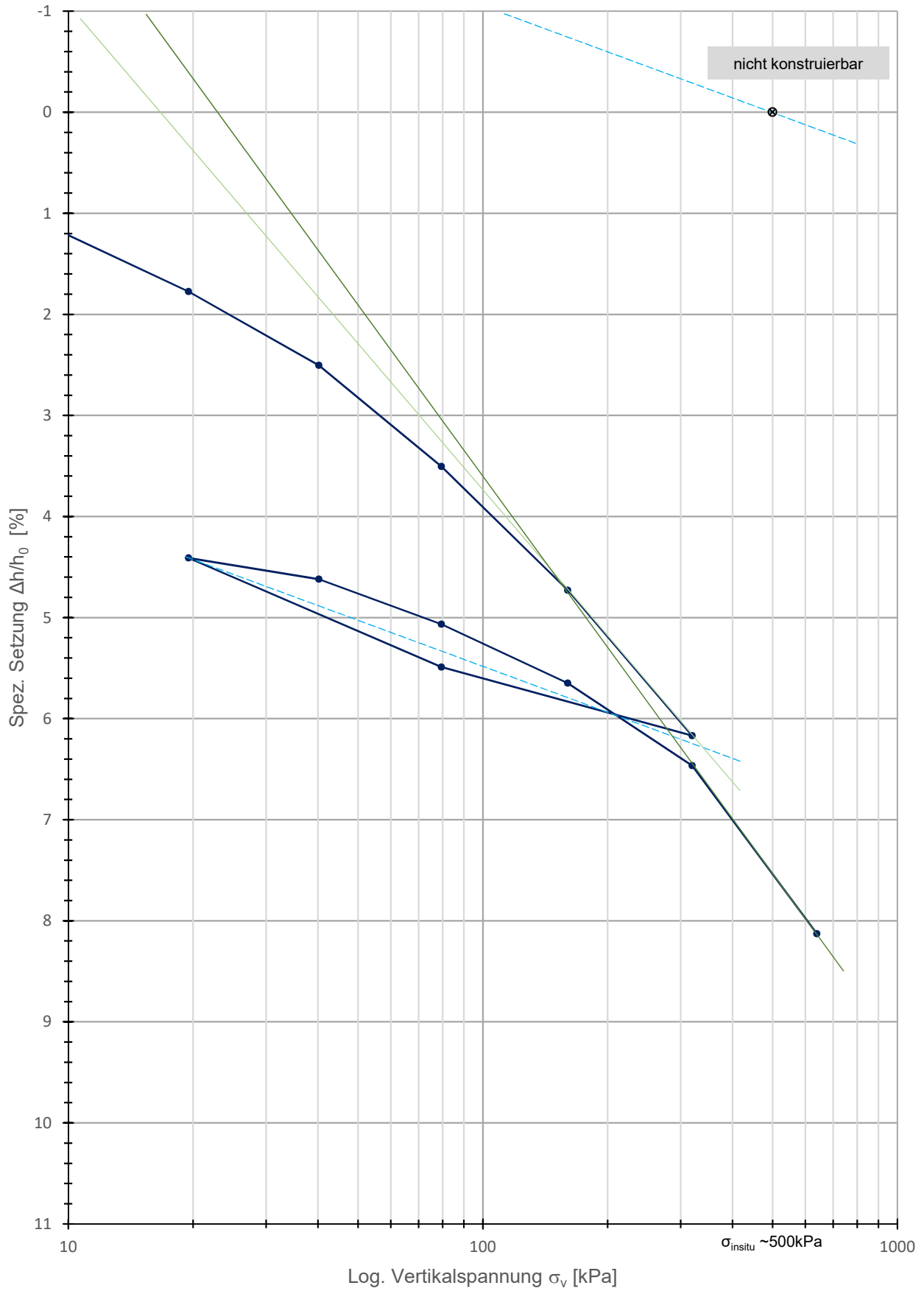
Van Zelst

—●— HIN_44,10-44,50_NP.1

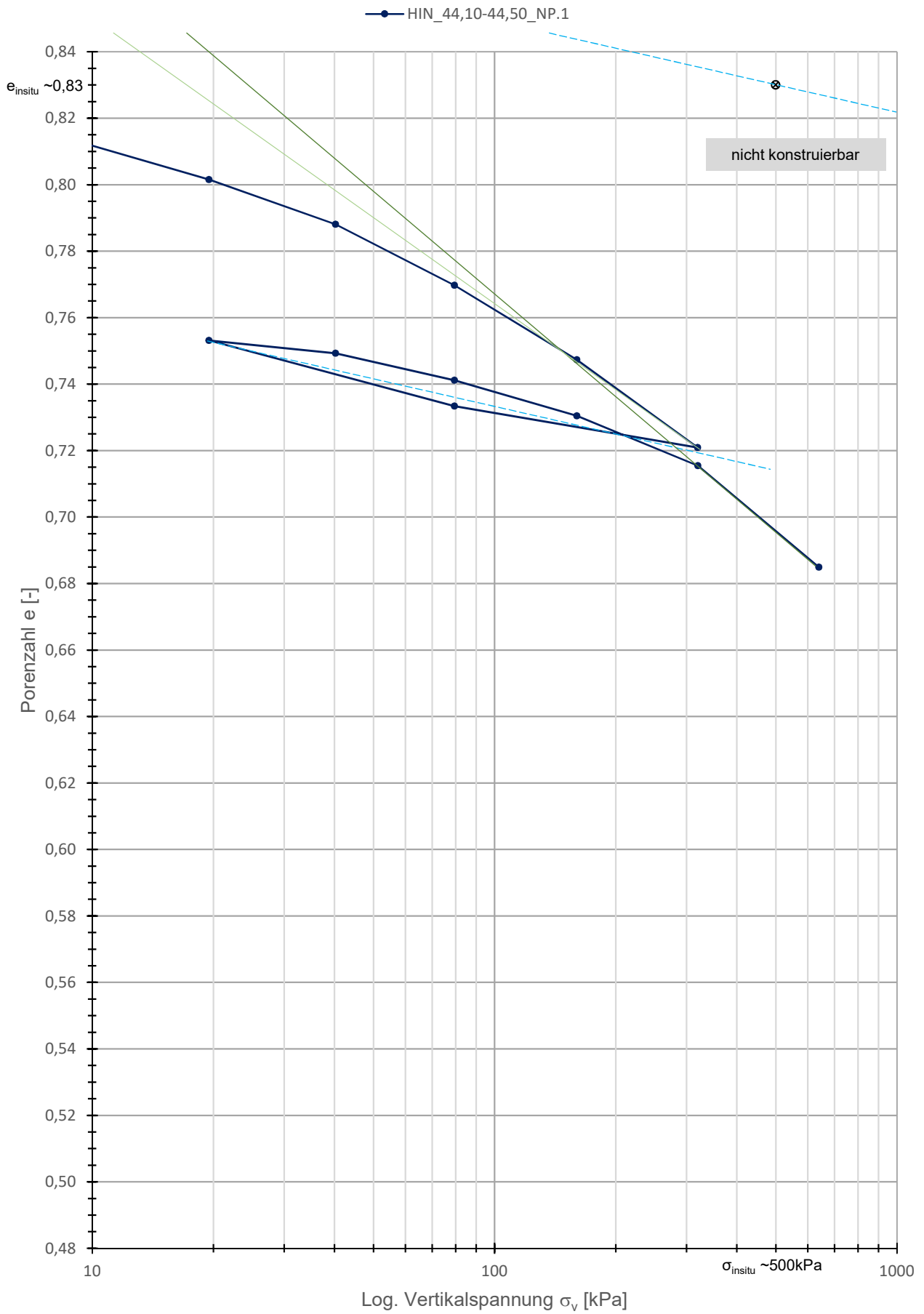


Rutledge, Hvorslev, Schmertmann

—●— HIN_44,10-44,50_NP.1



Kompression- & Schwellbeiwert



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch		Muhr (HIN)	12.07.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.		44,10 - 44,50	NP 2
Bezeichnung Ödometerring		Ö-II	
Durchmesser Ödometerring	d [cm]	7,135	
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h [cm]	2,010	0,00
Bezeichnung Kernstechzylinder		KSZ-V	
Korndichte	ρ_s [g/cm ³]	2,75	
Fließgrenze	w_L [%]	40,40	
Setzung gesamt	$s_{ges.}$ [mm]	1,846	
Volumen Ödometerring	V_{vorher} [cm ³]	80,366	
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$ [cm ³]	72,985	
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern} [cm ³]	5,592	

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung		Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$ [g]	111,702	111,702	5,957
Tara Behälter	T_B [g]	94,223	94,223	14,220
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$ [g]	365,506	358,294	31,336
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$ [g]	330,623	330,623	28,945
Masse feucht	m_f [g]	159,581	152,369	11,159
Dichte feucht	ρ_f [g/cm ³]	1,99	2,09	2,00
Masse trocken	m_d [g]	124,698	124,698	8,768
Dichte trocken	ρ_d [g/cm ³]	1,55	1,71	1,57
Wassergehalt	w [%]	27,97	22,19	27,27
Porenanteil	n [%]	43,58	37,87	42,98
Porenzahl	e [-]	0,77	0,61	0,75
Sättigungsgrad	S_r [-]	1,00*	1,00*	1,00*

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m [g]	0,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen} [%]	0,000
Wassergehalt einbau	w_{einbau} [%]	0,000

geologische Vorkonolidationsspannung

		160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$ [kPa]	500	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$ [kPa]	23	35
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde [kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman [kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$ [kPa]	25	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$ [kPa]	227	

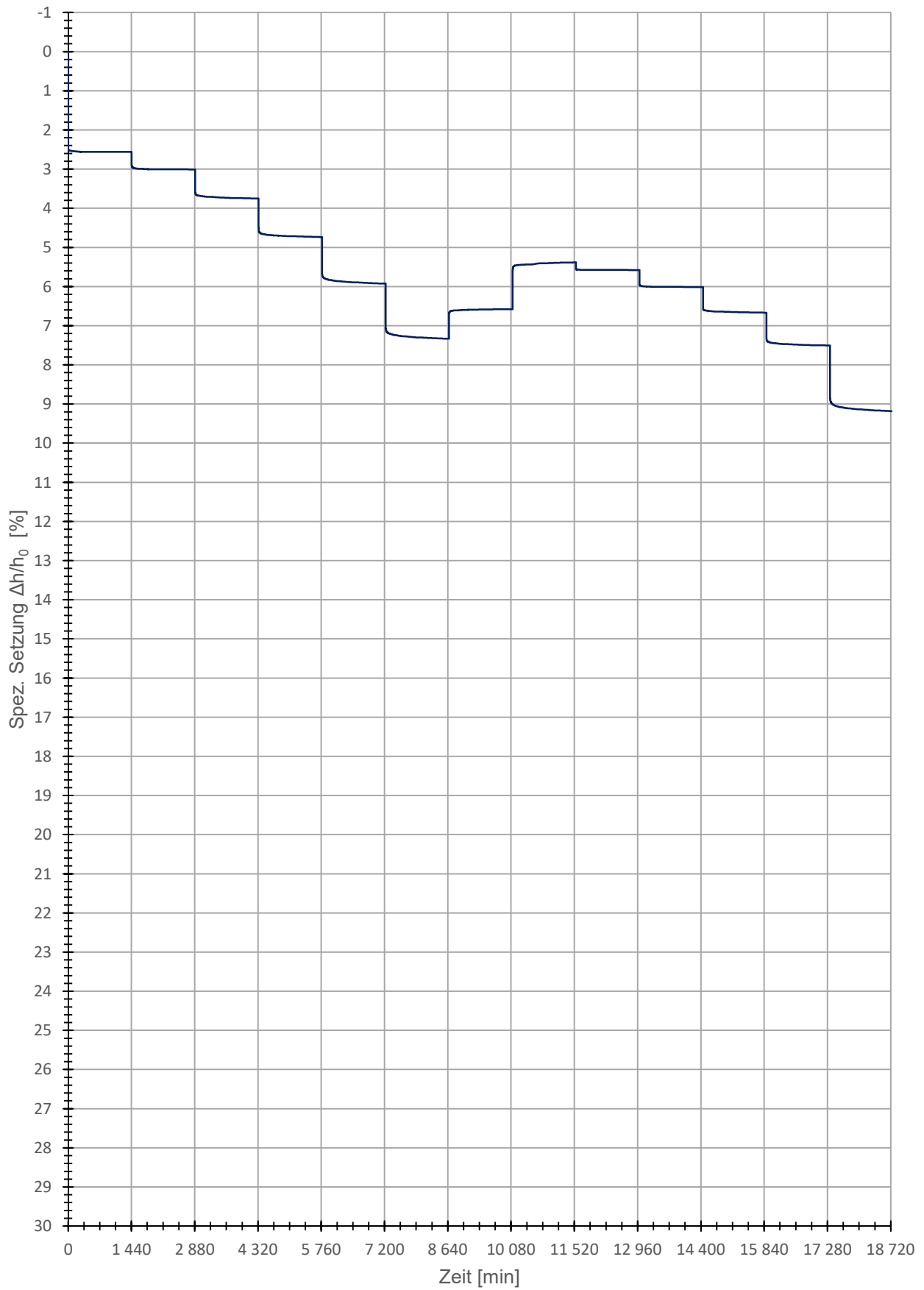
geologische Vorkonolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$ [kPa]	20,000
---------------------------------	--------------------------------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

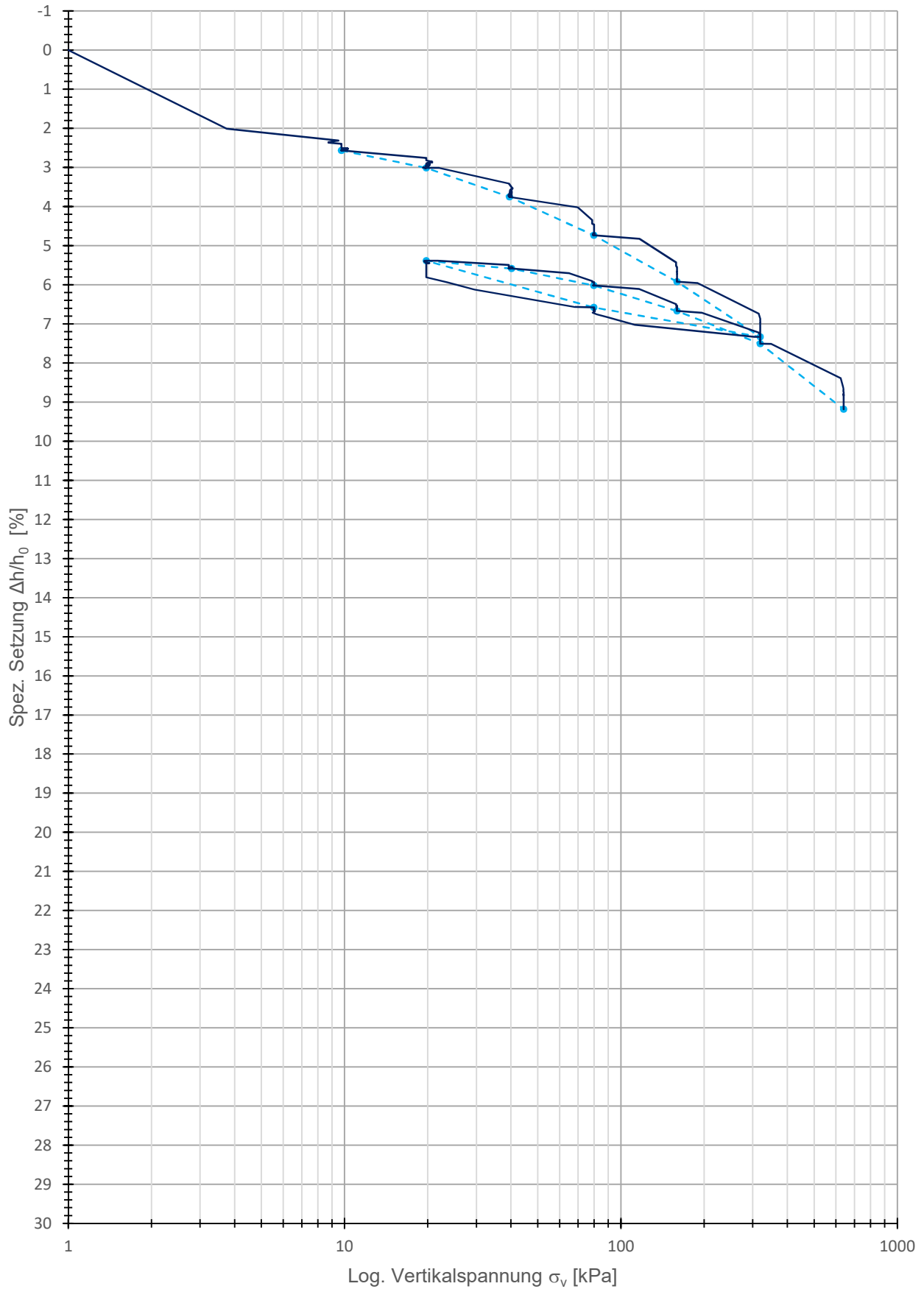
Zeitsetzungskurve

— HIN_44,10-44,50_NP.2



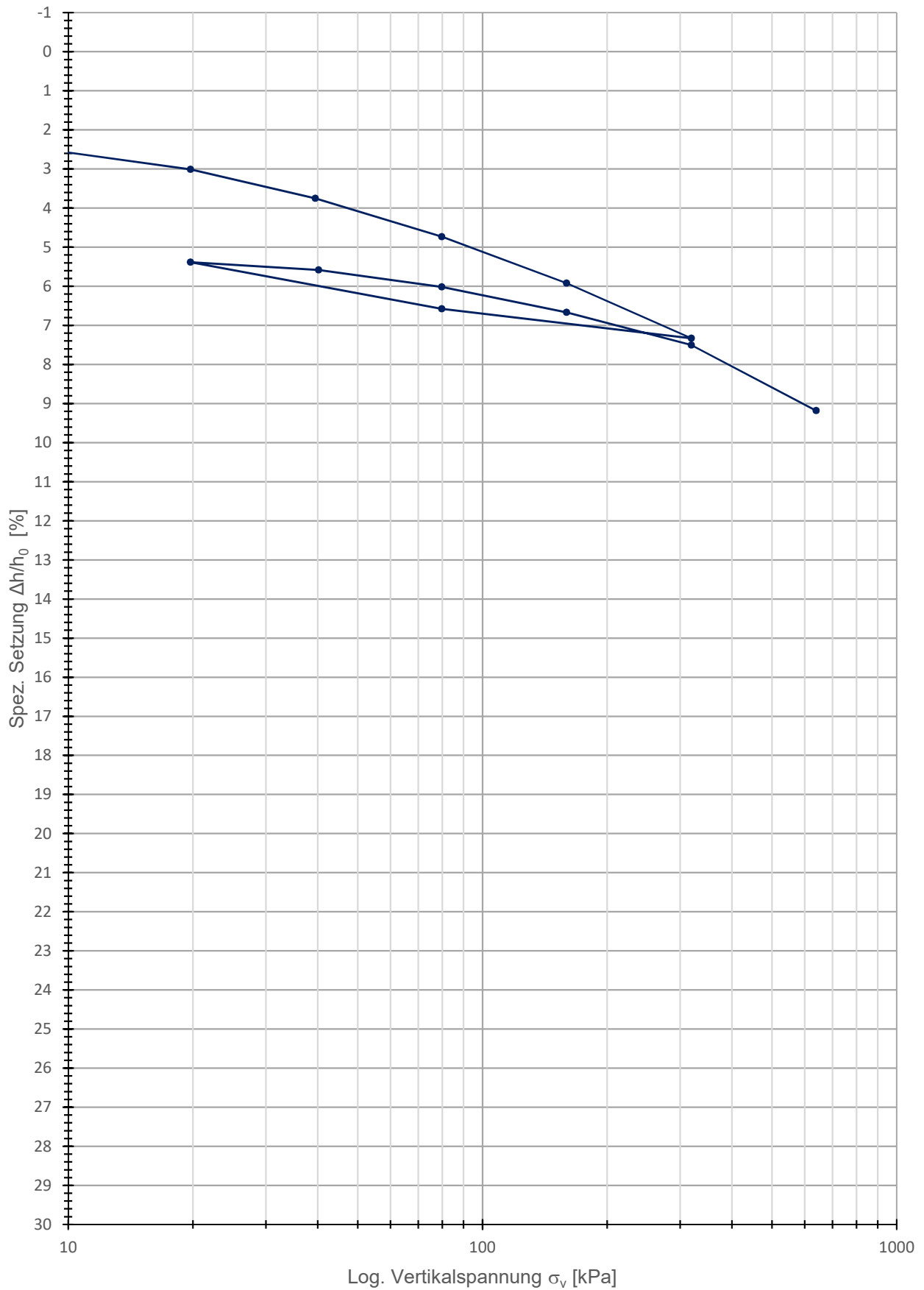
Kompressionsversuch (Roh)

HIN_44,10-44,50_NP.2 HIN_44,10-44,50_NP.2



Kompressionskurve

—●— HIN_44,10-44,50_NP.2



HIN_44,10-44,50_NP.2

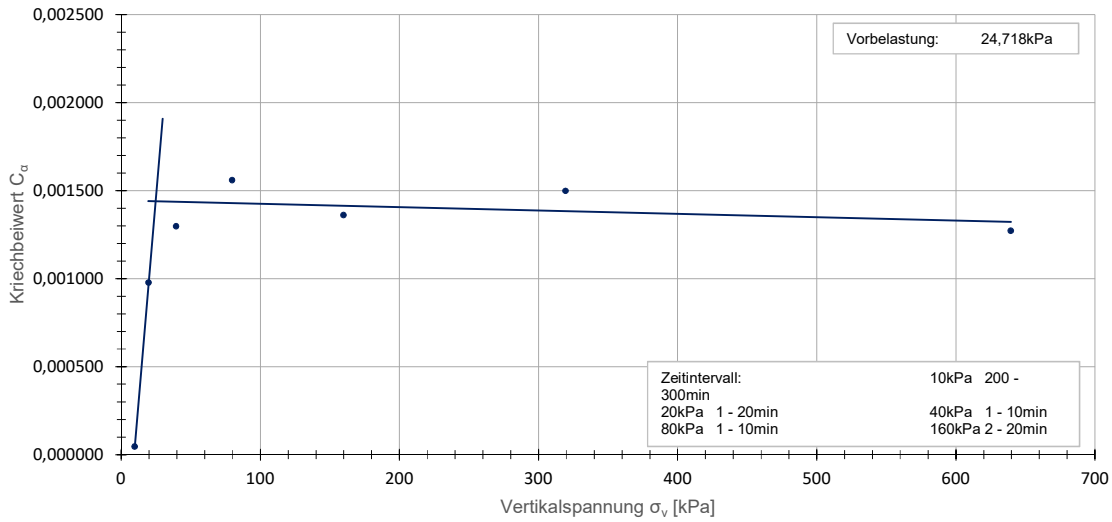
Daten_Kotzias

Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]		e [-]	oberer Wert [2]		e [-]
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]		Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	
1	9,75	0,000045	200	197,633330	0,727110	300	299,033330	0,727020
2	19,75	0,000977	1	0,949999	0,721110	20	19,116669	0,719880
3	39,5	0,001297	1	0,949999	0,709120	10	9,983329	0,707880
4	79,75	0,001559	1	0,949999	0,692360	10	9,983329	0,690870
5	159,75	0,001361	2	1,966669	0,672000	20	19,116669	0,670320
6	319,5	0,001498	2	1,949999	0,647570	20	19,116669	0,645720
13	639,5	0,001271	4	3,983329	0,615210	20	19,116669	0,613710

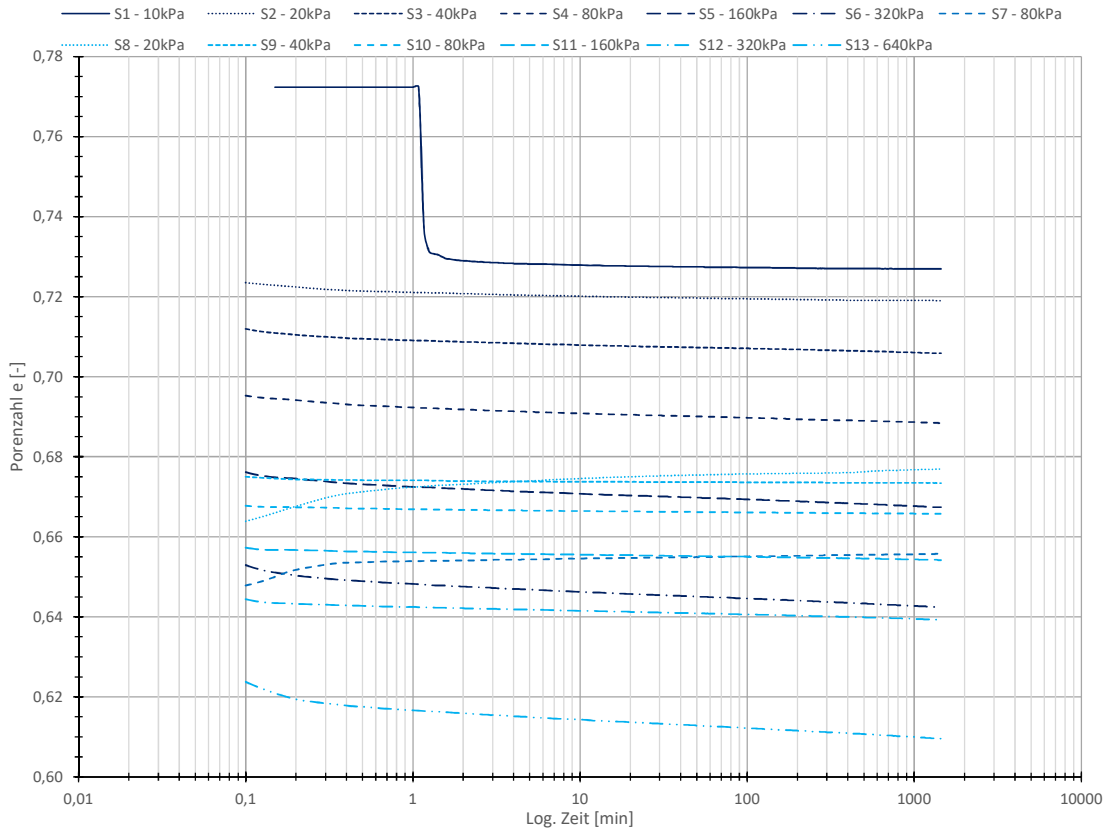
Wiederbelastung	0,000093	-0,000864	$i(x)=0,000093x + -0,000864$	0,001440
Erstbelastung	0,000000	0,001444	$j(x)=0x + 0,001444$	0,001440
			X=	24,718440
			Differenz	0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• HIN_44,10-44,50_NP.2



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

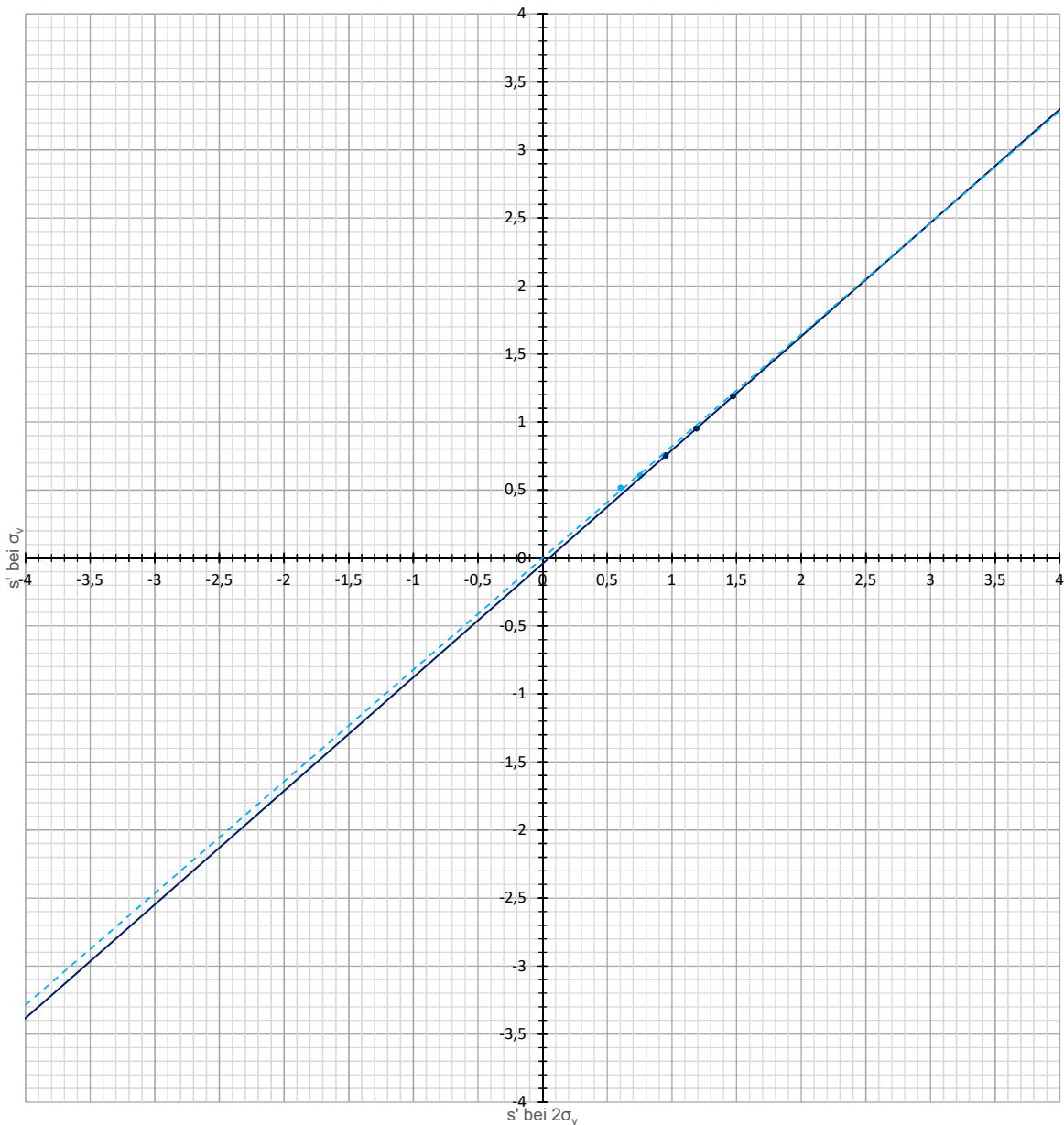
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	9,75	0,515	0,605
2	19,75	0,605	0,754
3	39,5	0,754	0,952
4	79,75	0,952	1,19
5	159,75	1,19	1,474
6	319,5	1,474	
7	79,75	1,322	
8	19,75	1,082	1,122
9	40,25	1,122	1,209
10	79,75	1,209	1,34
11	159,75	1,34	1,509
12	319,5	1,509	1,846
13	639,5	1,846	#NV

Wiederbelastung	0,821521	0,000000	$f(x)=0,822x$	2,469133
Erstbelastung	0,835338	-0,041527	$g(x)=0,835x + -0,042$	2,469133
			X=	3,005563
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	2,469133
Vorbelastung	111,111111	-47,472222	$h(x)=111,111x + -47,472$	226,875892

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 2,469 mm
 Vorbelastung: 226,876kPa

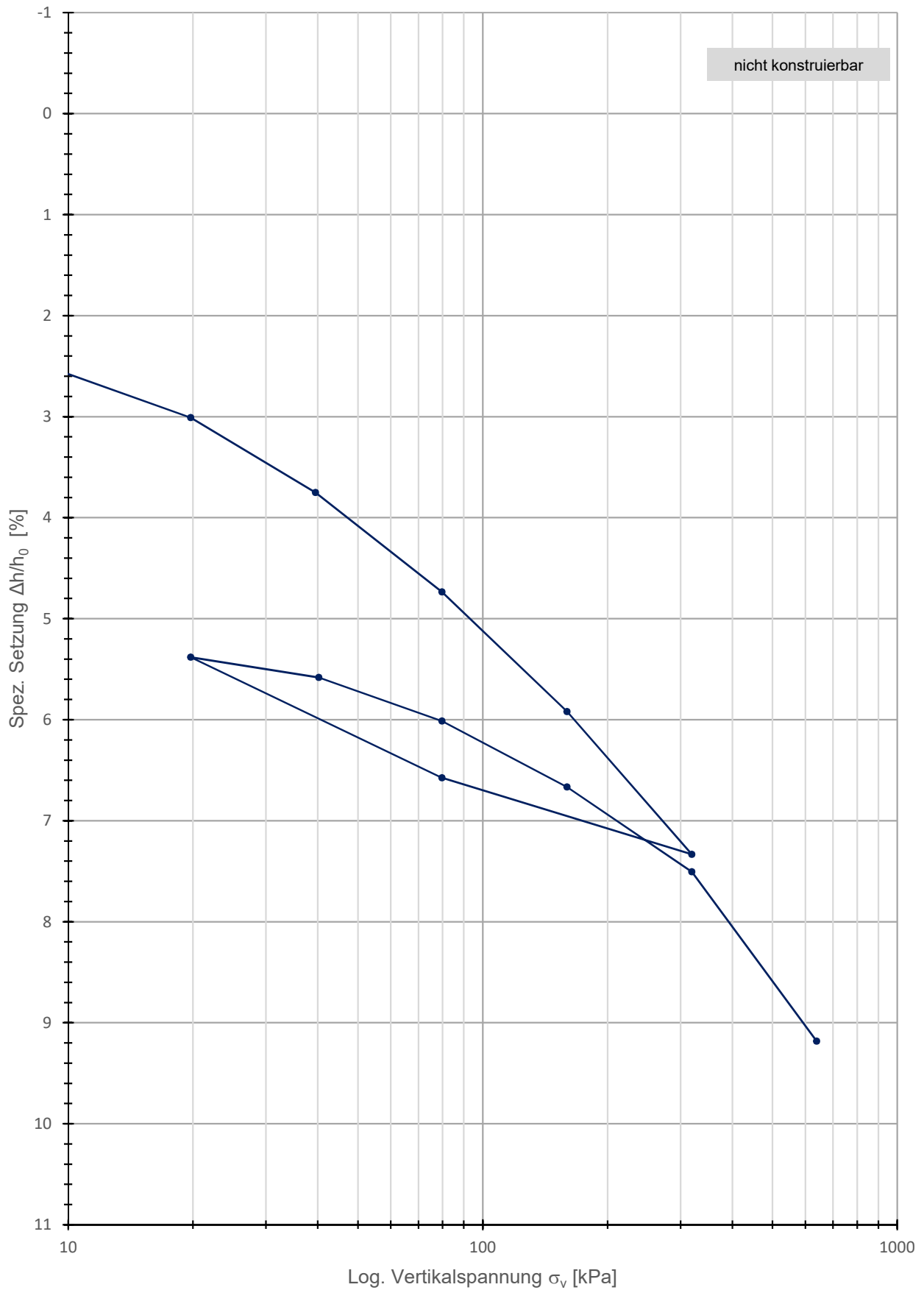
Kotzias - Setzung

- Erstbelastung
- Wiederbelastung
- Linear (Erstbelastung)
- - - Linear (Wiederbelastung)



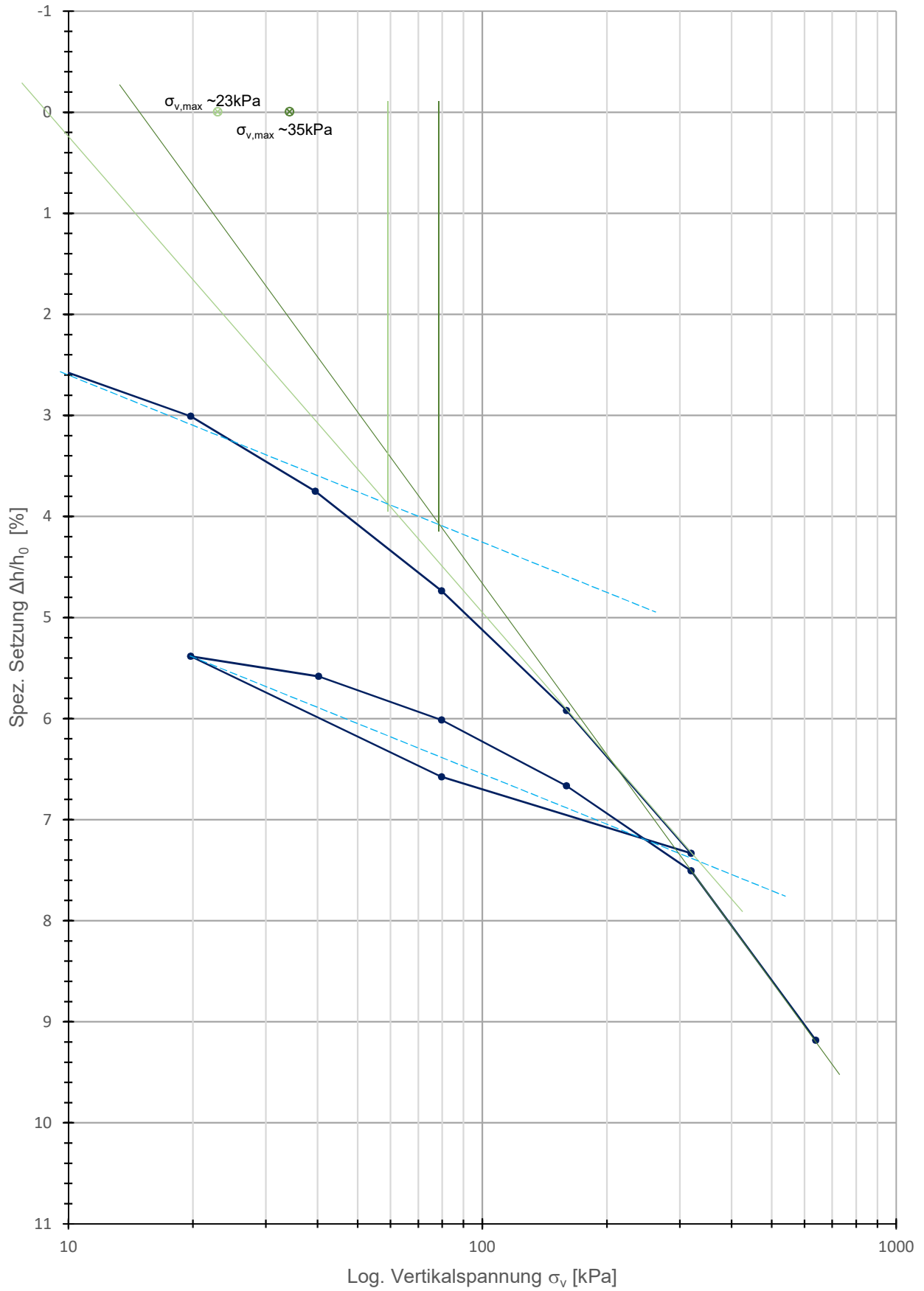
Casagrande

—●— HIN_44,10-44,50_NP.2



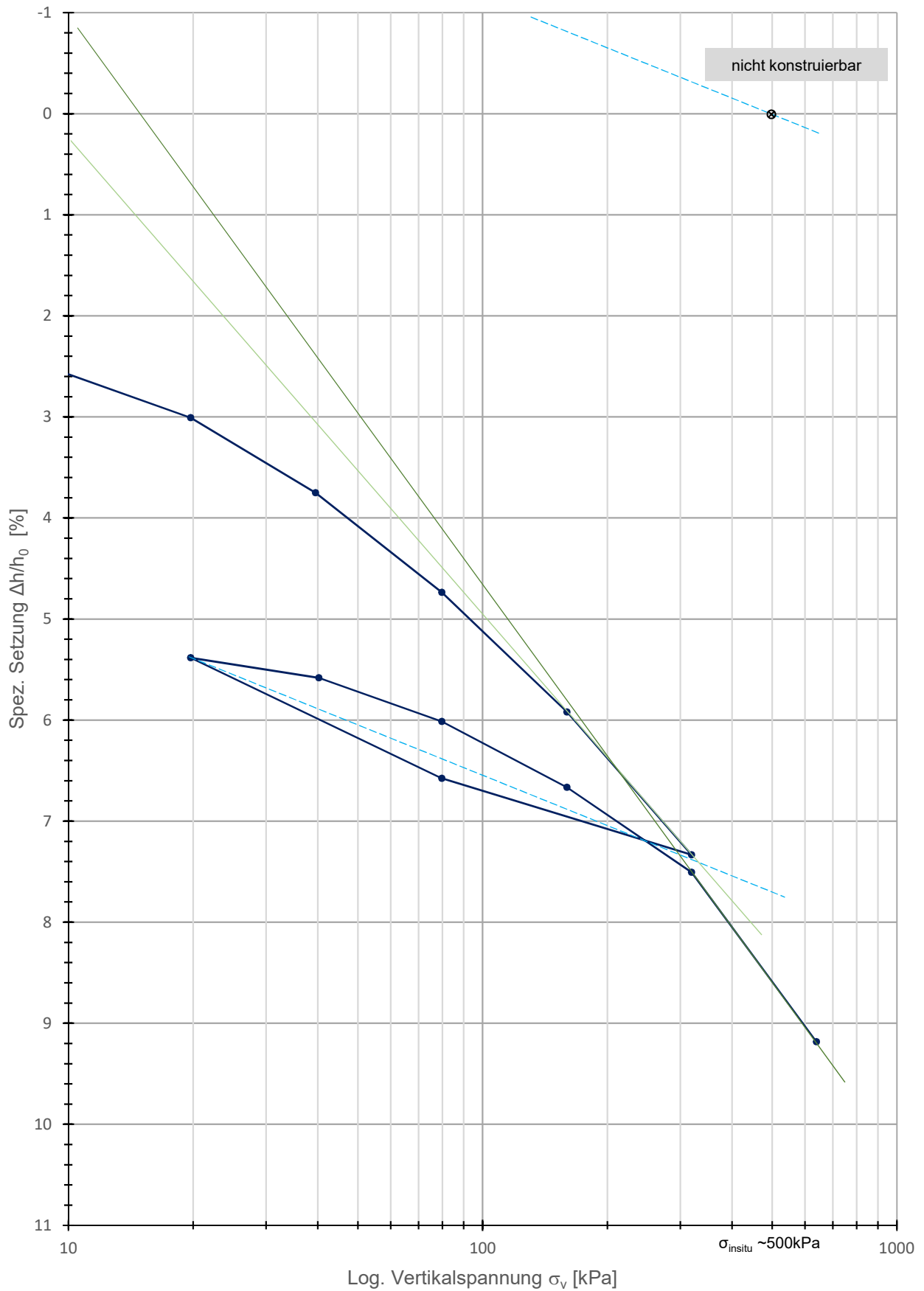
Van Zelst

—●— HIN_44,10-44,50_NP.2



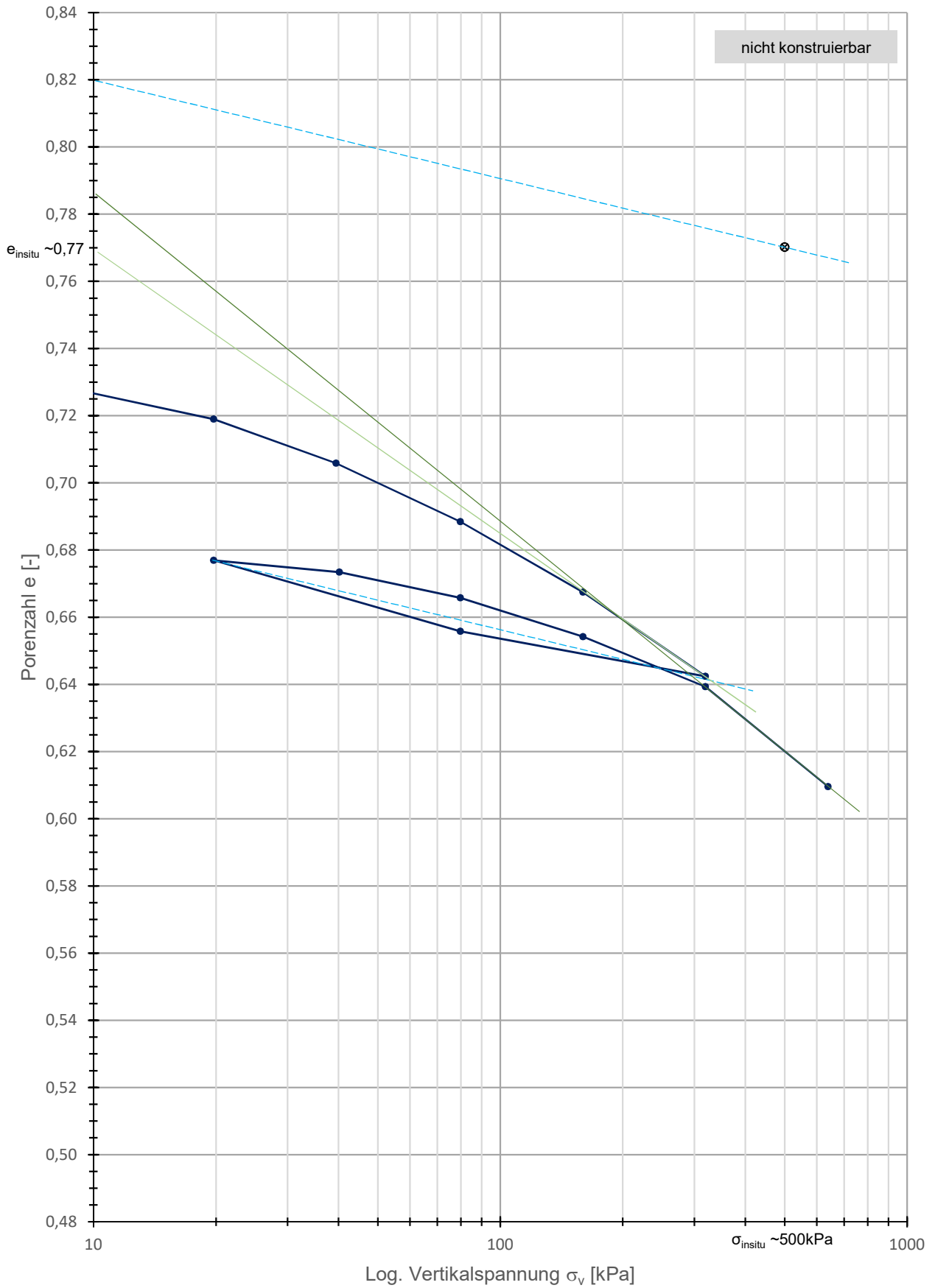
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann

