

Einfluß aggressiver Wässer und
Böden auf das Langzeitverhalten von
Verpreßankern und Verpreßpfählen

T 2550

T 2550

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



FORSCHUNGS- UND
MATERIALPRÜFUNGSANSTALT
BADEN-WÜRTTEMBERG - OTTO-GRAF-INSTITUT -

11.36
FMPA

Abteilung I - Baustoffe

AZ.: IV 1-5-561 / 89

Forschungsvorhaben

**Einfluß aggressiver Wässer und Böden auf das
Langzeitverhalten von Verpreßankern und Verpreßpfählen**

Abschlußbericht zu Teil II
- Ausziehversuche -

Prof. Dr.-Ing. W. Manns

Dr.-Ing. H.-D. Lange

T 2550

Juli 1993

Inhalt

	-Seite-
1. Einführung	1
2. Versuchsmaterialien	2
2.1 Zement für die Modellanker	2
2.2 Bodenmaterial	2
3. Versuchsaufbau	4
3.1 Belastung der Versuchsanker	5
3.2 Versuchsablauf zur Bestimmung der maximalen Ankerkraft und des Kriechbeiwertes	5
4. Herstellung der Versuchsanker	6
5. Versuchsprogramm	7
5.1 Versuchsumfang	7
5.2 Versuchsbegleitende Messungen und Untersuchungen	8
6. Versuchsergebnisse	10
6.1 Bestimmung der maximalen Ankerkraft und des Kriechbeiwertes (Null-Versuche)	10
6.2 Bestimmung der Kriechbeiwerte und der maximalen Ankerkräfte (Hauptversuche)	11
7. Bewertung der Ergebnisse	13
8. Zusammenfassung	15
Literatur	17
Tabellen, Abbildungen	

1. Einführung

Die Forschungsarbeit "Einfluß aggressiver Wässer und Böden auf das Langzeitverhalten von Verpreßankern und Verpreßpfählen" wurde angeregt, weil es bisher nicht bekannt war, ob und gegebenenfalls in welcher Größe die Tragfähigkeit eines Verpreßankers oder -pfahles bei Anwesenheit betonaggressiver Stoffe, z.B. kalklösender Kohlensäure - wie sie häufig im Grundwasser anzutreffen ist -, verringert wird. Kann der Anker bzw. Pfahl an seiner Oberfläche von aggressivem Wasser oder Boden angegriffen werden, besteht die Gefahr einer Beeinträchtigung der kraftübertragenden Scherfuge. Bisherige Untersuchungen über die Schädigung von Beton durch aggressive Stoffe wurden vorwiegend im Hinblick auf die Minderung der Betondeckung bei lösendem Angriff, der Tragfähigkeit des Betons bei treibendem Angriff oder des Korrosionsschutzes bei Karbonatisierung oder Chloridangriff durchgeführt.

Ziel der Arbeit war die Abschätzung des Einflusses eines betonlösenden Angriffs auf das Langzeittragverhalten von Verpreßankern bzw. -pfählen.

Dieser Arbeit vorangegangen sind eine Literaturlauswertung und Grundsatzversuche zum Erkennen von Veränderungen am Zementstein, wenn dieser der Wirkung kalklösender Kohlensäure ausgesetzt ist [1]. Schlußfolgernd wurde es als sinnvoll erachtet, die Ergebnisse der Grundsatzversuche durch Versuche an Modellankern - aus Zementleim hergestellte, mit Verpreßankern vergleichbare Zylinder - zu ergänzen.

Über die Ergebnisse der vom Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin, geförderten Studie wird im folgenden berichtet.

2. Versuchsmaterialien

2.1 Zement für die Modellanker

Für die Herstellung der Modellanker wurde in Anlehnung an DIN 4125 Teil 2, Verpreßanker für dauernde Verankerungen (Daueranker) im Lockergestein (Februar 1976), ein Portlandzement der Festigkeitsklasse Z 45 verwendet.

Zur Feststellung des Fließvermögens wurde mit dem gewählten Zement ein Zementmörtel mit einem Wasserzementwert von 0,44 hergestellt und in Eintauchversuchen nach DIN 4227 Teil 5 geprüft. Die Tauchzeiten betragen im Mittel unmittelbar nach dem Mischen 50 Sekunden und nach 30 Minuten 65 Sekunden.

2.2 Bodenmaterial

Nach Prüfung verschiedener Gewinnungsstätten für Sande in der Bundesrepublik Deutschland wurde zur Einbettung der Modellanker ein werkmäßig zusammengesetzter und aufbereiteter Sand gewählt. Diese Maßnahme war erforderlich, da die untersuchten natürlichen Sande nicht mit den gewünschten Eigenschaften zu erhalten waren.

Demnach sollte ein Fein- bis Mittelsand mit einem Größtkorn von etwa 2 mm verwendet werden, der bei dichter Lagerung (rd. 100 % Proctordichte) eine Wasserdurchlässigkeit von $k = 2 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-4}$ m/s aufweist. Dieser Boden wurde gewählt, weil im Teil I des Forschungsvorhabens [1] Erkenntnisse gewonnen wurden, die vermuten ließen, daß Verpreßanker und -pfähle bei Anwesenheit von kalklösender Kohlensäure besonders dann in ihrer Tragfähigkeit gefährdet sind, wenn sie in Böden eingebaut werden, die hinsichtlich ihrer Durchlässigkeit und Korngröße zwischen den Extrema eines feinkörnigen, bindigen Bodens und eines grobkörnigen, nicht bindigen Bodens einzustufen sind.

In Bild 1 sind die Korngrößenverteilung des verwendeten Sandes und die angestrebte Korngrößenverteilung gegenübergestellt. Aus dem Diagramm ist ersichtlich, daß die gewählte Korngrößenverteilung weitgehend mit der angestrebten übereinstimmt.

Mit einer Ungleichförmigkeitszahl $U = 2,1$ ($U = d_{60}/d_{10}$) und einer Krümmungszahl $C_K = 1,0$ ($C_K = (d_{30})^2/(d_{60} \cdot d_{10})$) kann der verwendete Sand der Bodengruppe SE (Sand, enggestuft) nach DIN 18 196 zugeordnet werden.

Die Kornrohichte des Sandes beträgt $2,64 \text{ g/cm}^3$. Bei lockerster Lagerung wird eine Dichte von $1,45 \text{ g/cm}^3$, bei dichtester Lagerung eine Dichte von $1,67 \text{ g/cm}^3$ erreicht. Im Proctorversuch nach DIN 18 127 wurde eine Proctordichte von $1,60 \text{ g/cm}^3$ bei einem optimalen Wassergehalt von rd. 10 % ermittelt.

Die Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitskoeffizienten in Anlehnung an DIN 18 130 ergab mit rd. $3,9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ einen Durchlässigkeitskoeffizienten, der im Bereich des angestrebten k -Wertes von $2 \cdot 10^{-4}$ bis $5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ liegt.

Für den nach DIN 18 137 bestimmten Reibungswinkel wurden Werte von $34,5^\circ$ im Dreiaxialversuch (CD-Versuch) und $35,5^\circ$ im direkten Scherversuch bei 100 % Proctordichte erzielt. Eine meßbare Kohäsion des Sandes war erwartungsgemäß nicht vorhanden.

Die Ergebnisse der bodenmechanischen und erdbautechnischen Untersuchungen sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

3. Versuchsaufbau

Zur Durchführung der Vor- und Hauptversuche wurde eine Versuchsanlage gebaut. Sie bestand aus 13 Stahlfässern zur Aufnahme je eines Modellankers, Wasserbehältern zur Versorgung mit reinem bzw. CO₂-angereichertem Wasser und entsprechenden Regeleinrichtungen, Verbindungsleitungen und -schläuchen.

Der prinzipielle Versuchsaufbau ist in Bild 2 dargestellt.

Der Bodenkörper baute sich wie folgt auf:

Unmittelbar auf dem Faßboden wurde eine rd. 12 cm dicke Kiesschicht der Körnung 8/16 mm als Wasserverteiler aufgebracht. Es folgte ein wasserdurchlässiges Vlies, das die Aufgabe hatte, ein Zusetzen der Wasserverteilschicht durch absinkende Feinstteilchen aus dem darüberliegenden Bodenmaterial zu verhindern. Der verbleibende Raum wurde mit dem verwendeten Bodenmaterial (Sand, nach Abschnitt 2.2) schichtenweise verfüllt und verdichtet. Das Einstellen des Wassergehaltes erfolgte durch Zugabe von Wasser zum werkmäßig trockenen Sand in einem Gegenstrommischer. Jedes Faß wurde in Höhe des oben angeordneten Wasserüberlaufes mit einer Drainmatte abgedeckt.

Der Eintritt des Wassers in das Bodenmaterial erfolgte von der Unterseite der Fässer her. Das durch den Überlauf austretende Wasser wurde in die Kanalisation abgeleitet. Die Wasserzugabe wurde über Durchflußmesser geregelt, die in die Zuleitungen zu jedem Faß eingebaut waren. Der realisierbare Wasserdurchfluß betrug rd. 10 l/h. Eine Pumpe erzeugte das notwendige hydraulische Gefälle am Auslauf der Vorratsbehälter.

Die Anreicherung des Wassers mit Kohlendioxid erfolgte in den Vorratsbehältern durch direkte Einleitung von CO₂ aus einer Flasche mittels Druckminderungsventil und einen verteilend wirkenden Sprudelstein.

3.1 Belastung der Versuchsanker

Die probeweise Belastung von Versuchsankern ergab, daß die maximal aufnehmbaren Zugkräfte (Ankerkraft $\max.A$) unzureichend für die Bestimmung eines Kriechbeiwertes aus der Zeit-Verschiebungs-Linie bei $\max.A/1,75$ waren ($\max.A = \text{rd. } 1,7 \text{ kN}$).

Es wurden deshalb weitere Versuchsanker zur Bestimmung der maximalen Ankerkraft und der Zeit-Verschiebungs-Linie hergestellt, die zusätzlich zur Zugbelastung durch eine flächig wirkende Auflast beaufschlagt wurden.

Eine nahezu kreisringförmige Belastungsfläche wurde dazu vor Beginn des Zugversuches mittels 4 Gewindestangen mit Kontermuttern auf die Sandoberfläche gedrückt. Durch Anspannen der Gewindestangen mit einer momentenschlüsselähnlichen Vorrichtung wurde für alle Fässer eine annähernd gleiche Belastung gesichert.

Die maximale Ankerkraft erhöhte sich dadurch auf $\max.A = \text{rd. } 17 \text{ kN}$.

Das Prinzip der Lastaufbringung zeigt Bild 3.

3.2 Versuchsablauf zur Bestimmung der maximalen Ankerkraft und des Kriechbeiwertes

Die Versuchsanker wurden, ausgehend von einer Vorlast von 1 kN, in Stufen von je 1 kN belastet. Bei jeder Laststufe wurde der Versuch bis zum Ruhepunkt der Ankerkopfverschiebung angehalten. Vor der Belastung mit der nächsthöheren Laststufe wurde der Anker auf die Vorlast entlastet und die bleibende Ankerkopfverschiebung gemessen. Die maximal aufnehmbare Ankerkraft war erreicht, nachdem die Verschiebung nicht mehr zur Ruhe kam.

Die Zeit-Verschiebungs-Linie wurde bei einer Last von $\max.A/1,75$ ermittelt. Die Belastung der Anker bis zu dieser Last erfolgte gleichfalls in Laststufen von 1 kN, wobei bei jeder Laststufe etwa 1 Minute angehalten wurde. Nach Erreichen der Prüflast wurde diese für 60 Minuten konstant gehalten und die Verschiebungen in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt.

Das Kriechmaß k_s als Maß für die Zunahme der Verschiebung s des Modellankers im Boden unter konstanter Ankerkraft ist nach DIN 4125 Teil 2 definiert:

$$k_s = (s_2 - s_1) / \lg(t_2 / t_1) ,$$

s_1 , s_2 : Verschiebungen

t_1 , t_2 : Zeitspannen

Anschließend wurde die maximal aufnehmbare Ankerkraft bestimmt, indem der Anker auf seine Vorlast entlastet und im weiteren wieder für die Zeitdauer von 1 Minute in Stufen von 1 kN bis zum Erreichen der Bruchlast belastet wurde.