—●— HIN_44,10-44,50_NP.2



Kompression- & Schwellbeiwert

—●— HIN_44,10-44,50_NP.2



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch	Muhr (HIN)	12.07.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.	44,10 - 44,50	NP 3
Bezeichnung Ödometerring	Ö-III	
Durchmesser Ödometerring d [cm]	7,133	
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation h [cm]	2,003	0,00
Bezeichnung Kernstechzylinder	KSZ-IV	
Korndichte ρ_s [g/cm ³]	2,76	
Fließgrenze w_L [%]	40,40	
Setzung gesamt $s_{ges.}$ [mm]	1,418	
Volumen Ödometerring V_{vorher} [cm ³]	80,042	
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$ $V_{nachher}$ [cm ³]	74,375	
Volumen Kernstechzylinder V_{Kern} [cm ³]	5,551	

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung	Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder $T_{\text{Ö}}$ [g]	110,112	110,112	5,984
Tara Behälter T_B [g]	131,213	131,213	13,684
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht $T_B+T_{\text{Ö}}+m_f$ [g]	399,937	395,101	30,594
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken $T_B+T_{\text{Ö}}+m_d$ [g]	365,811	365,811	28,256
Masse feucht m_f [g]	158,612	153,776	10,926
Dichte feucht ρ_f [g/cm ³]	1,98	2,07	1,97
Masse trocken m_d [g]	124,486	124,486	8,588
Dichte trocken ρ_d [g/cm ³]	1,56	1,67	1,55
Wassergehalt w [%]	27,41	23,53	27,22
Porenanteil n [%]	43,65	39,36	43,95
Porenzahl e [-]	0,77	0,65	0,78
Sättigungsgrad S_r [-]	0,98	1,00*	0,96

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse m [g]	0,000
Wassergehalt mischen (1,75x w_L) w_{mischen} [%]	0,000
Wassergehalt einbau w_{einbau} [%]	0,000

geologische Vorkonsolidationsspannung

	160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ" $\sigma_{\text{in situ}}$ [kPa]	500	
Casagrande $\sigma_v, \text{Casagrande}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst $\sigma_v, \text{Van Zelst}$ [kPa]	39	47
Burmister $\sigma_v, \text{Burmister}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Ohde σ_v, Ohde [kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann $\sigma_v, \text{R,H,S}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert σ_v, Bauman [kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata $\sigma_v, \text{M,S}$ [kPa]	23	
Kotzias $\sigma_v, \text{Kotzias}$ [kPa]	27	

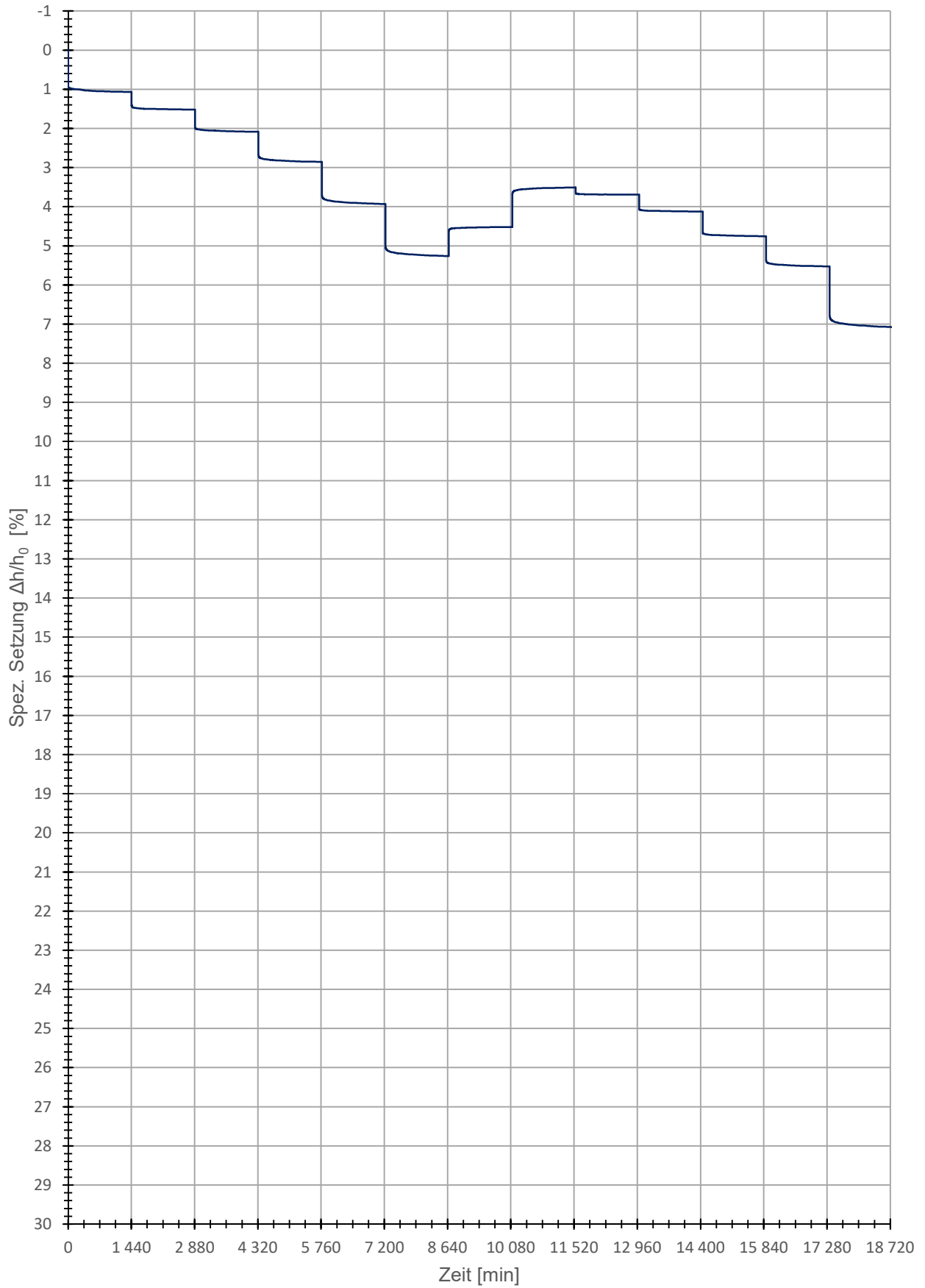
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp. $\sigma_{v, \text{max}}$ [kPa]	20,000
---	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

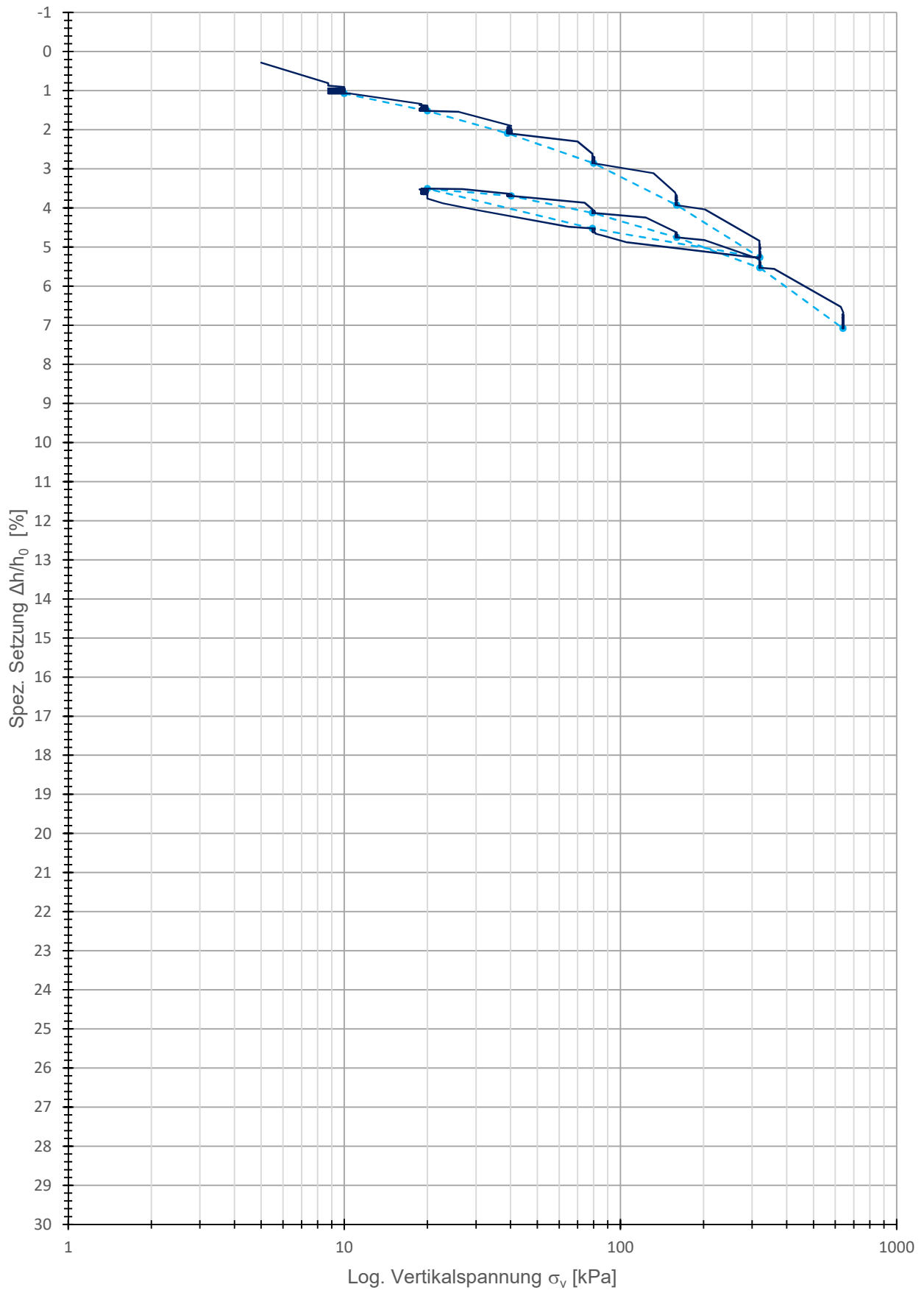
Zeitsetzungskurve

— HIN_44,10-44,50_NP.3



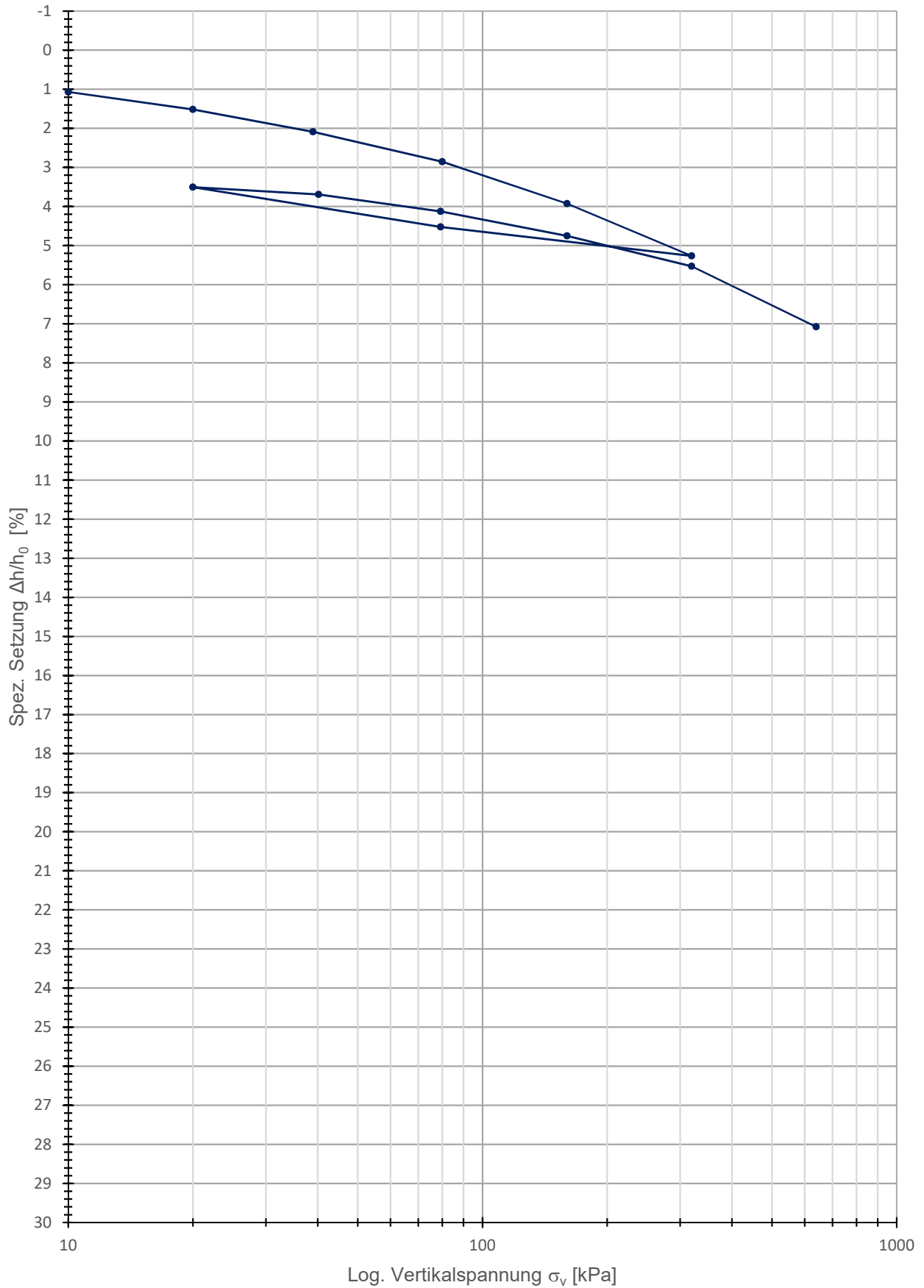
Kompressionsversuch (Roh)

HIN_44,10-44,50_NP.3 HIN_44,10-44,50_NP.3



Kompressionskurve

—● HIN_44,10-44,50_NP.3



HIN_44,10-44,50_NP.3

Daten_Kotzias

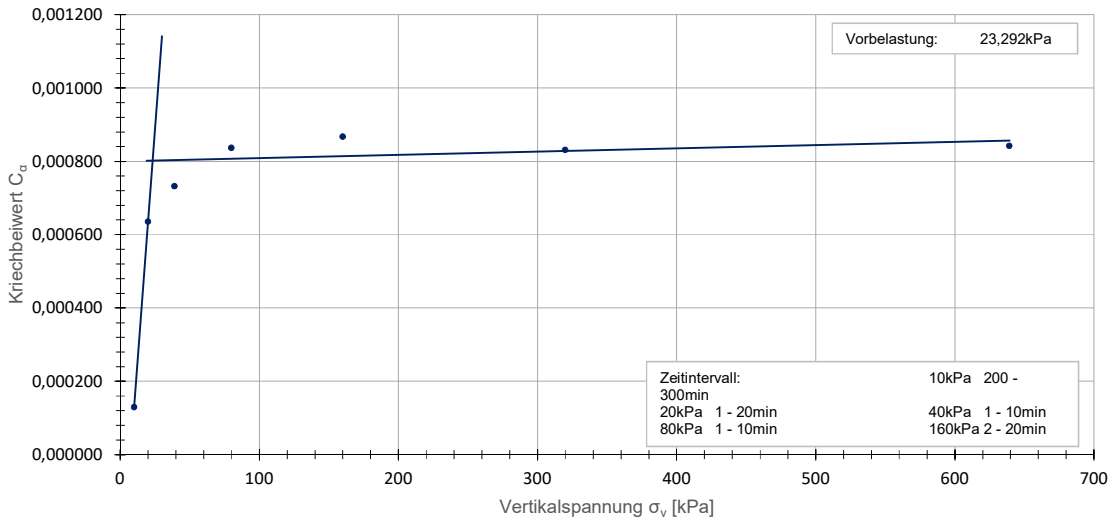
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	10	0,000130	200	197,633330	0,756890	300	299,033330	0,756630
2	20	0,000635	1	0,949999	0,749630	20	19,116669	0,748830
3	39	0,000732	1	0,933329	0,739790	10	9,983329	0,739090
4	80	0,000836	1	0,933329	0,727130	10	9,983329	0,726330
5	160	0,000867	2	1,966669	0,708700	20	19,116669	0,707630
6	320	0,000831	4	3,983329	0,685400	20	19,099999	0,684420
13	639,25	0,000842	5	4,933329	0,653850	20	19,116669	0,652880

Wiederbelastung	0,000051	-0,000376	$i(x)=0,000051x + -0,000376$	0,000802
Erstbelastung	0,000000	0,000800	$j(x)=0x + 0,0008$	0,000802

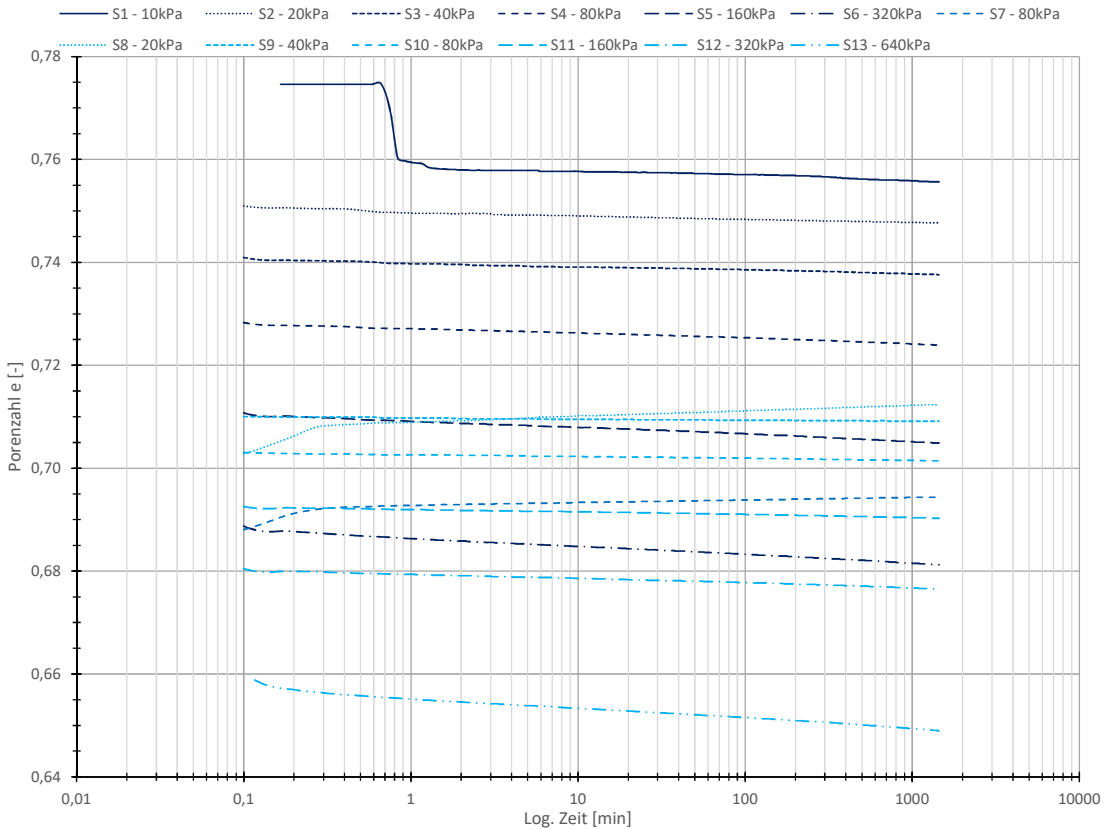
X= 23,291613
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• HIN_44,10-44,50_NP.3



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

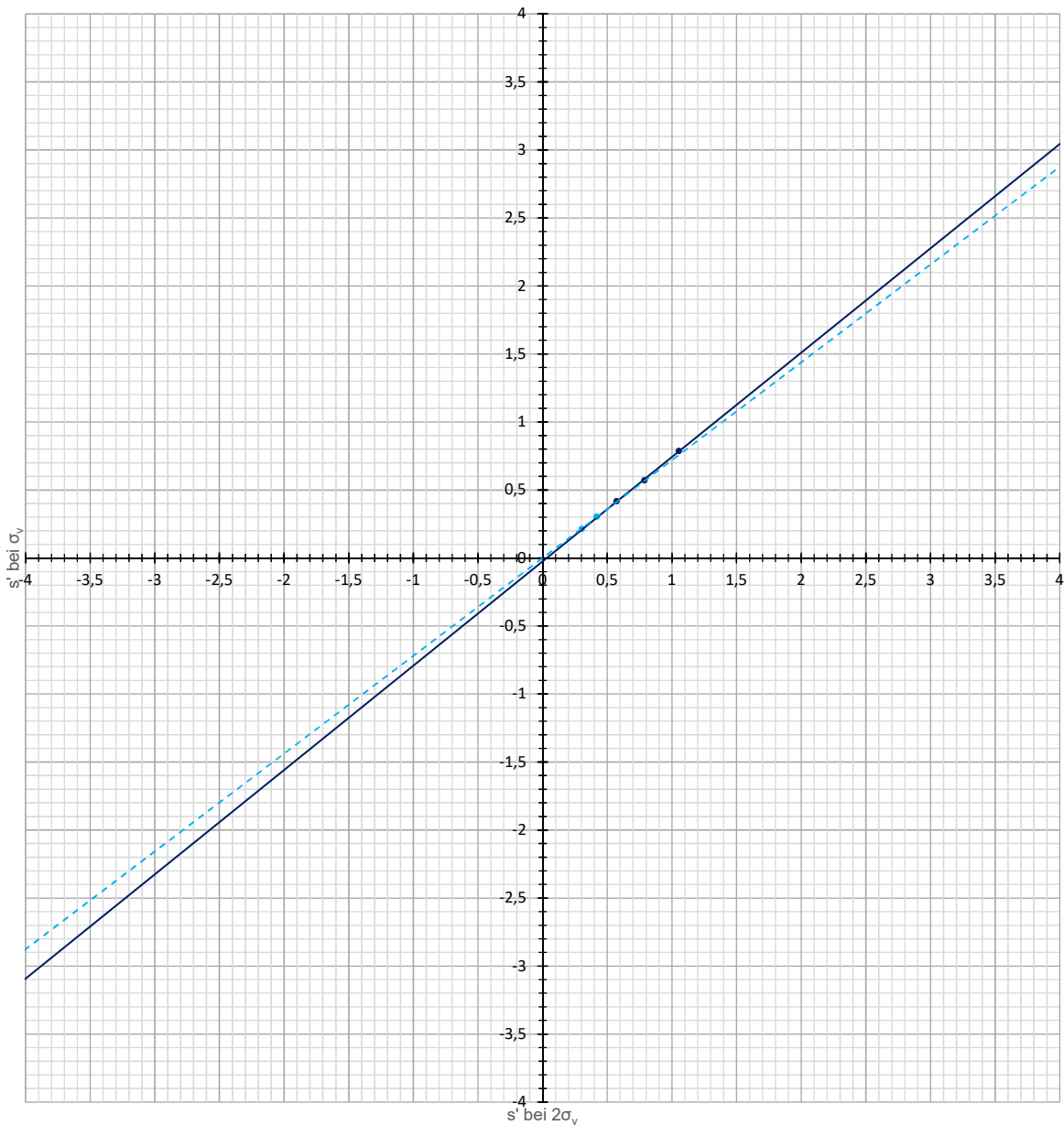
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	10	0,214	0,304
2	20	0,304	0,418
3	39	0,418	0,572
4	80	0,572	0,787
5	160	0,787	1,054
6	320	1,054	
7	79,25	0,906	
8	20	0,702	0,739
9	40,25	0,739	0,826
10	79,25	0,826	0,952
11	160	0,952	1,107
12	320	1,107	1,418
13	639,25	1,418	#NV

Wiederbelastung	0,719203	0,000000	$f(x)=0,719x$	0,370602
Erstbelastung	0,767135	-0,024699	$g(x)=0,767x + -0,025$	0,370602
			X=	0,515296
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,370602
Vorbelastung	111,111111	-13,777778	$h(x)=111,111x + -13,778$	27,400269

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,371 mm
 Vorbelastung: 27,4kPa

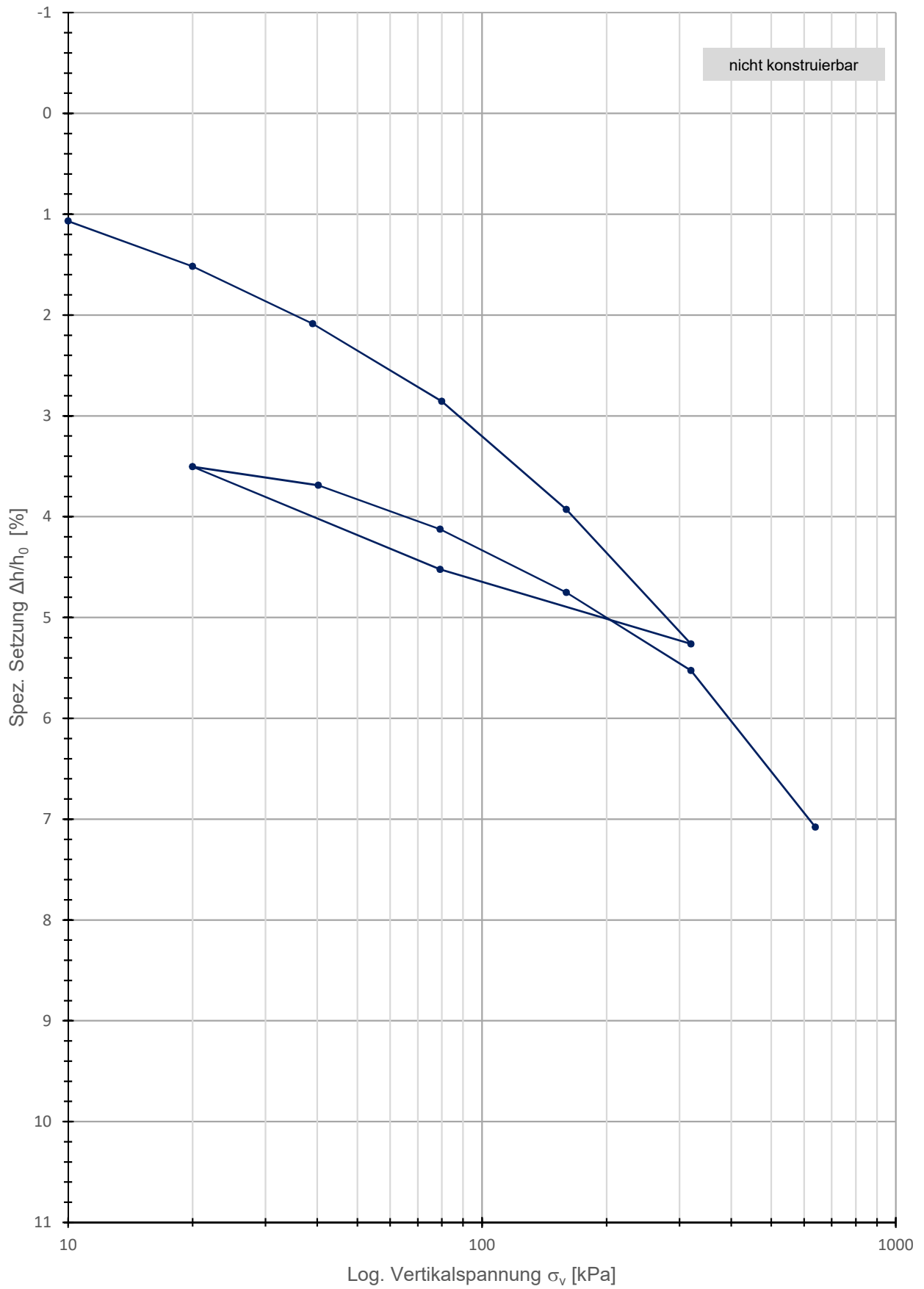
Kotzias - Setzung

- Erstbelastung
- Wiederbelastung
- Linear (Erstbelastung)
- - - Linear (Wiederbelastung)



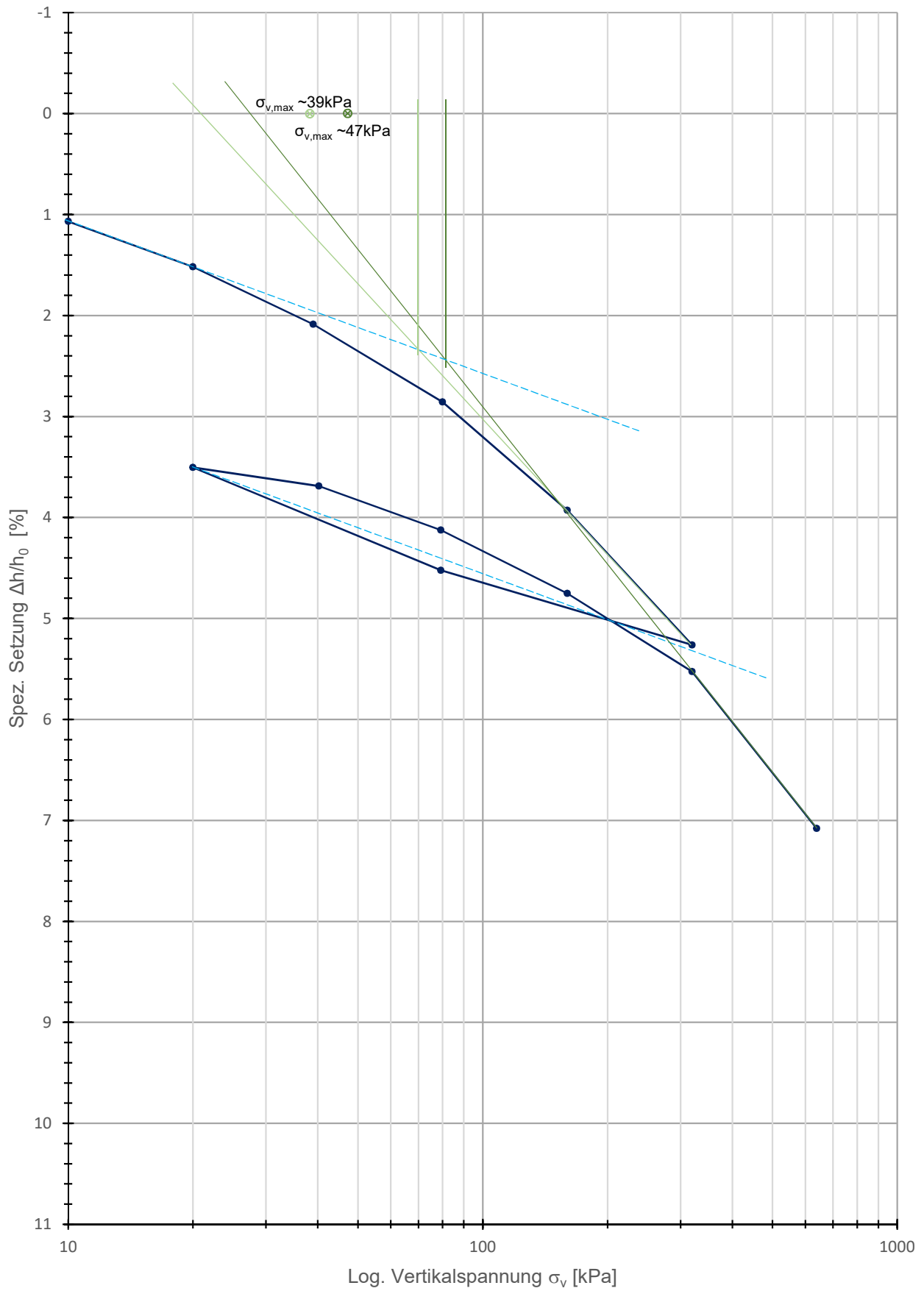
Casagrande

—●— HIN_44,10-44,50_NP.3



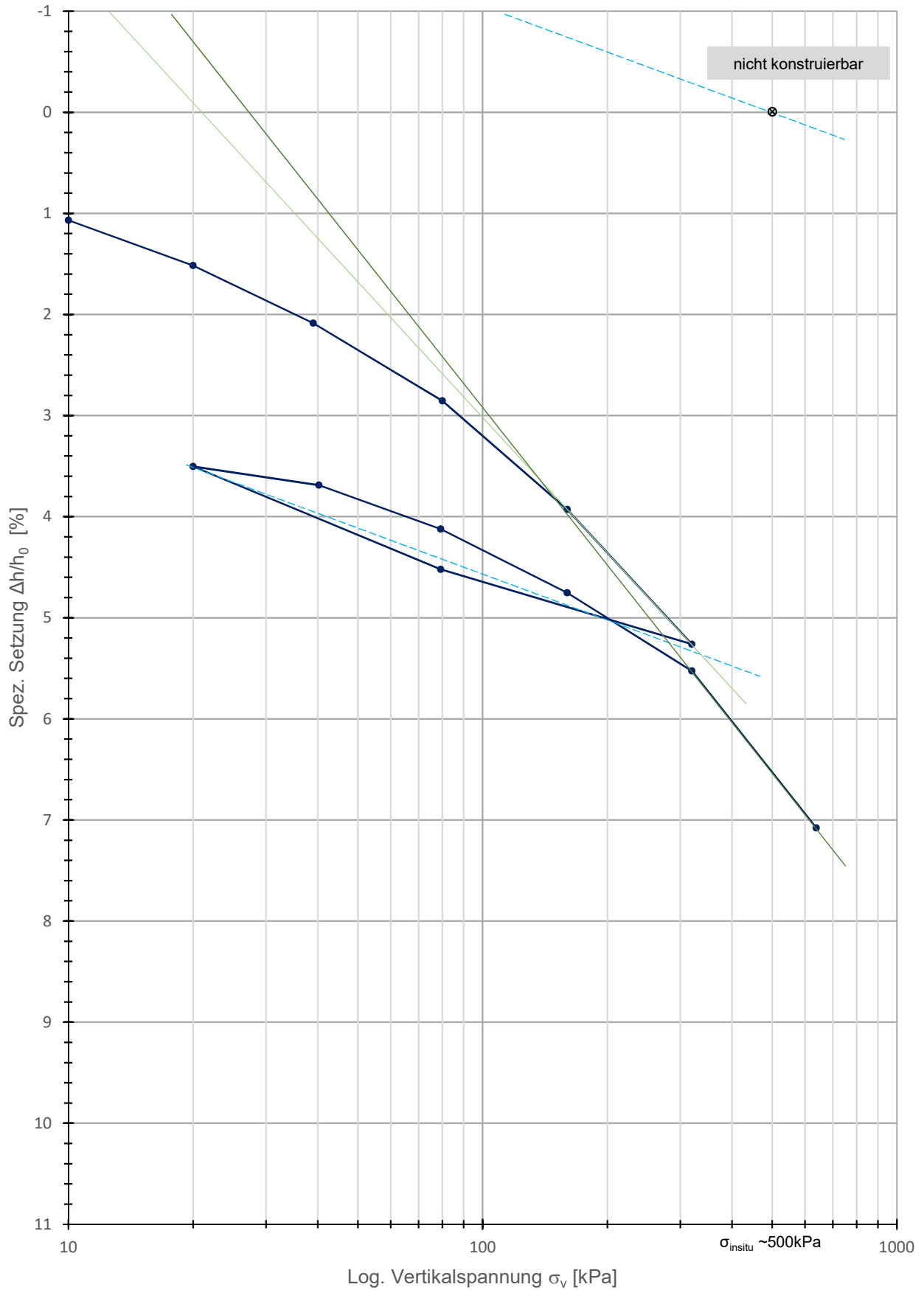
Van Zelst

—●— HIN_44,10-44,50_NP.3



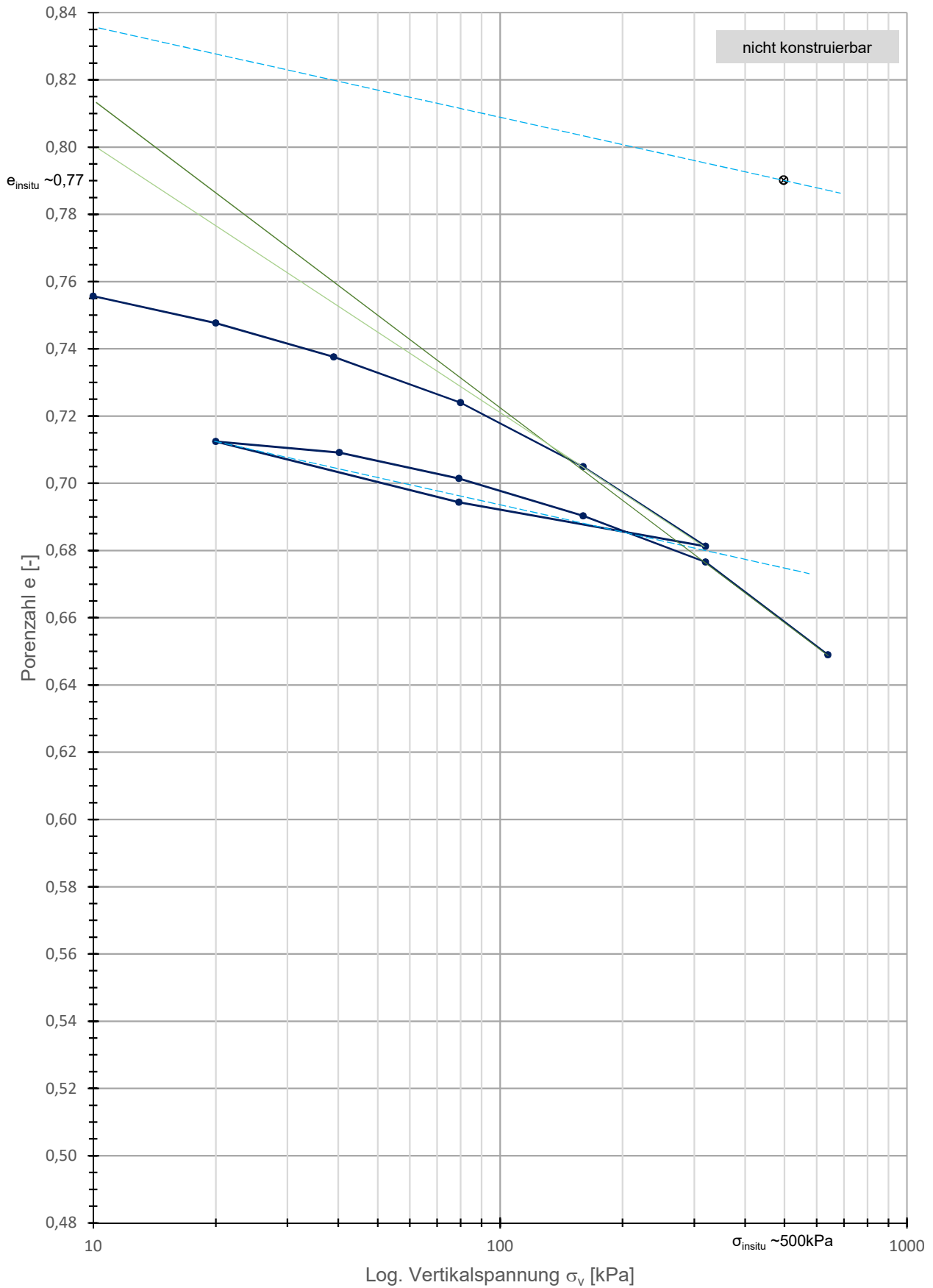
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann

—●— HIN_44,10-44,50_NP.3



Kompression- & Schwellbeiwert

—●— HIN_44,10-44,50_NP.3



Sample: BM4
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\KASPAR\BM4.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1
 Analyzed: 18.11.2016 10:52:36
 Reported: 28.11.2016 10:01:01
 Liquid Visc: 0.6950 mPa·s
 Analysis Temp: 37.0 °C
 Full Scale Mass: 100.0 %

Analysis Type: Standard
 Run Time: 4:13 hrs:min
 Sample Density: 2.730 g/cm³
 Liquid Density: 0.9934 g/cm³
 Base/Full Scale: 113 / 53 kCnts/s
 Reynolds Number: 0.49

Report by Size Class

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
64.94	61.31	63.10	101.8	0.0	0.0
61.31	57.88	59.57	101.8	0.1	0.0
57.88	54.64	56.23	101.6	0.1	0.0
54.64	51.58	53.09	101.5	0.2	0.0
51.58	48.70	50.12	101.3	0.2	0.0
48.70	45.97	47.32	101.0	0.3	0.0
45.97	43.40	44.67	100.7	0.4	0.0
43.40	40.97	42.17	100.2	0.5	0.0
40.97	38.68	39.81	99.6	0.6	0.0
38.68	36.52	37.58	98.9	0.7	0.0
36.52	34.47	35.48	98.0	0.9	0.0
34.47	32.55	33.50	96.9	1.1	0.0
32.55	30.73	31.62	95.6	1.3	0.0
30.73	29.01	29.85	94.2	1.5	0.0
29.01	27.38	28.18	92.6	1.6	0.0
27.38	25.85	26.61	90.7	1.8	0.0
25.85	24.41	25.12	88.7	2.0	0.0
24.41	23.04	23.71	86.6	2.1	0.0
23.04	21.75	22.39	84.3	2.3	0.0
21.75	20.54	21.13	81.9	2.4	0.0
20.54	19.39	19.95	79.4	2.5	0.0
19.39	18.30	18.84	76.9	2.5	0.0
18.30	17.28	17.78	74.3	2.6	0.0
17.28	16.31	16.79	71.7	2.6	0.0
16.31	15.40	15.85	69.0	2.6	0.0
15.40	14.54	14.96	66.4	2.6	0.0
14.54	13.72	14.13	63.7	2.6	0.0
13.72	12.96	13.34	61.1	2.6	0.0
12.96	12.23	12.59	58.5	2.6	0.0
12.23	11.55	11.89	56.0	2.6	0.0
11.55	10.90	11.22	53.4	2.5	0.0
10.90	10.29	10.59	51.0	2.5	0.0
10.29	9.716	10.00	48.5	2.4	0.0
9.716	9.173	9.441	46.2	2.4	0.0
9.173	8.660	8.913	43.9	2.3	0.0
8.660	8.175	8.414	41.7	2.2	0.0
8.175	7.718	7.943	39.5	2.2	0.0
7.718	7.286	7.499	37.4	2.1	0.0
7.286	6.879	7.079	35.4	2.0	0.0
6.879	6.494	6.683	33.5	1.9	0.0
6.494	6.131	6.310	31.7	1.8	0.0
6.131	5.788	5.957	29.9	1.7	0.0
5.788	5.464	5.623	28.3	1.7	0.0
5.464	5.158	5.309	26.7	1.6	0.0
5.158	4.870	5.012	25.2	1.5	0.0
4.870	4.597	4.732	23.8	1.4	0.0

Sample: BM4
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\KASPAR\BM4.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 18.11.2016 10:52:36	Run Time: 4:13 hrs:min
Reported: 28.11.2016 10:01:01	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6950 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 113 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

Report by Size Class

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
4.597	4.340	4.467	22.5	1.3	0.0
4.340	4.097	4.217	21.3	1.2	0.0
4.097	3.868	3.981	20.1	1.2	0.0
3.868	3.652	3.758	19.0	1.1	0.0
3.652	3.447	3.548	17.9	1.1	0.0
3.447	3.255	3.350	16.9	1.0	0.0
3.255	3.073	3.162	16.0	0.9	0.0
3.073	2.901	2.985	15.1	0.9	0.0
2.901	2.738	2.818	14.3	0.8	0.0
2.738	2.585	2.661	13.5	0.8	0.0
2.585	2.441	2.512	12.8	0.7	0.0
2.441	2.304	2.371	12.1	0.7	0.0
2.304	2.175	2.239	11.5	0.7	0.0
2.175	2.054	2.113	10.8	0.6	0.0
2.054	1.939	1.995	10.2	0.6	0.0
1.939	1.830	1.884	9.7	0.6	0.0
1.830	1.728	1.778	9.2	0.5	0.0
1.728	1.631	1.679	8.7	0.5	0.0
1.631	1.540	1.585	8.2	0.4	0.0
1.540	1.454	1.496	7.8	0.4	0.0
1.454	1.372	1.413	7.5	0.4	0.0
1.372	1.296	1.334	7.1	0.4	0.0
1.296	1.223	1.259	6.8	0.3	0.0
1.223	1.155	1.189	6.5	0.3	0.0
1.155	1.090	1.122	6.2	0.3	0.0
1.090	1.029	1.059	5.9	0.3	0.0
1.029	0.972	1.000	5.6	0.3	0.0
0.972	0.917	0.944	5.4	0.2	0.0
0.917	0.866	0.891	5.2	0.2	0.0
0.866	0.818	0.841	5.0	0.2	0.0
0.818	0.772	0.794	4.8	0.2	0.0
0.772	0.729	0.750	4.6	0.2	0.0
0.729	0.688	0.708	4.5	0.2	0.0
0.688	0.649	0.668	4.3	0.1	0.0
0.649	0.613	0.631	4.2	0.1	0.0
0.613	0.579	0.596	4.0	0.1	0.0
0.579	0.546	0.562	3.9	0.1	0.0
0.546	0.516	0.531	3.8	0.1	0.0
0.516	0.487	0.501	3.6	0.1	0.0
0.487	0.460	0.473	3.5	0.1	0.0
0.460	0.434	0.447	3.4	0.1	0.0
0.434	0.410	0.422	3.3	0.1	0.0
0.410	0.387	0.398	3.2	0.1	0.0
0.387	0.365	0.376	3.1	0.1	0.0
0.365	0.345	0.355	3.0	0.1	0.0
0.345	0.325	0.335	2.8	0.1	0.0

Sample: BM4
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\KASPAR\BM4.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 18.11.2016 10:52:36	Run Time: 4:13 hrs:min
Reported: 28.11.2016 10:01:01	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6950 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 113 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

Report by Size Class

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
0.325	0.307	0.316	2.7	0.1	0.0
0.307	0.290	0.299	2.6	0.1	0.0
0.290	0.274	0.282	2.5	0.1	0.0
0.274	0.259	0.266	2.5	0.1	0.0
0.259	0.244	0.251	2.4	0.1	0.0
0.244	0.230	0.237	2.3	0.1	0.0
0.230	0.218	0.224	2.2	0.1	0.0
0.218	0.205	0.211	2.1	0.1	0.0
0.205	0.194	0.200	2.0	0.1	0.0
0.194	0.183	0.188	1.8	0.1	0.0
0.183	0.173	0.178	1.7	0.1	0.0
0.173	0.163	0.168	1.6	0.1	0.0
0.163	0.154	0.158	1.5	0.1	0.0
0.154	0.145	0.150	1.4	0.1	0.0
0.145	0.137	0.141	1.3	0.1	0.0
0.137	0.130	0.133	1.2	0.1	0.0
0.130	0.122	0.126	1.2	0.1	0.0
0.122	0.115	0.119	1.1	0.1	0.0
0.115	0.109	0.112	1.0	0.1	0.0
0.109	0.103	0.106	0.9	0.1	0.0

Sample: BM4
Operator:
Submitter:
File: C:\KASPAR\BM4.SMP
Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1
Analyzed: 18.11.2016 10:52:36
Reported: 28.11.2016 10:01:01
Liquid Visc: 0.6950 mPa·s
Analysis Temp: 37.0 °C
Full Scale Mass: 100.0 %

Analysis Type: Standard
Run Time: 4:13 hrs:min
Sample Density: 2.730 g/cm³
Liquid Density: 0.9934 g/cm³
Base/Full Scale: 113 / 53 kCnts/s
Reynolds Number: 0.49

Report by Sieve Size

Sieve Name	Aperture Size (µm)	Cumulative Mass Passed (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
No. 120	125.0	101.9	0.0	0.0
No. 270	53.0	101.6	0.3	0.0
No. 635	20.0	80.8	20.8	0.0

Sample: BM4
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\KASPAR\BM4.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 18.11.2016 10:52:36	Run Time: 4:13 hrs:min
Reported: 28.11.2016 10:01:01	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6950 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 113 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

Report by Size Table

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
65.00	60.00	62.45	101.8	0.0	0.0
60.00	55.00	57.45	101.7	0.1	0.0
55.00	50.00	52.44	101.4	0.3	0.0
50.00	45.00	47.43	100.9	0.5	0.0
45.00	40.00	42.43	100.0	0.9	0.0
40.00	35.00	37.42	98.2	1.7	0.0
35.00	30.00	32.40	95.1	3.2	0.0
30.00	25.00	27.39	89.6	5.5	0.0
25.00	20.00	22.36	80.8	8.8	0.0
20.00	17.00	18.44	73.6	7.2	0.0
17.00	13.00	14.87	61.3	12.3	0.0
13.00	10.00	11.40	49.7	11.5	0.0
10.00	8.000	8.944	40.8	8.9	0.0
8.000	6.000	6.928	31.0	9.8	0.0
6.000	4.000	4.899	20.8	10.2	0.0
4.000	2.000	2.828	10.6	10.2	0.0

Sample: BM4
 Operator:
 Submitter:
 File: C:\KASPAR\BM4.SMP
 Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
 Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
 Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 18.11.2016 10:52:36	Run Time: 4:13 hrs:min
Reported: 28.11.2016 10:01:01	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6950 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 113 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

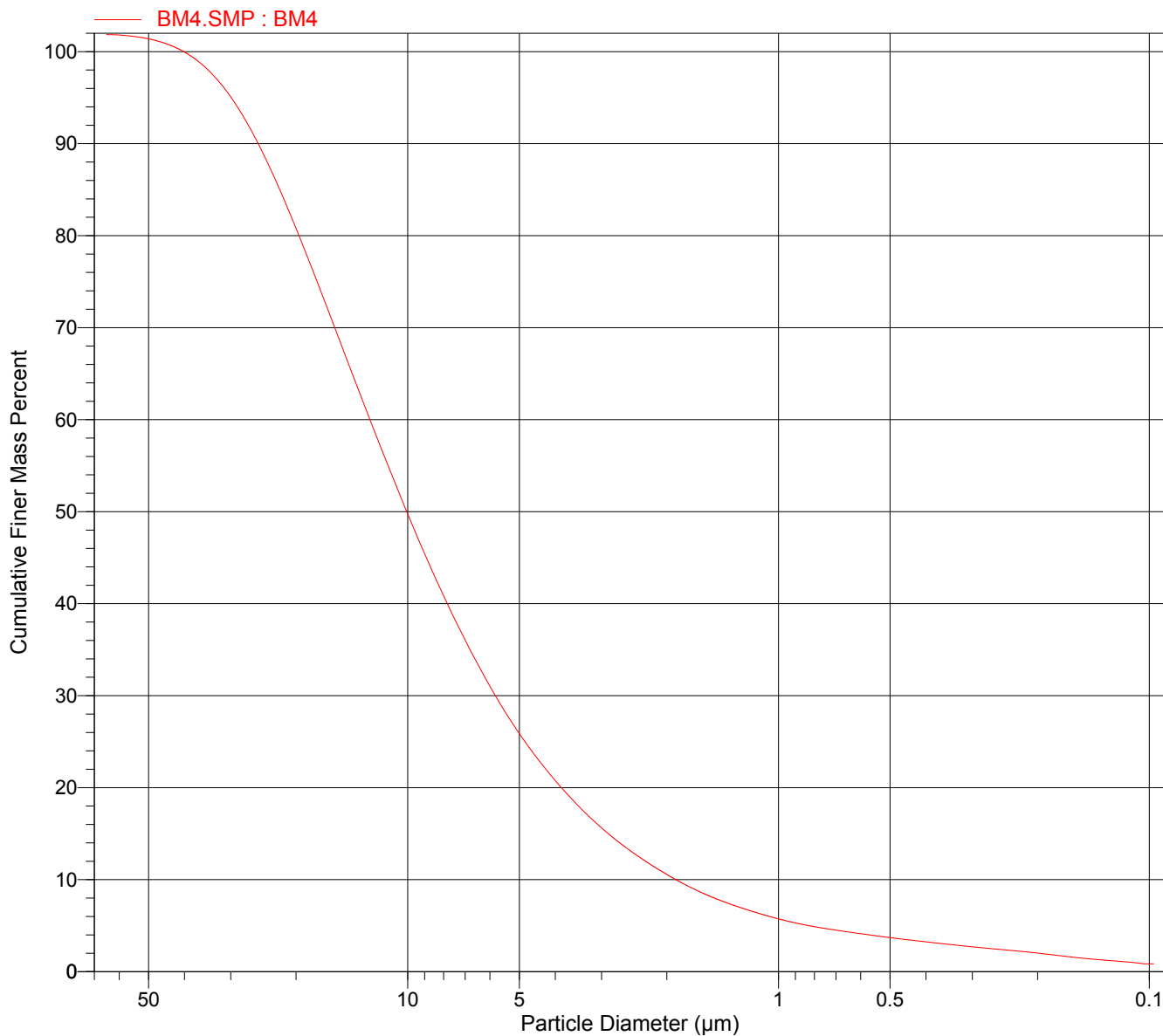
Report by Mass Percent

High Diameter (µm)	Low Diameter (µm)	Average Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)	Mass Frequency (Percent)	Cum. Mass Standard Deviation (1 tests)
63.00	40.17	50.31	100.0	0.0	0.0
40.17	25.30	31.88	90.0	10.0	0.0
25.30	19.64	22.29	80.0	10.0	0.0
19.64	15.73	17.58	70.0	10.0	0.0
15.73	12.64	14.10	60.0	10.0	0.0
12.64	10.06	11.28	50.0	10.0	0.0
10.06	7.821	8.870	40.0	10.0	0.0
7.821	5.804	6.737	30.0	10.0	0.0
5.804	3.850	4.727	20.0	10.0	0.0
3.850	1.890	2.698	10.0	10.0	0.0
1.890	0.828	1.251	5.0	5.0	0.0

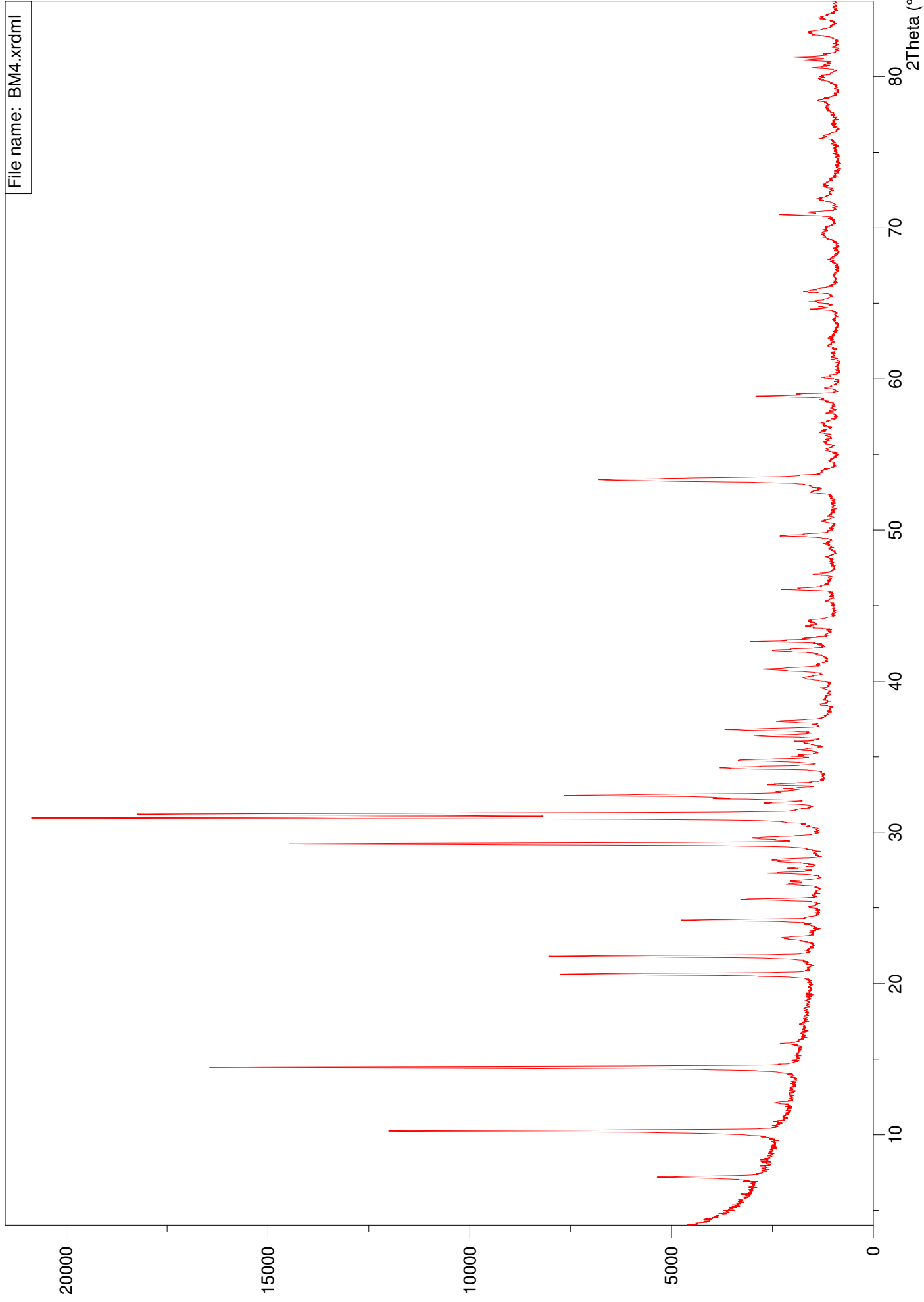
Sample: BM4
Operator:
Submitter:
File: C:\KASPAR\BM4.SMP
Material/Liquid: Calcium Carbonate / 0.004m NaPP
Measurement Principle: X-Ray monitored gravity sedimentation
Calculation Method: Stokes sedimentation and Beer's law of extinction

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 18.11.2016 10:52:36	Run Time: 4:13 hrs:min
Reported: 28.11.2016 10:01:01	Sample Density: 2.730 g/cm ³
Liquid Visc: 0.6950 mPa·s	Liquid Density: 0.9934 g/cm ³
Analysis Temp: 37.0 °C	Base/Full Scale: 113 / 53 kCnts/s
Full Scale Mass: 100.0 %	Reynolds Number: 0.49

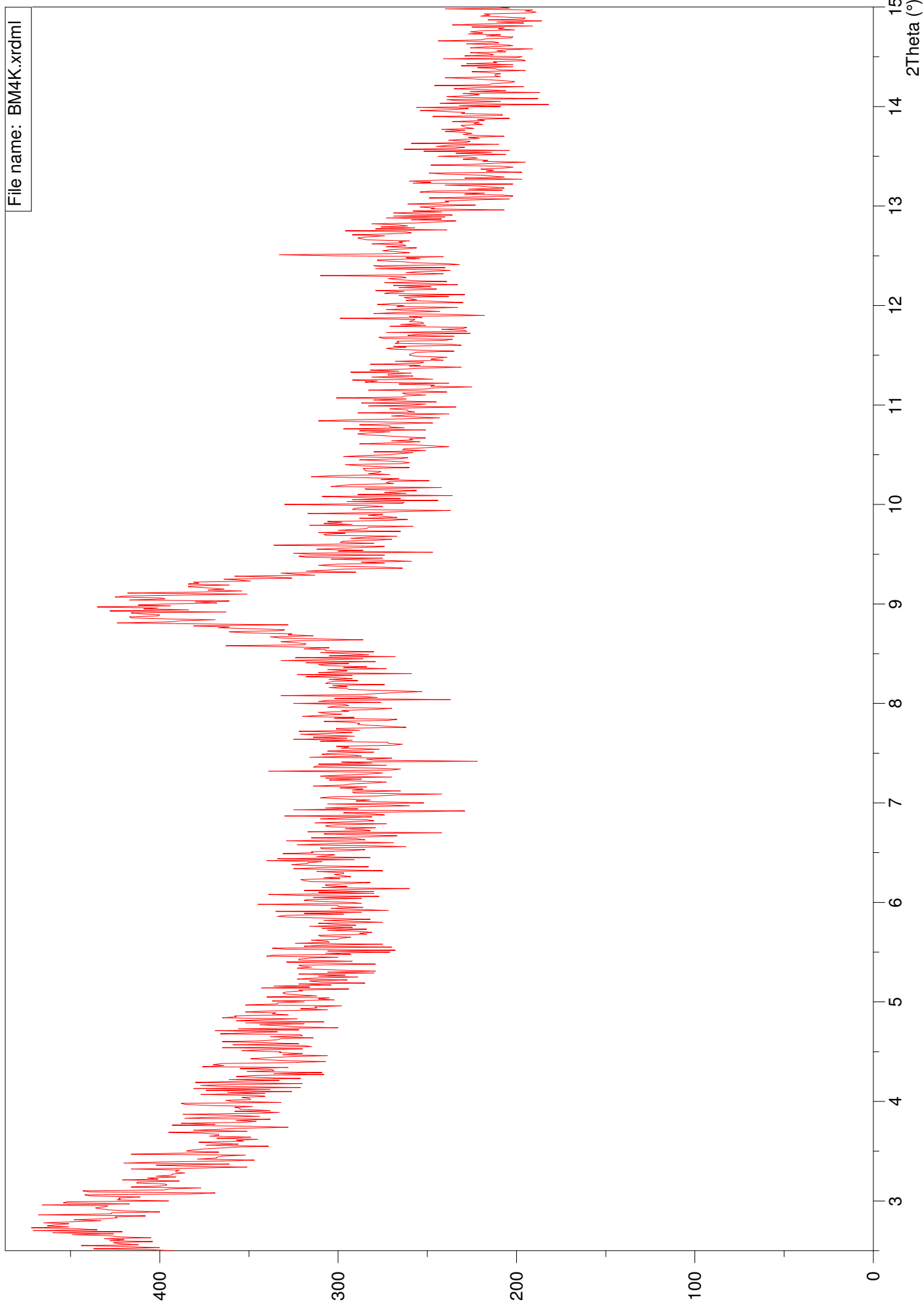
Cumulative Finer Mass Percent vs. Diameter



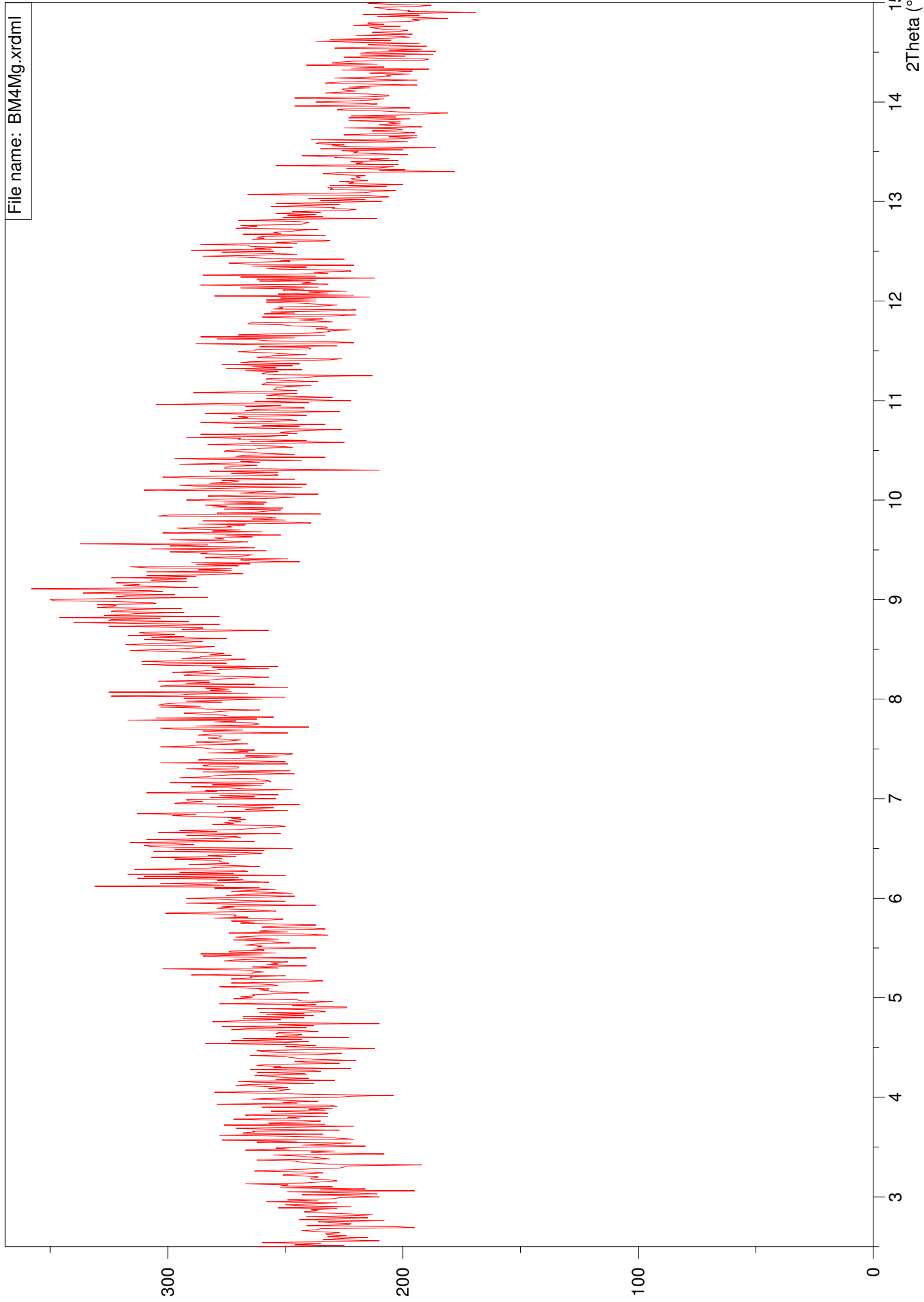
Intensity (counts)

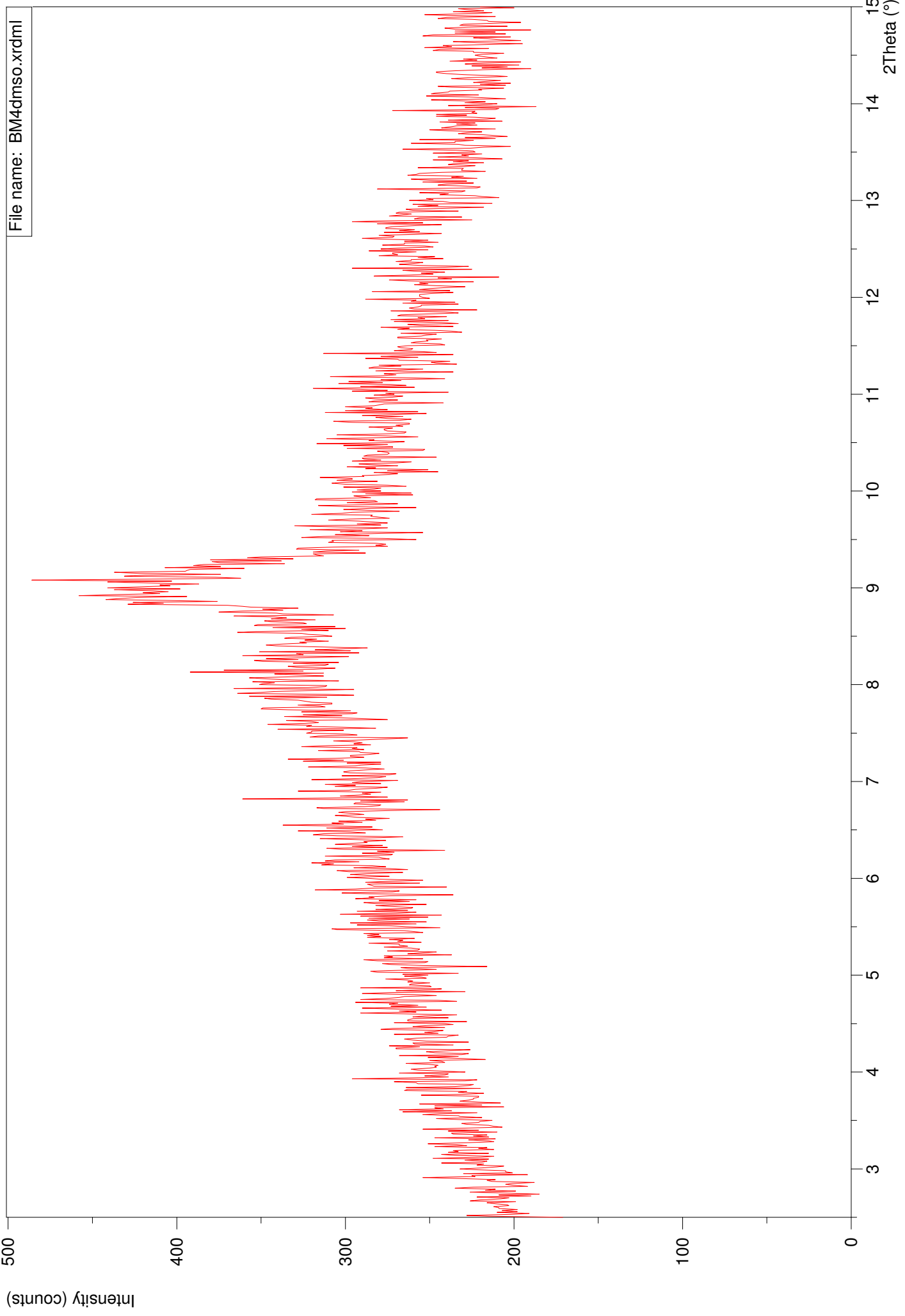


Intensity (counts)

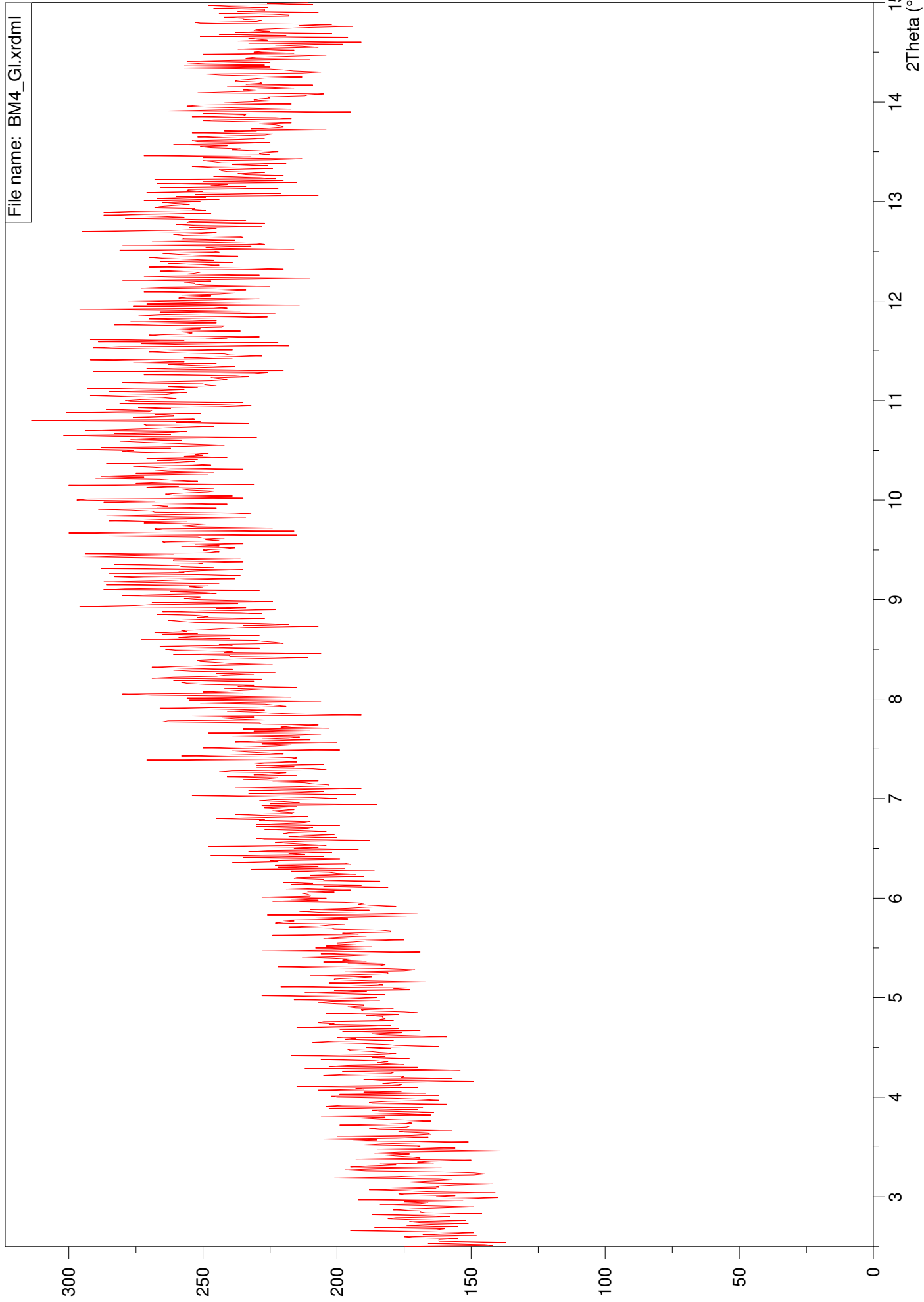


Intensity (counts)





Intensity (counts)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch			Ginau (GIN)		25.11.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.			0,80 - 1,20	SD	1
Bezeichnung Ödometerring			Ö-II		
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,135		
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,010	8,50	
Bezeichnung Kernstechzylinder			keiner		
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,91		
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00		
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	4,590		
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	80,366		
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	62,014		
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000		

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	111,702	111,702	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	297,702	297,702	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	556,109	537,698	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	510,299	510,299	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	146,705	128,294	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	1,83	2,07	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	100,895	100,895	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,26	1,63	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	45,40	27,16	k.A.
Porenanteil	n	[%]	56,86	44,09	k.A.
Porenzahl	e	[-]	1,32	0,79	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	500,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	68,250
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	40,380

geologische Vorkonsolidationsspannung

160 - 320kPa 320 - 640kPa

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]		20
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]		20
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]		25

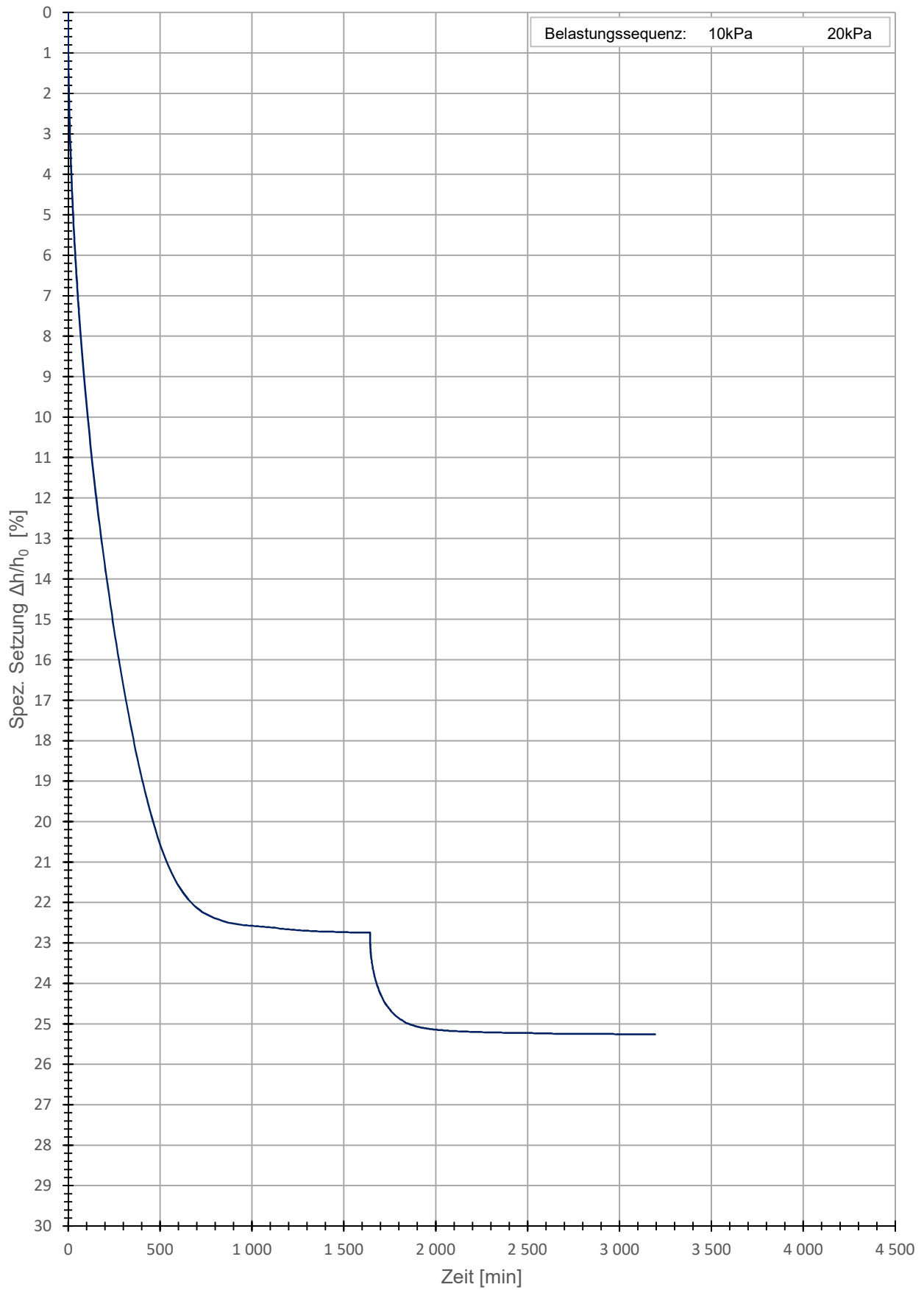
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

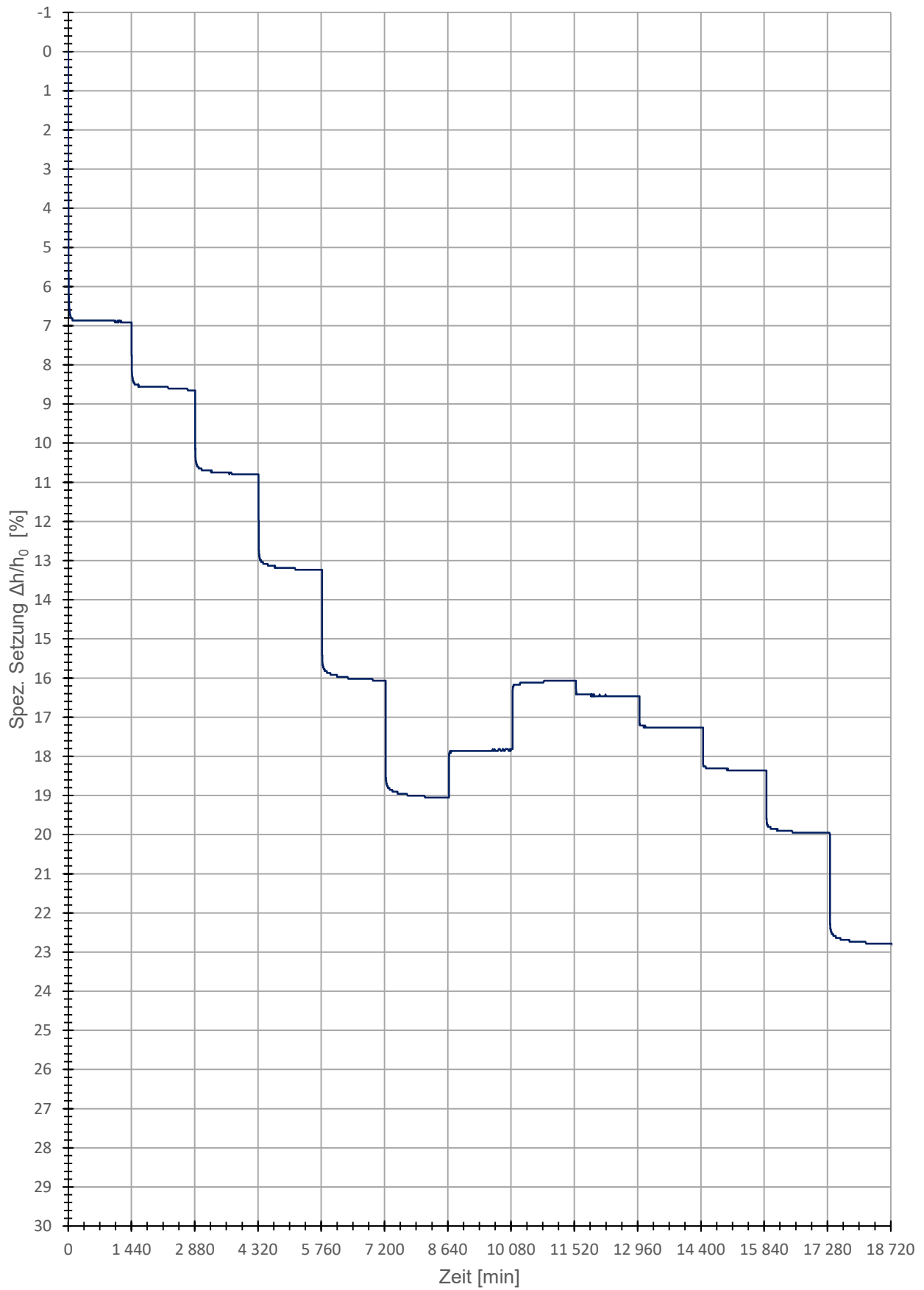
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

GIN_0,80-1,20_SD.1



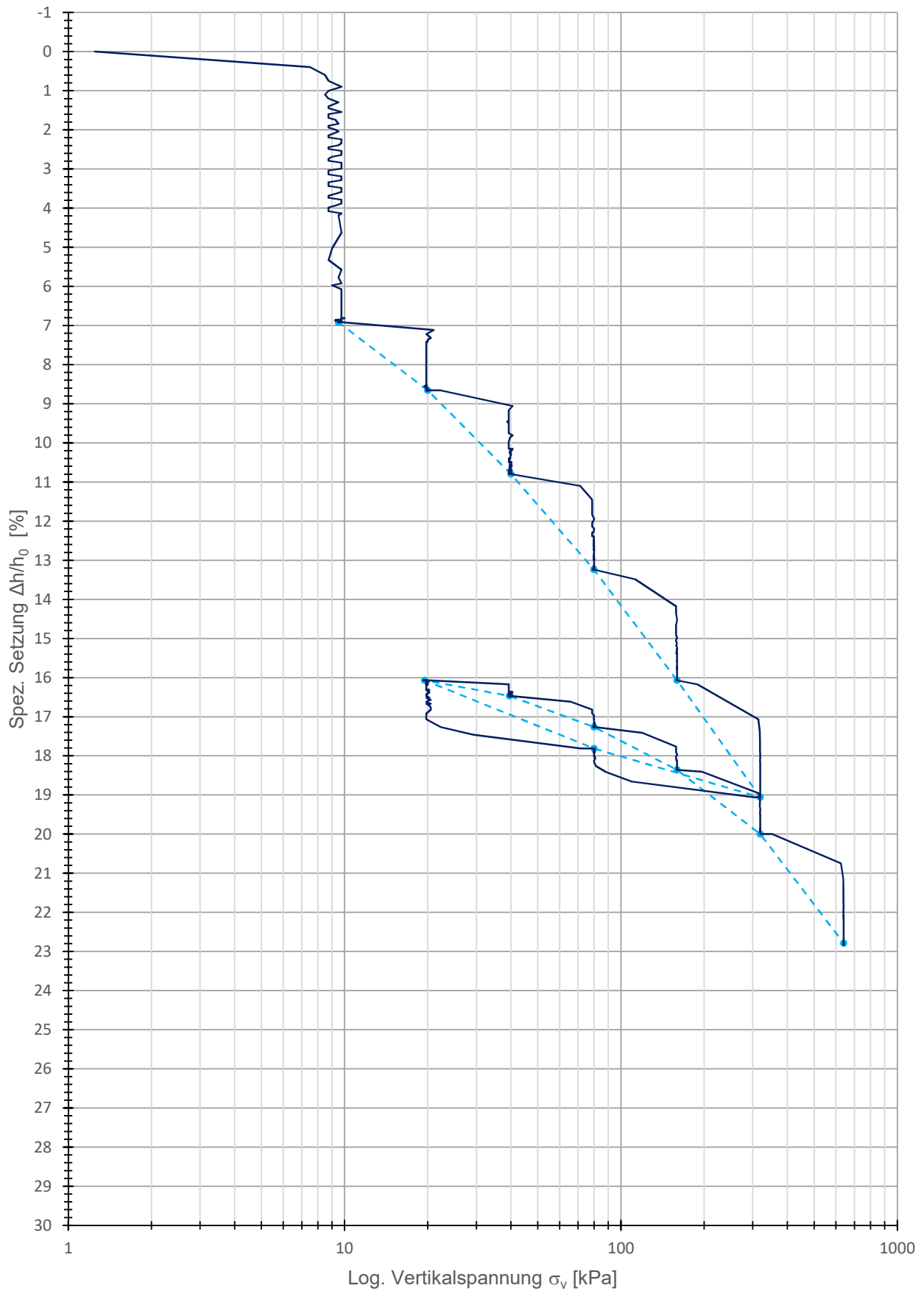
Zeitsetzungskurve

GIN_0,80-1,20_SD.1



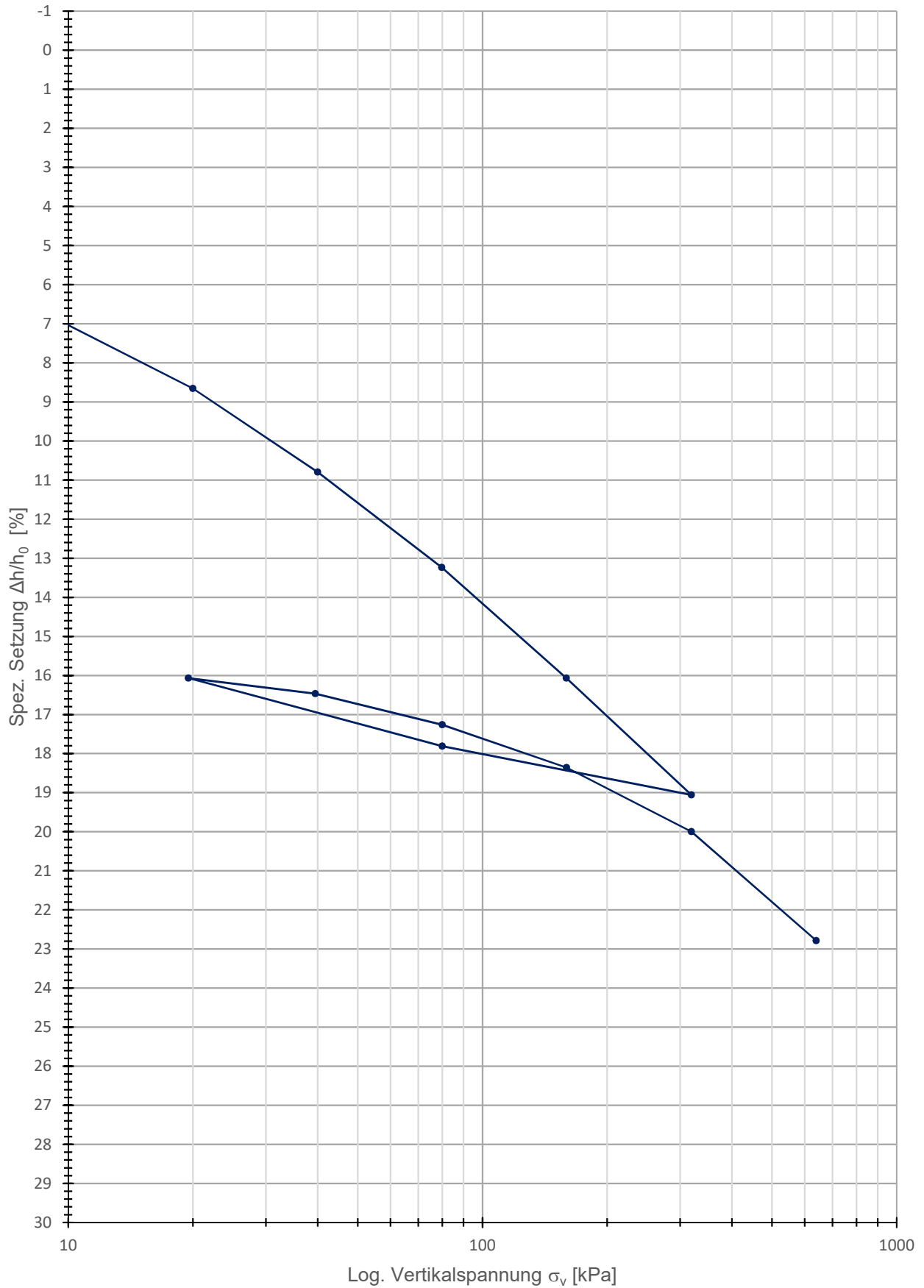
Kompressionsversuch (Roh)