4. Herstellung der Versuchsanker

Nach Vorerprobung wurden die Versuchsanker wie folgt hergestellt (Bild 4):

- Aufbringen von rd. 5 cm Bodenmaterial auf das Filtervlies,
Verdichtung mit einem Handstampfer,
- Einbau und Zentrierung des Schalrohres (Innendurchmesser $D_i = 10$ cm) mit dem innenliegenden Stahlzugglied und einem Abstandhalter,
- Lagenweises Einfüllen und Verdichten des Bodenmaterials,
- Einfüllen von 2/3 des Verpreßgutes in das Schalrohr
(Zement Z 45 mit einem w/z-Wert = 0,44),
- Ziehen des Schalrohres um rd. 30 cm,
- Einfüllen des verbliebenen Verpreßgutes,

- Aufbringen eines Verpreßdruckes auf die Mörteloberfläche durch Druckerhöhung im Schalrohr auf rd. 1,5 bar (Bild 4) und Konstanthaltung des Druckes über 5 Minuten,
- Vollständiges Herausziehen des Schalrohres.

Die so entstandenen Ankerkörper hatten einen Durchmesser D von rd. 11 cm und eine Länge von rd. 40 cm.

Die Differenz zwischen dem Durchmesser D des Ankerkörpers und dem Innendurchmesser D_i des Schalrohres von rd. 1 cm folgt aus dem Eindringen des Verpreßmörtels in die an das Schalrohr angrenzende Bodenschicht.

5. Versuchsprogramm

5.1 Versuchsumfang

In Null-Versuchen wurden an 28 Tage alten Versuchsankern, die ausschließlich von reinem, nicht kalkaggressivem Wasser umströmt wurden, die maximal aufnehmbare Ankerkraft und der Kriechbeiwert aus der Zeit-Verschiebungs-Linie bei $\max.A/1,75$ als Kenngrößen für den möglichen Verlust der Tragfähigkeit der Anker ermittelt. Die Ergebnisse dieser Versuche dienten als Bezugswerte für alle weiteren Ausziehversuche. Für die nachfolgenden Hauptversuche waren 13 Versuchsanker vorgesehen, die bis zum Alter von 28 Tagen im nicht kalkaggressiven, wasserdurchströmten Versuchsboden verblieben.

Jeweils 5 Anker wurden in der Folgezeit einer korrosiven Beanspruchung durch kalklösende Kohlensäure entsprechend den Versuchsergebnissen von [1] in einer Konzentration von 20 bzw. 100 mg CO_2/l Wasser ausgesetzt. Die übrigen Anker wurden weiterhin von reinem, nicht kalkaggressivem Wasser umströmt. Nach rd. 3-, 6-, 9- und 12-monatiger Einwirkung des CO_2 -haltigen Wassers wurde an jeweils 1 Ver-

suchsanker die Zeit-Verschiebungs-Linie und daraus der Kriechbeiwert bestimmt. Anschließend wurden die Anker bis zum Bruch belastet. Die Bezeichnungen der Anker der Vor- und Hauptversuche sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

5.2 Versuchsbegleitende Messungen und Untersuchungen

Versuchsbegleitend wurden folgende Kennwerte bestimmt bzw. untersucht:

- Gehalt an CO₂ im Wasser:

Dazu wurden Wasserproben nach dem in den "Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DEV,1983)" [2] beschriebenen Titrationsverfahren auf ihren CO₂-Gehalt hin untersucht. Die Ergebnisse der Titration wurden rechnergestützt mit Hilfe eines Programms [3], das auf in [4] zusammengestellten Beziehungen basiert, ausgewertet.

Der CO₂-Gehalt des Wassers wurde über den gesamten Versuchszeitraum regelmäßig, durchschnittlich einmal je Woche, kontrolliert. Ein exaktes Einhalten der Sollwerte war nicht möglich, da die Löslichkeit von CO₂ in Wasser von mehreren Einflußfaktoren abhängig ist. Zur Vereinfachung der Versuchsbedingungen wurde ein Schwanken des CO₂-Gehaltes in bestimmten Grenzen toleriert. Im Mittel lag der CO₂-Gehalt des Wassers bei den in Tabelle 3 dargestellten Werten.

- Wassertemperatur:

Die Temperatur des aus dem Leitungsnetz entnommenen Wassers, die einen großen Einfluß auf die Löslichkeit von CO₂ in Wasser hat, lag während des gesamten Versuchszeitraumes im Mittel bei 16 °C. Sie war in der Winterperiode geringfügig niedriger, in der Sommerperiode geringfügig höher. Die Unterschiede wurden über die CO₂-Dosierung weitgehend ausgeglichen.

- Lufttemperatur und relative Luftfeuchte:

Die Versuchseinrichtung stand in einer heizbaren Haupthalle der Abteilung Baustoffe des Otto-Graf-Instituts. Dadurch bestanden über den gesamten Versuchszeitraum nahezu gleiche Umgebungsbedingungen. Die Lufttemperatur lag im Jahresdurchschnitt bei 20 °C, die relative Luftfeuchtigkeit bei rd. 55 %.

- Strömungsverhalten im Versuchsfaß:

Dazu wurde in einem ersten Versuch dem CO₂-haltigen Wasser konzentriertes Fluorescein-Natrium zugegeben. Infolge des nahezu gleichmäßigen Austritts dieser gelb-grün gefärbten Flüssigkeit an die Oberfläche, ohne zeitliche Verzögerung zwischen dem Austritt an den Randbereichen der Fässer und dem Ankerbereich, kann von einem gleichmäßigen Durchströmen der Fässer ausgegangen werden.

In einem weiteren Versuch wurde dem Wasser von 2 Ankern vor deren Belastung weiße, wasserlösliche Farbe zugegeben. Auch hier erfolgte der Austritt des Farbstoffes nahezu gleichmäßig. Nachdem sich die Wasseroberfläche vollständig weiß eingefärbt hatte, wurde die Wasserzufuhr unterbrochen, der Anker belastet, die Messungen vorgenommen und anschließend das Wasser abgelassen. Während des nachfolgenden schichtenweisen Entleerens der Fässer wurde besonders auf Zonen mit erhöhter Farbkonzentration geachtet. Im oberen Drittel der Fässer war die Farbe nur an ihrem typischen Geruch nachweisbar. Im mittleren Drittel waren Farbpartikel im Bereich der Anker bis in die Randbereiche der Fässer auszumachen. Der augenscheinlich größte Anteil der Farbe war erwartungsgemäß im unteren Drittel zu beobachten. Verantwortlich für diesen schichtenweisen Abbau der Farbanreicherungen nach oben dürften das Bodenvlies und die Filterwirkung des Sandes für die Farbpartikel gewesen sein.

Beide Versuche belegen das gleichmäßige Durchströmen der Fässer und damit einen für die vorgesehene Untersuchung geeigneten Versuchsaufbau.

6. Versuchsergebnisse

6.1 Bestimmung der maximalen Ankerkraft und des Kriechbeiwertes

(Null-Versuche)

Für die Null-Versuche wurden die Anker 0/01 bis 0/03 hergestellt. Nach 28 Tagen wurden an 2 Ankern die maximal aufnehmbare Ankerkraft aus der Kraft-Verschiebungslinie und an einem Anker der Kriechbeiwert aus der Zeit-Verschiebungslinie bei $\max.A/1,75$ ermittelt. Das die Anker umgebende Bodenmaterial wurde ausschließlich von nicht kalkaggressivem Wasser durchströmt.

Die Versuchsergebnisse für die Anker 0/01 bis 0/03 sind in den Bildern 5 bis 7 (siehe auch Tabelle 4 und 5) dargestellt. Es wurden erzielt:

$$\begin{aligned} \text{maximale Ankerkraft: } \max.A_{0/01} &= 17,5 \text{ kN} \\ \max.A_{0/02} &= 17,0 \text{ kN} \\ \max.A_{\text{Mittel}} &= 17,25 \text{ kN,} \end{aligned}$$

Kriechbeiwert bei einer konstanten Last $17,25/1,75 = 10 \text{ kN}$:

$$k_s = 0,053 \text{ mm.}$$

Diese Werte dienten als Bezugsgrößen für die im weiteren Versuchsverlauf ermittelten Kennwerte.

Der ermittelte Kriechbeiwert enthält sowohl die Verformungen in der Verbundfuge Modellanker/Boden als auch die Verformungen in der Verbundfuge Stahlzugglied/Ankerkörper und im beanspruchten Bodenbereich.

Die Ankeroberfläche wurde nach dem Ausbau jedes Ankers augenscheinlich untersucht. Demnach lag eine sandrauhe Oberfläche vor, aus der man die Bodenkörner im Übergangsbereich Verpreßmörtel/Boden leicht herauslösen konnte. In diesem Bereich lag auch die Bruchfuge.

Es gab augenscheinlich keine Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit der Anker.

Der Anteil der plastischen Verformungen wurde durch die Kraft-Verschiebungs-Linie nach Entlastung auf die Vorlast verdeutlicht.

Ausgehend von einer Belastung der Anker gemäß Abschnitt 3.2 ist in den Bildern 5 und 6 der Verlauf der Verschiebungen und des Anteils an plastischen Verformungen aufgetragen. Die geringen Abstände zwischen den Verschiebungswerten "unter Last" bzw. "nach Entlastung auf Vorlast 1 kN" deuten auf ein relativ geringes elastisches Verhalten - das auch angestrebt wurde - hin.

6.2 Bestimmung der Kriechbeiwerte und der maximalen Ankerkräfte

(Hauptversuche)

Ausgehend von den in Abschnitt 6.1 ermittelten maximalen Ankerkräften wurden die Kriechbeiwerte zur Abschätzung des Einflusses eines betonlösenden Angriffs auf das Langzeittragverhalten der Anker bestimmt.

Die Zeit-Verschiebungs-Linien der Anker 20/1 bis 20/5 und 100/2 bis 100/5 sind in den Bildern 8 bis 12 (siehe auch Tabelle 6) und 14 bis 17 (siehe auch Tabelle 7) dargestellt.

Das Kriechmaß k_s wurde jeweils aus dem linearen Teil der Kurven - in den genannten Bildern durch eine dünn gestrichelte Linie dargestellt - errechnet.

Vom Anker 100/1 konnte keine Zeit-Verschiebungs-Linie aufgenommen werden. Er versagte aus unbekanntem Gründen bereits bei einer Zugkraft von rd. 6 kN.

Die Bilder 13 und 18 fassen die Einzeldarstellungen zusammen.

Die unterschiedlichen Ausgangswerte für die Ankerverschiebung s zu Beginn der konstanten Belastungsphase resultieren aus der Fertigungsungenauigkeit der Anker, der

möglicherweise ungleichförmigen Verdichtung des Bodens im Faß und aus dem Einfluß des betonlösenden Angriffs.

Aus dem Bild 13 ist folgendes abzuleiten:

- Das Kriechverhalten der Anker, dargestellt durch den Verlauf der Zeit-Verschiebungs-Linie, ändert sich mit der Zeit. Die Anker 20/1 und 20/2 haben einen fast durchgehend linearen Verlauf. Die Anker 20/3 bis 20/5 zeigen nach rd. 10 Minuten der konstanten Belastung eine verstärkte Zunahme des Kriechens. (Die "Abstufung" im Verlauf der Zeit-Verschiebungs-Linie des Ankers 20/3 ist vermutlich auf eine nicht beobachtete Erschütterung der Versuchsanordnung zurückzuführen.)
- Die Kriechmaße k_S (die Neigungen der geradlinigen Teile der Kurven) nehmen ab Anker 20/3 zu.

In Bild 18 ist erkennbar:

- Die Belastung der Anker während der Versuchsdauer von 60 Minuten wurde zwar konstant gehalten, eine gleiche Belastung für alle Anker konnte jedoch nicht realisiert werden. Die Anker 100/3 bis 100/5 wurden mit rd. 3,4 kN bei Aufnahme der Zeit-Verschiebungs-Linie belastet. Auch bei diesen Ankern ist mit der Zeit eine Veränderung des Kriechverhaltens festzustellen.
- Die Vergleichbarkeit der Kriechmaße k_S ist aufgrund der unterschiedlichen Belastungen nur bedingt gegeben. Bei Annahme nahezu gleicher Belastung der Anker 100/3 bis 100/5 wird ebenfalls eine Vergrößerung des Kriechbeiwertes k_S deutlich .