GIN_0,80-1,20_SD.1 GIN_0,80-1,20_SD.1



Kompressionskurve

GIN_0,80-1,20_SD.1



GIN_0,80-1,20_SD.1

Daten_Kotzias

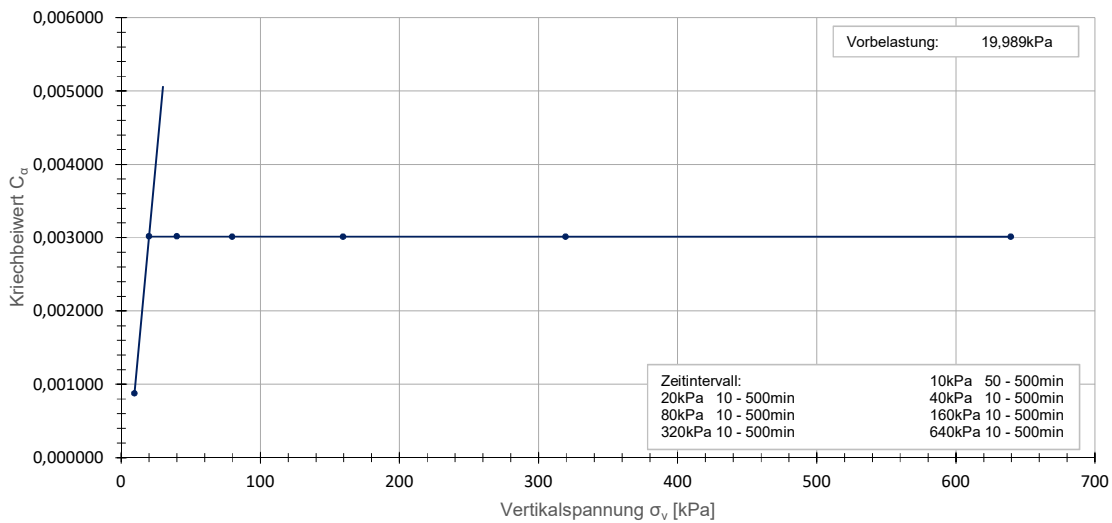
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]		e [-]	oberer Wert [2]		e [-]
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]		Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	
1	9,5	0,000875	50	49,600000	1,161080	500	486,650000	1,158770
2	20	0,003017	10	9,999999	1,127640	500	486,583329	1,119560
3	40	0,003017	10	9,983329	1,076900	500	486,583329	1,068820
4	79,75	0,003013	10	9,983329	1,020390	500	486,583329	1,012320
5	159,5	0,003013	10	9,999999	0,955810	500	486,583329	0,947740
6	319,5	0,003013	10	9,983329	0,886620	500	486,583329	0,878550
13	639,5	0,003013	10	9,983329	0,798980	500	486,583329	0,790910

Wiederbelastung	0,000204	-0,001063	$i(x)=0,000204x + -0,001063$	0,003015
Erstbelastung	0,000000	0,003015	$j(x)=0x + 0,003015$	0,003015

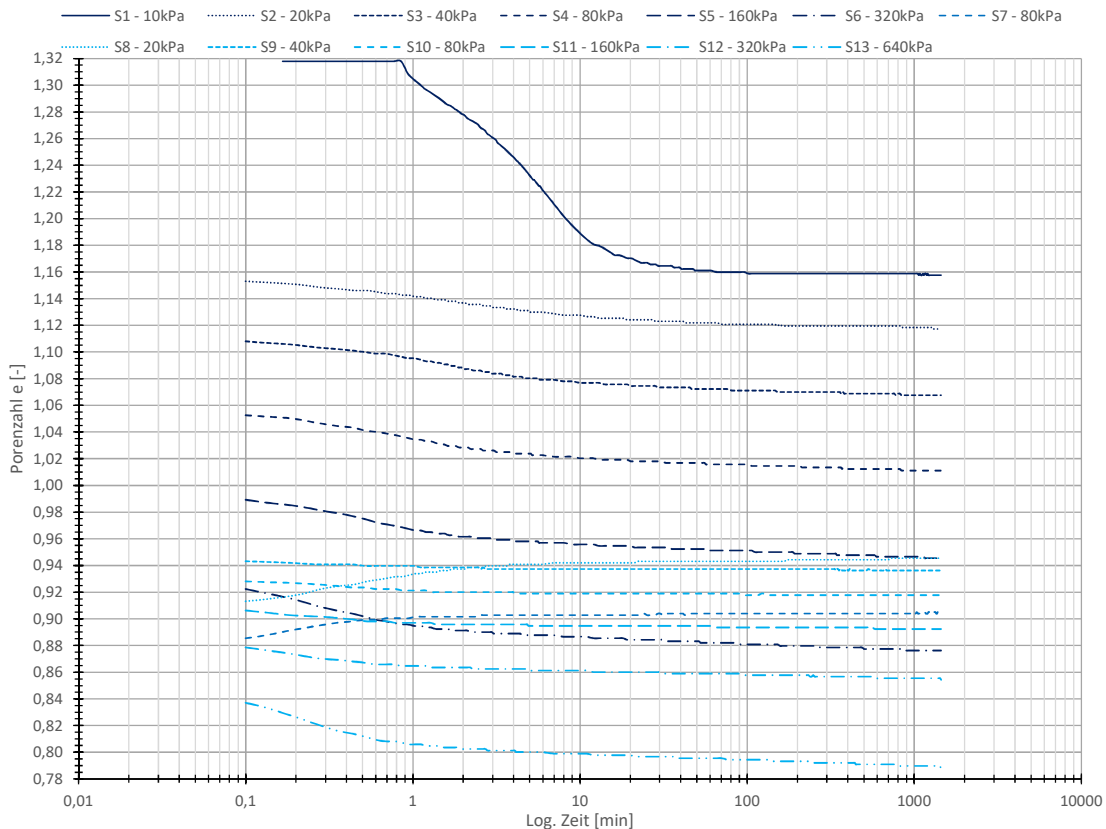
X= 19,988937
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,80-1,20_SD.1



Murayama & Shibata - Porenzahl



GIN_0,80-1,20_SD.1

Daten_Kotzias

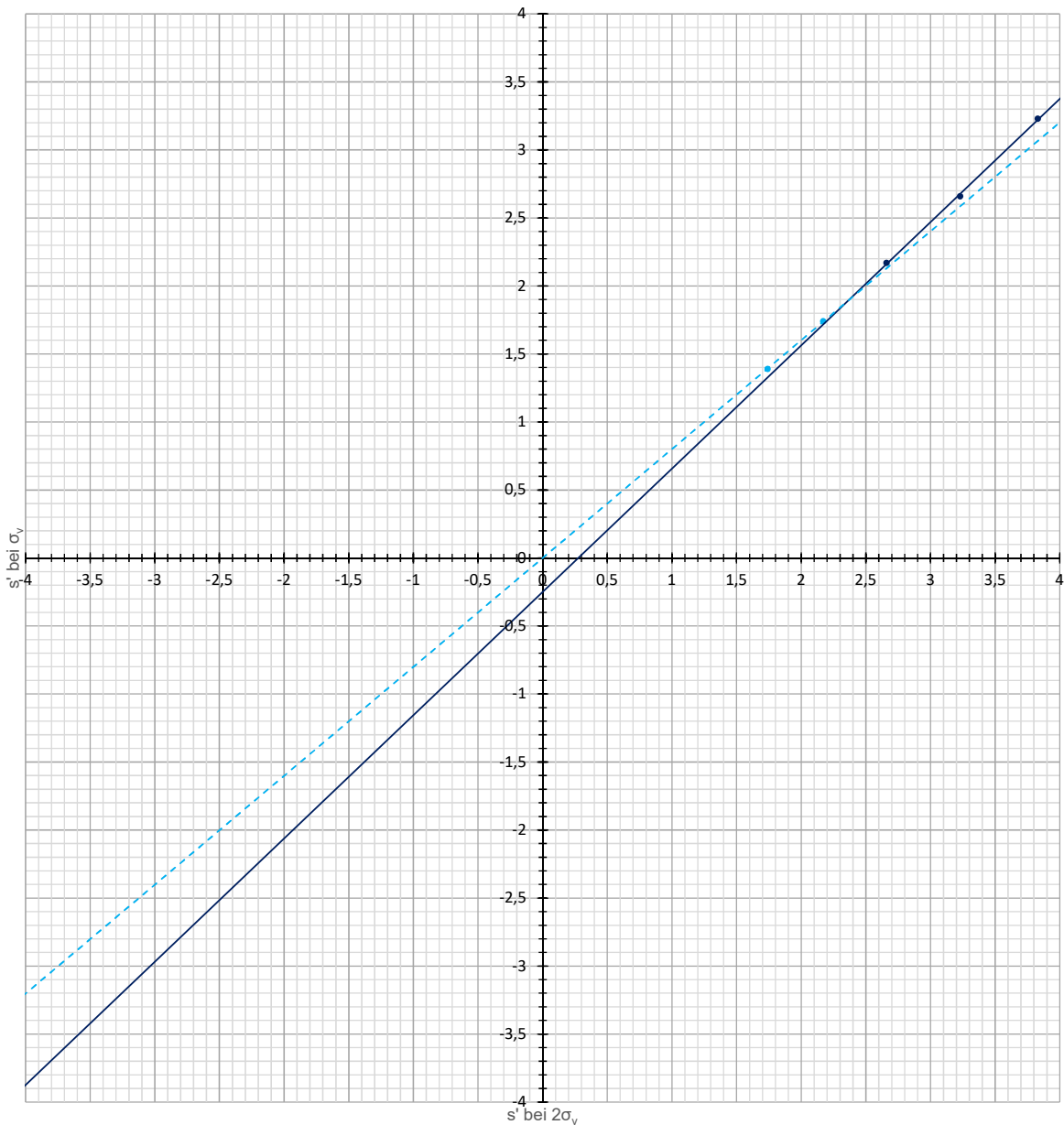
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	9,5	1,39	1,74
2	20	1,74	2,17
3	40	2,17	2,66
4	79,75	2,66	3,23
5	159,5	3,23	3,83
6	319,5	3,83	
7	80	3,58	
8	19,5	3,23	3,31
9	39,5	3,31	3,47
10	80	3,47	3,69
11	159,75	3,69	4,02
12	319,5	4,02	4,58
13	639,5	4,58	#NV

Wiederbelastung	0,800672	0,000000	$f(x)=0,801x$	1,893556
Erstbelastung	0,906369	-0,249968	$g(x)=0,906x + -0,25$	1,893556
			X=	2,364958
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	1,893556
Vorbelastung	30,000000	-32,200000	$h(x)=30x + -32,2$	24,606674

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 1,894 mm
 Vorbelastung: 24,607kPa

Kotzias - Setzung

- Erstbelastung
- Wiederbelastung
- Linear (Erstbelastung)
- - - Linear (Wiederbelastung)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch			Ginau (GIN)	17.11.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.			0,90 - 1,30	SD 1
Bezeichnung Ödometerring			Ö-I	
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,135	
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,000	8,40
Bezeichnung Kernstechzylinder			keiner	
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,76	
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00	
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	3,210	
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	79,966	
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	67,132	
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000	

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	109,847	109,847	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	171,607	171,607	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	436,202	423,110	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	398,501	398,501	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	154,748	141,656	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	1,94	2,11	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	117,047	117,047	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,46	1,74	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	32,21	21,02	k.A.
Porenanteil	n	[%]	46,97	36,83	k.A.
Porenzahl	e	[-]	0,89	0,58	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	500,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	68,250
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	35,985

geologische Vorkonsolidationsspannung

160 - 320kPa 320 - 640kPa

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	19	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	17	

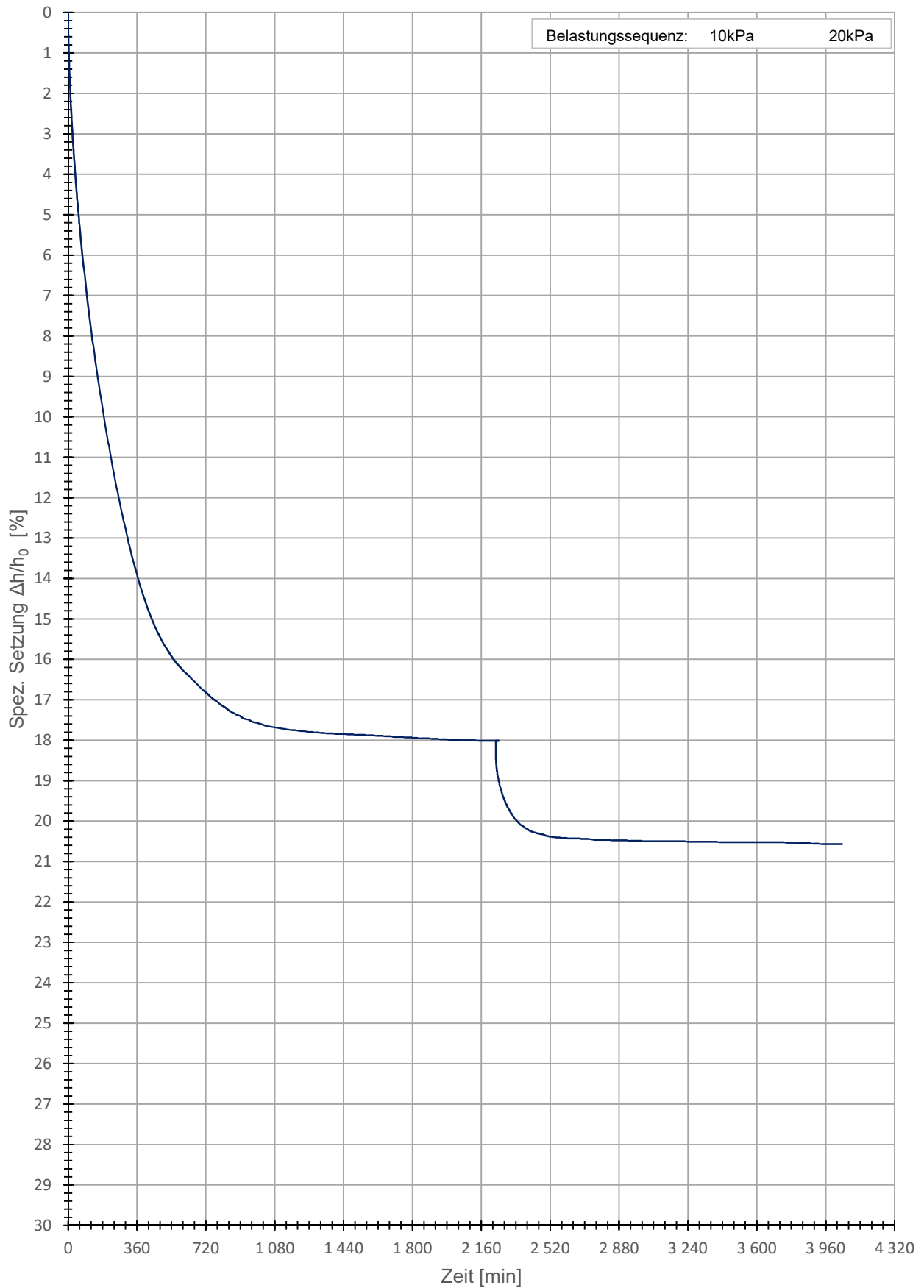
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

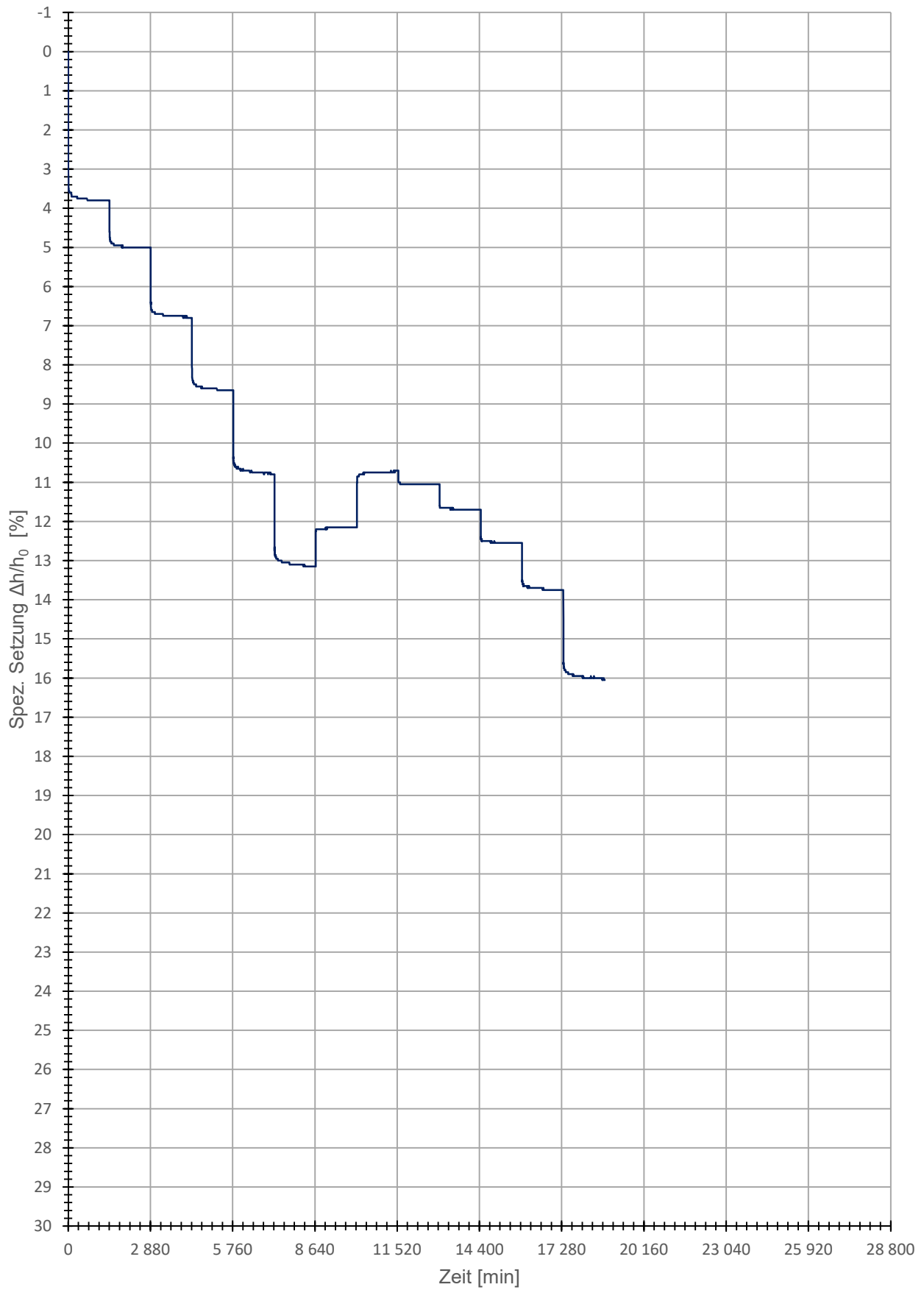
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

GIN_0,90-1,30_SD.1



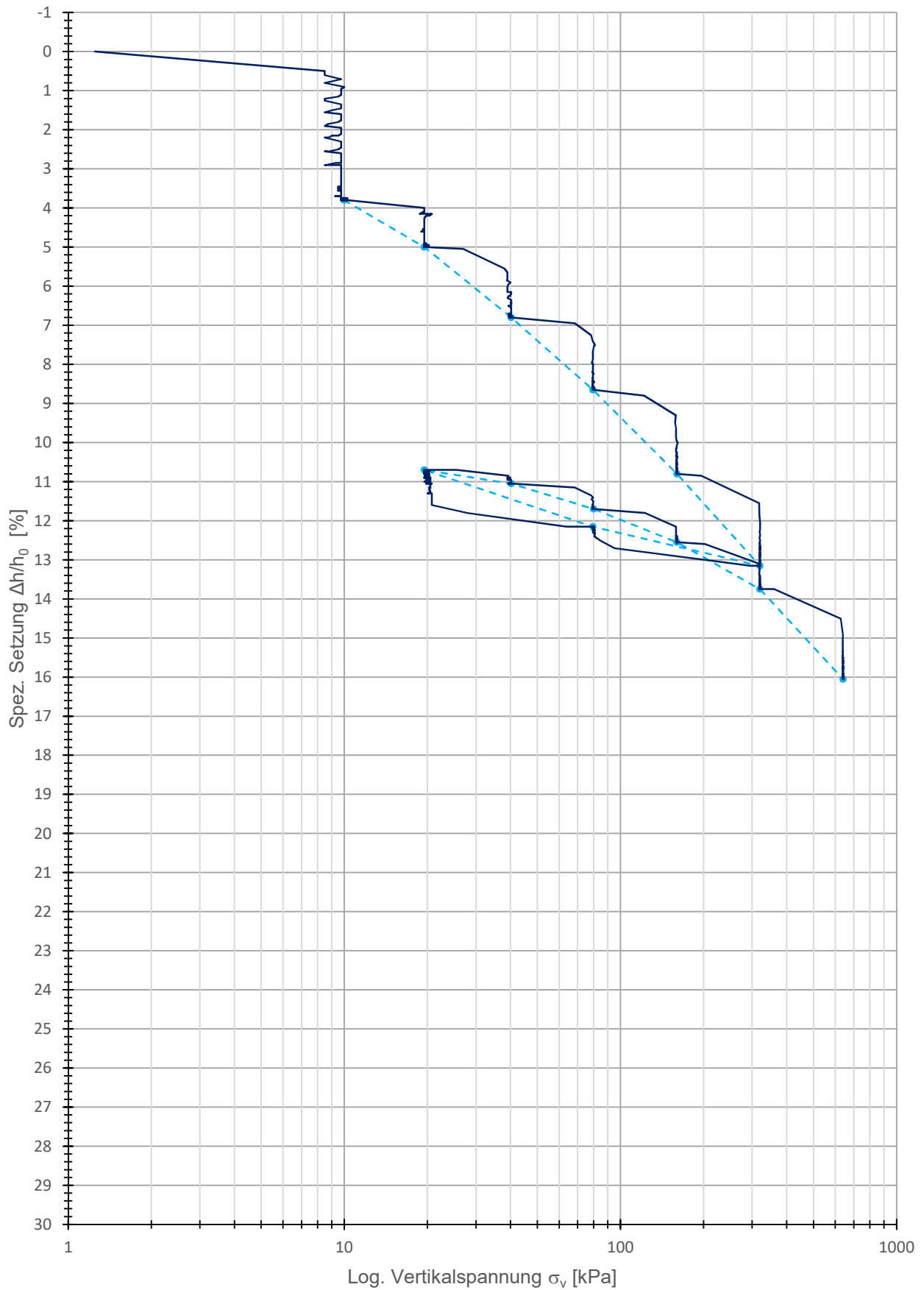
Zeitsetzungskurve

GIN_0,90-1,30_SD.1



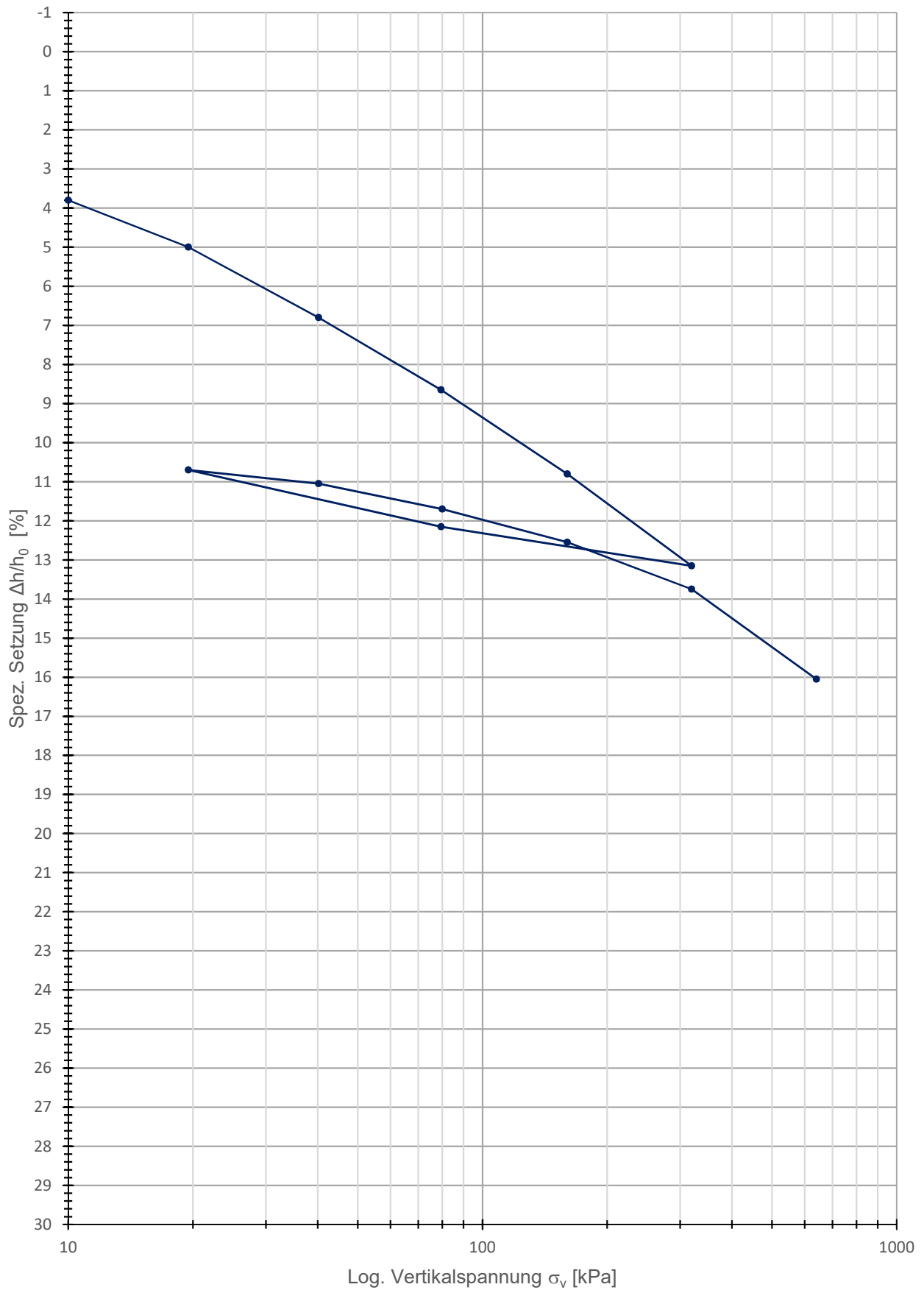
Kompressionsversuch (Roh)

GIN_0,90-1,30_SD.1 GIN_0,90-1,30_SD.1



Kompressionskurve

GIN_0,90-1,30_SD.1



GIN_0,90-1,30_SD.1

Daten_Kotzias

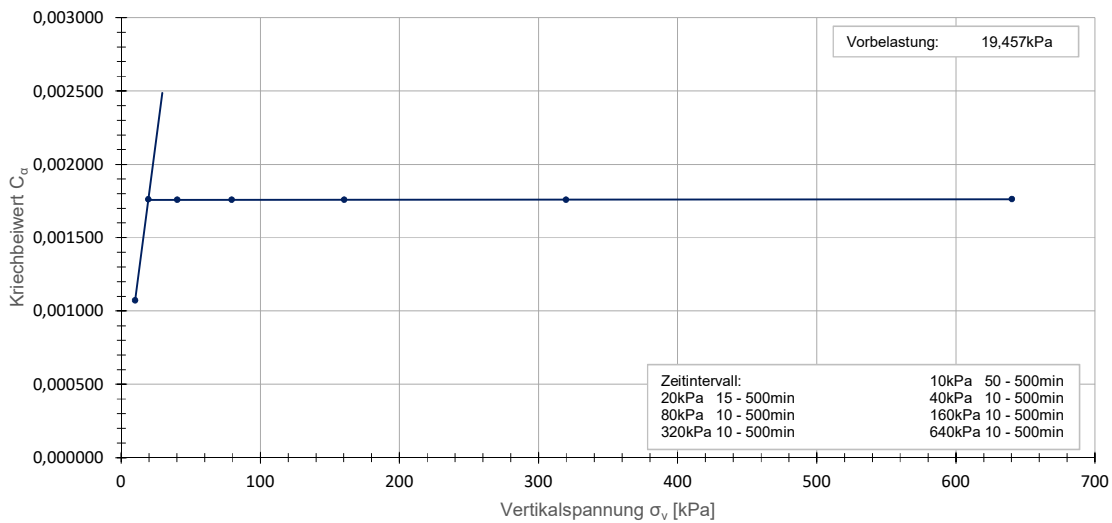
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	10	0,001072	50	49,600000	0,817750	500	486,650000	0,814920
2	19,5	0,001761	15	14,049999	0,796060	500	486,583329	0,791350
3	40,25	0,001759	10	9,983329	0,763060	500	486,583329	0,758350
4	79,5	0,001759	10	9,983329	0,728180	500	486,583329	0,723470
5	160,25	0,001759	10	9,983329	0,688580	500	486,583329	0,683870
6	319,75	0,001759	10	9,983329	0,644270	500	486,566669	0,639560
13	640,25	0,001762	10	9,983329	0,589590	500	486,583329	0,584870

Wiederbelastung	0,000073	0,000346	$i(x)=0,000073x + 0,000346$	0,001758
Erstbelastung	0,000000	0,001758	$j(x)=0x + 0,001758$	0,001758

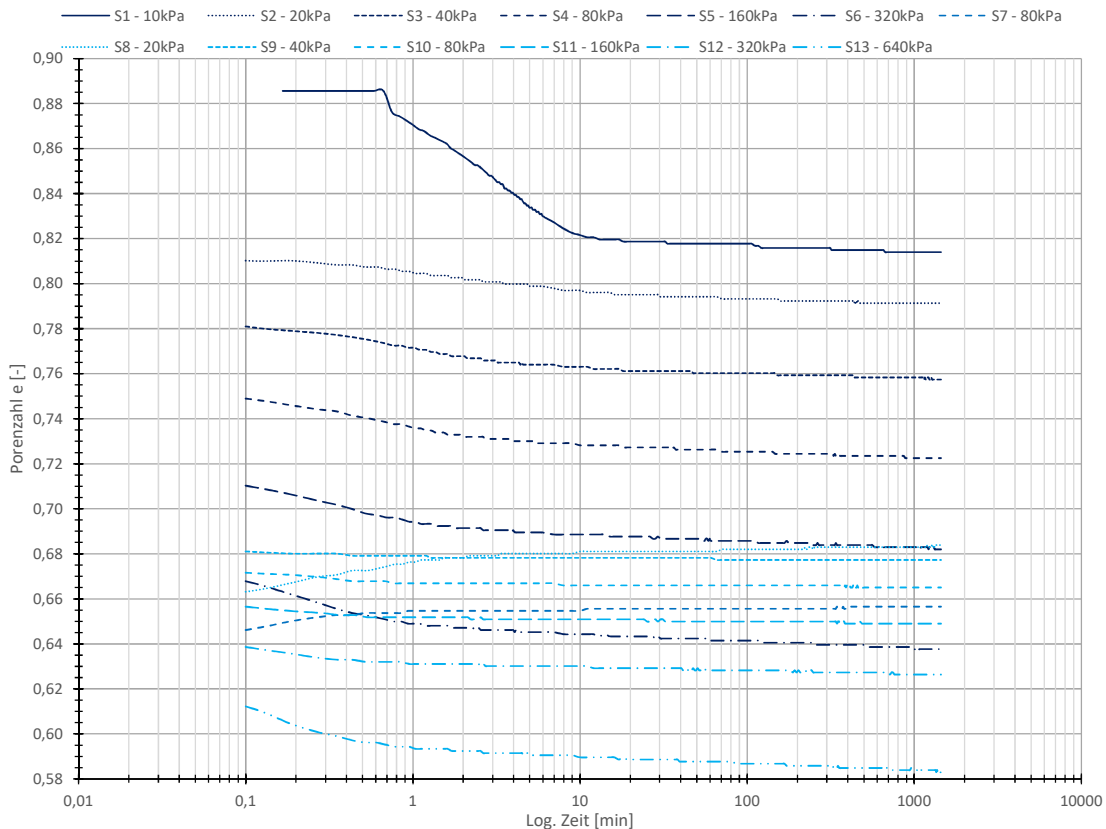
X= 19,457224
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,90-1,30_SD.1



Murayama & Shibata - Porenzahl



GIN_0,90-1,30_SD.1

Daten_Kotzias

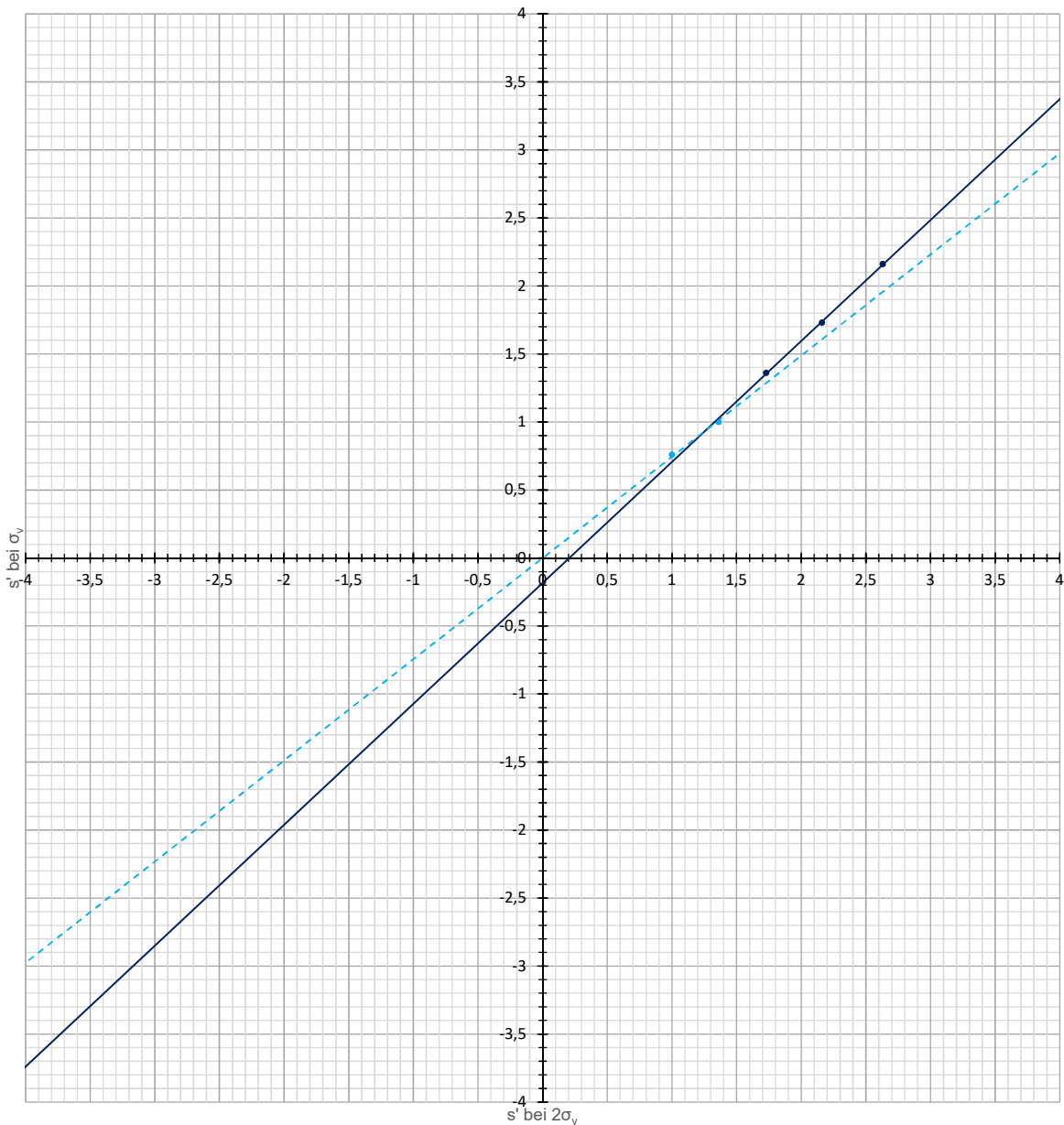
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	10	0,76	1
2	19,5	1	1,36
3	40,25	1,36	1,73
4	79,5	1,73	2,16
5	160,25	2,16	2,63
6	319,75	2,63	
7	79,5	2,43	
8	19,5	2,14	2,21
9	40,25	2,21	2,34
10	80	2,34	2,51
11	160,25	2,51	2,75
12	320	2,75	3,21
13	640,25	3,21	#NV

Wiederbelastung	0,743964	0,000000	$f(x)=0,744x$	0,935418
Erstbelastung	0,889291	-0,182726	$g(x)=0,889x + -0,183$	0,935418
			X=	1,257343
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,935418
Vorbelastung	39,583333	-20,083333	$h(x)=39,583x + -20,083$	16,943624

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,935 mm
 Vorbelastung: 16,944kPa

Kotzias - Setzung

• Erstbelastung
 • Wiederbelastung
 — Linear (Erstbelastung)
 - - - Linear (Wiederbelastung)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch			Ginau (GIN)	11.02.2017	
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.			0,90 - 1,30	SD	1.2
Bezeichnung Ödometerring			Ö-I		
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,135		
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,000	8,30	
Bezeichnung Kernstechzylinder			keiner		
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,76		
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00		
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	3,550		
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	79,966		
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	65,772		
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000		

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	109,847	109,847	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	205,911	205,911	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	465,197	451,554	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	425,305	425,305	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	149,439	135,796	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	1,87	2,06	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	109,547	109,547	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,37	1,67	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	36,42	23,96	k.A.
Porenanteil	n	[%]	50,37	39,65	k.A.
Porenzahl	e	[-]	1,01	0,66	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	500,000
Wassergehalt mischen (1,75x w_L)	w_{mischen}	[%]	68,250
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	38,780

geologische Vorkonsolidationsspannung

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	19	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	8	

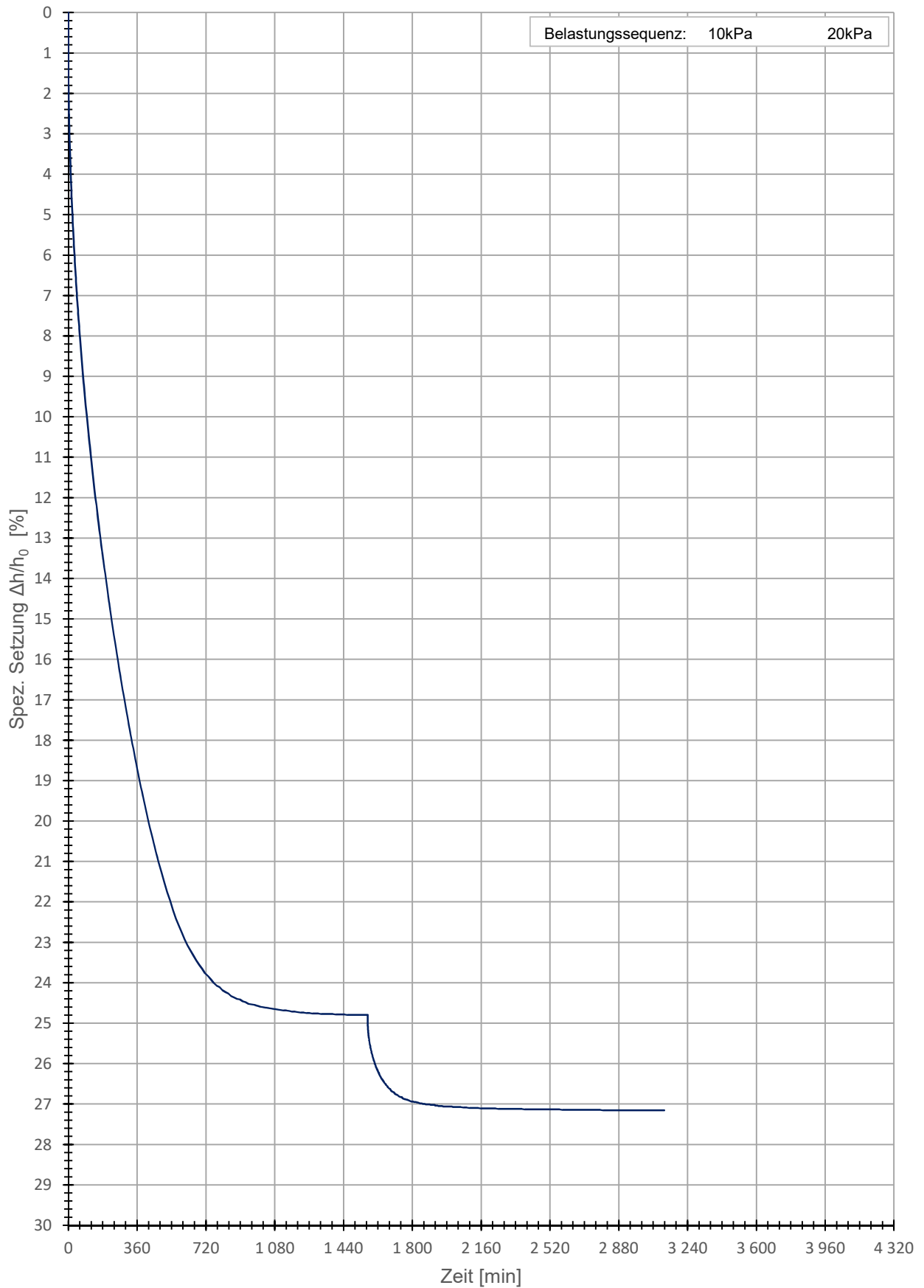
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

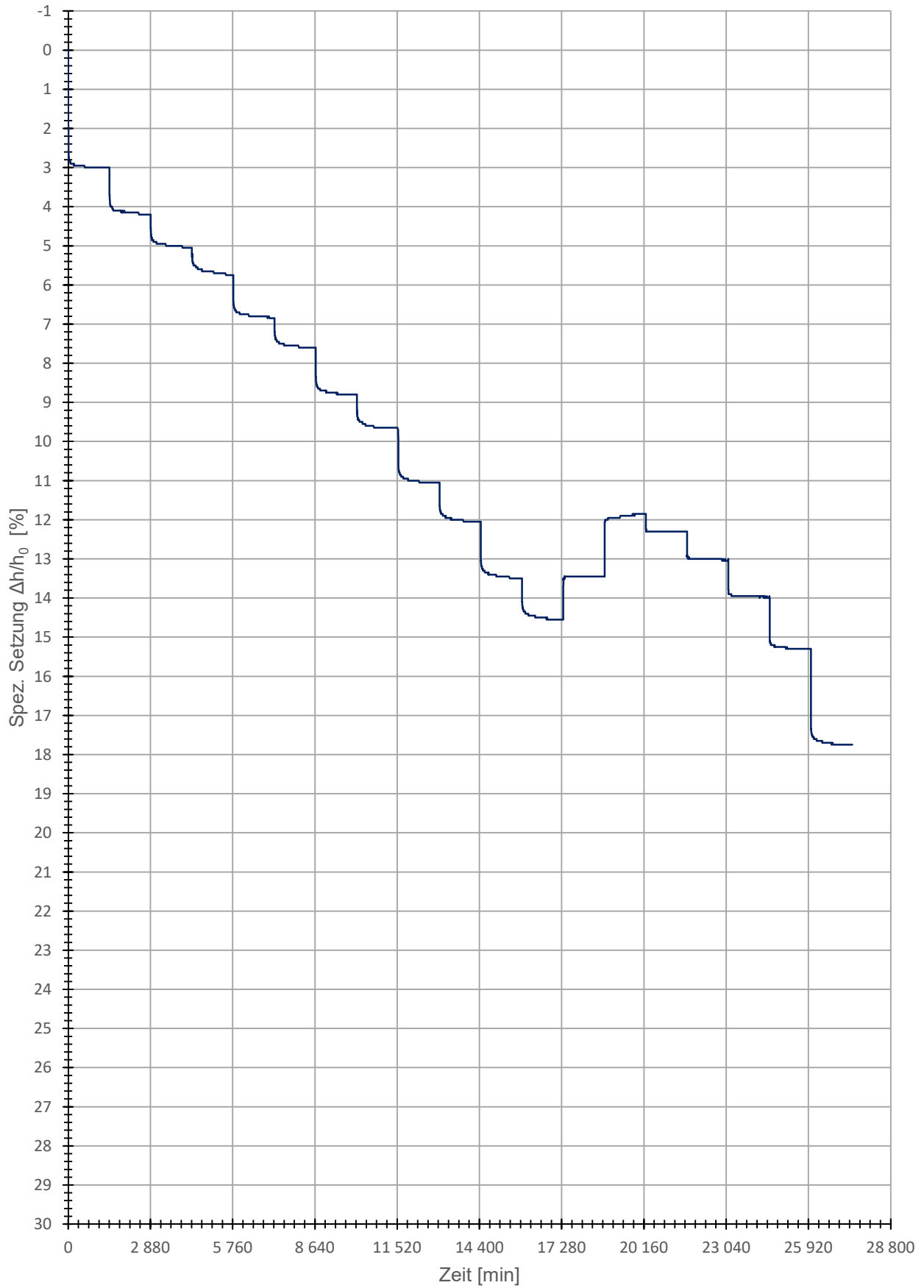
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

GIN_0,90-1,30_SD.1.2



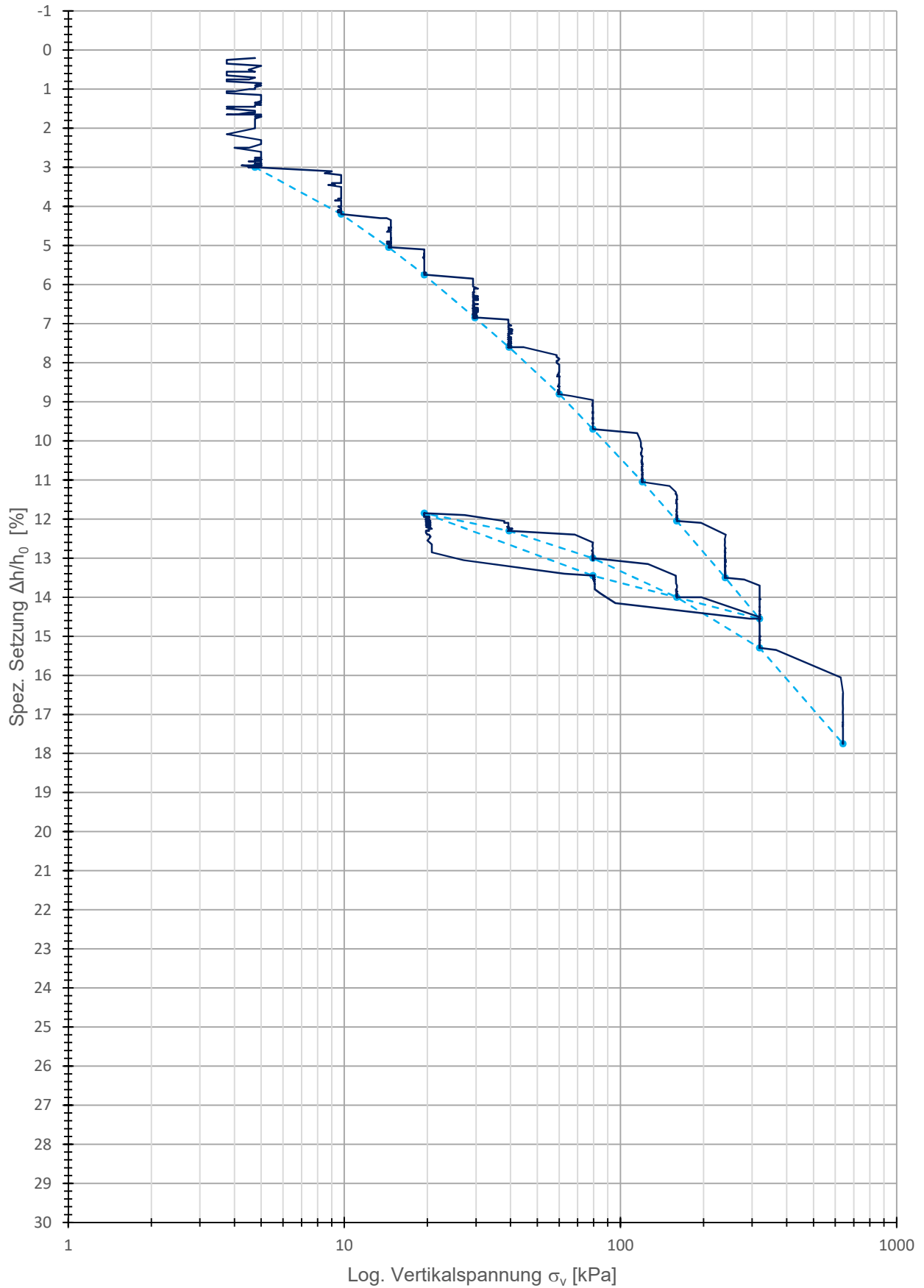
Zeitsetzungskurve

GIN_0,90-1,30_SD.1.2



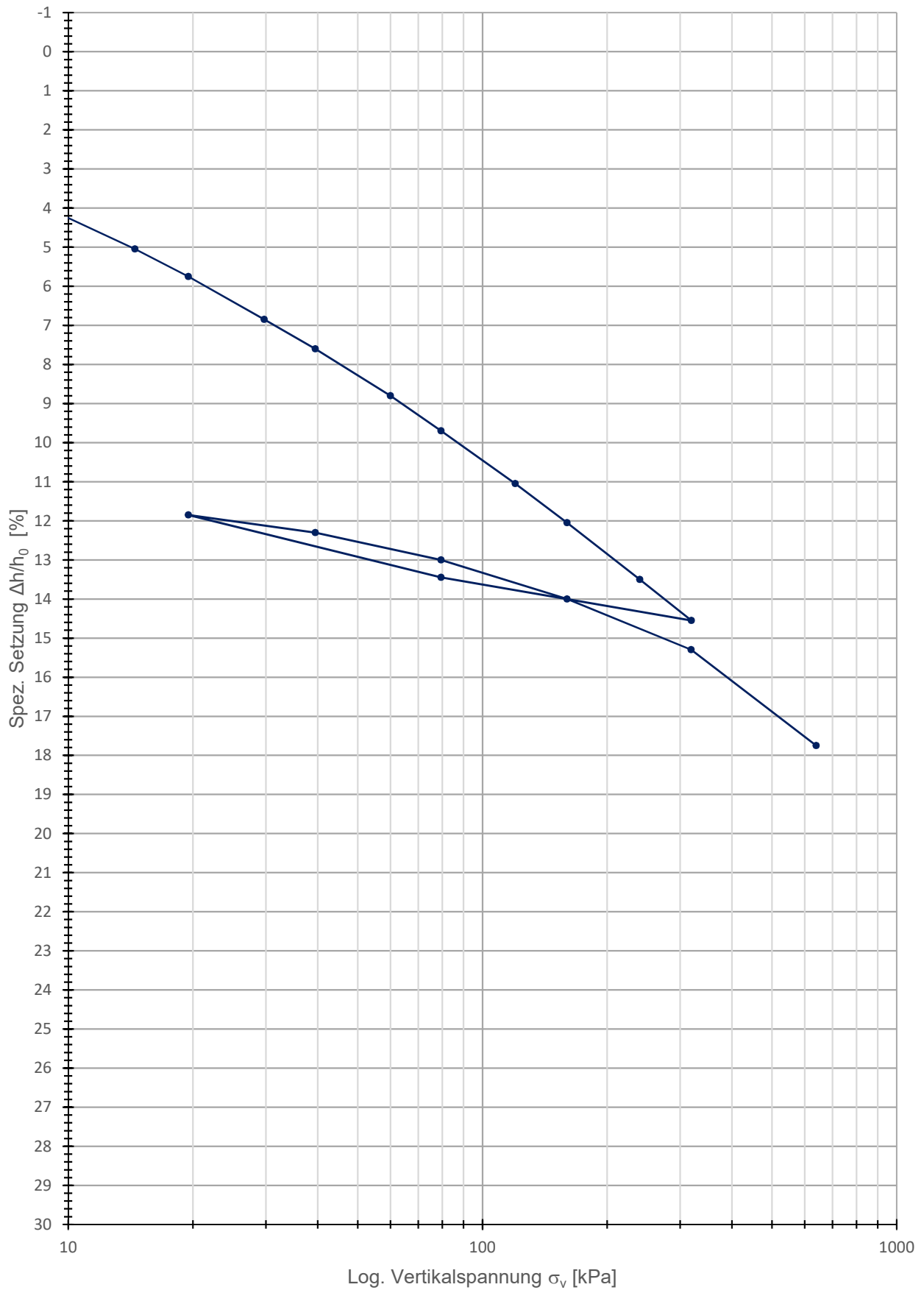
Kompressionsversuch (Roh)

GIN_0,90-1,30_SD.1.2 GIN_0,90-1,30_SD.1.2



Kompressionskurve

GIN_0,90-1,30_SD.1.2



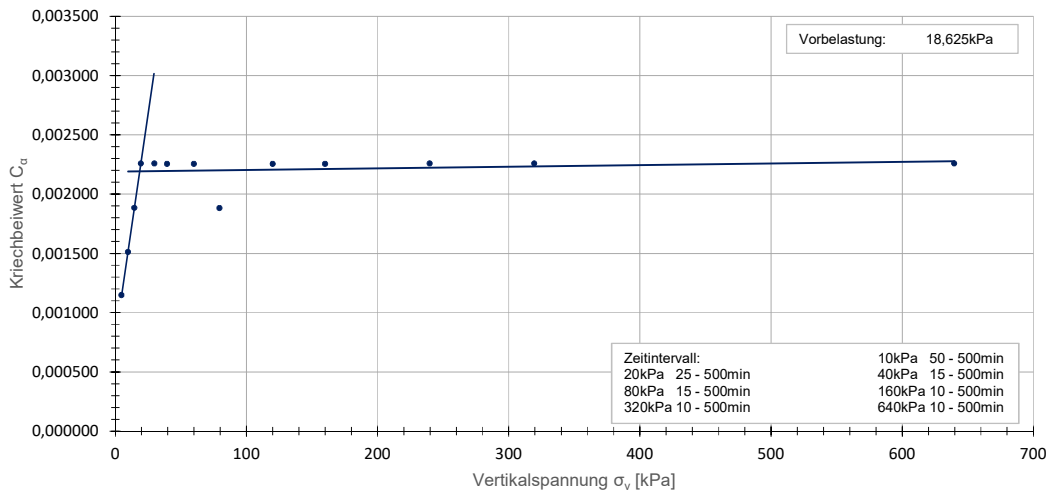
GIN_0,90-1,30_SD.1.2

Daten_Kotzias

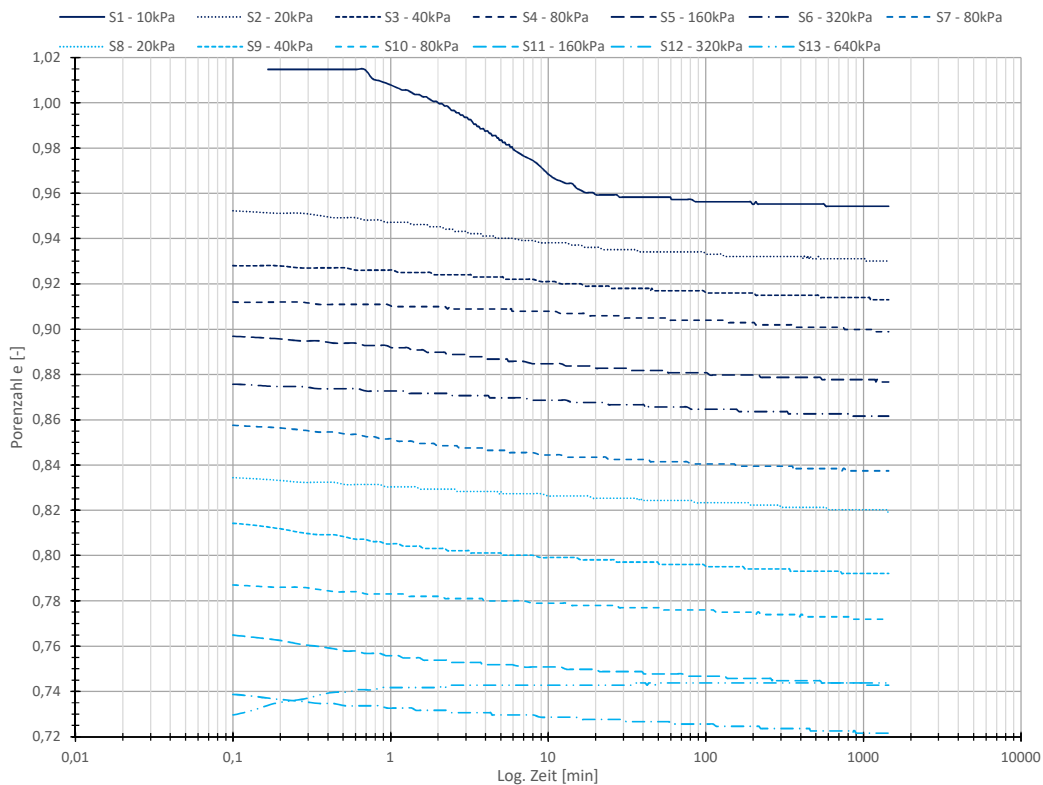
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	C α [-]	unterer Wert [1]			1.2 [min]	11.02.2017	
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]		Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	4,75	0,001148	50	49,600000	0,958320	500	486,633330	0,955290
2	9,75	0,001512	25	24,183329	0,935150	500	486,566669	0,931120
3	14,5	0,001885	15	14,049999	0,920040	500	486,566669	0,915000
4	19,5	0,002258	15	14,049999	0,906940	500	486,566669	0,900900
5	29,75	0,002259	10	9,983329	0,884780	500	486,566669	0,878730
6	39,5	0,002255	10	9,983329	0,868660	500	486,583329	0,862620
7	60	0,002255	10	9,983329	0,844480	500	486,566669	0,838440
8	79,5	0,001882	10	9,983329	0,826350	500	486,566669	0,821310
9	120	0,002255	10	9,983329	0,799150	500	486,566669	0,793110
10	160	0,002255	10	9,983329	0,779000	500	486,566669	0,772960
11	239,75	0,002259	10	9,983329	0,750800	500	486,566669	0,744750
12	319,5	0,002259	10	9,983329	0,728640	500	486,566669	0,722590
19	639,75	0,002259	10	9,983329	0,664170	500	486,566669	0,658120
Wiederbelastung	0,000076	0,000784	i(x)=0,000076x + 0,000784		0,002192			
Erstbelastung	0,000000	0,002190	j(x)=0x + 0,00219		0,002192			
					X=	18,625204		
					Differenz	0		

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,90-1,30_SD.1.2



Murayama & Shibata - Porenzahl



GIN_0,90-1,30_SD.1.2

Daten_Kotzias

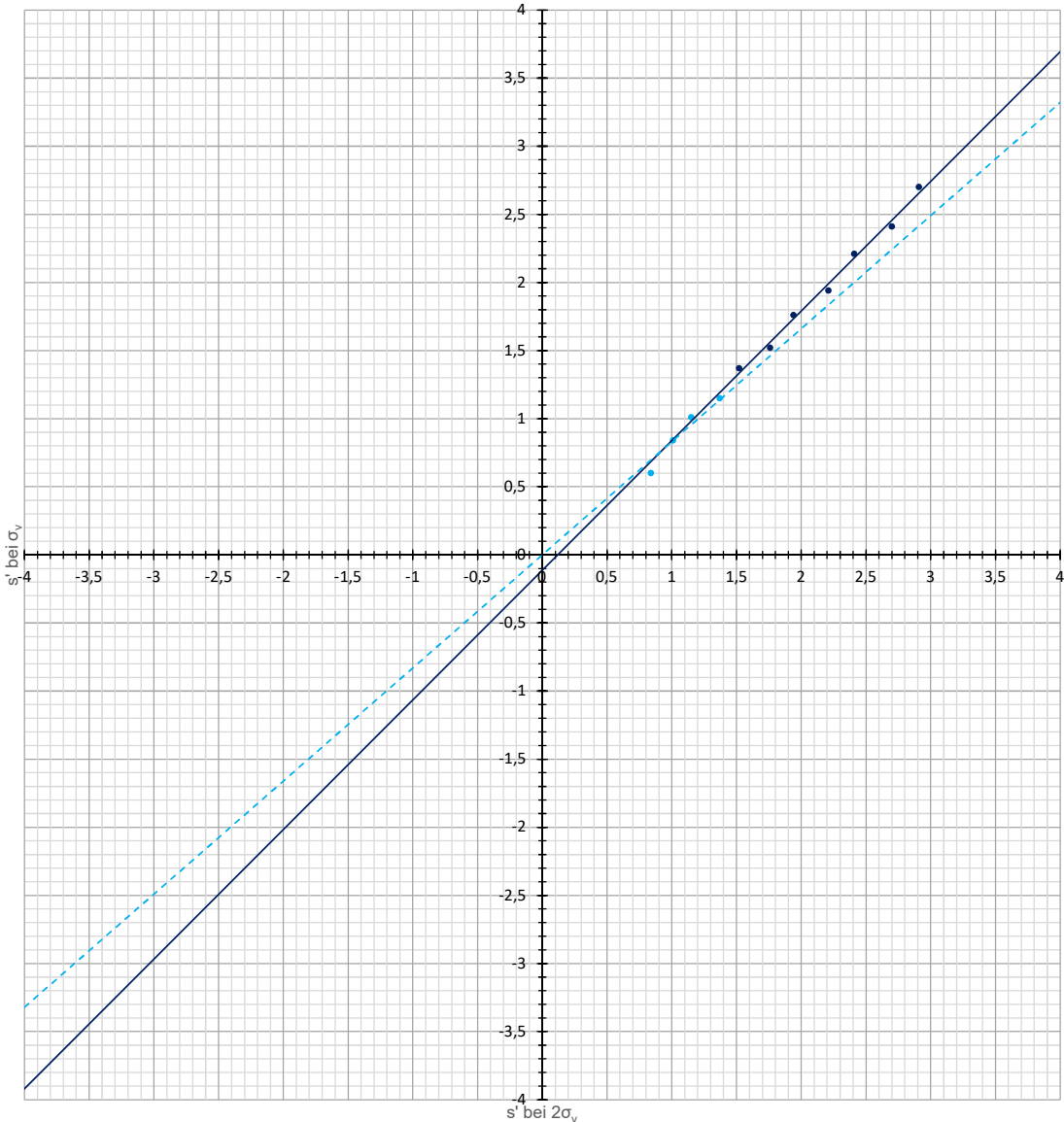
Belastungstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	4,75	0,6	0,84
2	9,75	0,84	1,01
3	14,5	1,01	1,15
4	19,5	1,15	1,37
5	29,75	1,37	1,52
6	39,5	1,52	1,76
7	60	1,76	1,94
8	79,5	1,94	2,21
9	120	2,21	2,41
10	160	2,41	2,7
11	239,75	2,7	2,91
12	319,5	2,91	
13	79,5	2,69	
14	19,5	2,37	2,46
15	39,5	2,46	2,6
16	79,5	2,6	2,8
17	160	2,8	3,06
18	319,25	3,06	3,55
19	639,75	3,55	#NV

Wiederbelastung	0,830318	0,000000	f(x)=0,83x	0,776202
Erstbelastung	0,951759	-0,113526	g(x)=0,952x + -0,114	0,776202
			X=	0,934824
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,776202
Vorbelastung	20,833333	-7,750000	h(x)=20,833x + -7,75	8,420867

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,776 mm
 Vorbelastung: 8,421kPa

Kotzias - Setzung

● Erstbelastung
 ● Wiederbelastung
 — Linear (Erstbelastung)
 - - - Linear (Wiederbelastung)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch			GINau (GIN)	16.11.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.			0,90 - 1,30	SD 2
Bezeichnung Ödometerring			Ö-II	
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,135	
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,010	8,90
Bezeichnung Kernstechzylinder			keiner	
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,76	
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00	
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	3,550	
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	80,366	
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	66,172	
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000	

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	111,702	111,702	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	190,710	190,710	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	451,161	437,114	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	409,521	409,521	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	148,749	134,702	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	1,85	2,04	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	107,109	107,109	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,33	1,62	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	38,88	25,76	k.A.
Porenanteil	n	[%]	51,71	41,35	k.A.
Porenzahl	e	[-]	1,07	0,71	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	500,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	68,250
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	45,265

geologische Vorkonsolidationsspannung

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	20	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	22	

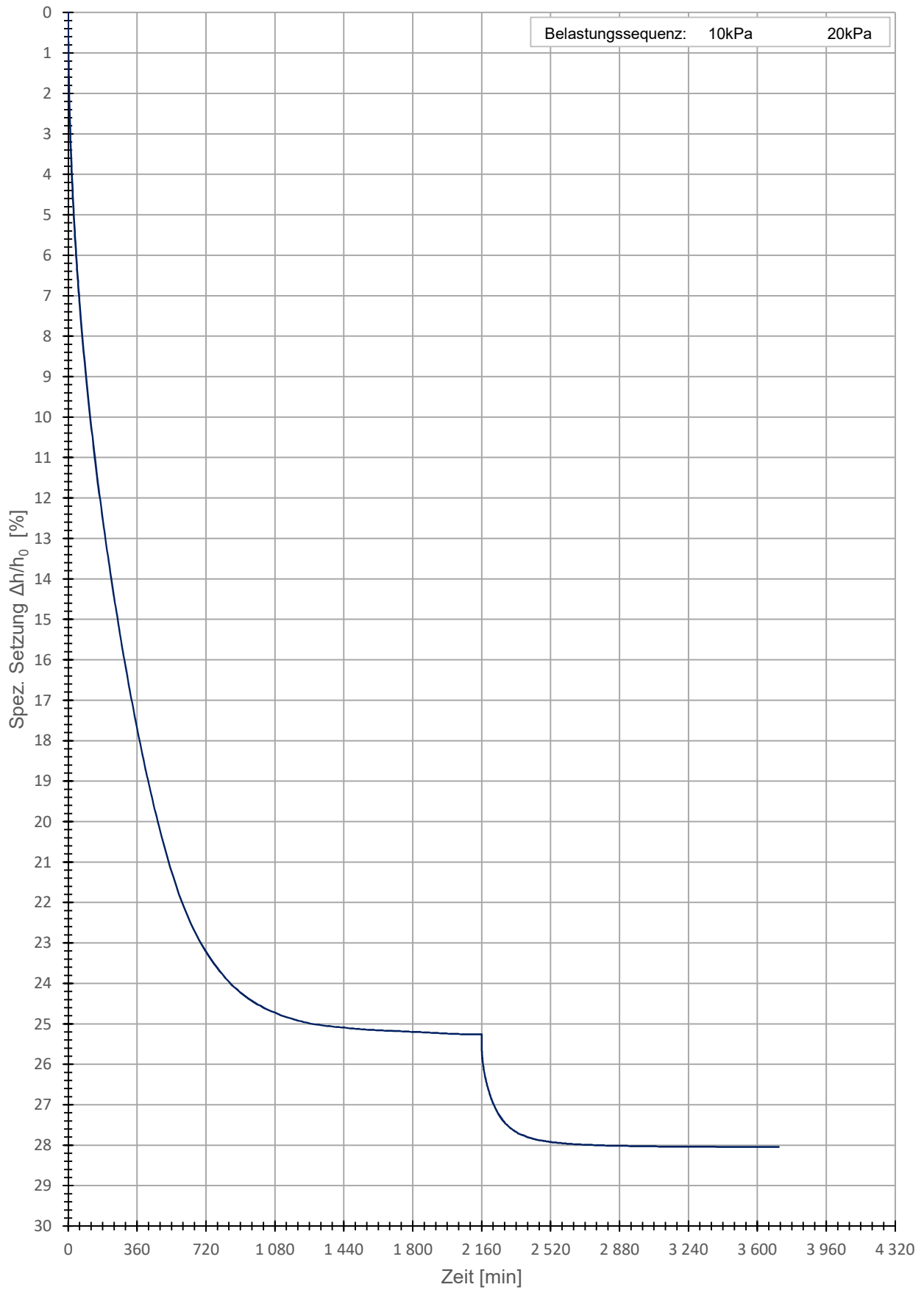
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

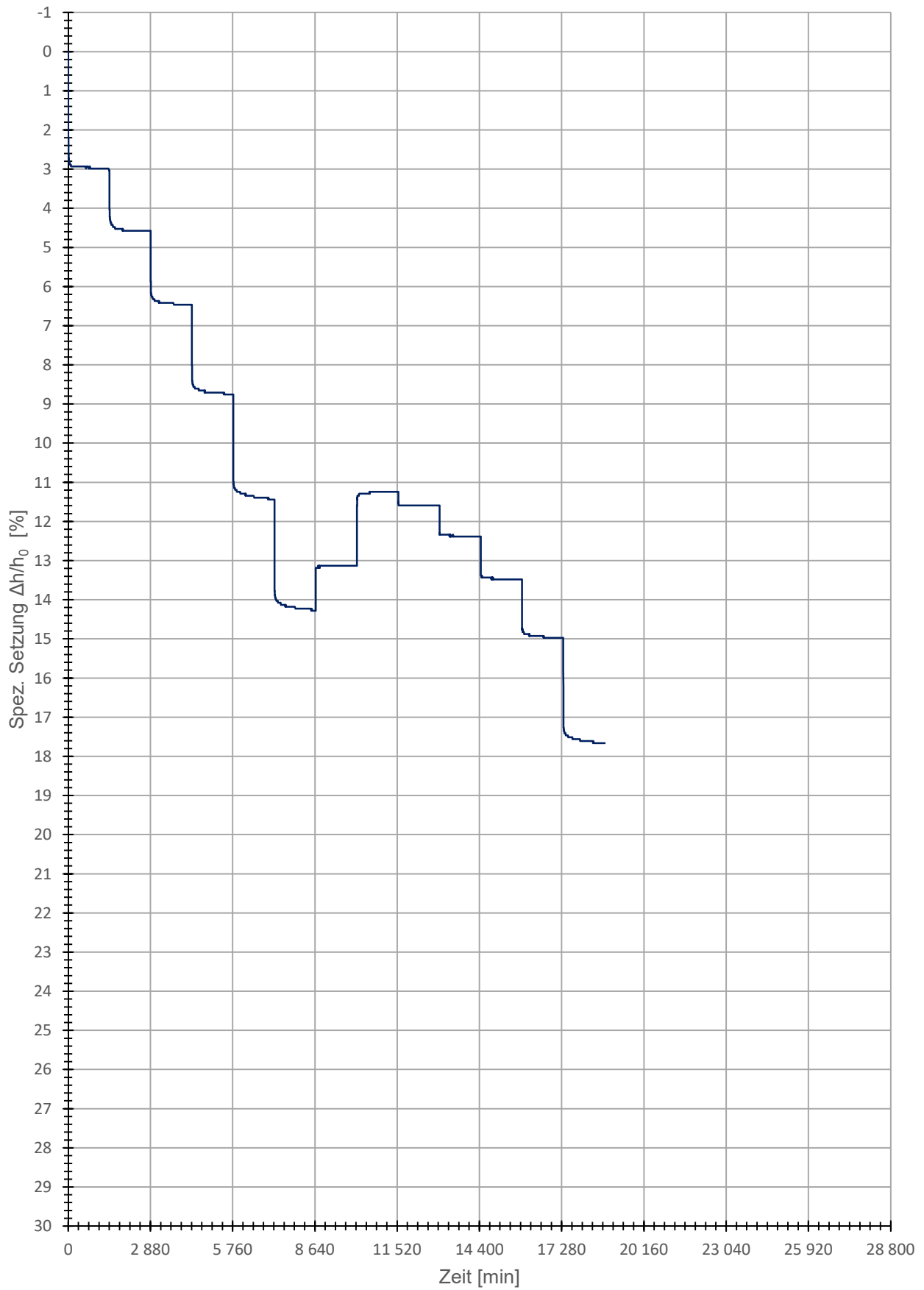
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

GIN_0,90-1,30_SD.2



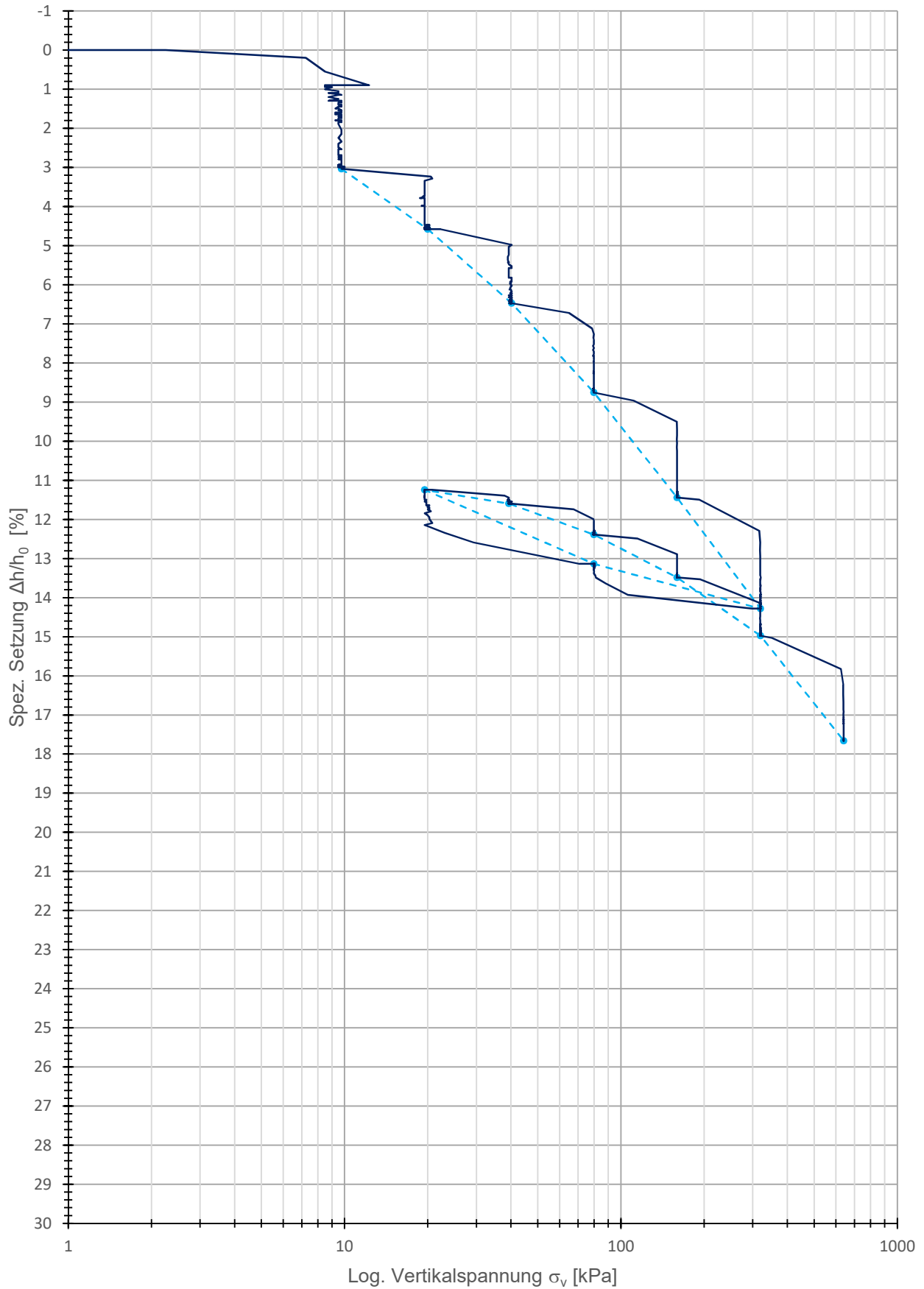
Zeitsetzungskurve

GIN_0,90-1,30_SD.2



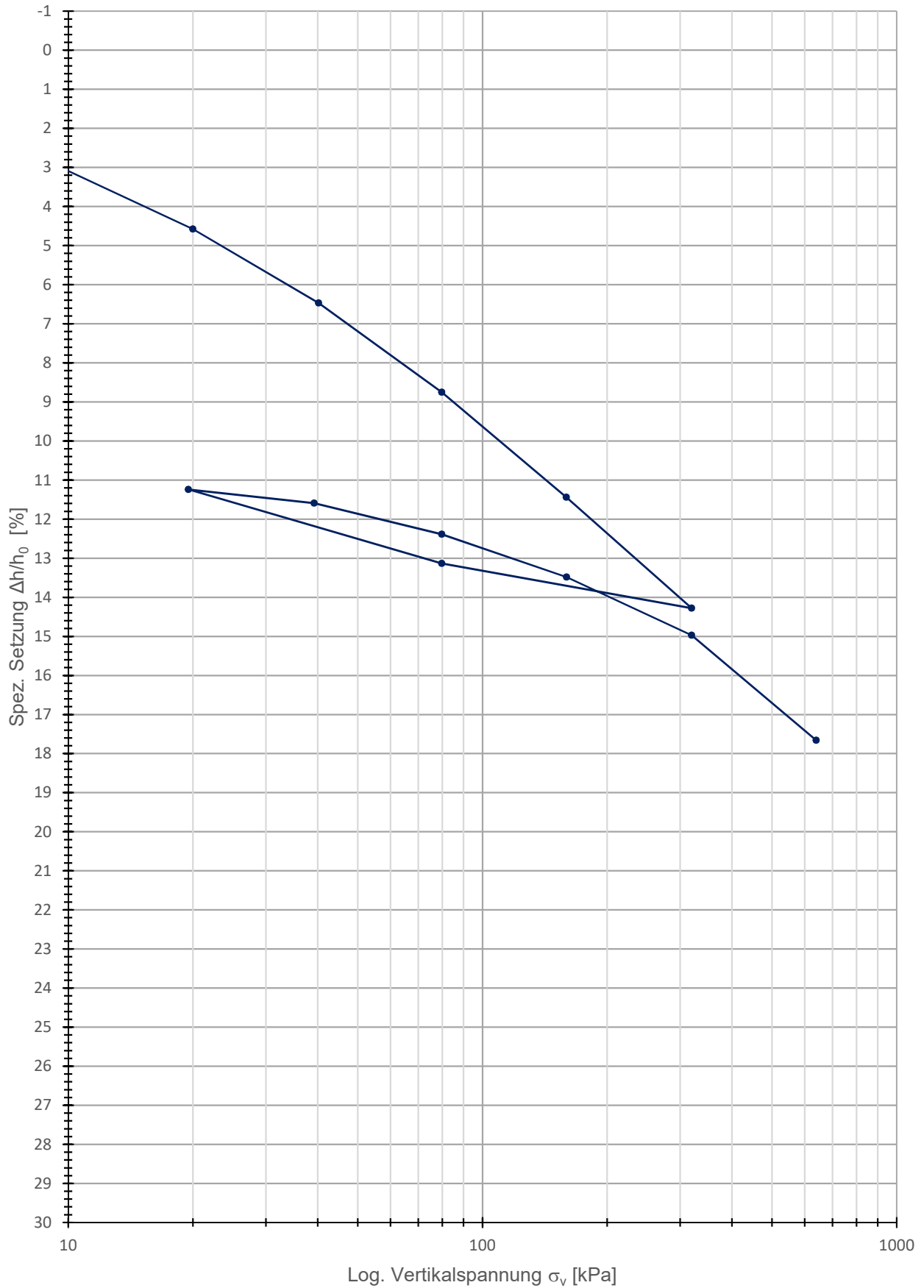
Kompressionsversuch (Roh)

GIN_0,90-1,30_SD.2 GIN_0,90-1,30_SD.2



Kompressionskurve

GIN_0,90-1,30_SD.2



GIN_0,90-1,30_SD.2

Daten_Kotzias

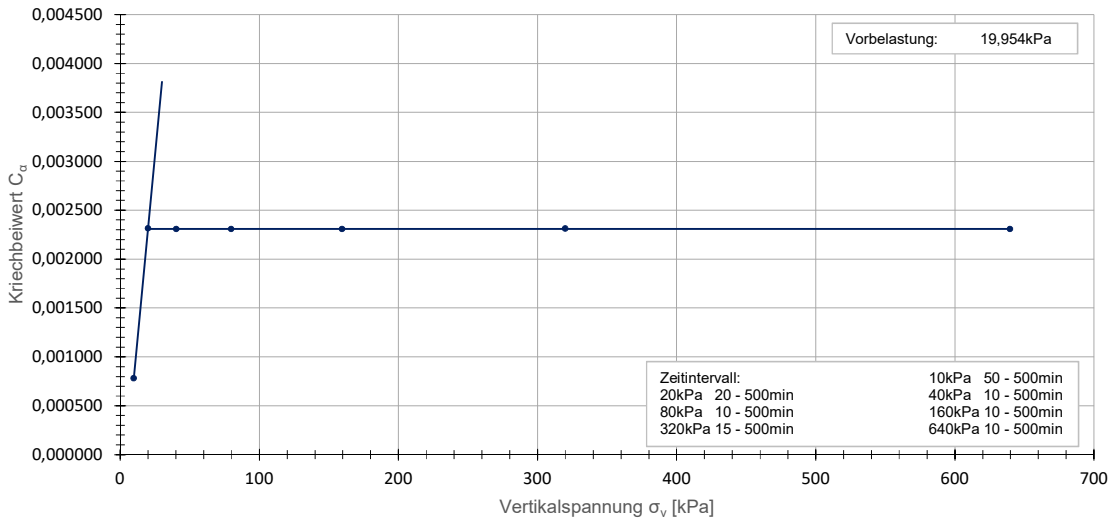
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	9,75	0,000780	50	49,600000	1,012160	500	486,650000	1,010100
2	20	0,002315	20	19,116669	0,982280	500	486,583329	0,976100
3	40,25	0,002308	10	9,983329	0,944160	500	486,566669	0,937980
4	79,75	0,002308	10	9,983329	0,896770	500	486,583329	0,890590
5	159,5	0,002308	10	9,999999	0,842160	500	486,583329	0,835980
6	320	0,002311	15	14,033329	0,783440	500	486,566669	0,777260
13	639,75	0,002308	10	9,999999	0,713380	500	486,583329	0,707200

Wiederbelastung	0,000150	-0,000680	$i(x)=0,00015x - 0,00068$	0,002308
Erstbelastung	0,000000	0,002308	$j(x)=0x + 0,002308$	0,002308

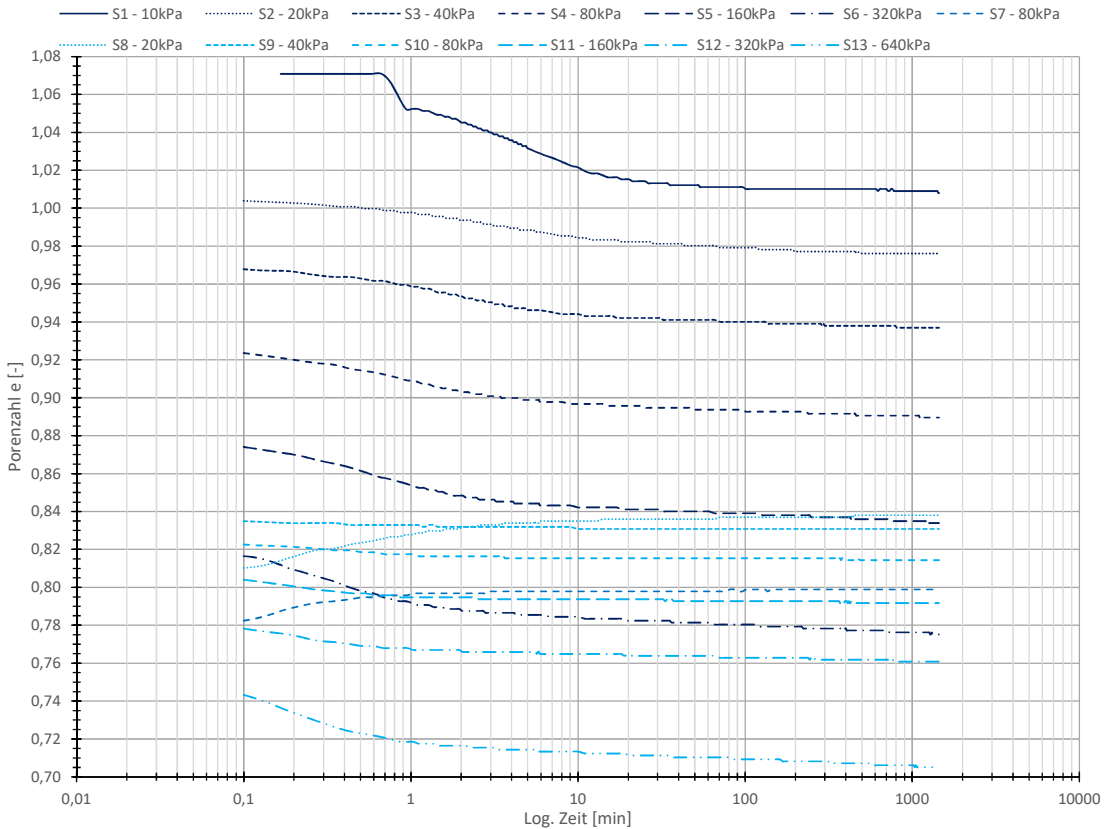
X= 19,954340
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,90-1,30_SD.2



Murayama & Shibata - Porenzahl



GIN_0,90-1,30_SD.2

Daten_Kotzias

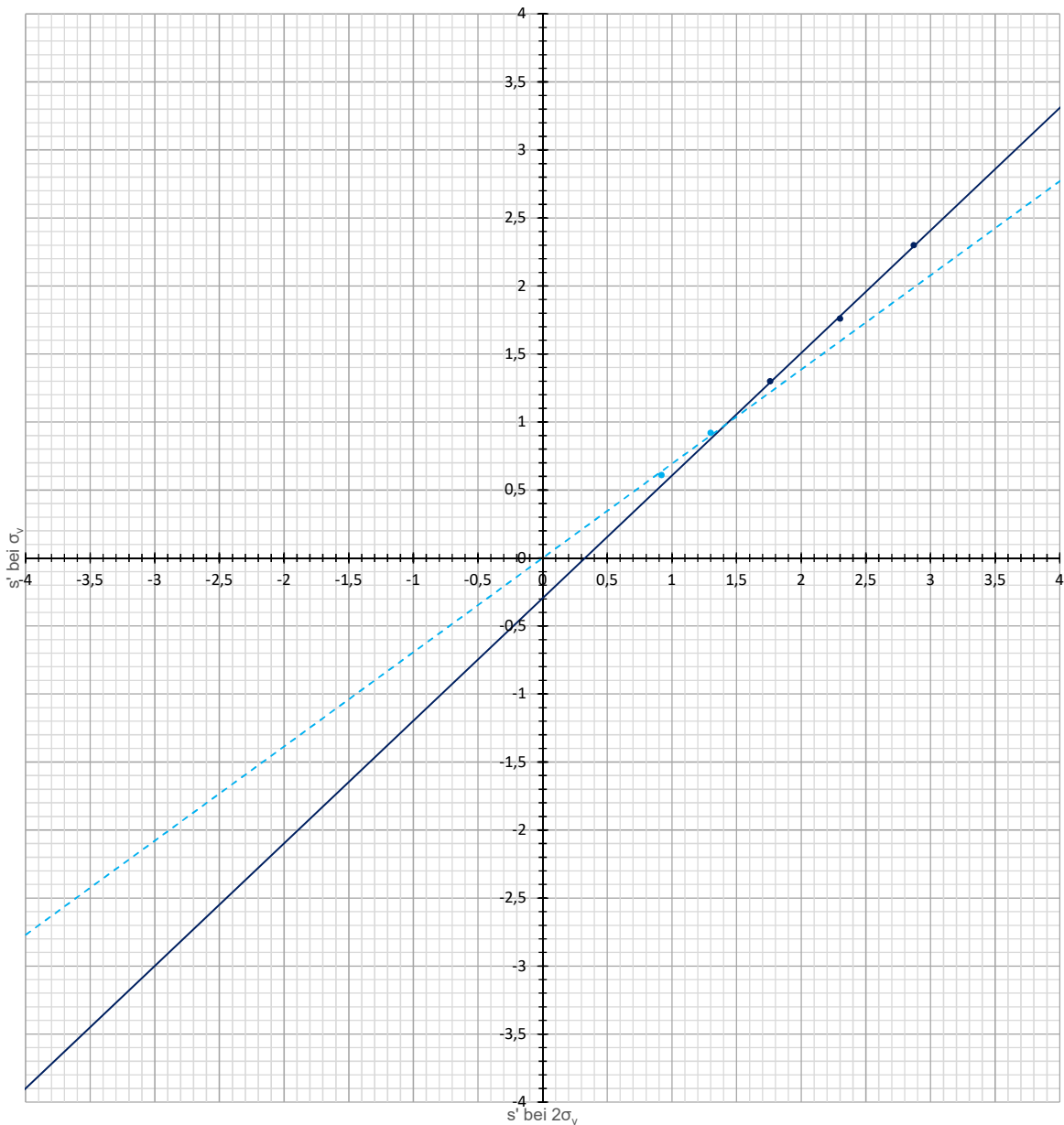
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	9,75	0,61	0,92
2	20	0,92	1,3
3	40,25	1,3	1,76
4	79,75	1,76	2,3
5	159,5	2,3	2,87
6	320	2,87	
7	79,75	2,64	
8	19,5	2,26	2,33
9	39,25	2,33	2,49
10	79,75	2,49	2,71
11	159,75	2,71	3,01
12	319,75	3,01	3,55
13	639,75	3,55	#NV