Nach der Aufnahme der Zeit-Verschiebungs-Linie wurden die Anker weiter bis zum Versagen belastet. Die maximalen Ankerkräfte sind in Bild 22 (siehe auch Tabelle 10)

zusammengefaßt. Im Vergleich zur Null-Lagerung (0 mg CO₂/l Wasser) treten bei beiden CO₂-Konzentrationen Abnahmen bei der maximal aufnehmbaren Ankerkraft auf.

Nach rd. 6 Monaten sind erste Einflüsse auf die Tragfähigkeit der Anker festzustellen, die einer CO₂-Konzentration von 20 mg CO₂/l ausgesetzt waren.

Bereits rd. 3 Monate nach Einwirkung CO₂-haltigen Wassers mit einer Konzentration von rd. 100 mg/l ist eine Minderung der Tragfähigkeit dieser Anker feststellbar.

Im Alter von 6 Monaten liegt ihre Tragfähigkeit bereits deutlich unter der angenommenen Gebrauchslast von $\max.A/1,75 = 10 \text{ kN}$.

Die 3 Anker des Null-Versuches bestätigen die Ergebnisse der Anker, die im Alter von 1 Monat gezogen wurden. Die Werte der maximalen Ankerkräfte 0/1 bis 0/3 (Bild 19 bis 21, siehe auch Tabelle 8 und 9) liegen nur gering unter den Ausgangswerten der Anker 0/01 bis 0/03.

7. Bewertung der Ergebnisse

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Ergebnisse veranschaulichen, daß die kohlenensäurebedingte Korrosion eines Verpreßankers bzw. -pfahles unter bestimmten Voraussetzungen zu einer Verringerung der Tragfähigkeit des Ankers bzw. Pfahles führen kann.

Als Kenngrößen für den Verlust der Tragfähigkeit des Verpreßankers dienten die Verschiebungen des Ankers bei konstanter Belastung (Kriechmaß k_S) und seine maximal aufnehmbare Ankerkraft ($\max.A$).

Nach DIN 4125, Verpreßanker für dauernde Verankerungen (Daueranker) im Lockergestein, muß bei der Abnahmeprüfung von Verpreßankern das Kriechmaß unter der Prüflast $k_S \leq 2 \text{ mm}$ sein. Dieses Maß kann zum direkten Vergleich mit den hier vorhandenen Meßwerten nicht benutzt werden, da das Kriechmaß k_S eine vom Ankertyp, den Bodenverhältnissen, der Herstellung und der Ankerkraft abhängige Größe ist.

Die festgestellten Kriechmaße zeigen in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer des CO₂-haltigen Wassers bereits bei einer Konzentration von 20 mg CO₂/l, deutlicher noch bei 100 mg CO₂/l, eine steigende Tendenz.

Noch aussagekräftiger, da direkt miteinander vergleichbar, sind die ermittelten maximalen Ankerkräfte. Der gewählte Sicherheitsbeiwert von $\gamma = 1,75$ sinkt, unter Beibehaltung der Gebrauchslast von 10 kN, bei der CO₂-Konzentration von 20 mg/l nach ungefähr 6 Monaten auf rd. 1,40. Bei der CO₂-Konzentration von 100 mg/l versagen die Anker in einem Zeitraum von rd. 4 bis 6 Monaten.

Die Versuchsbedingungen orientierten sich - soweit technisch machbar - an der Praxis.

Inwieweit in einem konkreten, praktischen Anwendungsfall eine Beeinträchtigung der Tragfähigkeit eines Verpreßankers oder -pfahles infolge Kohlensäureangriffs zu verzeichnen ist, wird durch verschiedene Einflußgrößen bestimmt. Insbesondere das Bohrverfahren bestimmt in diesem Zusammenhang maßgeblich das Langzeitverhalten eines Verpreßankers bzw. -pfahles mit. Beispielsweise kann von einer Schneckenbohrung in der Regel ein günstiger Einfluß erwartet werden. An der durch sie erzeugten Profilierung der Bohrlochwand kann sich der Anker bzw. Pfahl zusätzlich abstützen.

Im Gegensatz hierzu kann es sich als nachteilig erweisen, verrohrte Bohrungen - wie in der Praxis meist üblich [5] - auszuführen. Die Bohrlochwandung weist eine relativ ebene Oberfläche auf. Die Scherfuge zwischen Verpreßkörper und Bodenbereich dürfte hier besonders empfindlich gegenüber einer Beanspruchung durch kalklösende Kohlensäure sein.

Die in den Versuchen simulierte verrohrte Bohrung trägt dem in besonderem Maße Rechnung und stellt somit keine praxisferne Verschärfung der Versuchsbedingungen dar.

Eine allgemeingültige Bewertung des Einflusses von kalklösender Kohlensäure auf das Langzeitverhalten von Verpreßankern und -pfählen ist somit noch nicht möglich; jedoch wurde bei der gewählten Versuchsdurchführung eine deutliche Abnahme der Tragfähigkeit in Abhängigkeit von der Stärke und Dauer des Kohlensäureangriffs festgestellt.

Obwohl es augenscheinlich keine Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit der Anker gab, ist anzunehmen, daß diese Abnahme der Tragfähigkeit in einer korrodieren Schicht, bestehend aus einer vollständig aufgelösten, nicht mehr tragfähigen, äußeren Zone und einer darunterliegenden, quasi karbonatisierten Zone mit verminderten Festigkeitseigenschaften [1], begründet ist.

8. Zusammenfassung

Zur Abschätzung des Einflusses aggressiver Wässer auf das Langzeitverhalten von Verpreßankern und -pfählen wurden Ausziehversuche an Modellankern durchgeführt, die Aufschluß darüber geben sollten, ob es eine Verringerung der Tragfähigkeit bei Ankern bzw. Pfählen gibt, wenn diese der Wirkung kalklösender Kohlensäure ausgesetzt sind.

Hierzu wurden Modellanker aus Zementstein mit einem w/z-Wert von 0,44 hergestellt und über einen Zeitraum von 12 Monaten mit aggressivem Wasser in Form von Gehalten an kalklösender Kohlensäure von rd. 20 mg/l und 100 mg/l umströmt.

In Zeitabständen von 1, 3, 6, 9 und 12 Monaten wurde die Zeit-Verschiebungslinie aufgenommen, daraus der Kriechbeiwert k_s bestimmt und die maximal aufnehmbare Ankerkraft $\max.A$ ermittelt.

Die Untersuchungsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Grundsätzlich war ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Kriechbeiwert, der Tragfähigkeit und der Stärke des Kohlensäureangriffs feststellbar.
- Bei einem CO₂-Gehalt des Wassers von rd. 20 mg/l war eine deutliche Zunahme des Kriechbeiwertes k_s gegenüber den Null-Versuchen zu verzeichnen. Die maximal aufnehmbare Ankerkraft verringert sich um rd. 20 % im Vergleich zur Null-Lagerung.
- Bei einem CO₂-Gehalt des Wassers von rd. 100 mg/l waren nach 6 Monaten die Versuche in der vorgesehenen Form nicht mehr durchführbar. Die Meßwertaufnahme war nur noch bei rd. 30 % der ursprünglichen Last möglich. Die vergleichbaren Anker dieser Laststufe zeigten ebenfalls eine Zunahme des Kriechbeiwertes. Die maximal aufnehmbare Ankerkraft verringerte sich um rd. 75 % im Vergleich zur Null-Lagerung.
- Die Modellanker, die mit reinem Leitungswasser umströmt wurden, zeigten nach 12 Monaten kaum Veränderungen. Die etwas geringeren maximalen Ankerkräfte im Vergleich zu den Versuchen nach 1 Monat, dürften auf die Herstell- bzw. Meßungenauigkeiten zurückzuführen sein.

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens läßt sich folgende, zusammenfassende Aussage formulieren:

Nach 12-monatiger Einwirkung von kalklösender Kohlensäure bis zu einem Gehalt von 100 mg/l Wasser korrodiert der Zementstein derart, daß das Langzeittragverhalten von Verpreßankern bzw. -pfählen in Abhängigkeit von der Bodenart und dem Herstellverfahren beeinträchtigt sein kann.

Literatur:

- [1] Manns, W., Zimbelmann, R., Bayer, M.: Einfluß aggressiver Wässer und Böden auf das Langzeitverhalten von Verpreßankern und Verpreßpfählen - Teil I (Grundsatzversuche). Forschungsbericht 12-24172 der FMFA BW, Stuttgart 1987
- [2] Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (DIN 38 404 - 38 409). Verlag Chemie, Weinheim 1983
- [3] Schleifer, N.: Ein Programm zur Berechnung des Kohlensäuregehaltes von Trinkwasser. Österreichische Wasserwirtschaft, Jahrgang 38 (1986), Heft 11/12
- [4] Sontheimer, H. u.a.: Wasserchemie für Ingenieure. ZfGW-Verlag, Frankfurt/M, 1980
- [5] Schulze W.E., Simmer, K.: Grundbau 2. Verlag B.G. Teubner, Stuttgart 1978

Normen und Richtlinien

- | | |
|----------|--|
| DIN 4125 | Teil 1, Verpreßanker, Kurzzeitanker, März 1988, Beuth-Verlag |
| DIN 4125 | Teil 2, Erd- und Felsanker - Verpreßanker für dauernde Verankerungen (Daueranker) im Lockergestein, Februar 1976, Beuth-Verlag |
| DIN 4128 | Verpreßpfähle (Ortbeton- und Verbundpfähle) mit kleinem Durchmesser, April 1983, Beuth-Verlag |
| DIN 4030 | Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase, Juni 1991, Beuth-Verlag |