Wiederbelastung	0,692793	0,000000	$f(x)=0,693x$	0,981386
Erstbelastung	0,901331	-0,295407	$g(x)=0,901x + -0,295$	0,981386
			X=	1,416565
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,981386
Vorbelastung	33,064516	-10,419355	$h(x)=33,065x + -10,419$	22,029704

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 -160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,981 mm
 Vorbelastung: 22,03kPa

Kotzias - Setzung

- Erstbelastung
- Wiederbelastung
- Linear (Erstbelastung)
- - - Linear (Wiederbelastung)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch	Ginau (GIN)		11.12.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.	0,90 - 1,30	SD	3
Bezeichnung Ödometerring	Ö-III		
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,133
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,003
Bezeichnung Kernstechzylinder	keiner		8,40
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,77
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	4,158
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	80,042
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	63,426
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe	Ödometerprobe	Kernprobe
			(vorher)	(nachher)	(vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	110,112	110,112	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	332,487	332,487	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	588,325	571,889	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	545,531	545,531	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	145,726	129,290	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	1,82	2,04	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	102,932	102,932	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,29	1,62	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	41,58	25,61	k.A.
Porenanteil	n	[%]	53,57	41,41	k.A.
Porenzahl	e	[-]	1,15	0,71	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	500,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	68,250
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	41,071

geologische Vorkonsolidationsspannung

160 - 320kPa 320 - 640kPa

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	20	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	29	

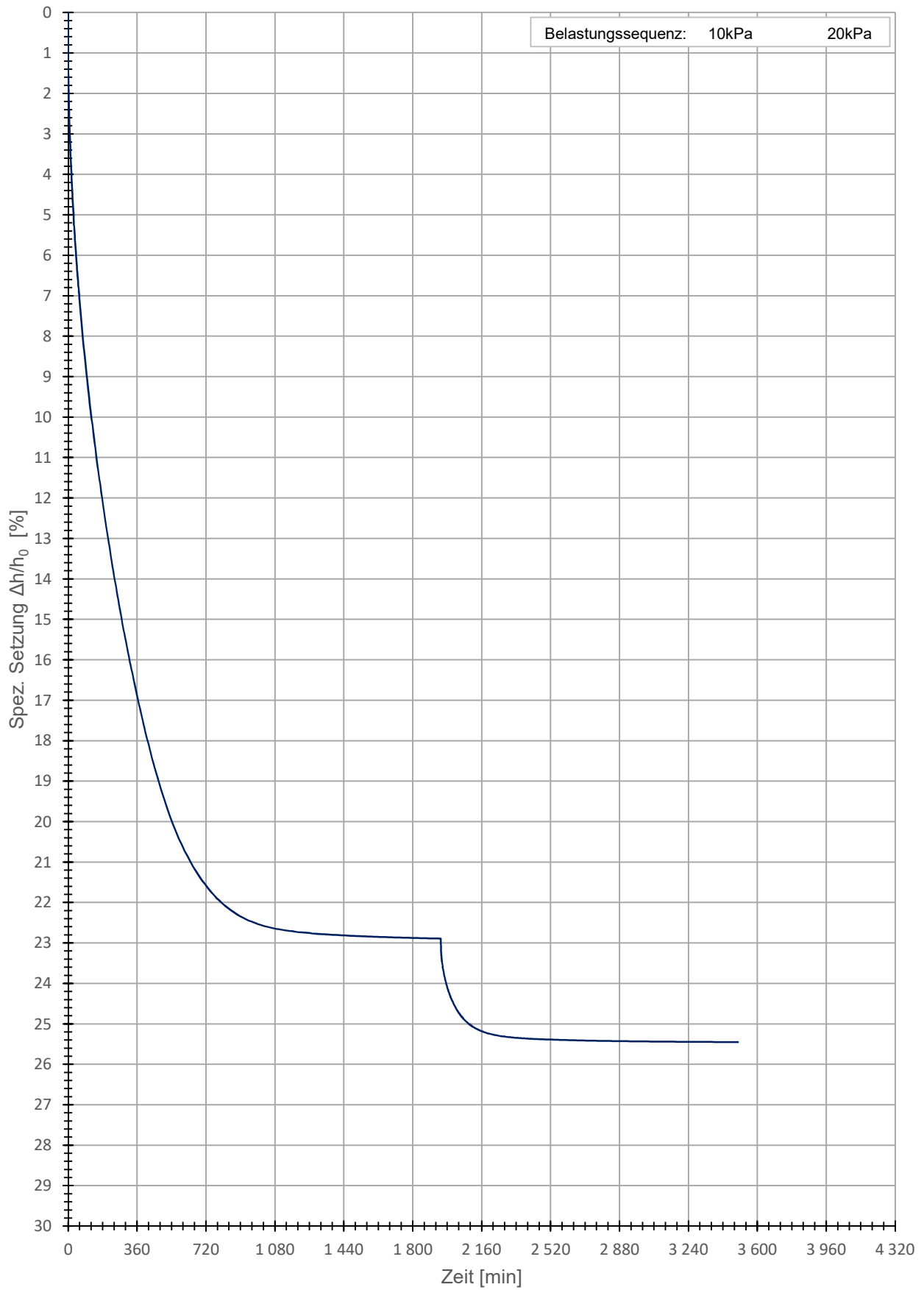
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

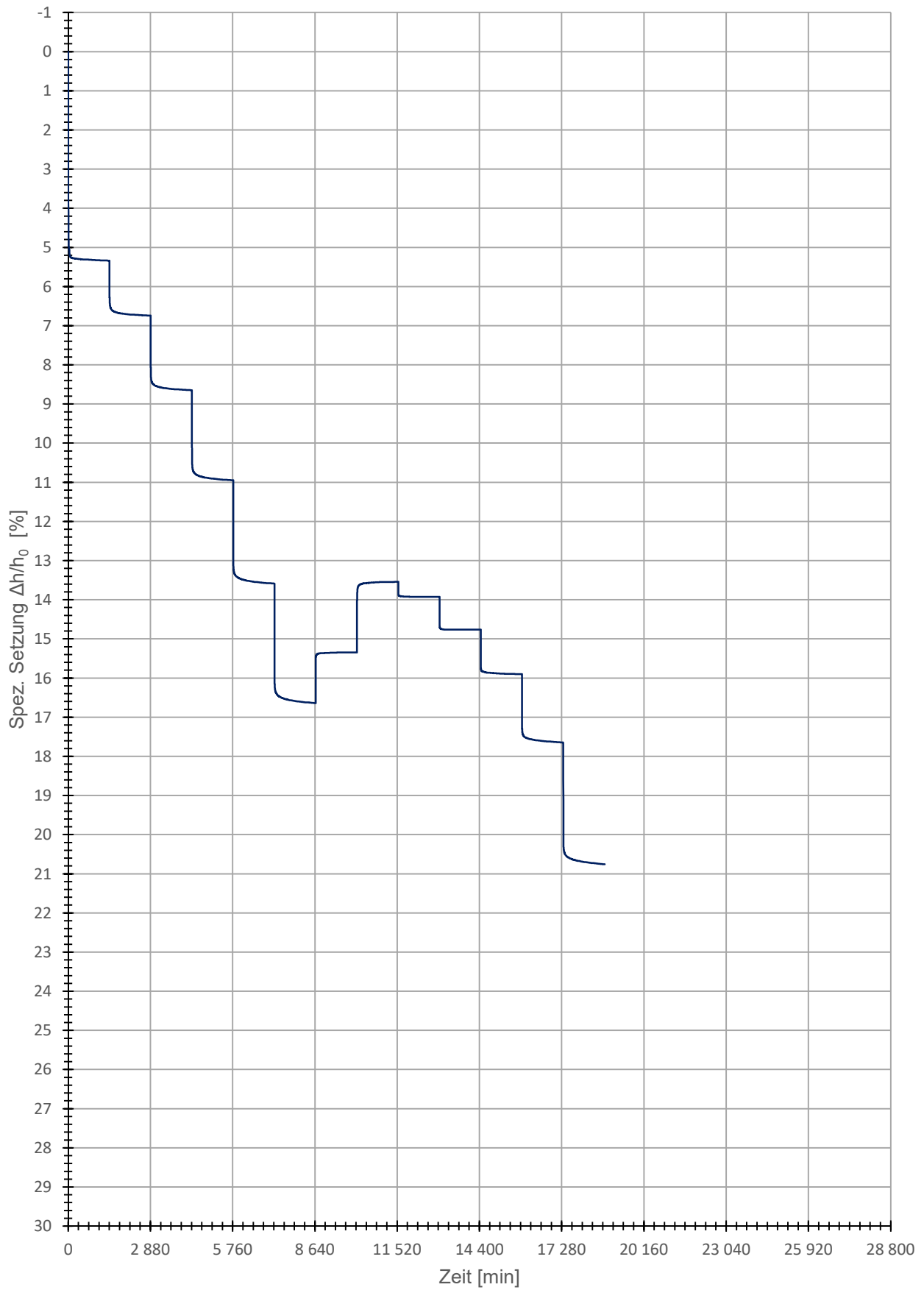
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

GIN_0,90-1,30_SD.3



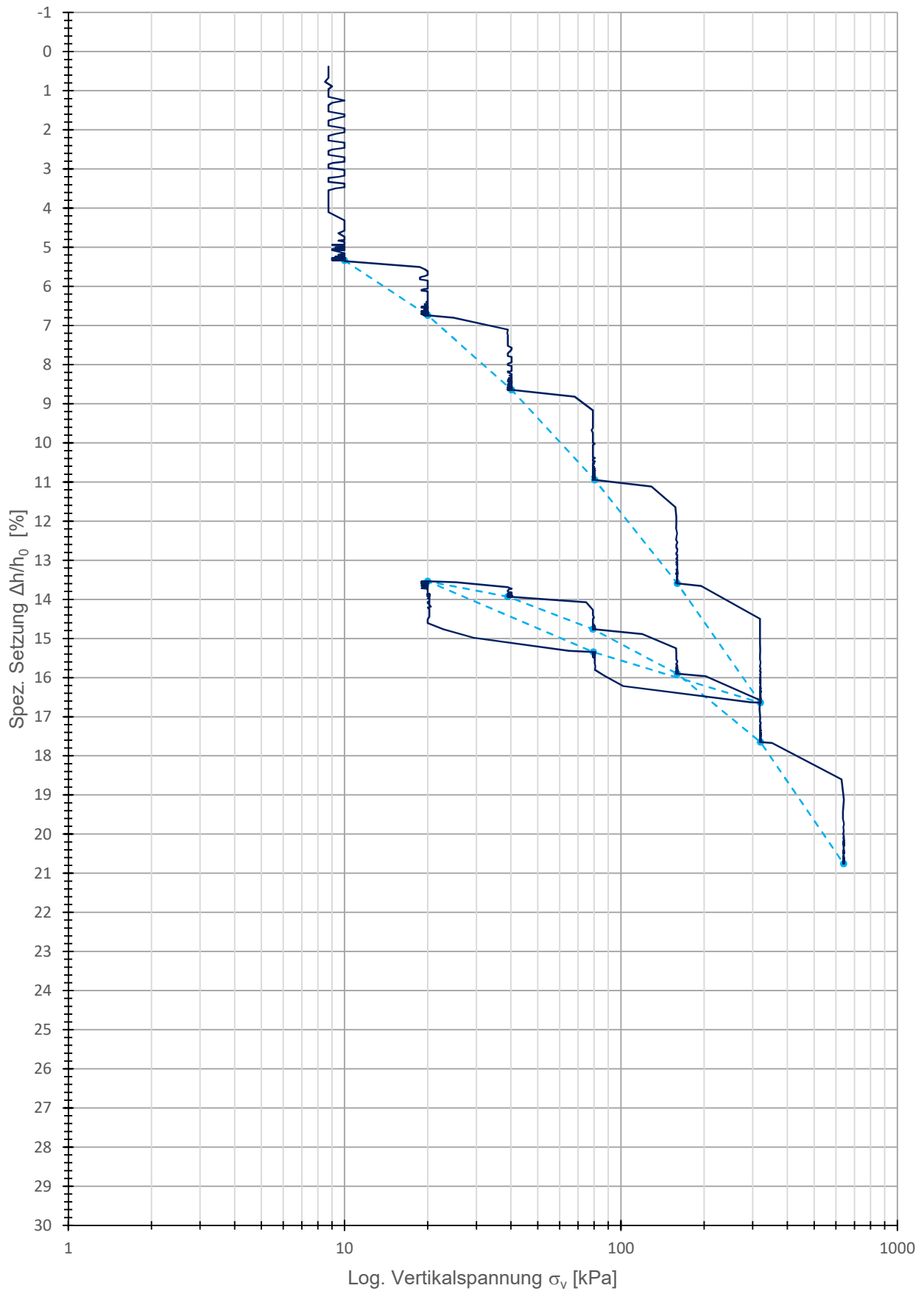
Zeitsetzungskurve

GIN_0,90-1,30_SD.3



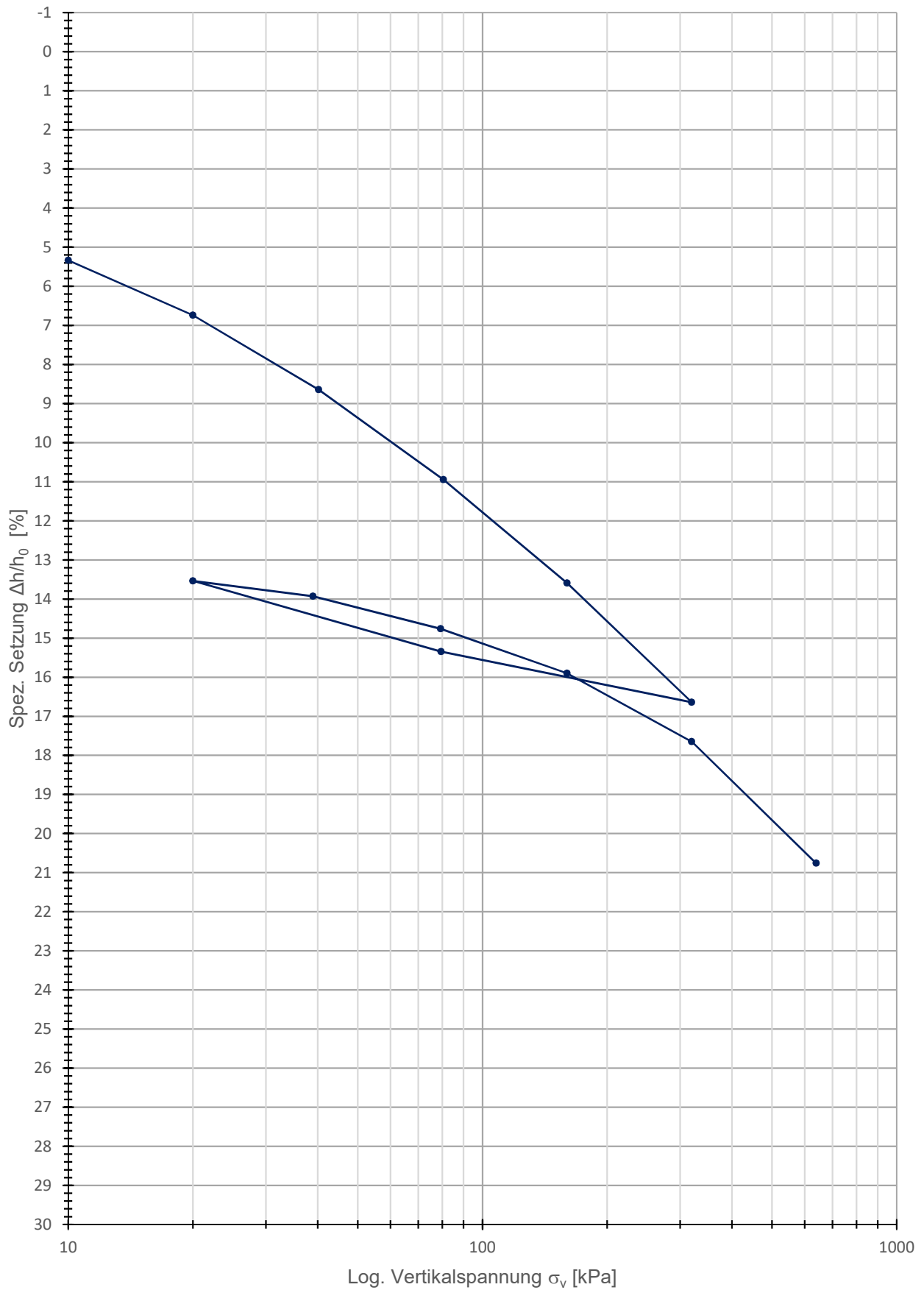
Kompressionsversuch (Roh)

GIN_0,90-1,30_SD.3 GIN_0,90-1,30_SD.3



Kompressionskurve

GIN_0,90-1,30_SD.3



GIN_0,90-1,30_SD.3

Daten_Kotzias

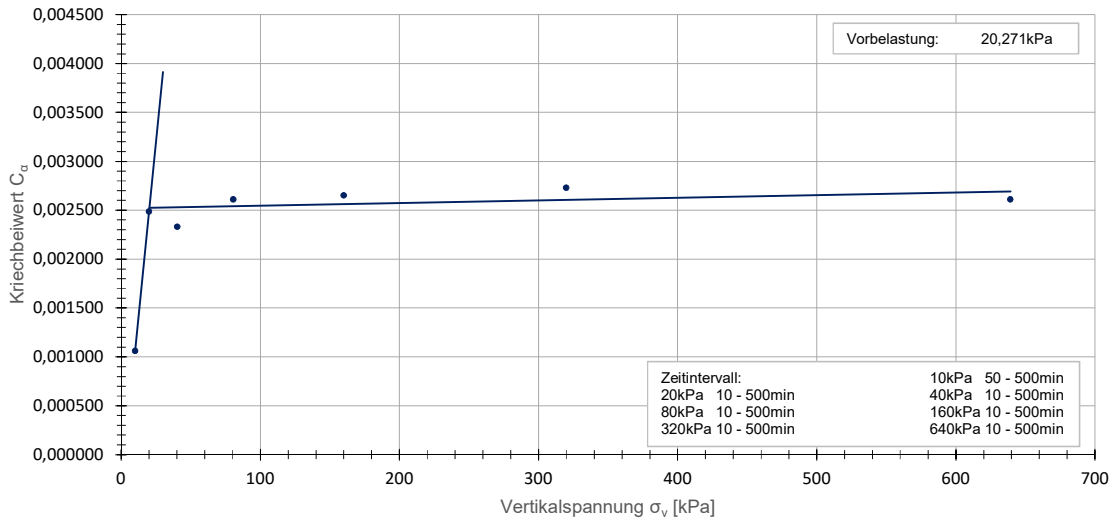
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	10	0,001060	50	49,583330	1,042590	500	486,633330	1,039790
2	20	0,002487	10	9,983329	1,016450	500	486,583329	1,009790
3	40,25	0,002330	10	9,983329	0,975160	500	486,583329	0,968920
4	80,5	0,002610	10	9,983329	0,926550	500	486,566669	0,919560
5	160	0,002651	10	9,983329	0,869990	500	486,583329	0,862890
6	320	0,002729	10	9,983329	0,804710	500	486,583329	0,797400
13	639,25	0,002610	10	9,999999	0,715880	500	486,583329	0,708890

Wiederbelastung	0,000143	-0,000366	$i(x)=0,000143x + -0,000366$	0,002525
Erstbelastung	0,000000	0,002520	$j(x)=0x + 0,00252$	0,002525

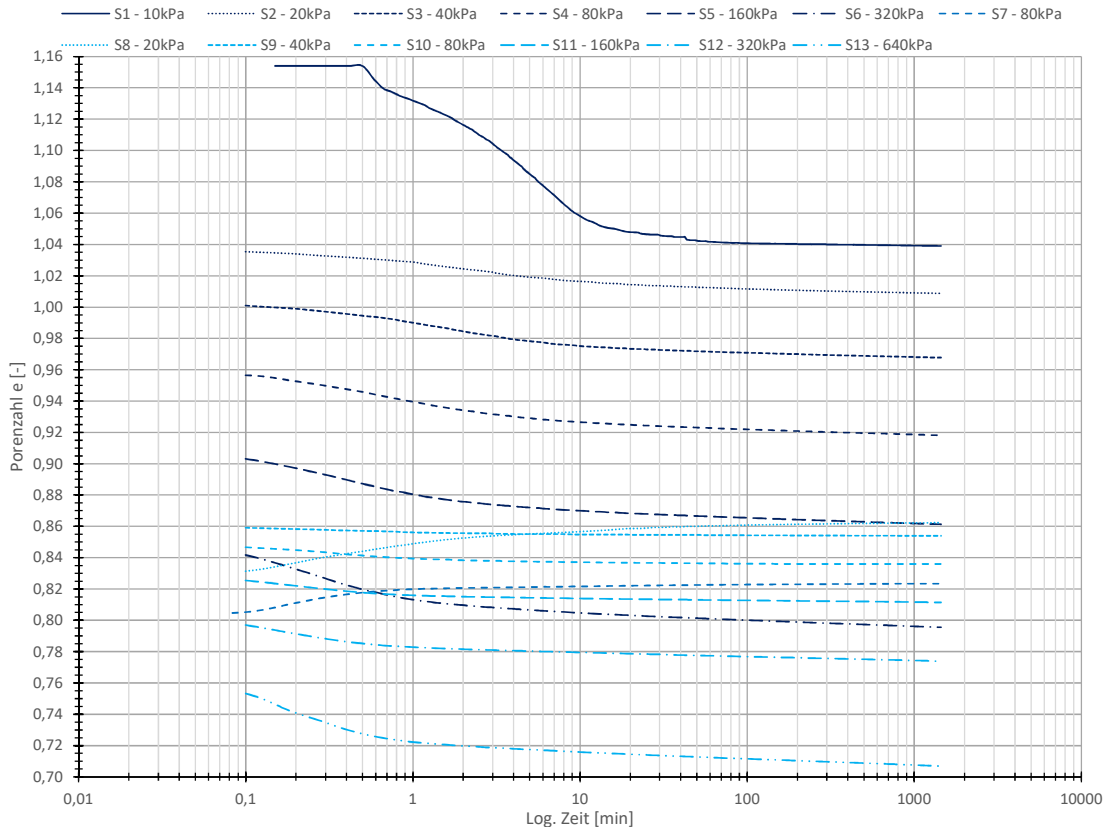
X= 20,271207
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,90-1,30_SD.3



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

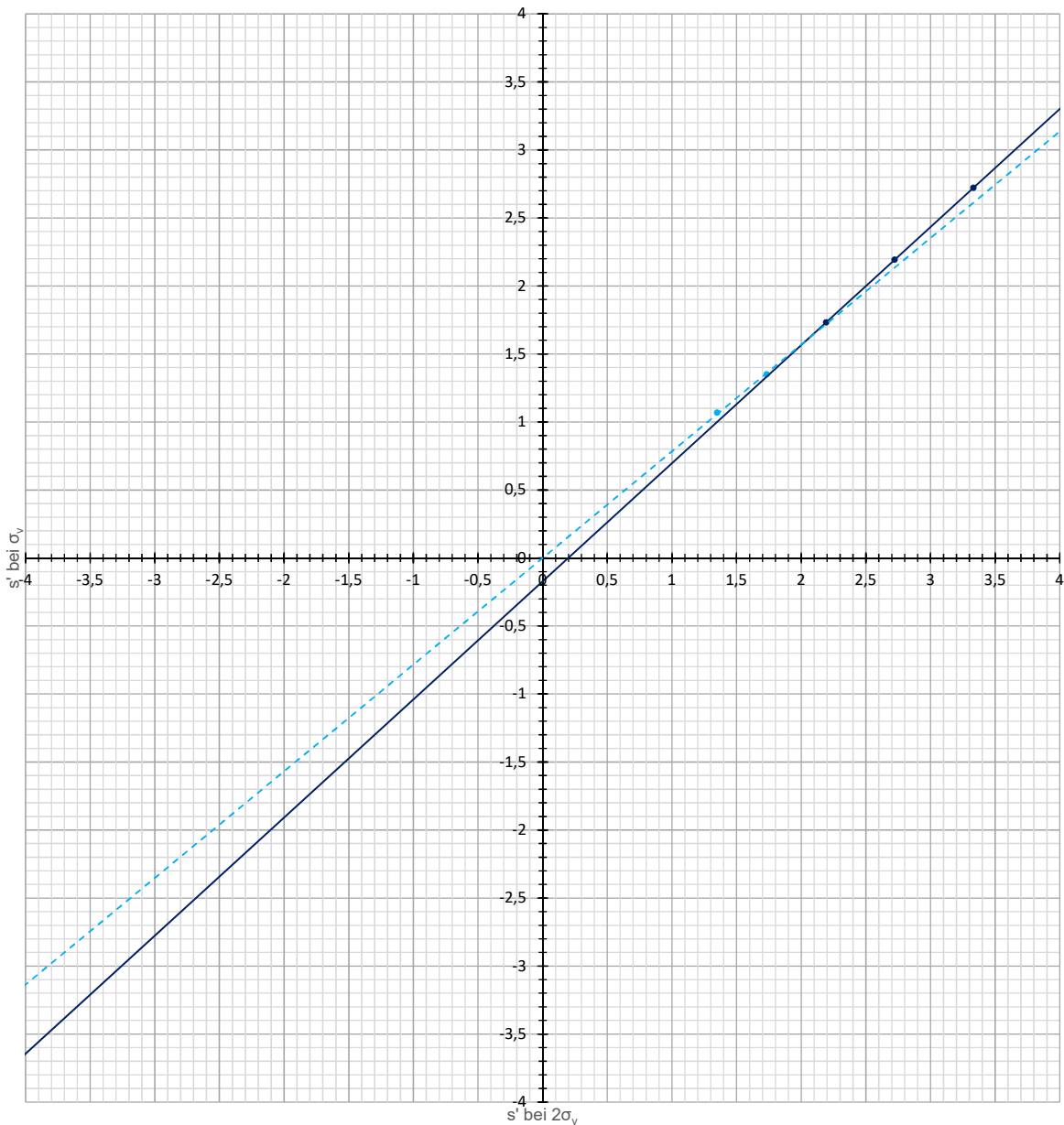
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	10	1,069	1,35
2	20	1,35	1,732
3	40,25	1,732	2,193
4	80,5	2,193	2,722
5	160	2,722	3,333
6	320	3,333	
7	79,5	3,074	
8	20	2,712	2,79
9	39	2,79	2,957
10	79,25	2,957	3,185
11	160	3,185	3,535
12	320	3,535	4,158
13	639,25	4,158	#NV

Wiederbelastung	0,784134	0,000000	$f(x)=0,784x$	1,598886
Erstbelastung	0,868354	-0,171727	$g(x)=0,868x + -0,172$	1,598886
			X=	2,039046
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	1,598886
Vorbelastung	35,587189	-28,042705	$h(x)=35,587x + -28,043$	28,857149

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 1,599 mm
 Vorbelastung: 28,857kPa

Kotzias - Setzung

• Erstbelastung • Wiederbelastung — Linear (Erstbelastung) - - - Linear (Wiederbelastung)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch		Muhr (HIN)	11.12.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.		44,10 - 44,50	SD 1
Bezeichnung Ödometerring		Ö-I	
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,135
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	2,000 8,10
Bezeichnung Kernstechzylinder		keiner	
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,76
Fließgrenze	w_L	[%]	40,40
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	2,980
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	79,966
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	68,051
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	109,847	109,847	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	333,921	333,921	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	592,550	580,818	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	551,821	551,821	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	148,782	137,050	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	1,86	2,01	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	108,053	108,053	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,35	1,59	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	37,69	26,84	k.A.
Porenanteil	n	[%]	51,04	42,47	k.A.
Porenzahl	e	[-]	1,04	0,74	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	500,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	70,700
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	36,131

geologische Vorkonsolidationsspannung

160 - 320kPa 320 - 640kPa

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]		20
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]		20
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]		-28

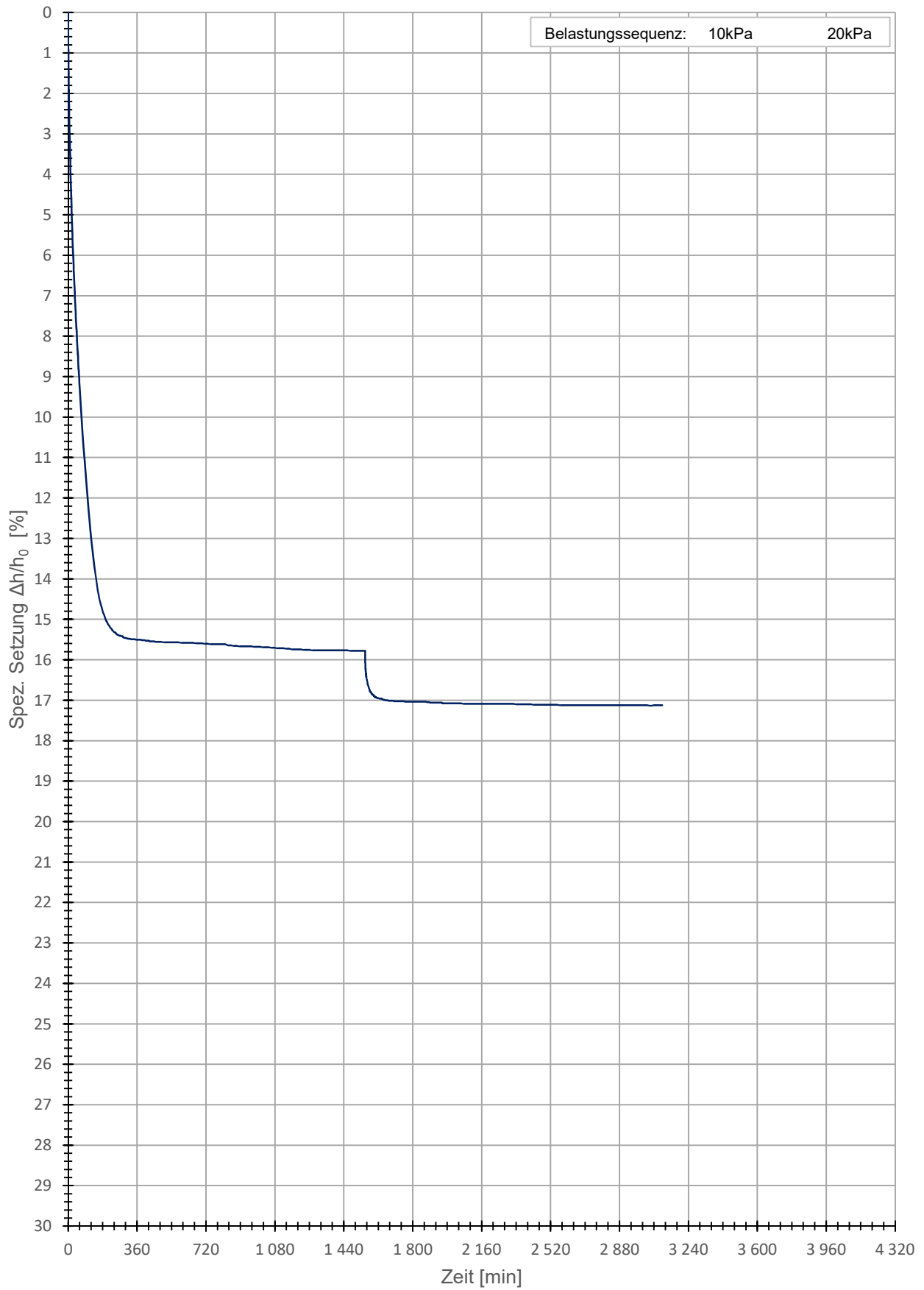
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

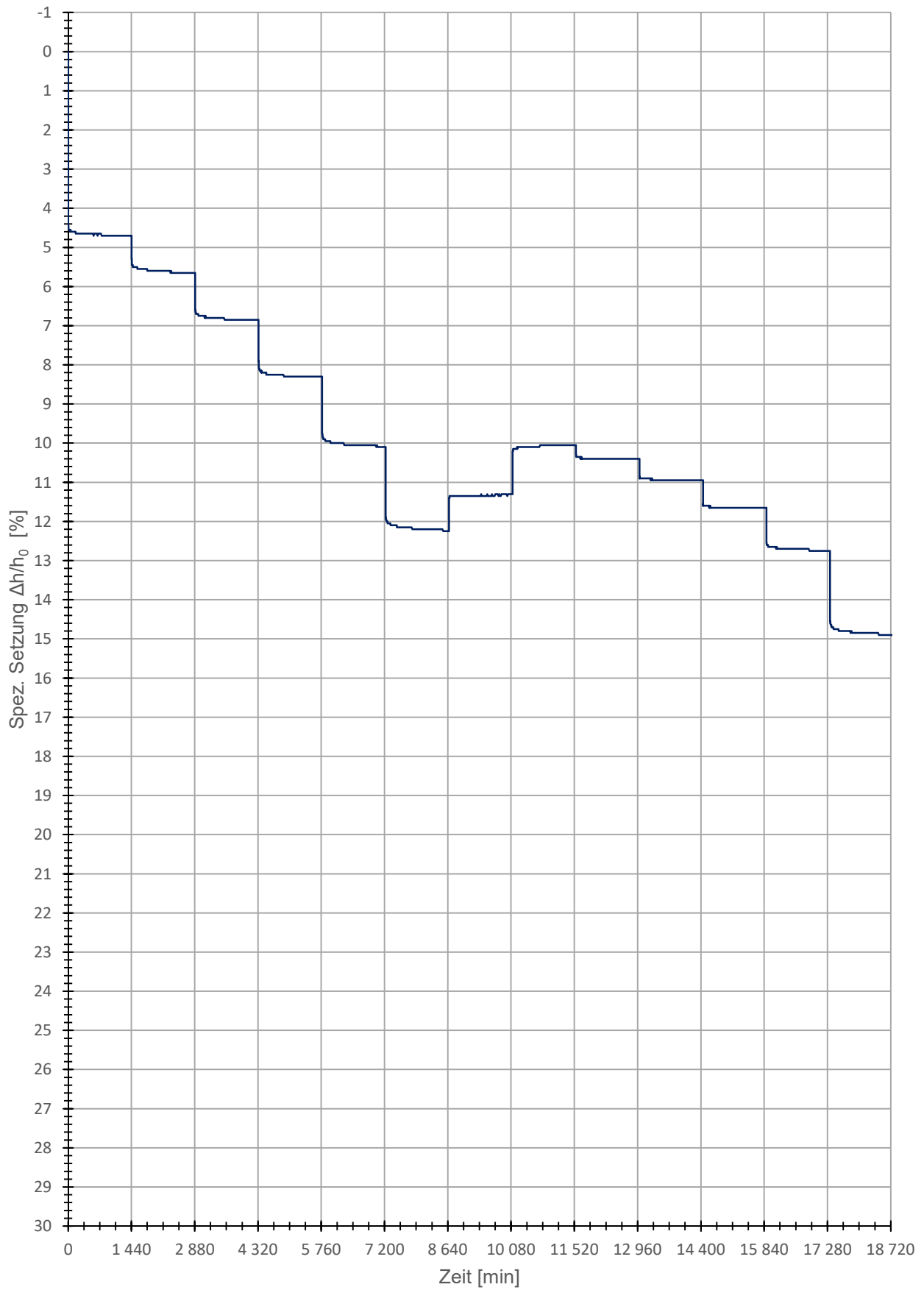
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

— HIN_44,10-44,50_SD.1



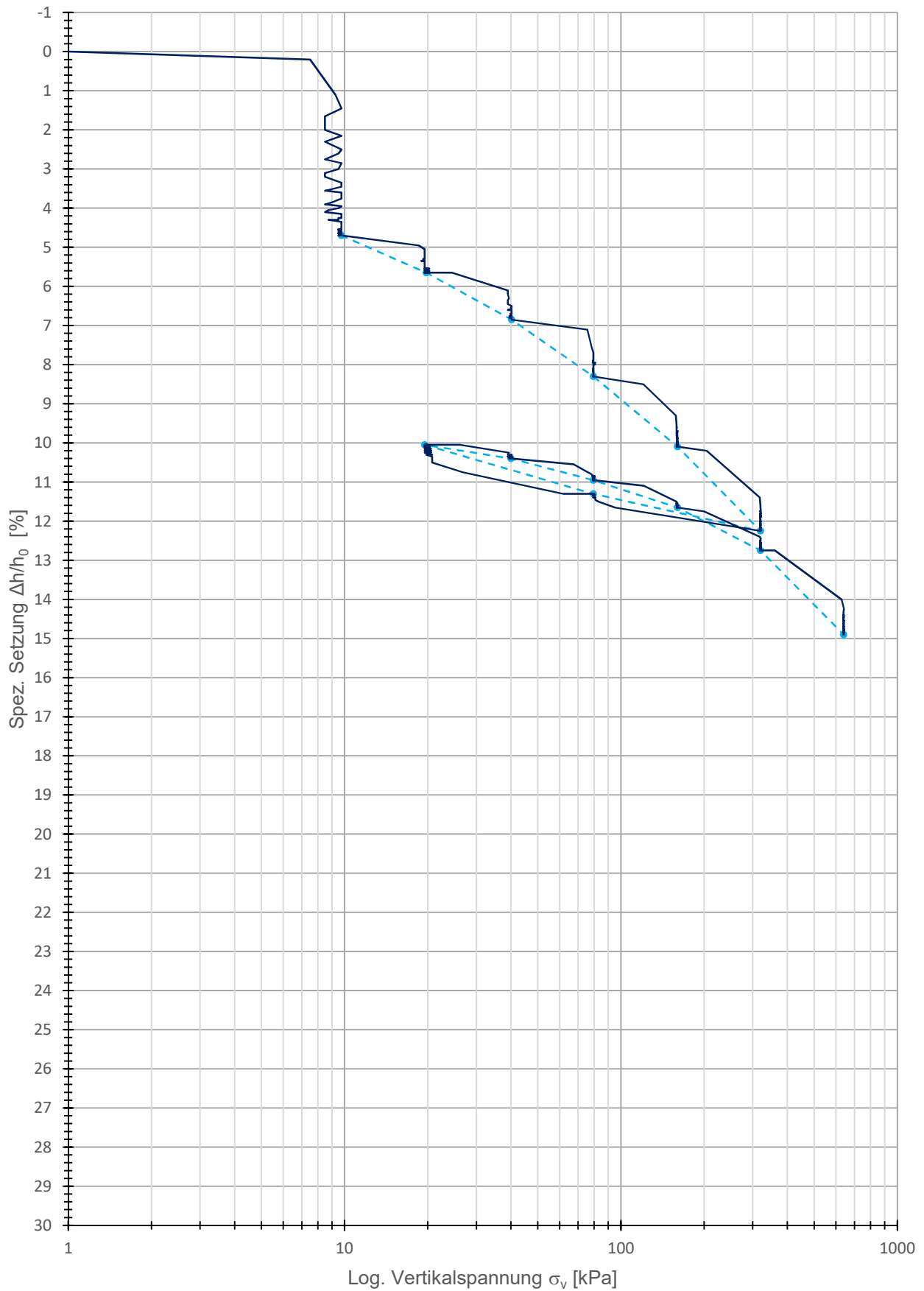
Zeitsetzungskurve

— HIN_44,10-44,50_SD.1



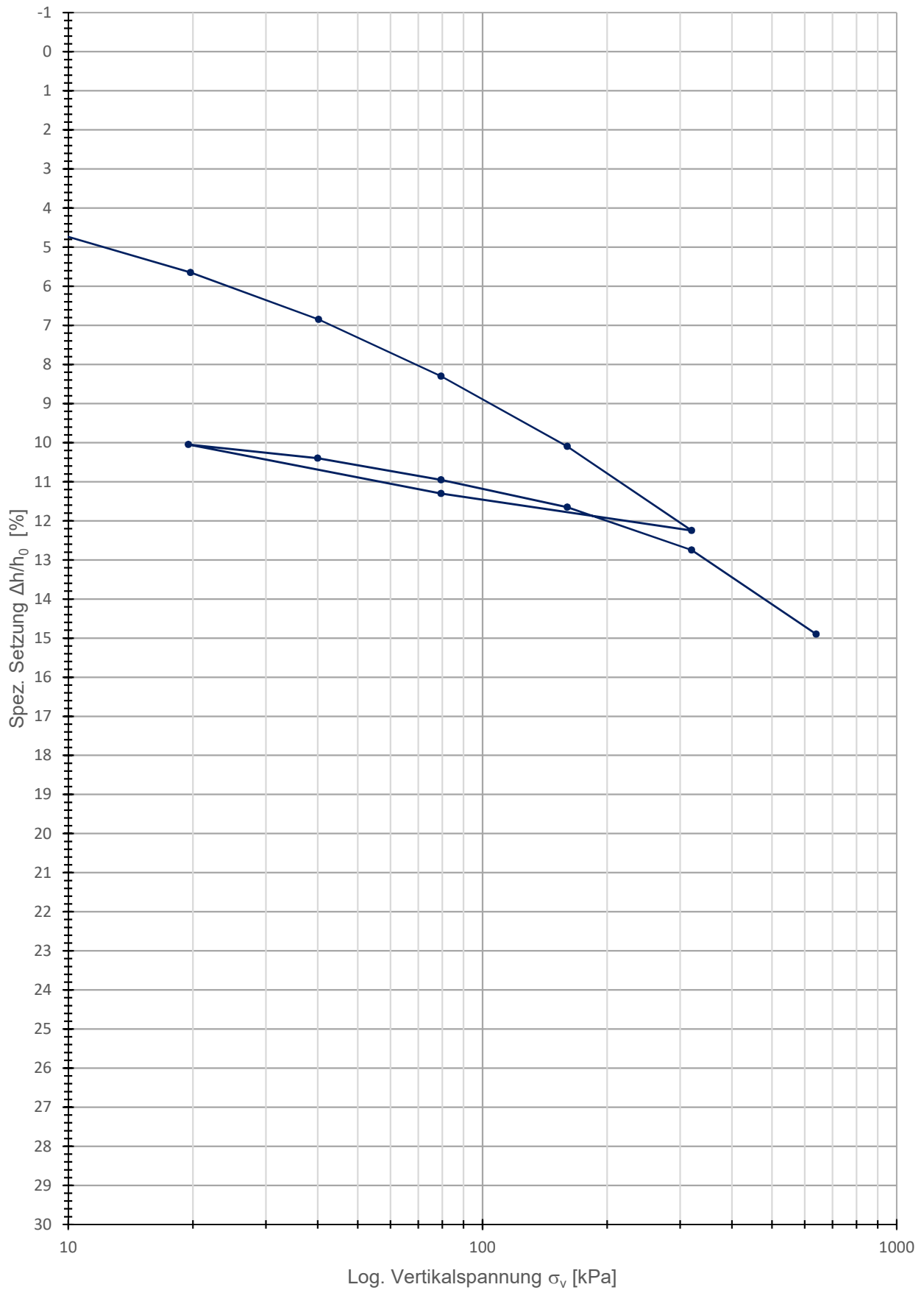
Kompressionsversuch (Roh)