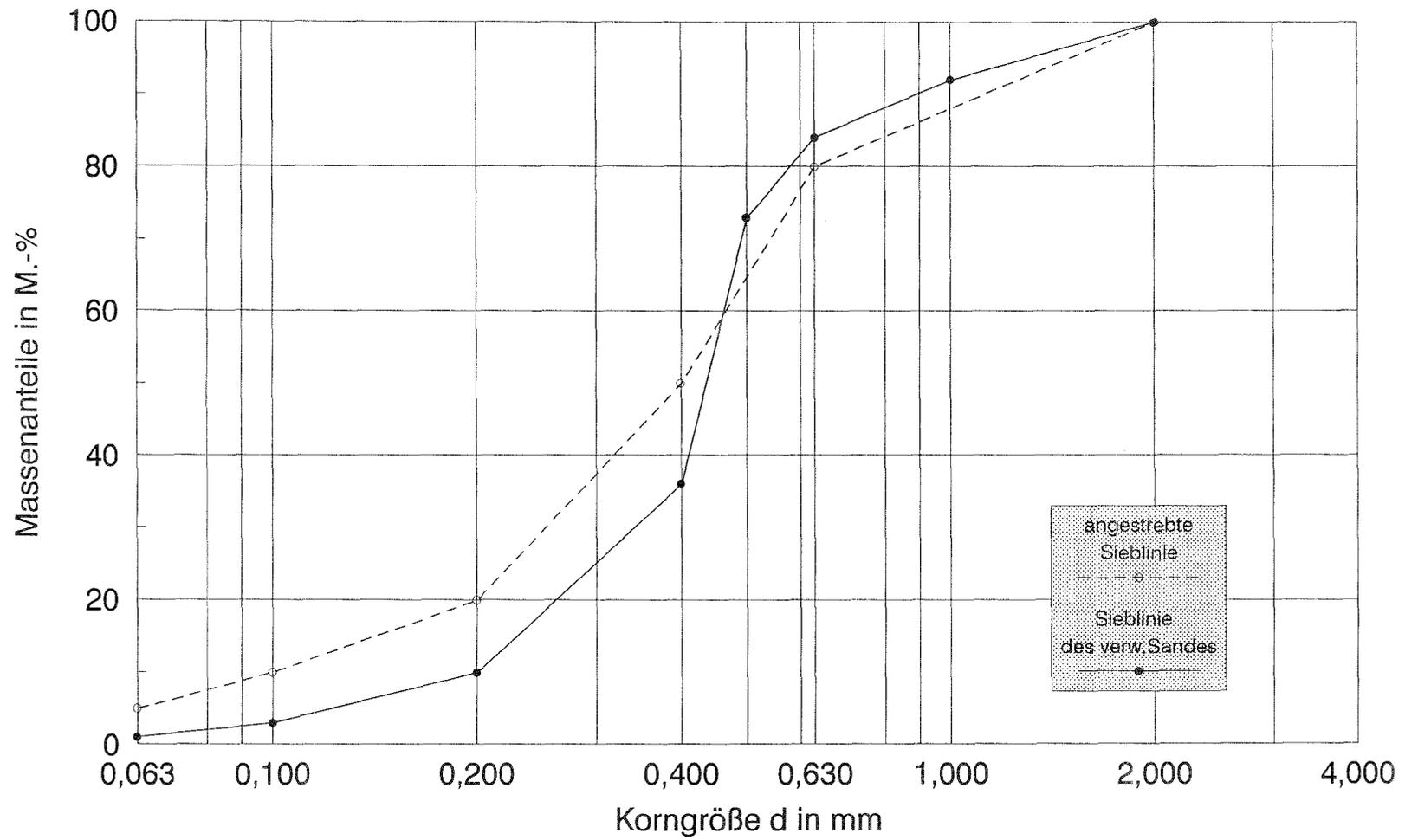


Bild 1. Korngrößenverteilung des verwendeten Sandes nach DIN 18123

- 1 Kiesschicht 8/16
- 2 Filtervlies
- 3 Sand
- 4 Ankerkörper
- 5 Stahlzugglied
- 6 Drainmatte
- 7 Stahlplatte
- 8 hydr. Pressen
- 9 Kraftmeßdose
- 10 Meßuhr
- 11 Entnahmehahn
- 12 Durchflußmesser
- 13 Entlüftung
- 14 Pumpe
- 15 Wasserbehälter
- 16 CO₂-Verteiler
- 17 CO₂-Leitung
- 18 CO₂-Flasche
- 19 Wasserzuleitung
- 20 Überlauf
- 21 Regulierungsventil

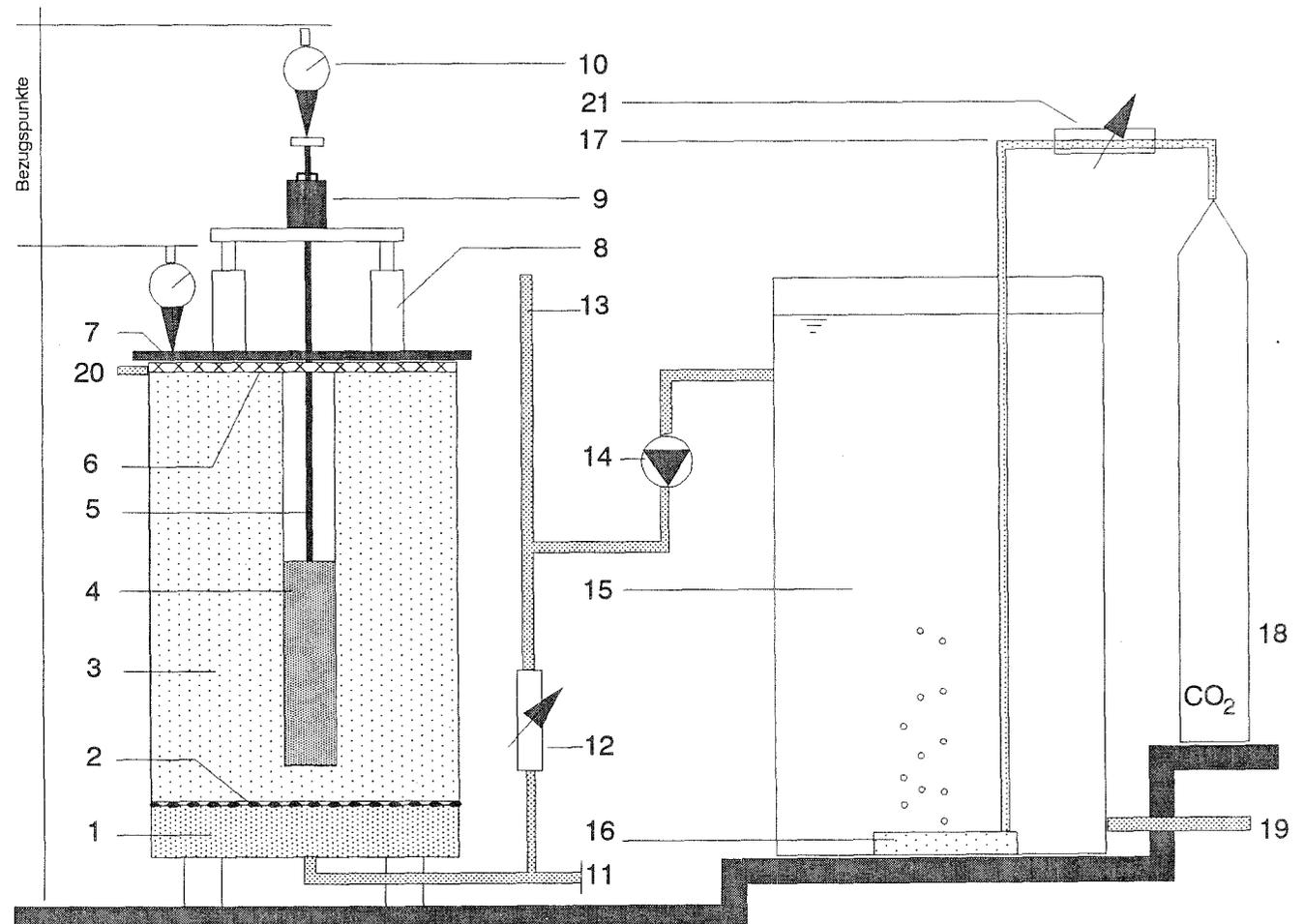


Bild 2. Versuchseinrichtung für Modellanker

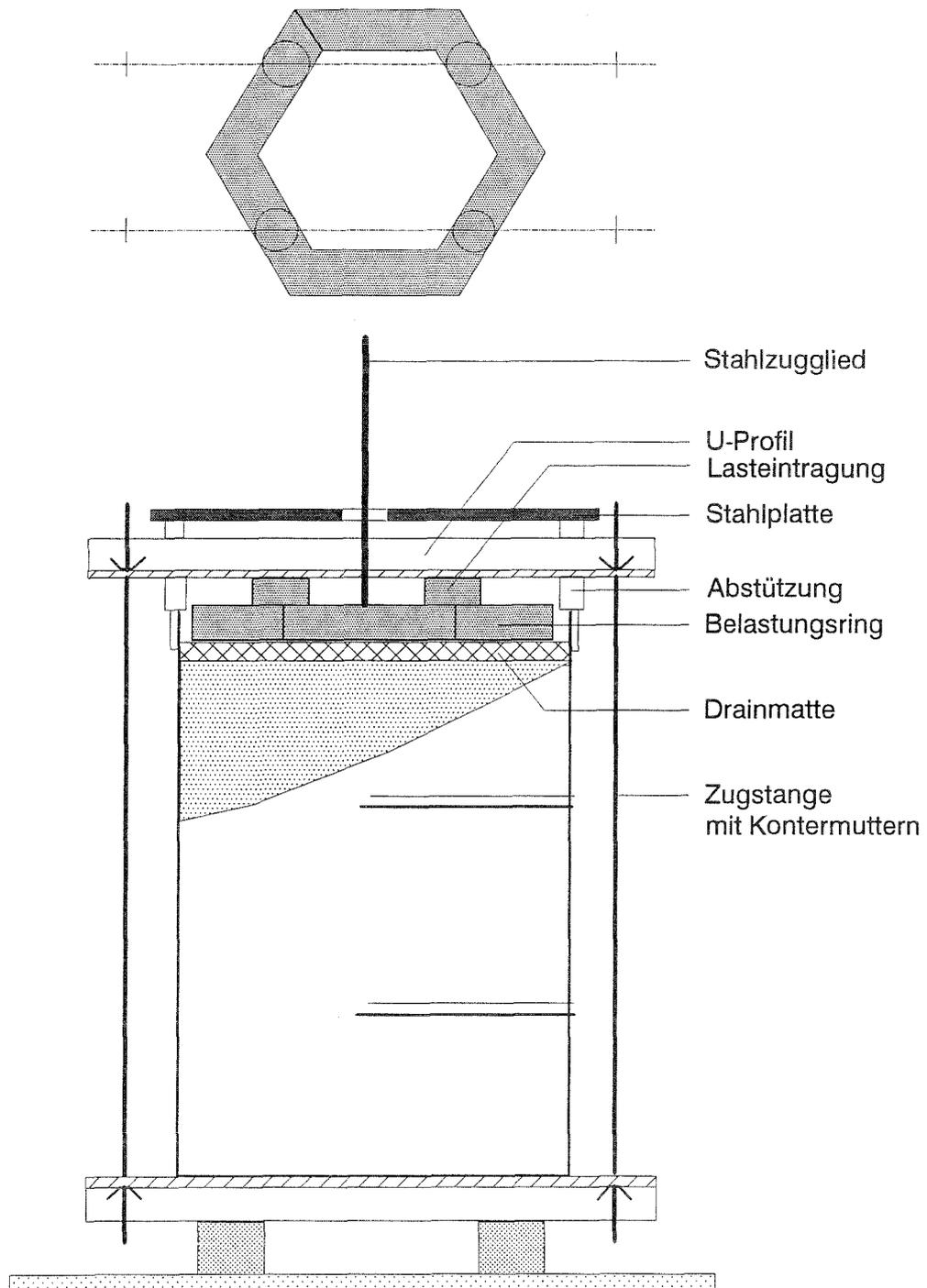


Bild 3. Belastungseinrichtung zur Erzeugung einer Auflast

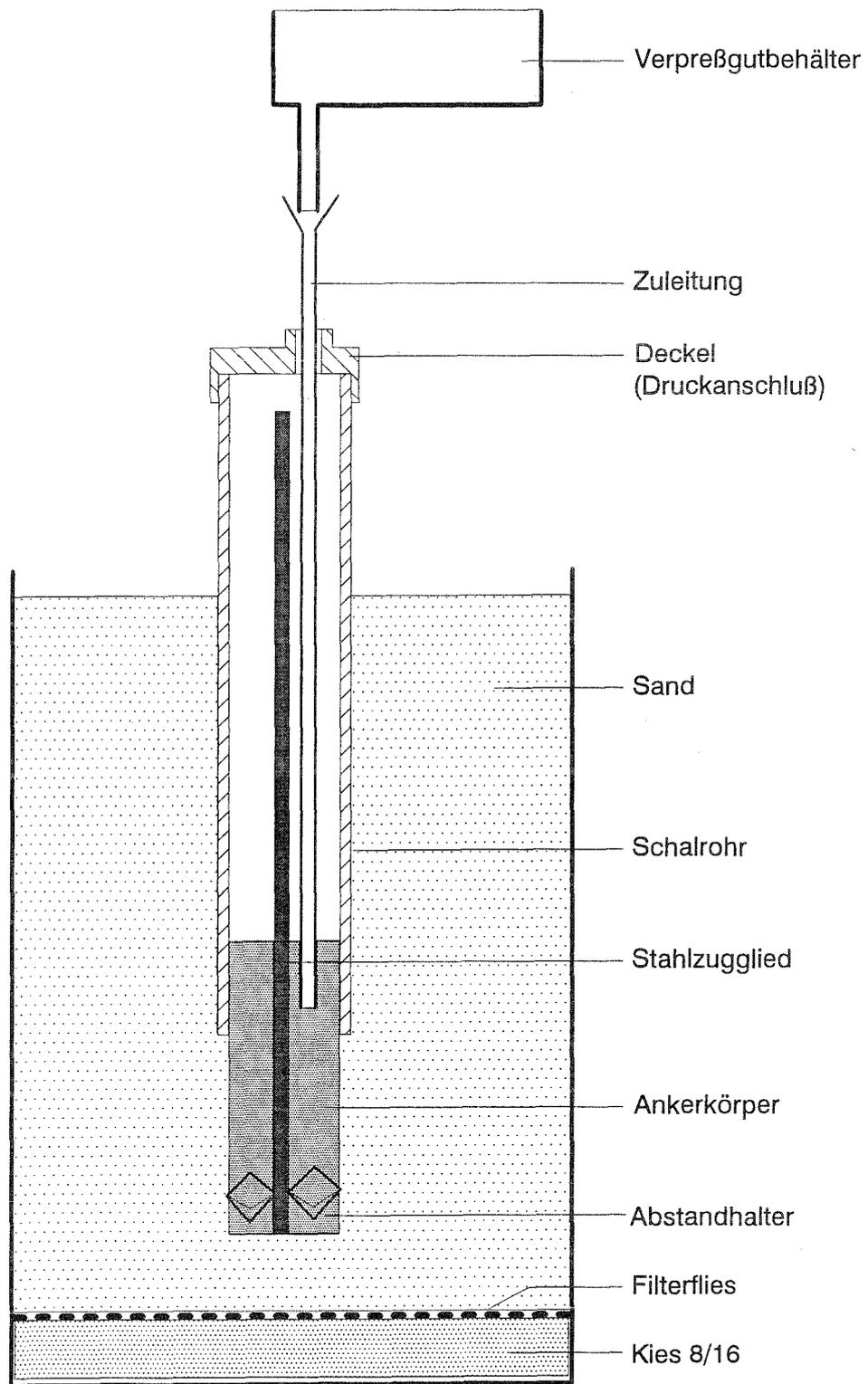


Bild 4. Modellanker im Herstellungszustand

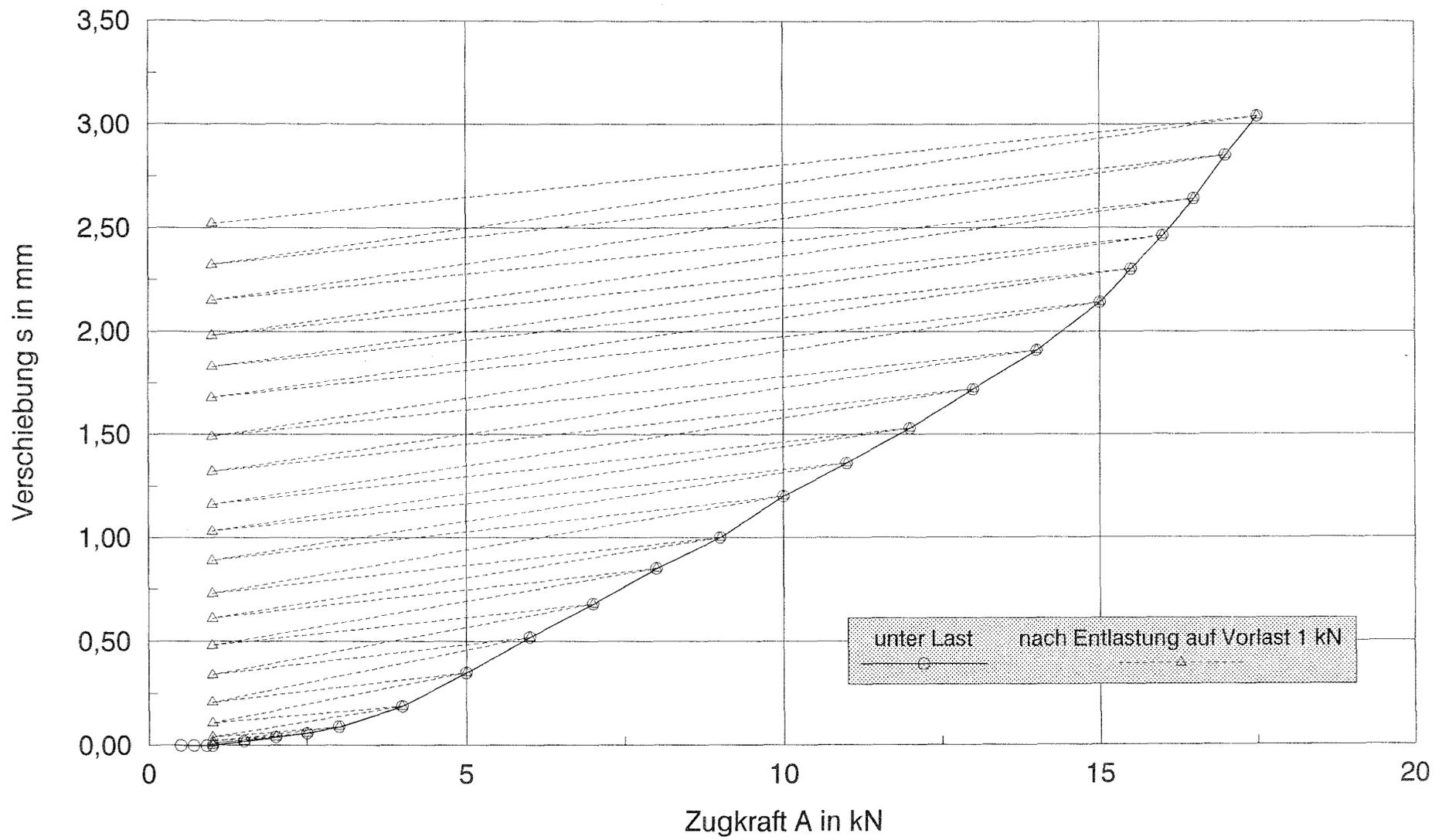


Bild 5. Kraft-Verschiebungs-Linie des Modellankers 0/01

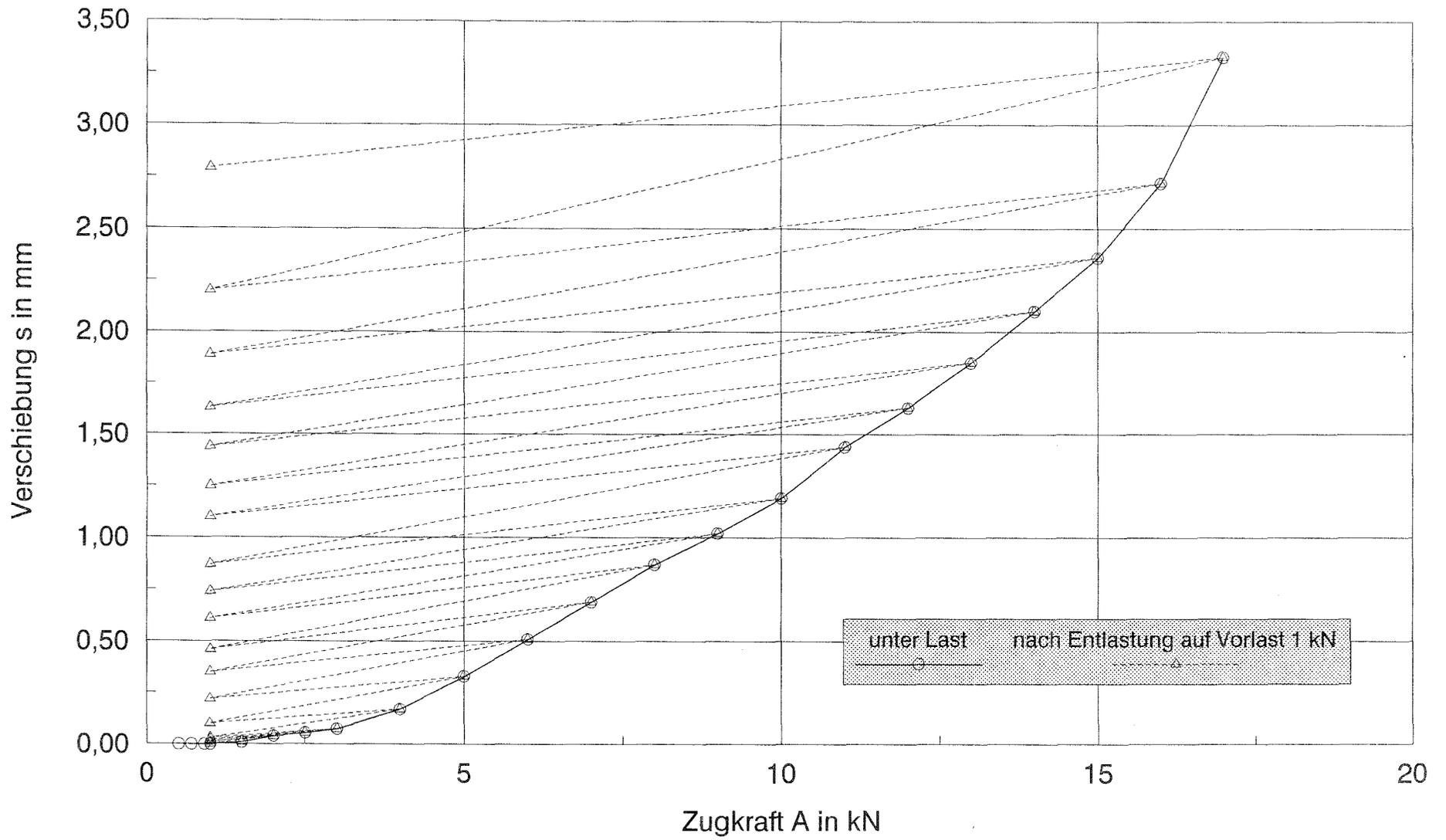