HIN_44,10-44,50_SD.1 HIN_44,10-44,50_SD.1



Kompressionskurve

—● HIN_44,10-44,50_SD.1



HIN_44,10-44,50_SD.1

Daten_Kotzias

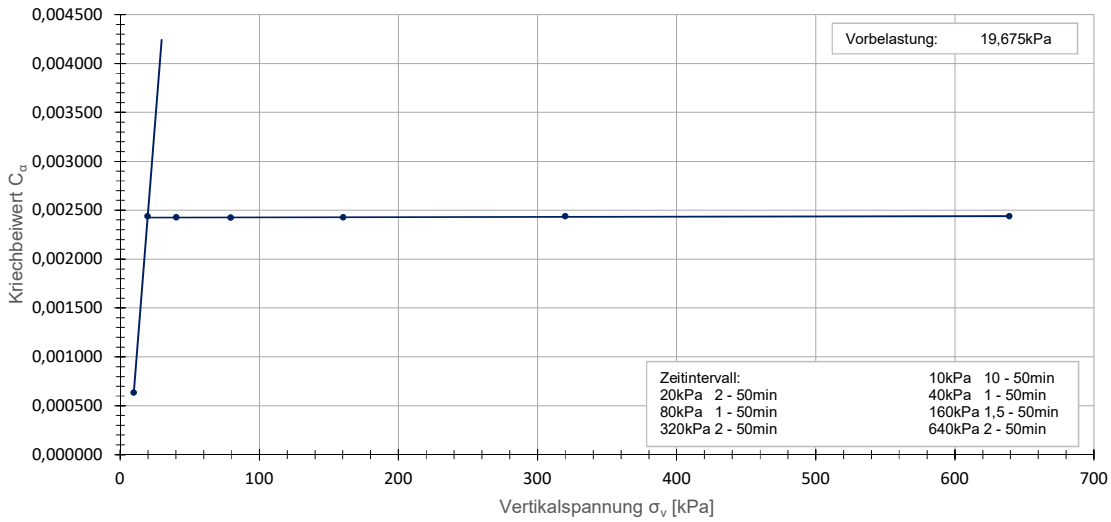
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	9,75	0,000634	10	9,033330	0,950670	50	49,600000	0,949650
2	19,75	0,002438	2	1,949999	0,934330	50	49,533329	0,930240
3	40,25	0,002425	1	0,949999	0,909820	50	49,533329	0,905730
4	79,5	0,002425	1	0,933329	0,880200	50	49,533329	0,876110
5	160,25	0,002426	1,5	1,449999	0,844450	50	49,533329	0,840370
6	320	0,002438	2	1,966669	0,800540	50	49,533329	0,796450
13	639,25	0,002438	2	1,966669	0,746410	50	49,533329	0,742320

Wiederbelastung	0,000180	-0,001125	$i(x)=0,00018x + -0,001125$	0,002425
Erstbelastung	0,000000	0,002424	$j(x)=0x + 0,002424$	0,002425

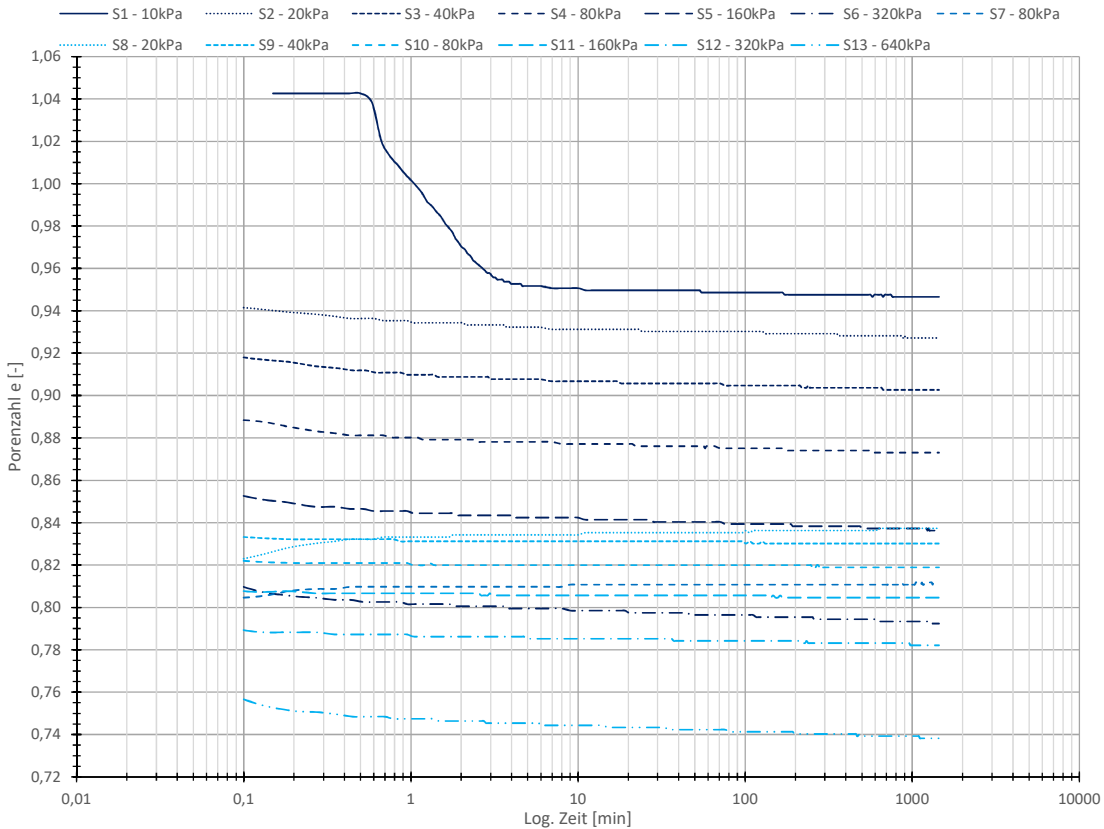
X= 19,674684
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• HIN_44,10-44,50_SD.1



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

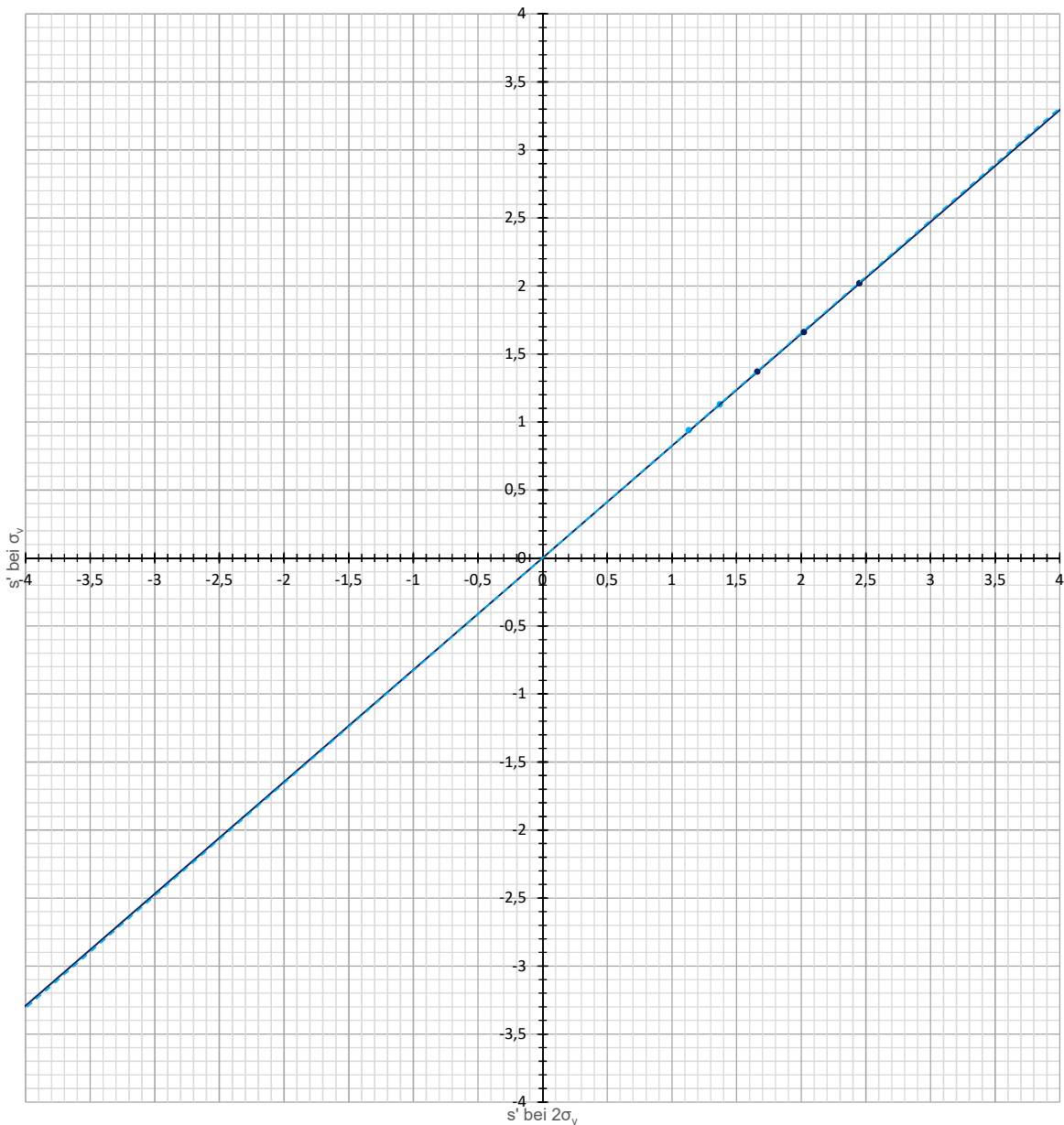
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	9,75	0,94	1,13
2	19,75	1,13	1,37
3	40,25	1,37	1,66
4	79,5	1,66	2,02
5	160,25	2,02	2,45
6	320	2,45	
7	79,5	2,26	
8	19,5	2,01	2,08
9	40	2,08	2,19
10	79,5	2,19	2,33
11	160,25	2,33	2,55
12	319,75	2,55	2,98
13	639,25	2,98	#NV

Wiederbelastung	0,827668	0,000000	$f(x)=0,828x$	0,218018
Erstbelastung	0,823247	0,001165	$g(x)=0,823x + 0,001$	0,218018
			X=	0,263413
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,218018
Vorbelastung	52,631579	-39,723684	$h(x)=52,632x + -39,724$	-28,249034

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,218 mm
 Vorbelastung: -28,249kPa

Kotzias - Setzung

- Erstbelastung
- Wiederbelastung
- Linear (Erstbelastung)
- - - Linear (Wiederbelastung)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch		Muhr (HIN)	05.02.2017
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.		44,10 - 44,50	SD 2
Bezeichnung Ödometerring		Ö-II	
Durchmesser Ödometerring	d [cm]	7,135	
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h [cm]	2,010	8,70
Bezeichnung Kernstechzylinder		keiner	
Korndichte	ρ_s [g/cm ³]	2,75	
Fließgrenze	w_L [%]	40,40	
Setzung gesamt	$s_{ges.}$ [mm]	2,820	
Volumen Ödometerring	V_{vorher} [cm ³]	80,366	
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$ [cm ³]	69,091	
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern} [cm ³]	0,000	

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung		Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$ [g]	111,702	111,702	0,000
Tara Behälter	T_B [g]	209,328	209,328	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$ [g]	468,241	456,804	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$ [g]	425,938	425,938	0,000
Masse feucht	m_f [g]	147,211	135,774	0,000
Dichte feucht	ρ_f [g/cm ³]	1,83	1,97	k.A.
Masse trocken	m_d [g]	104,908	104,908	0,000
Dichte trocken	ρ_d [g/cm ³]	1,31	1,52	k.A.
Wassergehalt	w [%]	40,32	29,42	k.A.
Porenanteil	n [%]	52,53	44,79	k.A.
Porenzahl	e [-]	1,11	0,81	k.A.
Sättigungsgrad	S_r [-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m [g]	500,000
Wassergehalt mischen (1,75x w_L)	w_{mischen} [%]	70,700
Wassergehalt einbau	w_{einbau} [%]	38,566

geologische Vorkonsolidationsspannung

		160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$ [kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde [kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman [kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$ [kPa]	18	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$ [kPa]	24	

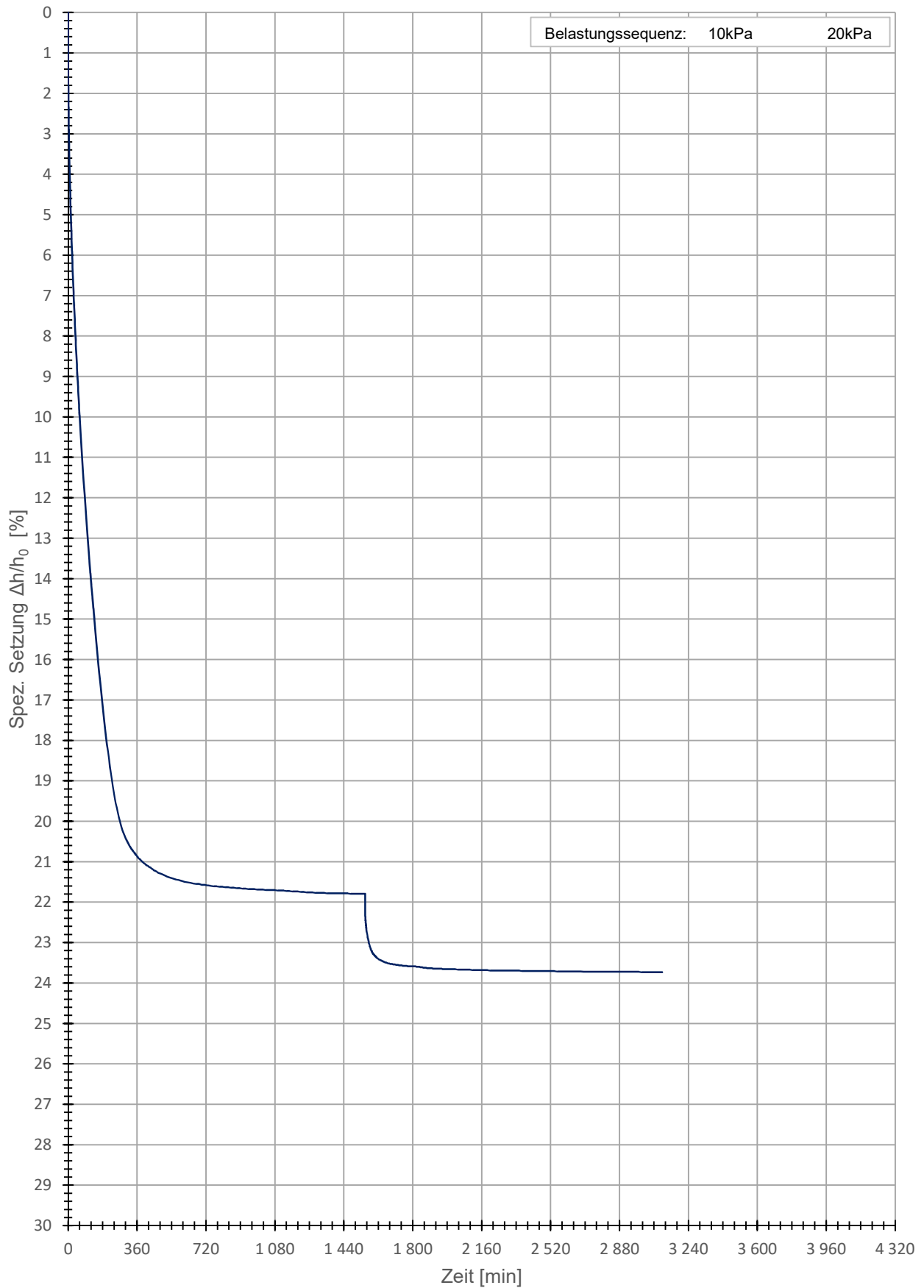
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$ [kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

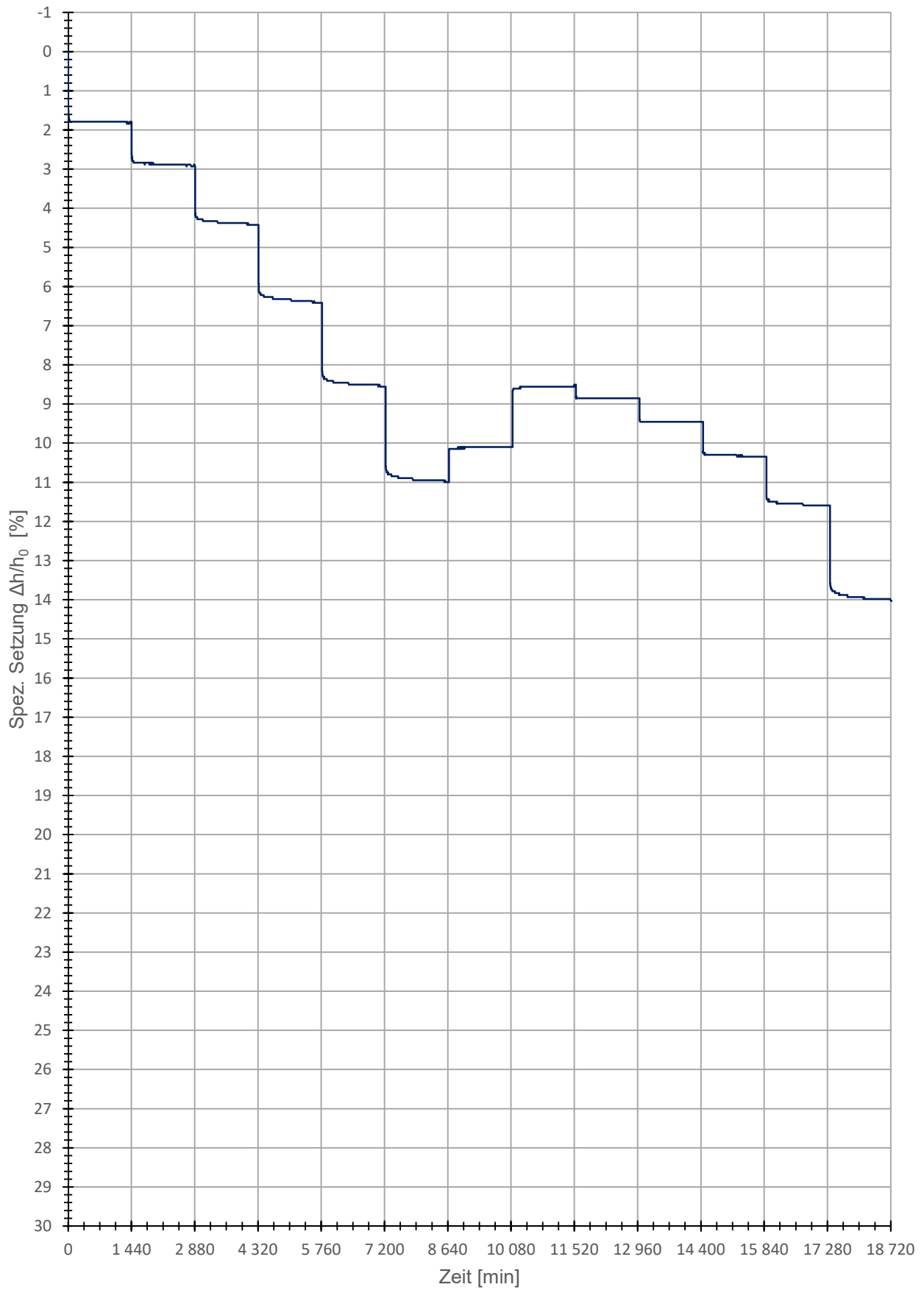
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

— HIN_44,10-44,50_SD.2



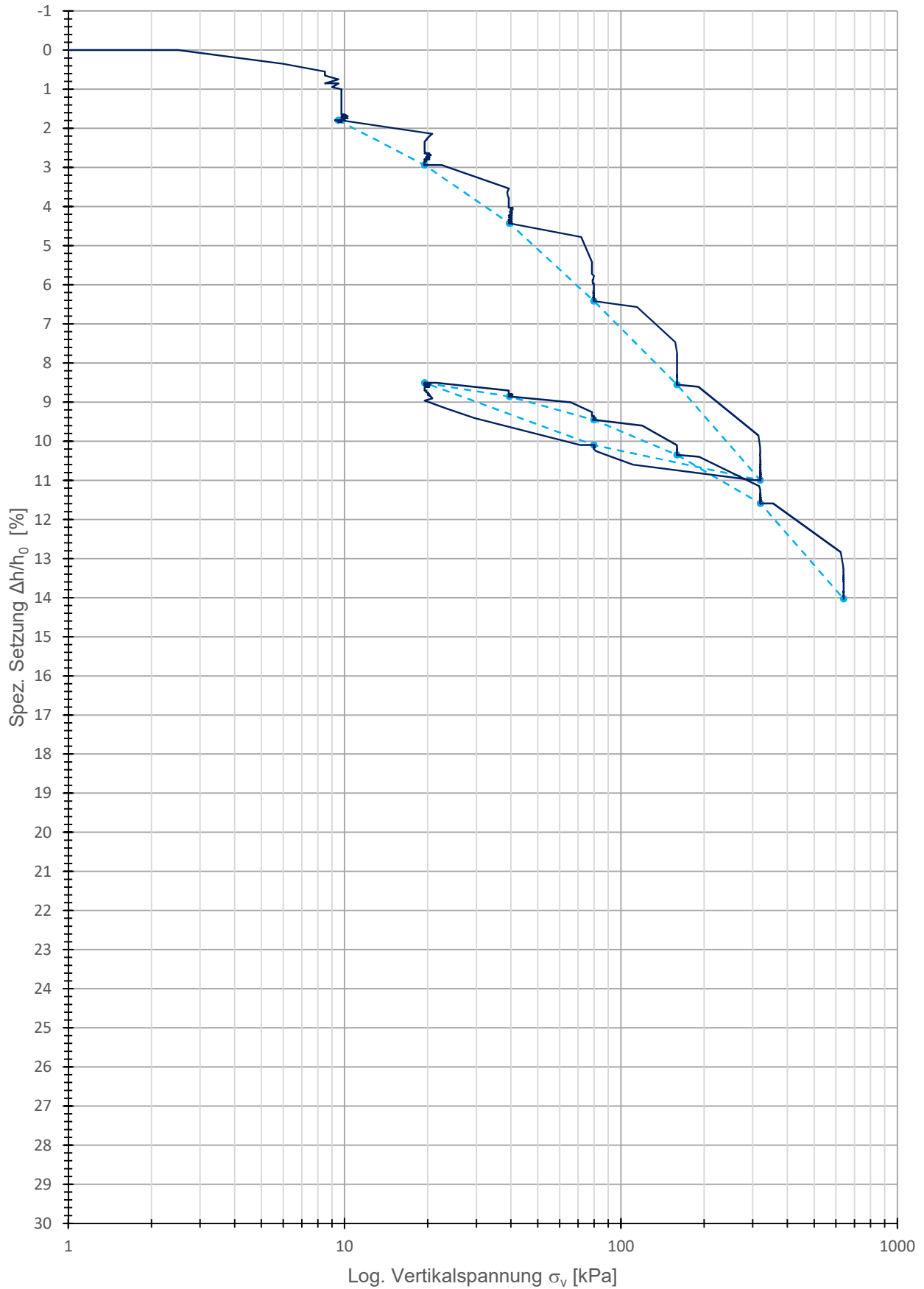
Zeitsetzungskurve

— HIN_44,10-44,50_SD.2



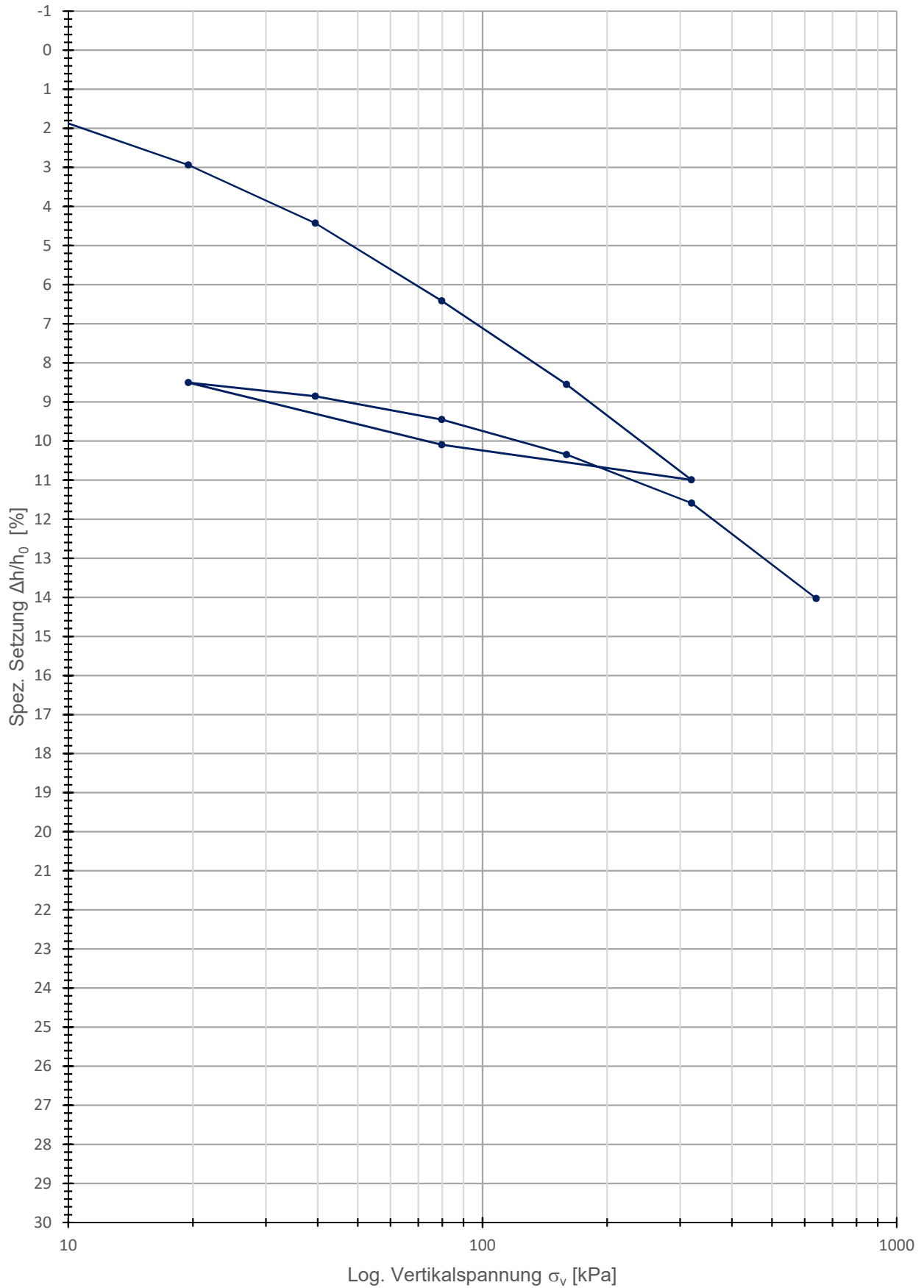
Kompressionsversuch (Roh)

---●--- HIN_44,10-44,50_SD.2 — HIN_44,10-44,50_SD.2



Kompressionskurve

—●— HIN_44,10-44,50_SD.2



Daten_Kotzias

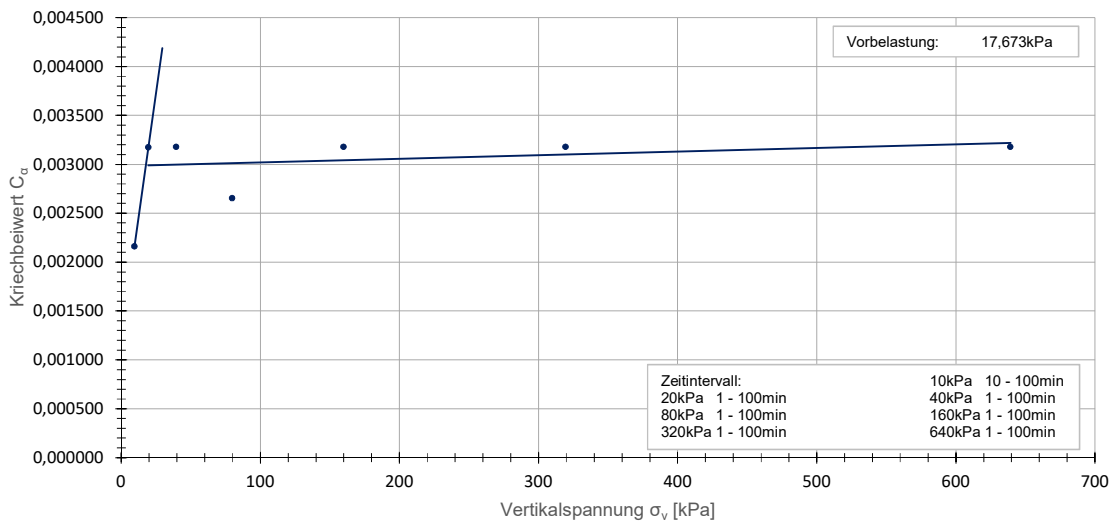
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]		e [-]	05.02.2017		e [-]
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]		Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	
1	9,5	0,002159	10	9,033330	1,073140	100	96,233330	1,068950
2	19,5	0,003174	1	0,949999	1,053220	100	96,183329	1,046940
3	39,5	0,003179	1	0,933329	1,022830	100	96,183329	1,016540
4	79,75	0,002653	1	0,949999	0,980910	100	96,183329	0,975660
5	159,75	0,003179	1	0,949999	0,936890	100	96,183329	0,930600
6	319,5	0,003179	1	0,949999	0,885530	100	96,183329	0,879240
13	639,25	0,003179	1	0,949999	0,822640	100	96,183329	0,816350

Wiederbelastung	0,000101	0,001196	$i(x)=0,000101x + 0,001196$	0,002988
Erstbelastung	0,000000	0,002982	$j(x)=0x + 0,002982$	0,002988

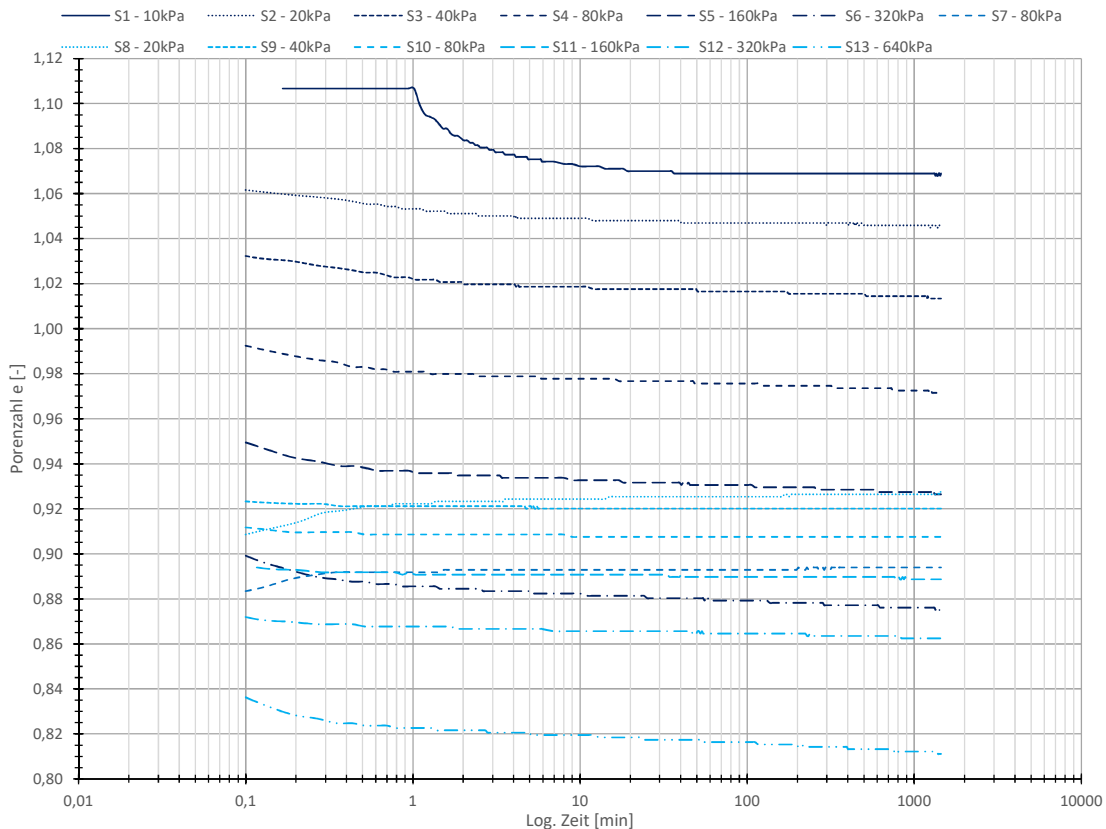
X= 17,672596
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• HIN_44,10-44,50_SD.2



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

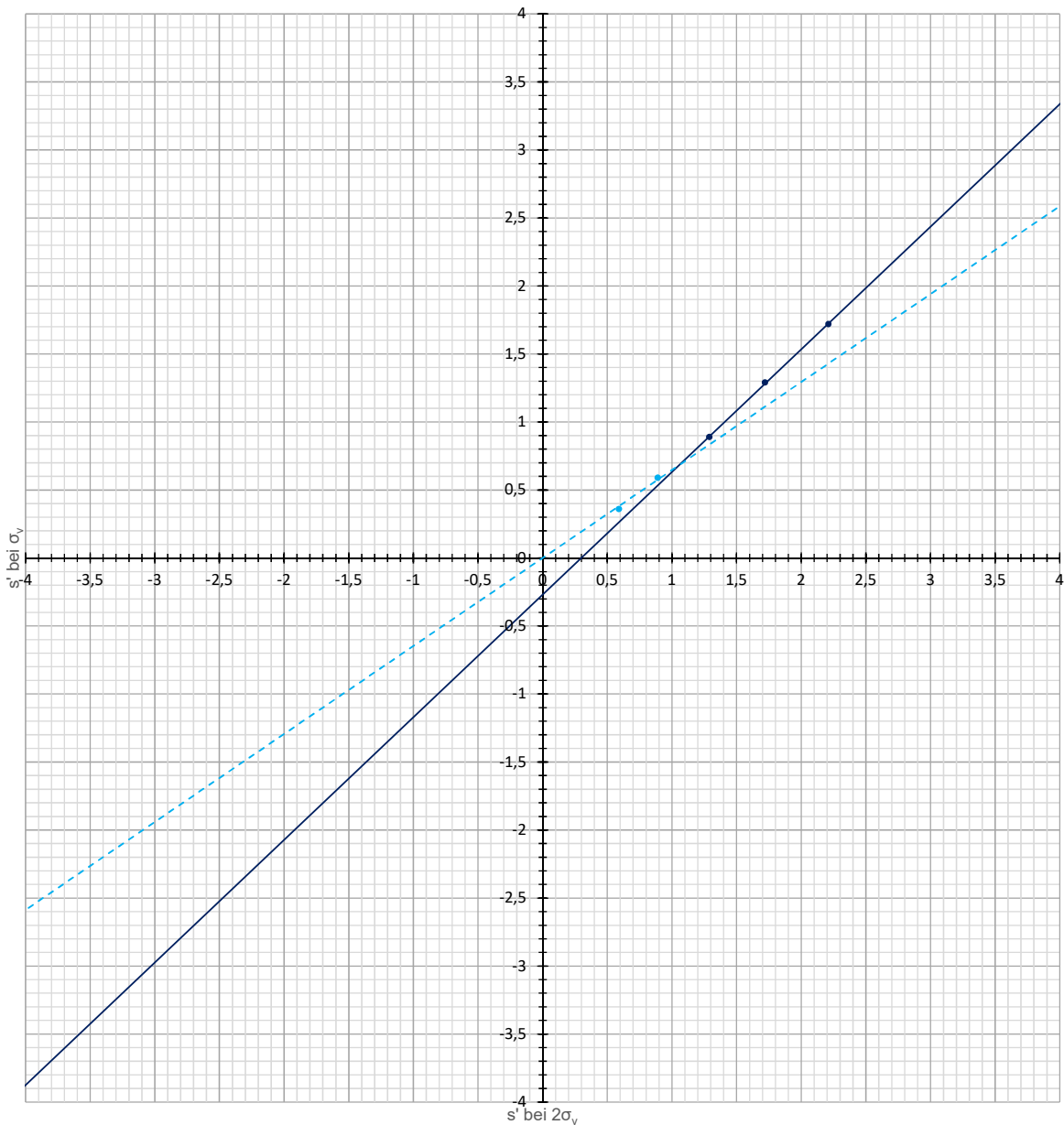
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	9,5	0,36	0,59
2	19,5	0,59	0,89
3	39,5	0,89	1,29
4	79,75	1,29	1,72
5	159,75	1,72	2,21
6	319,5	2,21	
7	79,75	2,03	
8	19,5	1,71	1,78
9	39,5	1,78	1,9
10	79,75	1,9	2,08
11	159,75	2,08	2,33
12	319,75	2,33	2,82
13	639,25	2,82	#NV

Wiederbelastung	0,646816	0,000000	$f(x)=0,647x$	0,682367
Erstbelastung	0,901605	-0,268792	$g(x)=0,902x + -0,269$	0,682367
			X=	1,054962
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	0,682367
Vorbelastung	43,478261	-6,152174	$h(x)=43,478x + -6,152$	23,515946

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 0,682 mm
 Vorbelastung: 23,516kPa

Kotzias - Setzung

- Erstbelastung
- Wiederbelastung
- Linear (Erstbelastung)
- - - Linear (Wiederbelastung)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch		Muhr (HIN)	05.02.2017
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.		44,10 - 44,50	SD 3
Bezeichnung Ödometerring		Ö-III	
Durchmesser Ödometerring	d [cm]	7,133	
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h [cm]	2,003	9,20
Bezeichnung Kernstechzylinder		keiner	
Korndichte	ρ_s [g/cm ³]	2,76	
Fließgrenze	w_L [%]	40,40	
Setzung gesamt	$s_{ges.}$ [mm]	3,141	
Volumen Ödometerring	V_{vorher} [cm ³]	80,042	
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$ [cm ³]	67,490	
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern} [cm ³]	0,000	

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung		Ödometerprobe (vorher)	Ödometerprobe (nachher)	Kernprobe (vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$ [g]	110,112	110,112	0,000
Tara Behälter	T_B [g]	210,341	210,341	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$ [g]	467,024	454,642	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$ [g]	425,025	425,025	0,000
Masse feucht	m_f [g]	146,571	134,189	0,000
Dichte feucht	ρ_f [g/cm ³]	1,83	1,99	k.A.
Masse trocken	m_d [g]	104,572	104,572	0,000
Dichte trocken	ρ_d [g/cm ³]	1,31	1,55	k.A.
Wassergehalt	w [%]	40,16	28,32	k.A.
Porenanteil	n [%]	52,66	43,86	k.A.
Porenzahl	e [-]	1,11	0,78	k.A.
Sättigungsgrad	S_r [-]	1,00*	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m [g]	500,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen} [%]	70,700
Wassergehalt einbau	w_{einbau} [%]	38,526

geologische Vorkonsolidationsspannung

		160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$ [kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde [kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$ [kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman [kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$ [kPa]	19	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$ [kPa]	31	

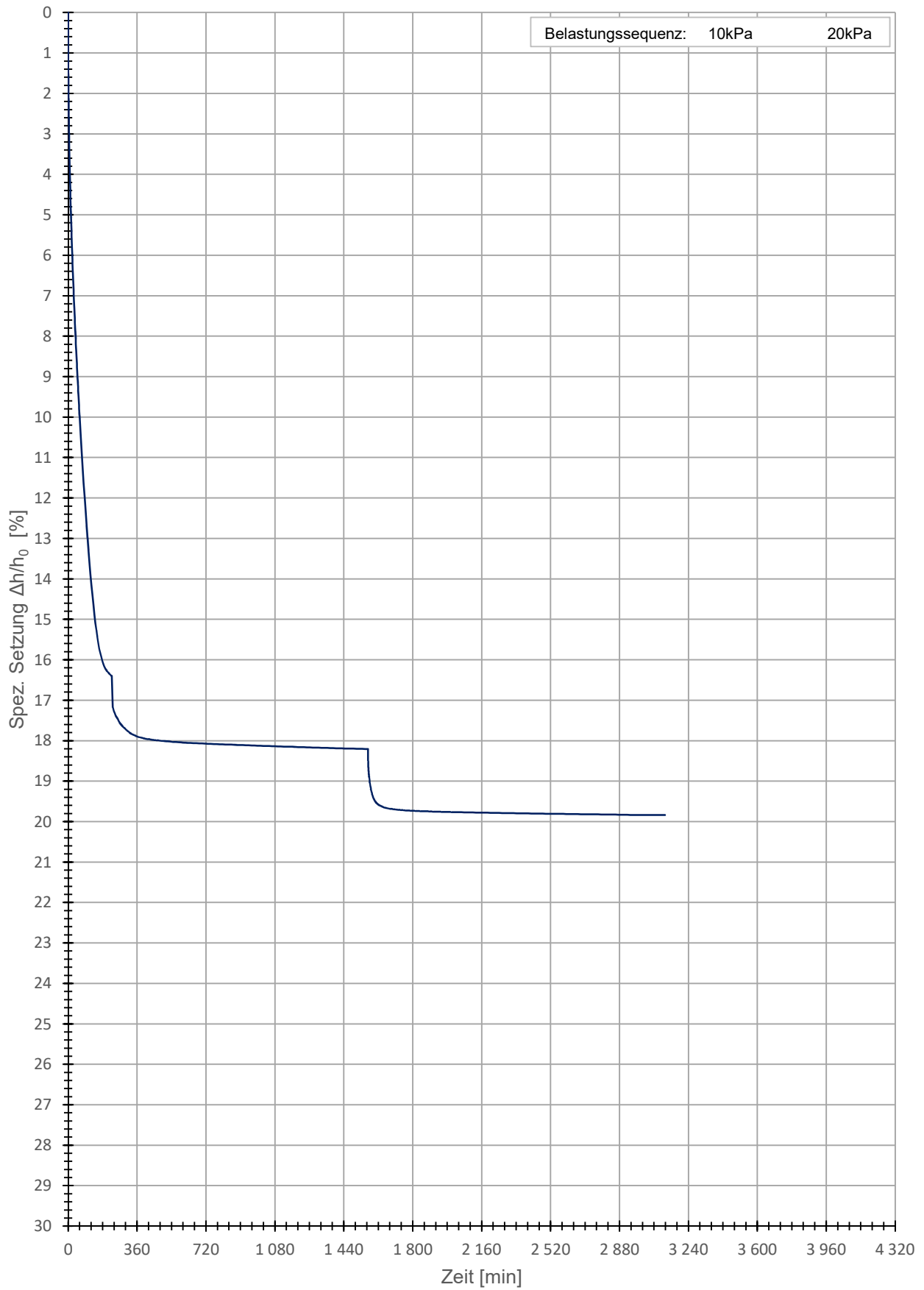
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$ [kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

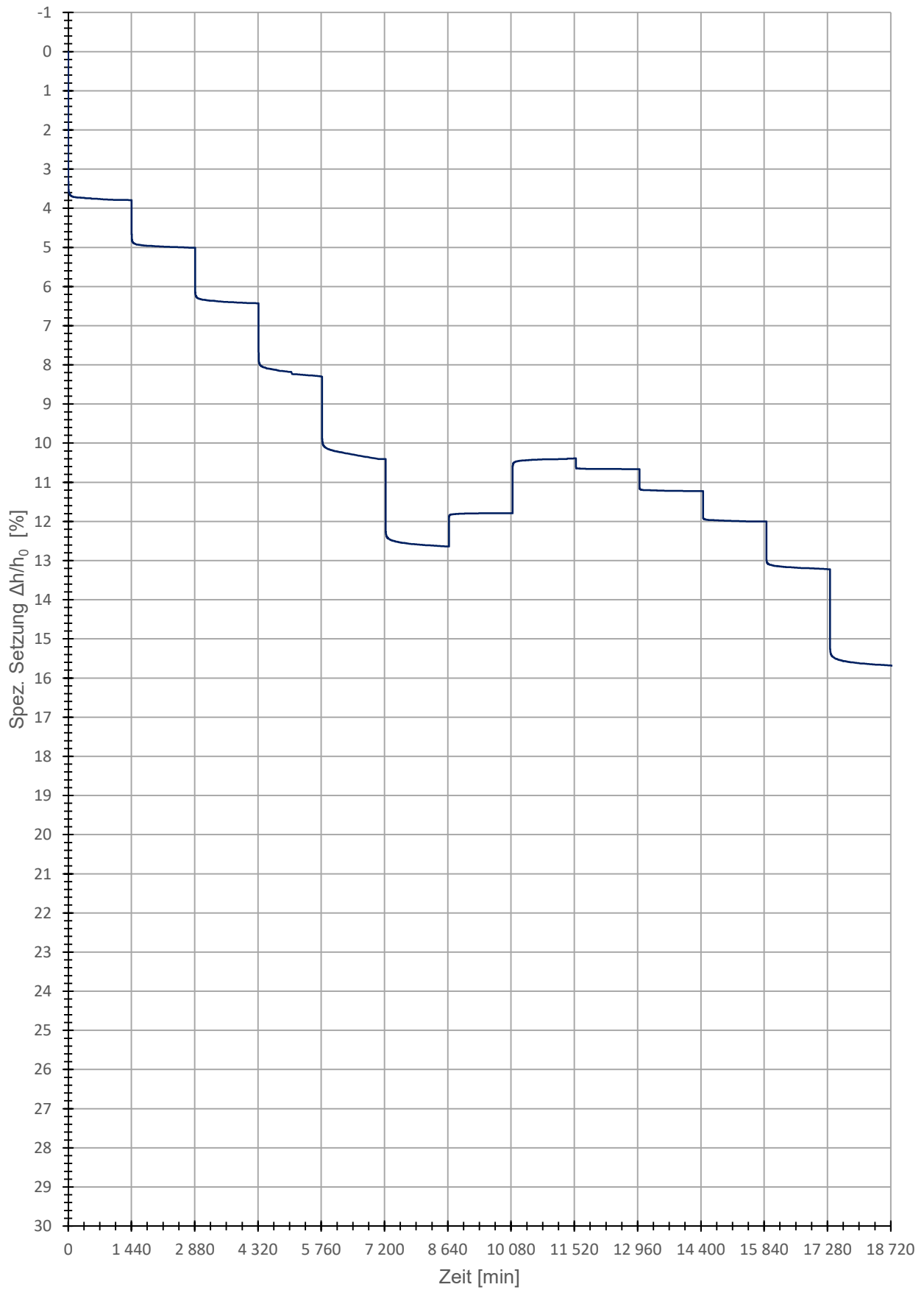
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