Bild 6. Kraft-Verschiebungs-Linie des Modellankers 0/02

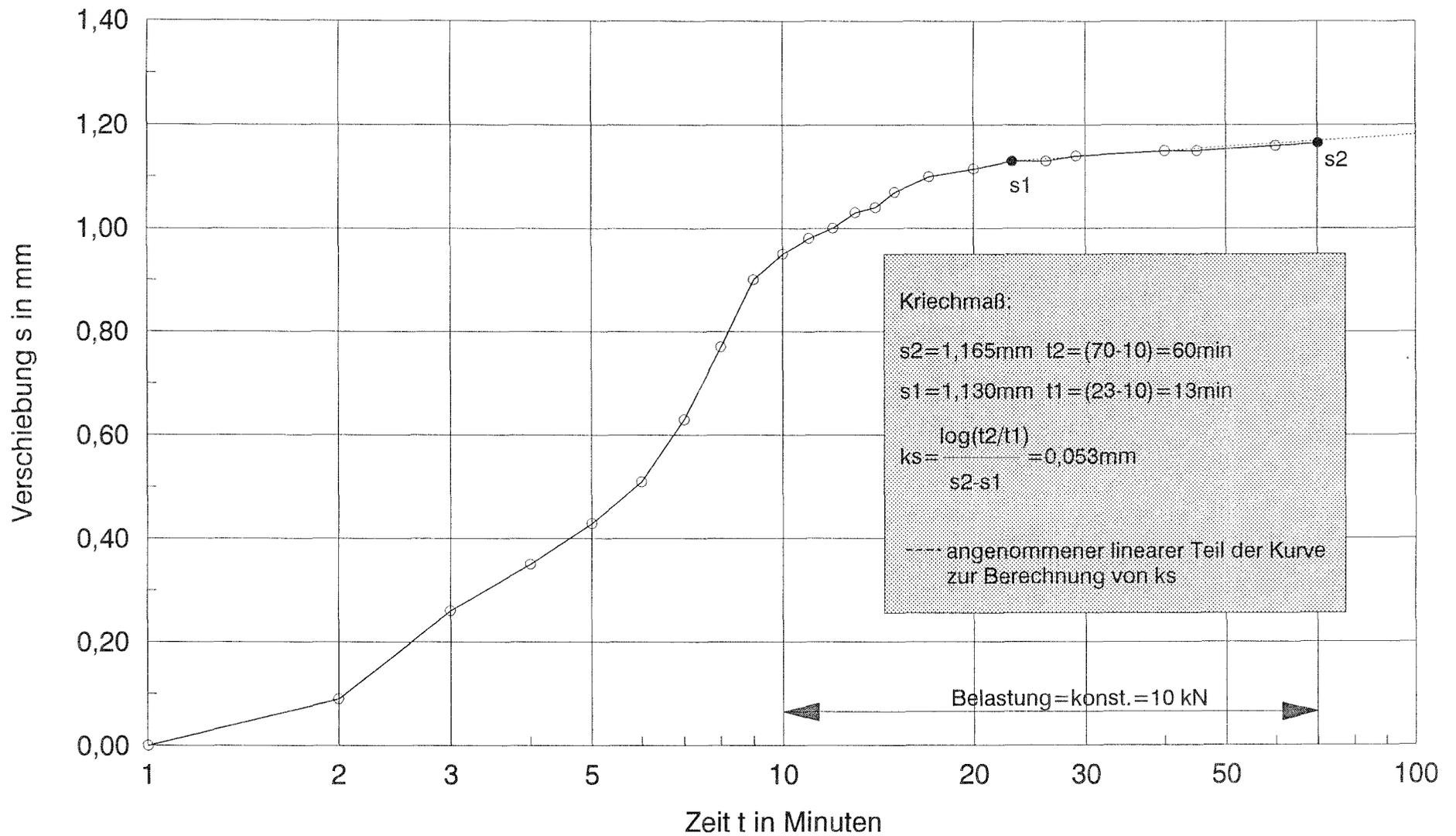


Bild 7. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 0/03

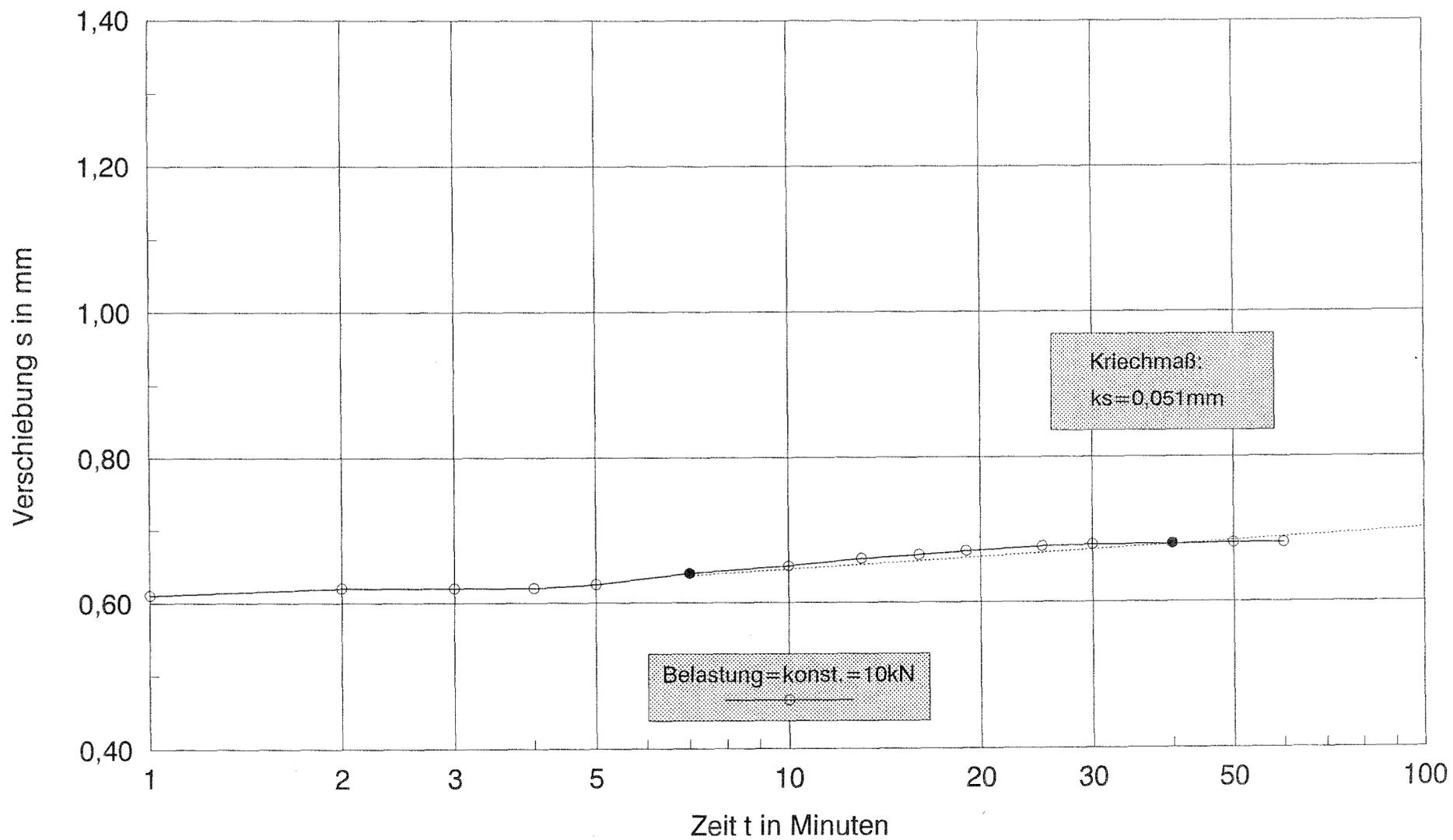


Bild 8. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 20/1

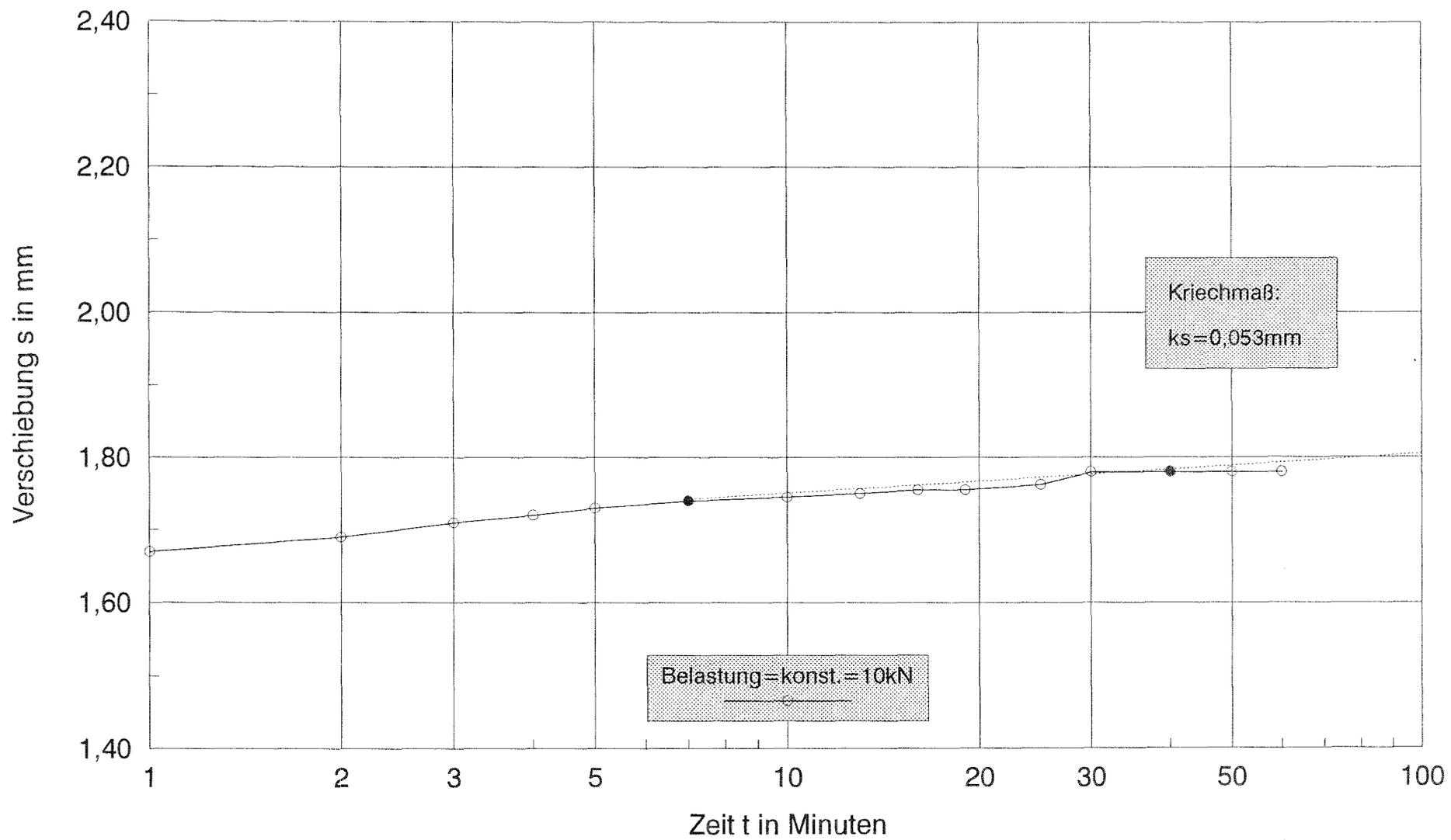


Bild 9. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 20/2

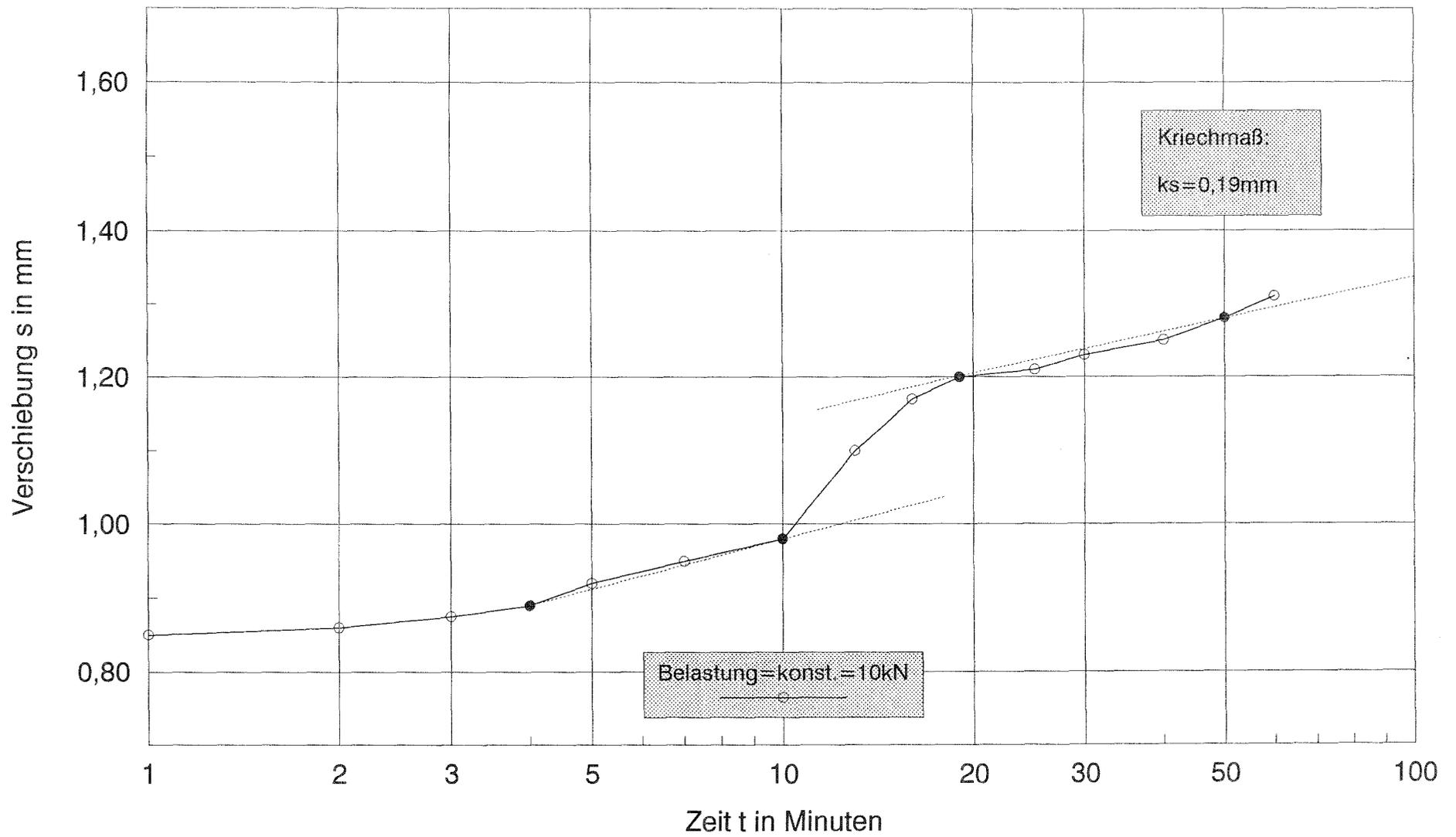


Bild 10. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 20/3

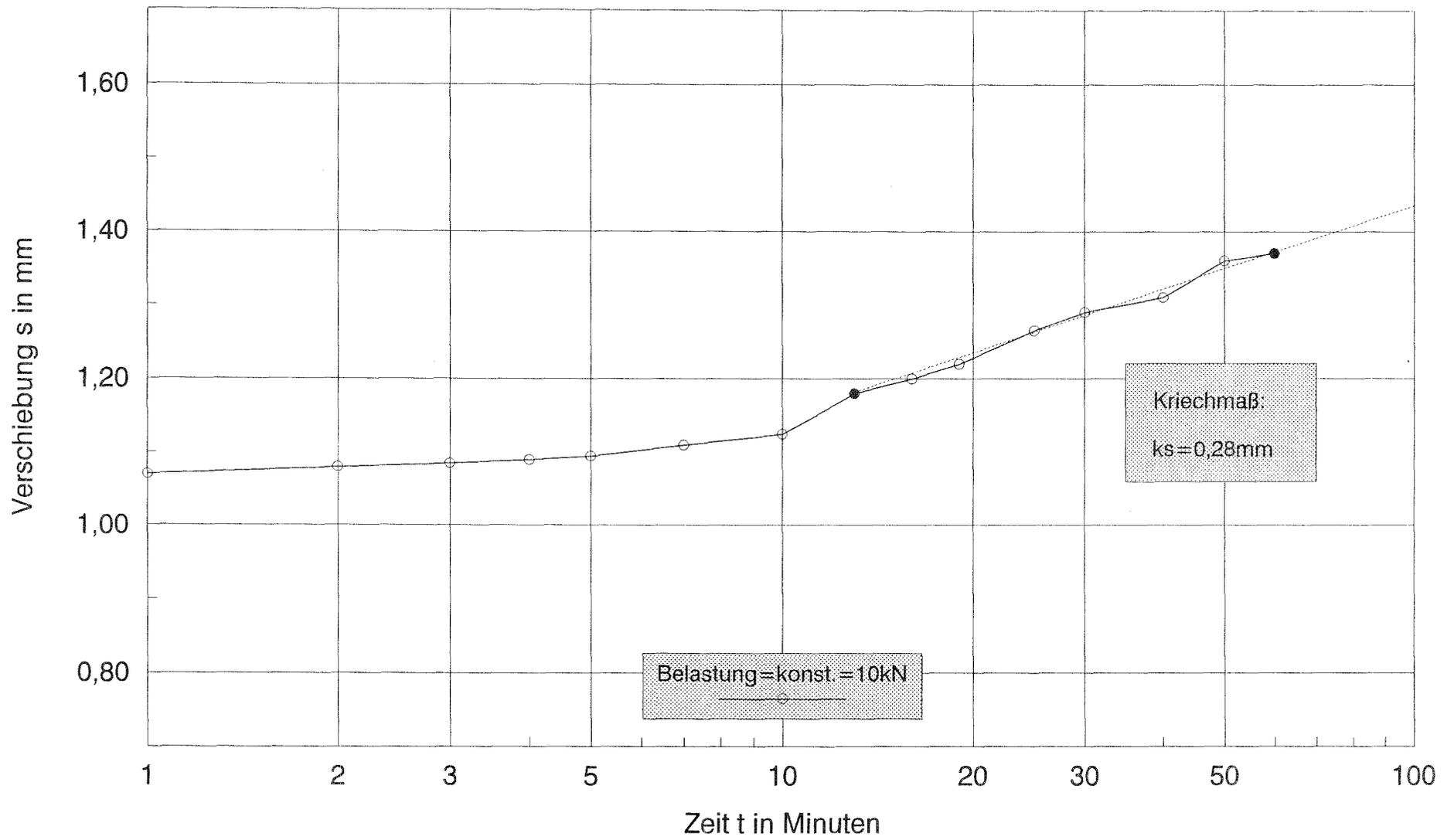


Bild 11. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 20/4

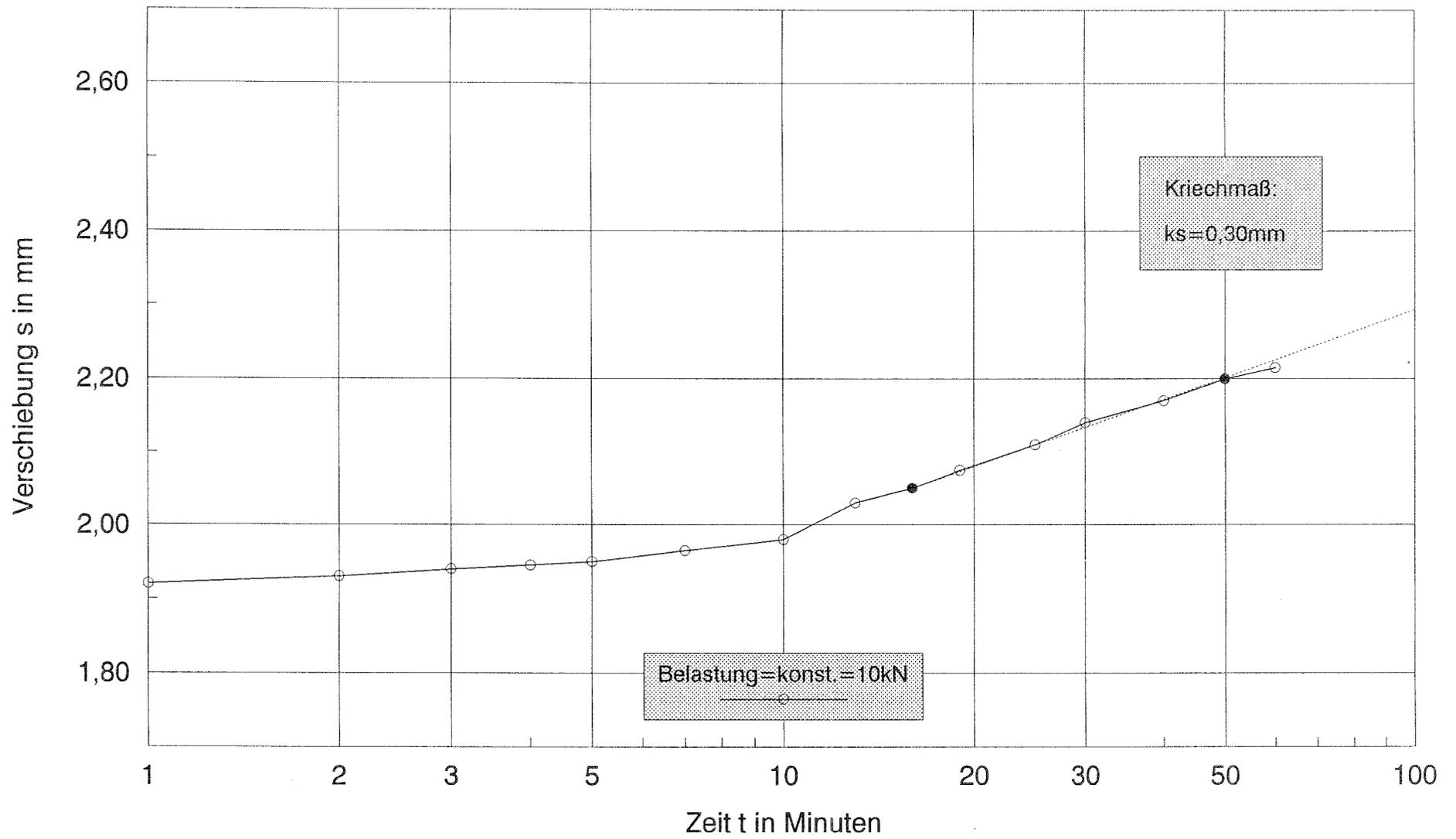


Bild 12. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 20/5

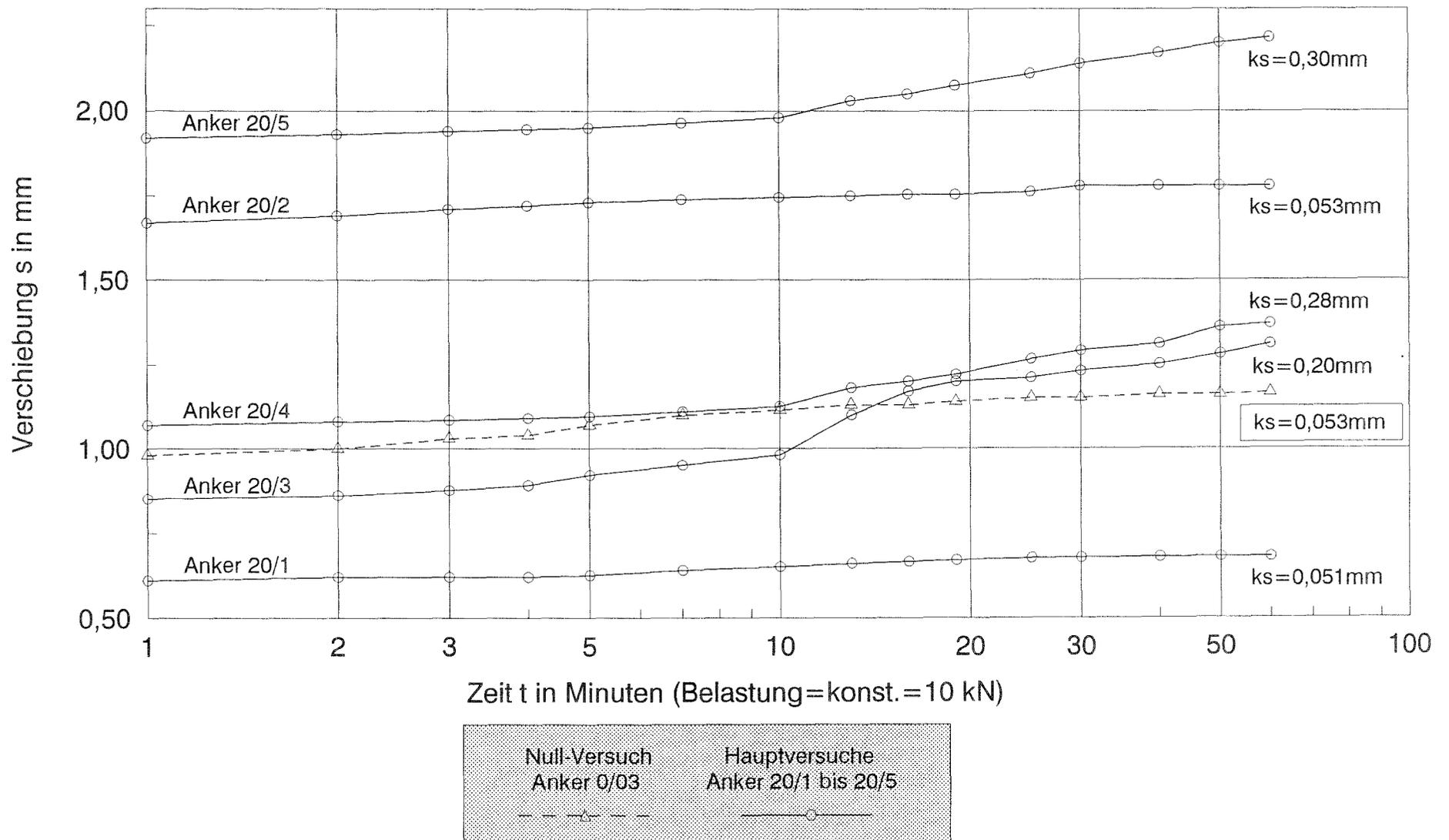


Bild 13. Zusammenfassung aller Zeit-Verschiebungs-Linien der Modellanker bei einer CO_2 -Konzentration von 20 mg/l