HIN_44,10-44,50_SD.3



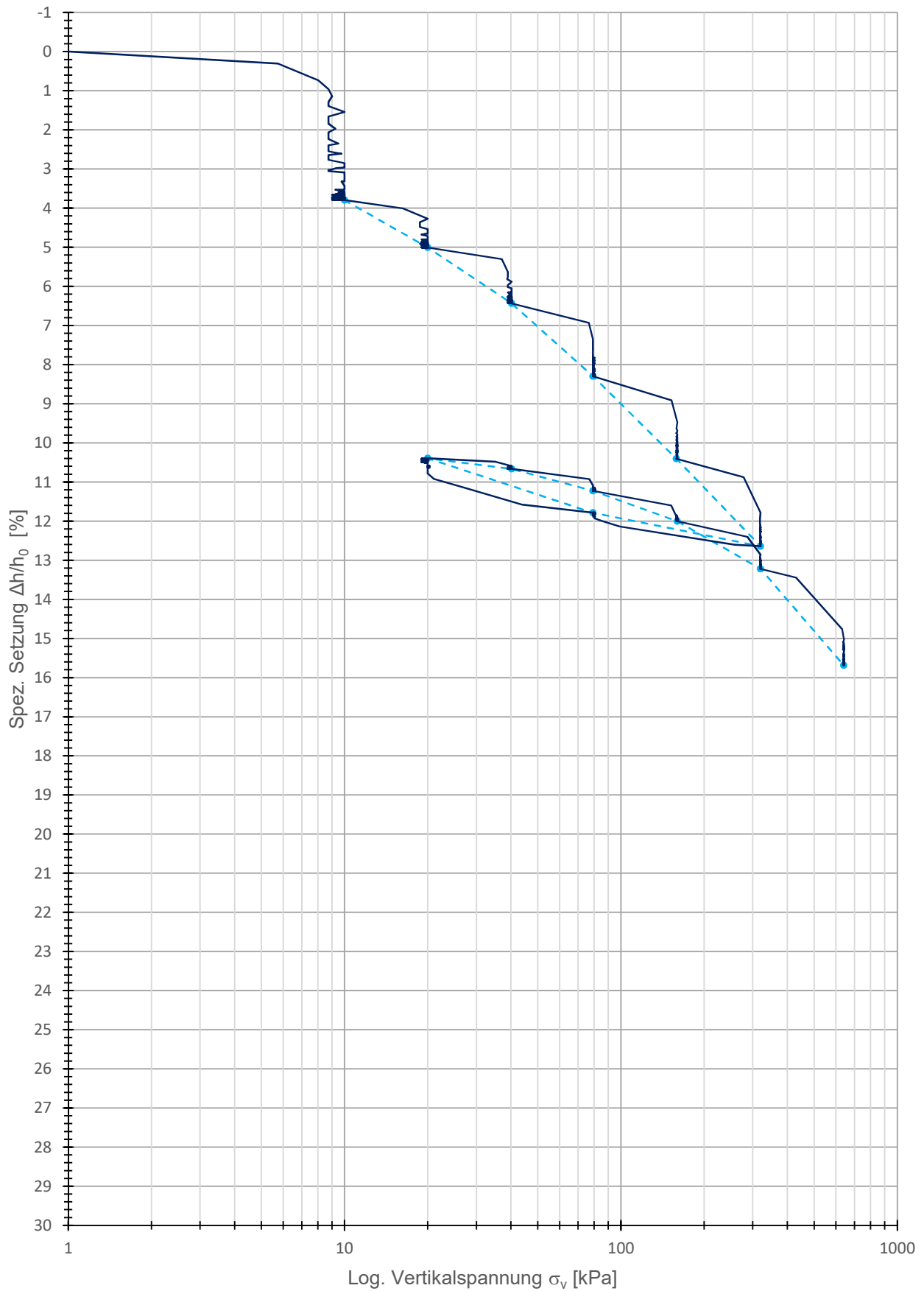
Zeitsetzungskurve

— HIN_44,10-44,50_SD.3



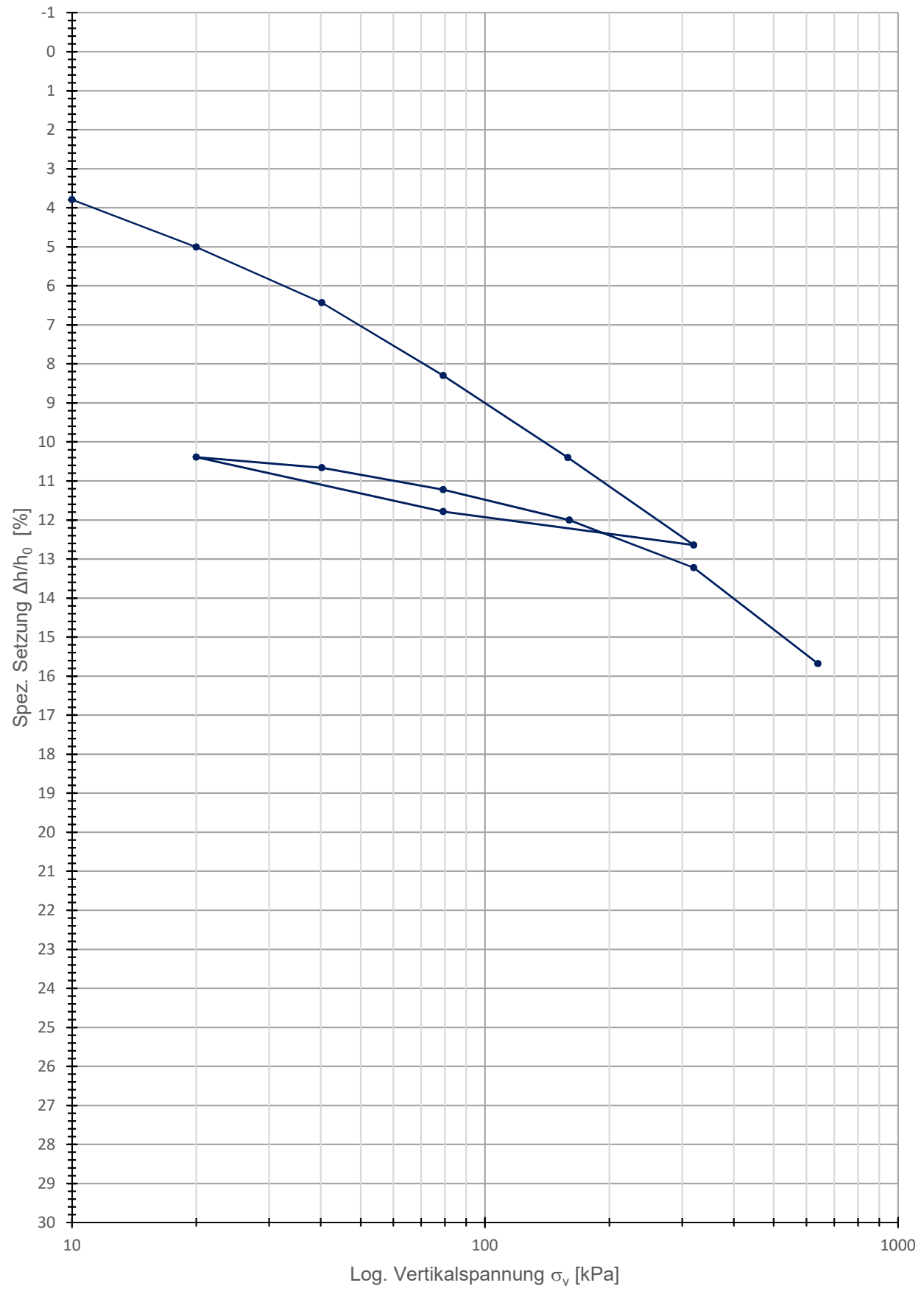
Kompressionsversuch (Roh)

---●--- HIN_44,10-44,50_SD.3 — HIN_44,10-44,50_SD.3



Kompressionskurve

—●— HIN_44,10-44,50_SD.3



HIN_44,10-44,50_SD.3

Daten_Kotzias

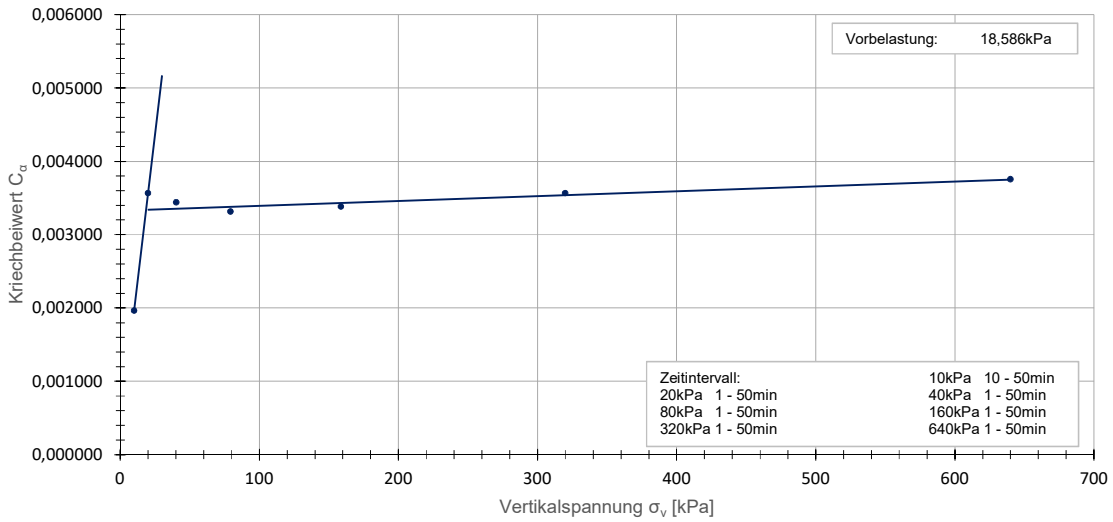
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]		e [-]	05.02.2017		e [-]
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]		Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	
1	10	0,001965	10	9,016670	1,038200	50	49,583340	1,035040
2	20	0,003564	1	0,966669	1,015210	50	49,533329	1,009200
3	40,25	0,003439	1	0,949999	0,985570	50	49,533329	0,979770
4	79,25	0,003315	1	0,949999	0,948660	50	49,533329	0,943070
5	158,75	0,003380	1	0,966669	0,905210	50	49,533329	0,899510
6	320	0,003564	1	0,949999	0,856160	50	49,533329	0,850150
13	640	0,003753	1	0,949999	0,792670	50	49,533329	0,786340

Wiederbelastung	0,000160	0,000366	$i(x)=0,00016x + 0,000366$	0,003338
Erstbelastung	0,000001	0,003326	$j(x)=0,000001x + 0,003326$	0,003338

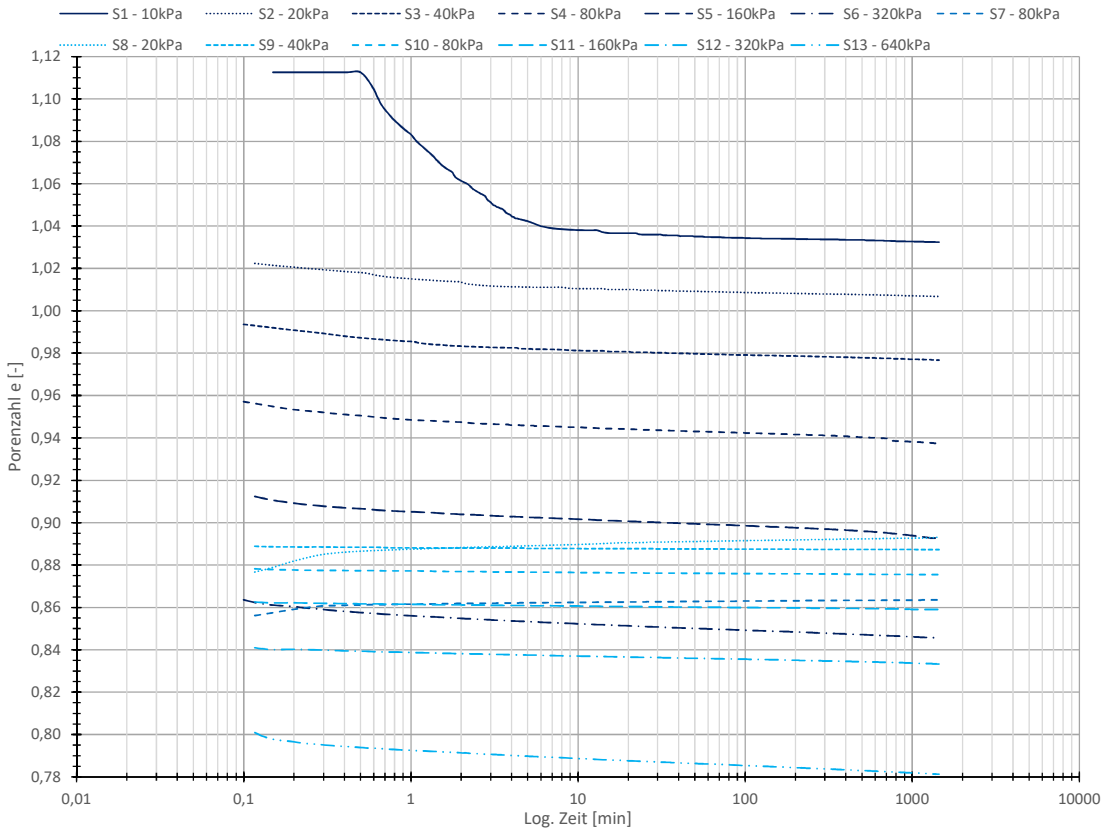
X= 18,586183
Differenz 0

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• HIN_44,10-44,50_SD.3



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

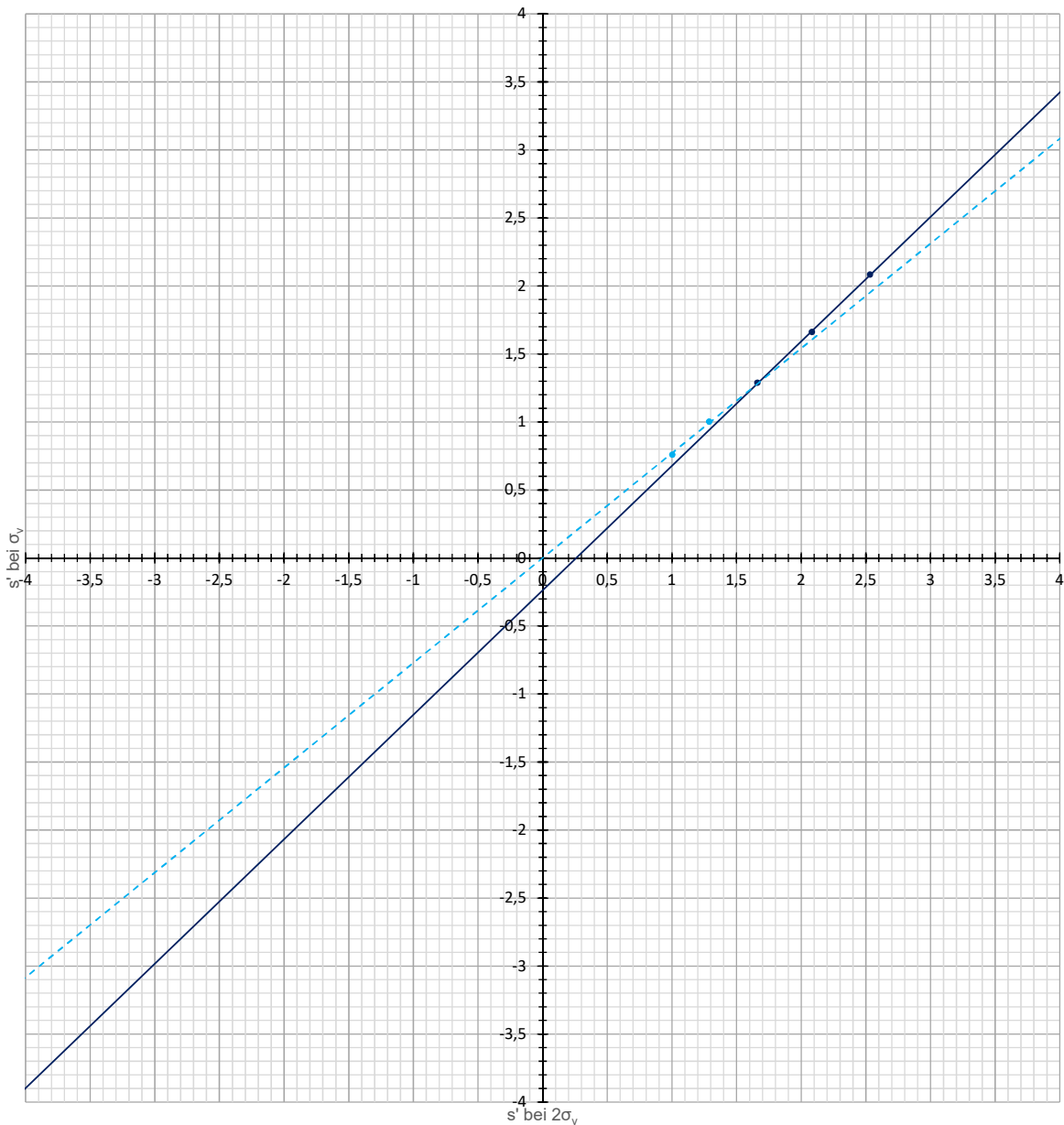
Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$
1	10	0,76	1,003
2	20	1,003	1,288
3	40,25	1,288	1,662
4	79,25	1,662	2,084
5	158,75	2,084	2,532
6	320	2,532	
7	79,25	2,361	
8	20	2,081	2,136
9	40,25	2,136	2,248
10	79,25	2,248	2,404
11	160	2,404	2,648
12	320	2,648	3,141
13	640	3,141	#NV

Wiederbelastung	0,770799	0,000000	$f(x)=0,771x$	1,266248
Erstbelastung	0,915220	-0,237250	$g(x)=0,915x + -0,237$	1,266248
			X=	1,642772
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	1,266248
Vorbelastung	41,152263	-21,275720	$h(x)=41,152x + -21,276$	30,833236

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 1,266 mm
 Vorbelastung: 30,833kPa

Kotzias - Setzung

• Erstbelastung • Wiederbelastung — Linear (Erstbelastung) - - - Linear (Wiederbelastung)



Allgemein

Probeentnahmeort - Datum Versuch	Ginau (GIN)		17.11.2016
Tiefe - Probenart - Versuchsnr.	0,90 - 1,30	WP	1
Bezeichnung Ödometerring	Ö-III		
Durchmesser Ödometerring	d	[cm]	7,133
Höhe Ödometerring - Höhe Vorkonsolidation	h	[cm]	1,400 2,003
Bezeichnung Kernstechzylinder	keiner		
Korndichte	ρ_s	[g/cm ³]	2,76
Fließgrenze	w_L	[%]	39,00
Setzung gesamt	$s_{ges.}$	[mm]	4,074
Volumen Ödometerring	V_{vorher}	[cm ³]	55,945
Volumen Ödometerring - $V_{Setzung}$	$V_{nachher}$	[cm ³]	39,665
Volumen Kernstechzylinder	V_{Kern}	[cm ³]	0,000

Kennwerte der Ödometerproben

Bezeichnung			Ödometerprobe		Kernprobe
			(vorher)	(nachher)	(vorher)
Tara Ödometerring / Kernprobenstechzylinder	$T_{\text{Ö}}$	[g]	110,112	110,112	0,000
Tara Behälter	T_B	[g]	186,010	186,010	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP feucht	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_f$	[g]	400,601	384,776	0,000
Tara Behälter + Ödometerring + BP trocken	$T_B + T_{\text{Ö}} + m_d$	[g]	372,809	372,809	0,000
Masse feucht	m_f	[g]	104,479	88,654	0,000
Dichte feucht	ρ_f	[g/cm ³]	1,87	2,24	k.A.
Masse trocken	m_d	[g]	76,687	76,687	0,000
Dichte trocken	ρ_d	[g/cm ³]	1,37	1,93	k.A.
Wassergehalt	w	[%]	36,24	15,60	k.A.
Porenanteil	n	[%]	50,33	29,95	k.A.
Porenzahl	e	[-]	1,01	0,43	k.A.
Sättigungsgrad	S_r	[-]	0,99	1,00*	k.A.

Misch- & Einbauvorgang (nur für SD Proben)

Trockenmasse	m	[g]	0,000
Wassergehalt mischen ($1,75 \times w_L$)	w_{mischen}	[%]	0,000
Wassergehalt einbau	w_{einbau}	[%]	0,000

geologische Vorkonsolidationsspannung

160 - 320kPa 320 - 640kPa

			160 - 320kPa	320 - 640kPa
vorh. Spannung "in situ"	$\sigma_{\text{in situ}}$	[kPa]	20	
Casagrande	$\sigma_v, \text{Casagrande}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Van Zelst	$\sigma_v, \text{Van Zelst}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Burmister	$\sigma_v, \text{Burmister}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Ohde	σ_v, Ohde	[kPa]	k.A.	k.A.
Rutledge, Hvorslev, Schmertmann	$\sigma_v, \text{R,H,S}$	[kPa]	k.A.	k.A.
Kompression- & Schwellbeiwert	σ_v, Bauman	[kPa]	k.A.	k.A.
Muryama & Shibata	$\sigma_v, \text{M,S}$	[kPa]	19	
Kotzias	$\sigma_v, \text{Kotzias}$	[kPa]	146	

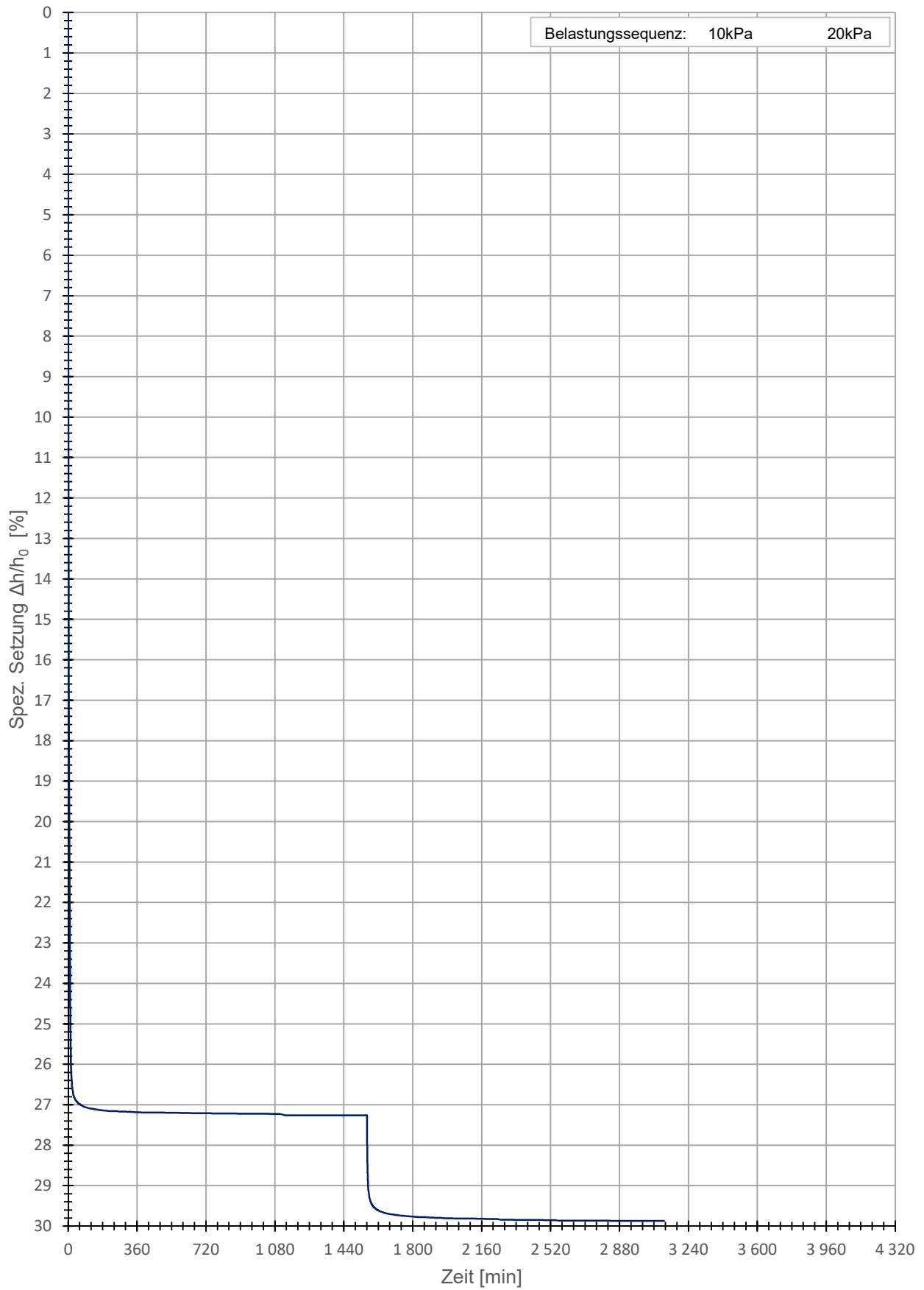
geologische Vorkonsolidationsspannung für die Herstellung der künstlichen Bodenproben

geologische Vorkonsolidationssp.	$\sigma_{v, \text{max}}$	[kPa]	20,000
----------------------------------	--------------------------	-------	--------

* $S_r = 1,00$ Annahme, aufgrund der langen Sättigungsphase, zugehörige Werte wurden rückgerechnet. (Nur wenn diese über 100% betrug)

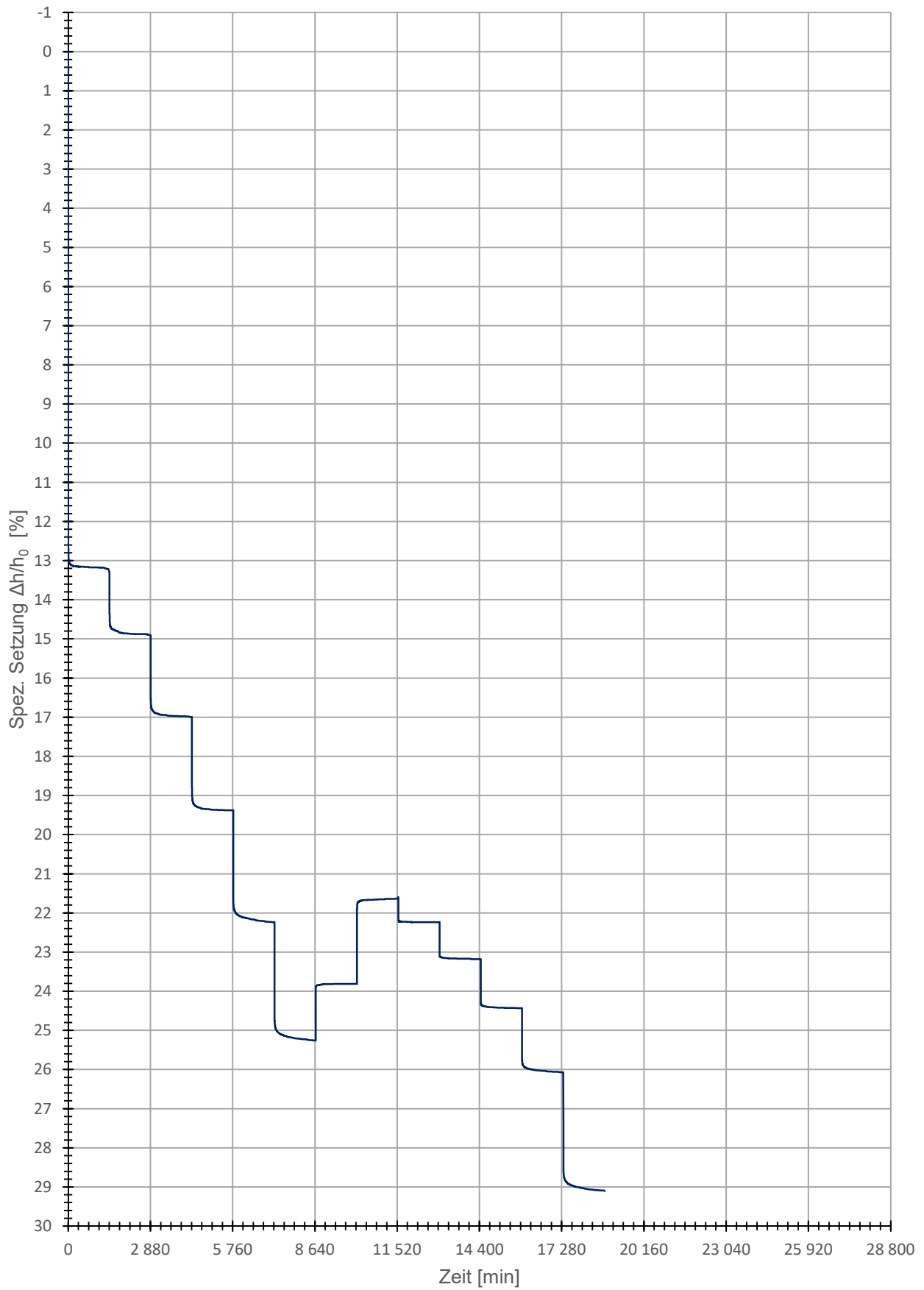
Zeitsetzungskurve - Vorkonsolidation

— GIN_0,90-1,30_WP.1

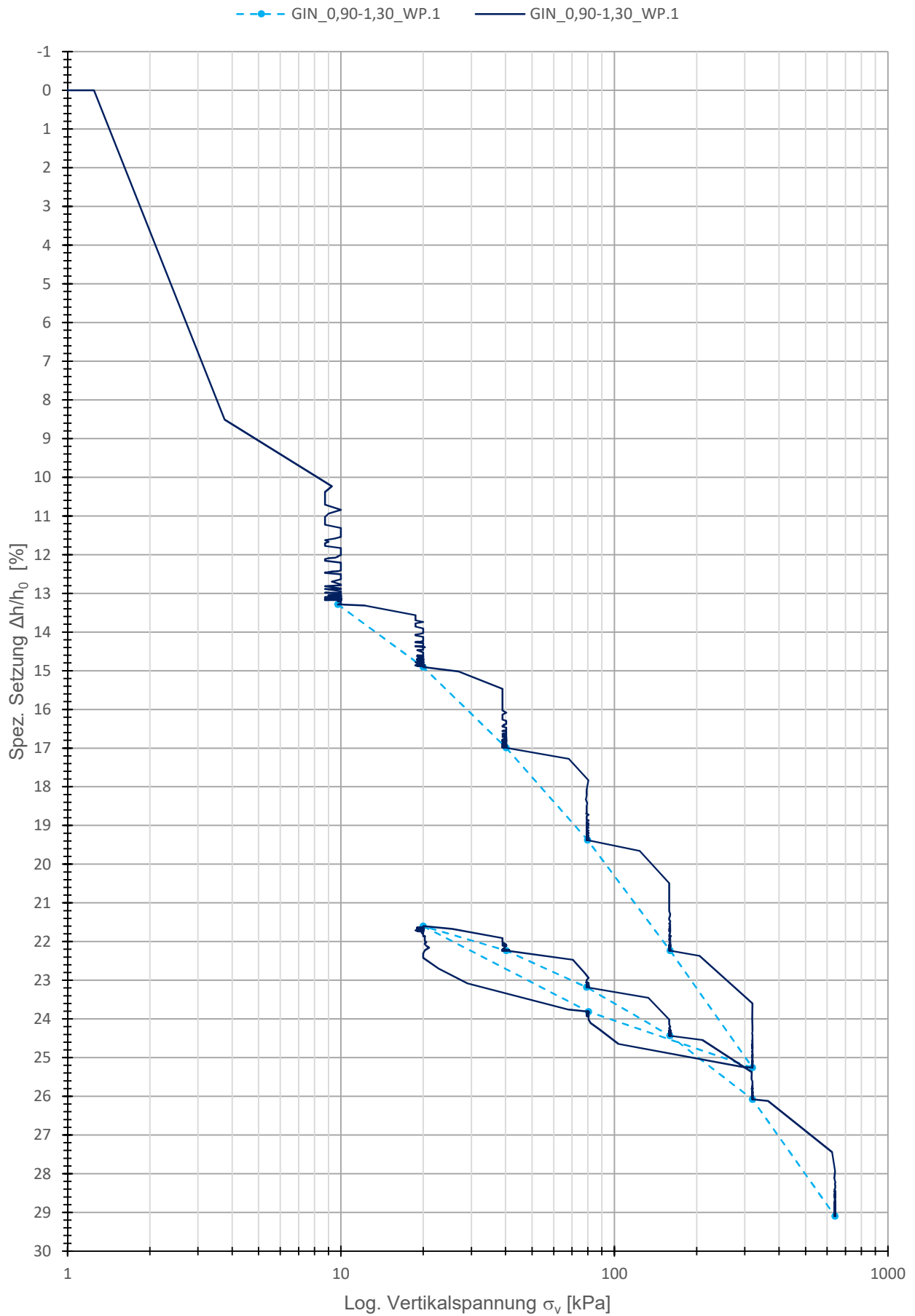


Zeitsetzungskurve

— GIN_0,90-1,30_WP.1

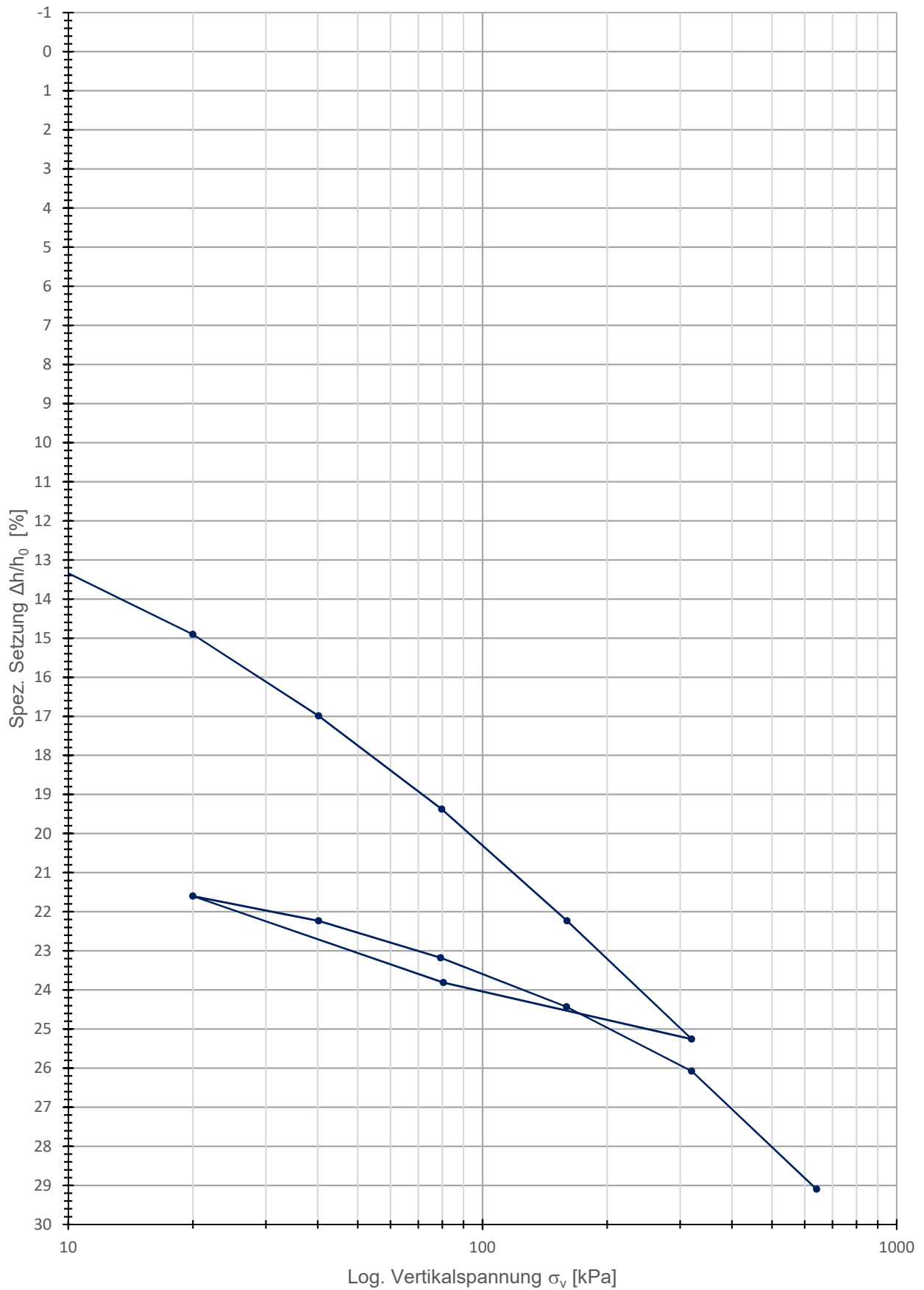


Kompressionsversuch (Roh)



Kompressionskurve

GIN_0,90-1,30_WP.1



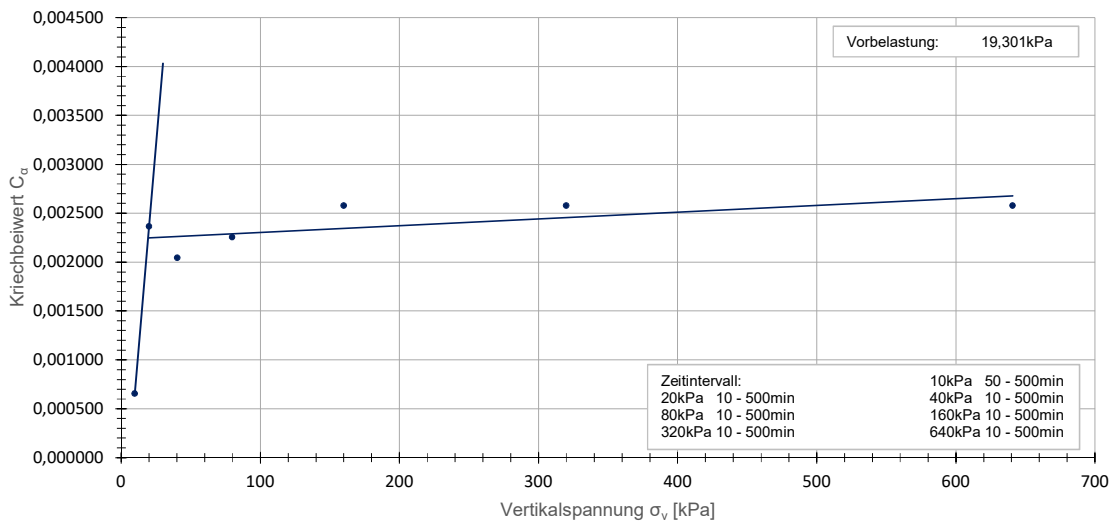
GIN_0,90-1,30_WP.1

Daten_Kotzias

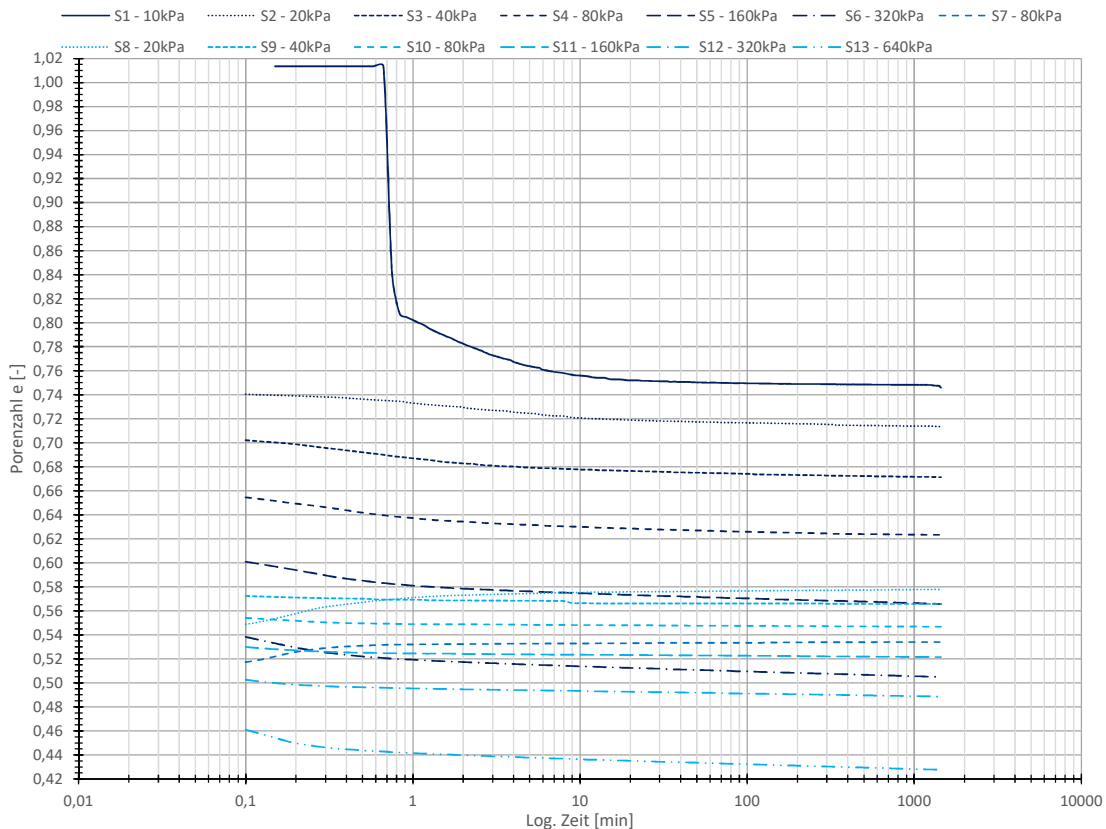
Belastungsstufe [-]	Vertikalspannung [kPa]	Ca [-]	unterer Wert [1]			oberer Wert [2]		
			Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]	Zeit (Eingabe) [min]	Zeit (Ist) [min]	e [-]
1	9,75	0,000655	50	49,583330	0,750300	500	486,633330	0,748570
2	20	0,002364	10	9,983329	0,720670	500	486,583329	0,714340
3	40,25	0,002042	10	9,983329	0,677670	500	486,583329	0,672200
4	79,75	0,002255	10	9,999999	0,629920	500	486,583329	0,623880
5	160	0,002576	10	9,983329	0,574690	500	486,583329	0,567790
6	320	0,002576	10	9,983329	0,513710	500	486,583329	0,506810
13	640,75	0,002576	10	9,983329	0,436480	500	486,583329	0,429580
Wiederbelastung	0,000167	-0,000970	i(x)=0,000167x + -0,00097		0,002247			
Erstbelastung	0,000001	0,002234	j(x)=0,000001x + 0,002234		0,002247			
X=					19,301141			
Differenz					0			

Murayama & Shibata - Kriechbeiwert

• GIN_0,90-1,30_WP.1



Murayama & Shibata - Porenzahl



Daten_Kotzias

Belastungsstufe	Vertikalspannung [kPa]	s' bei σ_v	s' bei $2\sigma_v$	
1	9,75	1,86	2,087	
2	20	2,087	2,379	
3	40,25	2,379	2,713	
4	79,75	2,713	3,113	
5	160	3,113	3,536	
6	320	3,536		
7	80,5	3,334		
8	20	3,024	3,113	
9	40,25	3,113	3,245	
10	79,25	3,245	3,421	
11	159,75	3,421	3,651	
12	319,75	3,651	4,074	
13	640,75	4,074	#NV	
Wiederbelastung	0,883336	0,000000	$f(x)=0,883x$	4,867329
Erstbelastung	0,892374	-0,049801	$g(x)=0,892x + -0,05$	4,867329
			X=	5,510169
			Differenz	0
			s' bei $\sigma_{v,max}$	4,867329
Vorbelastung	45,154185	-74,236784	$h(x)=45,154x + -74,237$	145,543501

Wiederbelastungsast: 10 - 40kPa
 Erstbelastungsast: 80 - 160kPa
 s' bei $\sigma_{v,max}$: 4,867 mm
 Vorbelastung: 145,544kPa

Kotzias - Setzung

• Erstbelastung • Wiederbelastung — Linear (Erstbelastung) - - - Linear (Wiederbelastung)