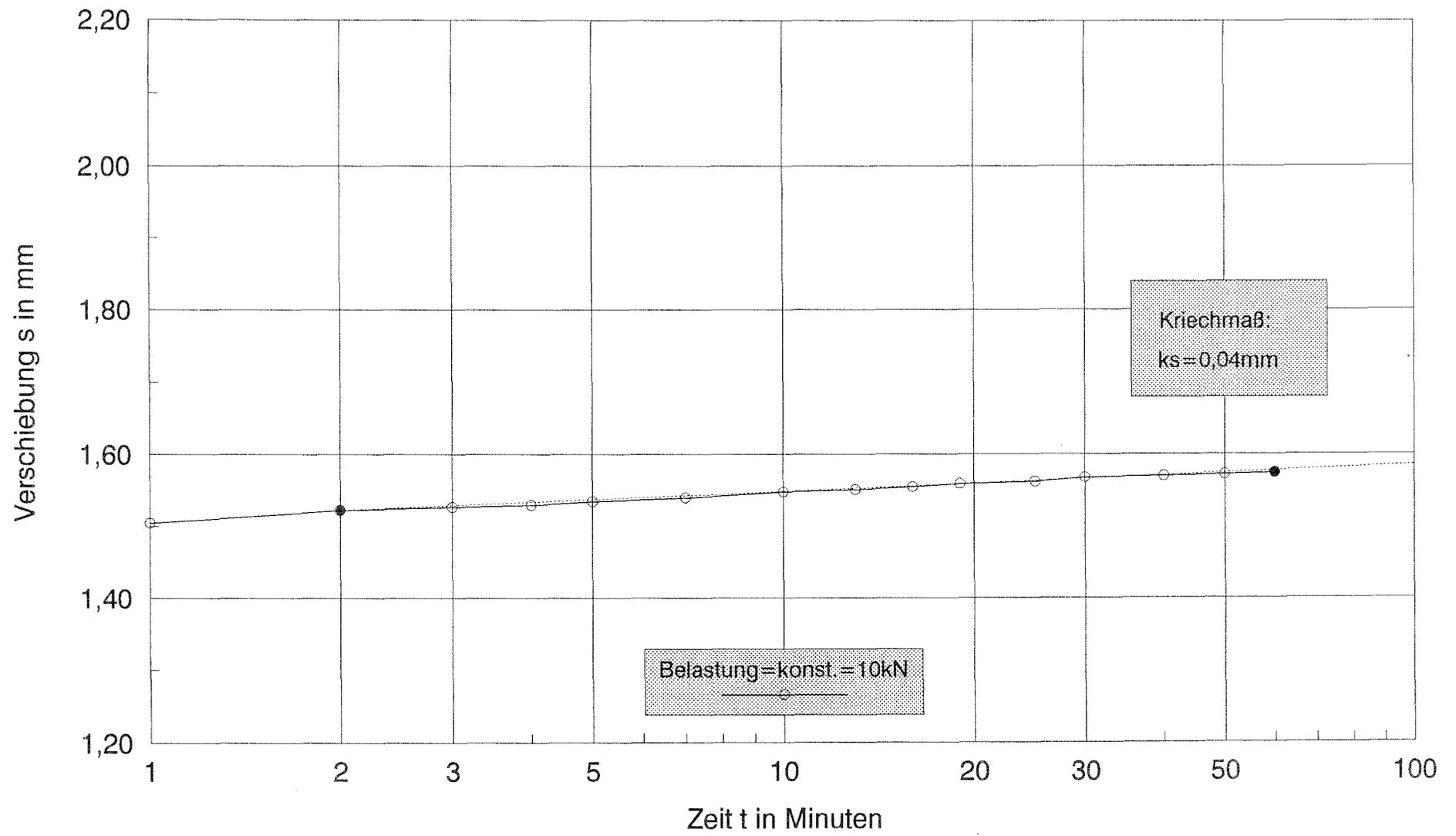


Bild 14. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 100/2

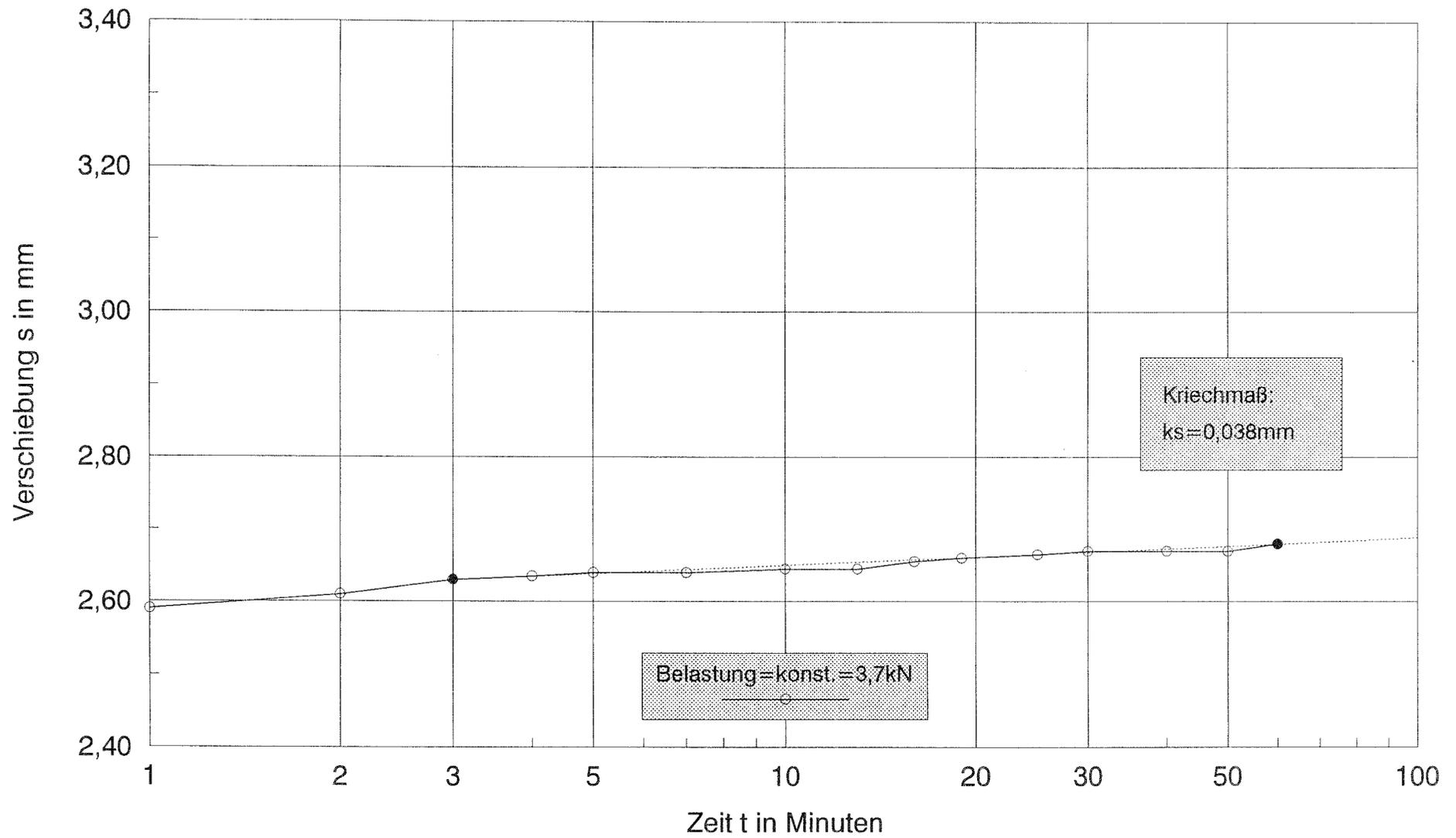


Bild 15. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 100/3

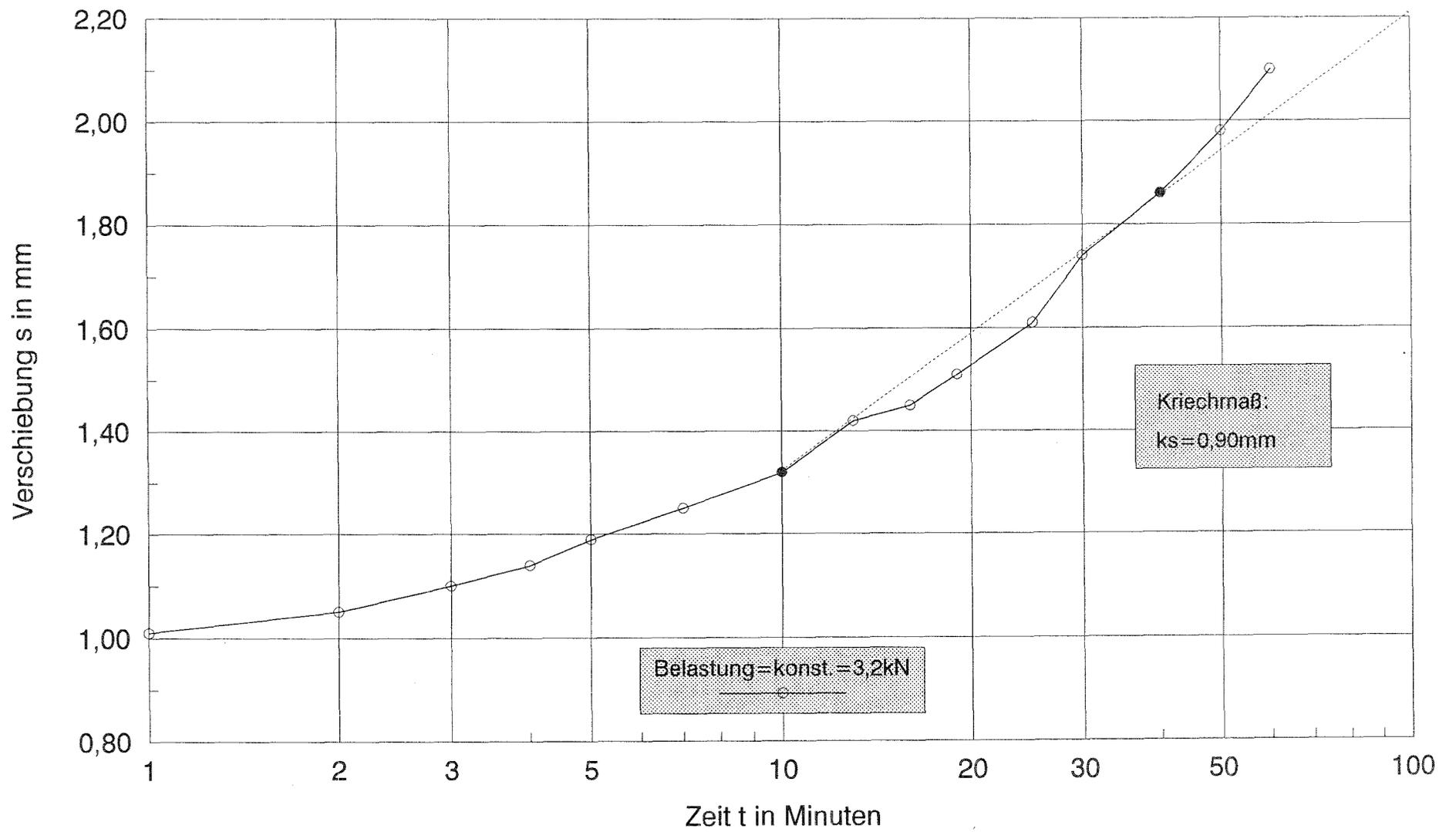


Bild 16. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 100/4

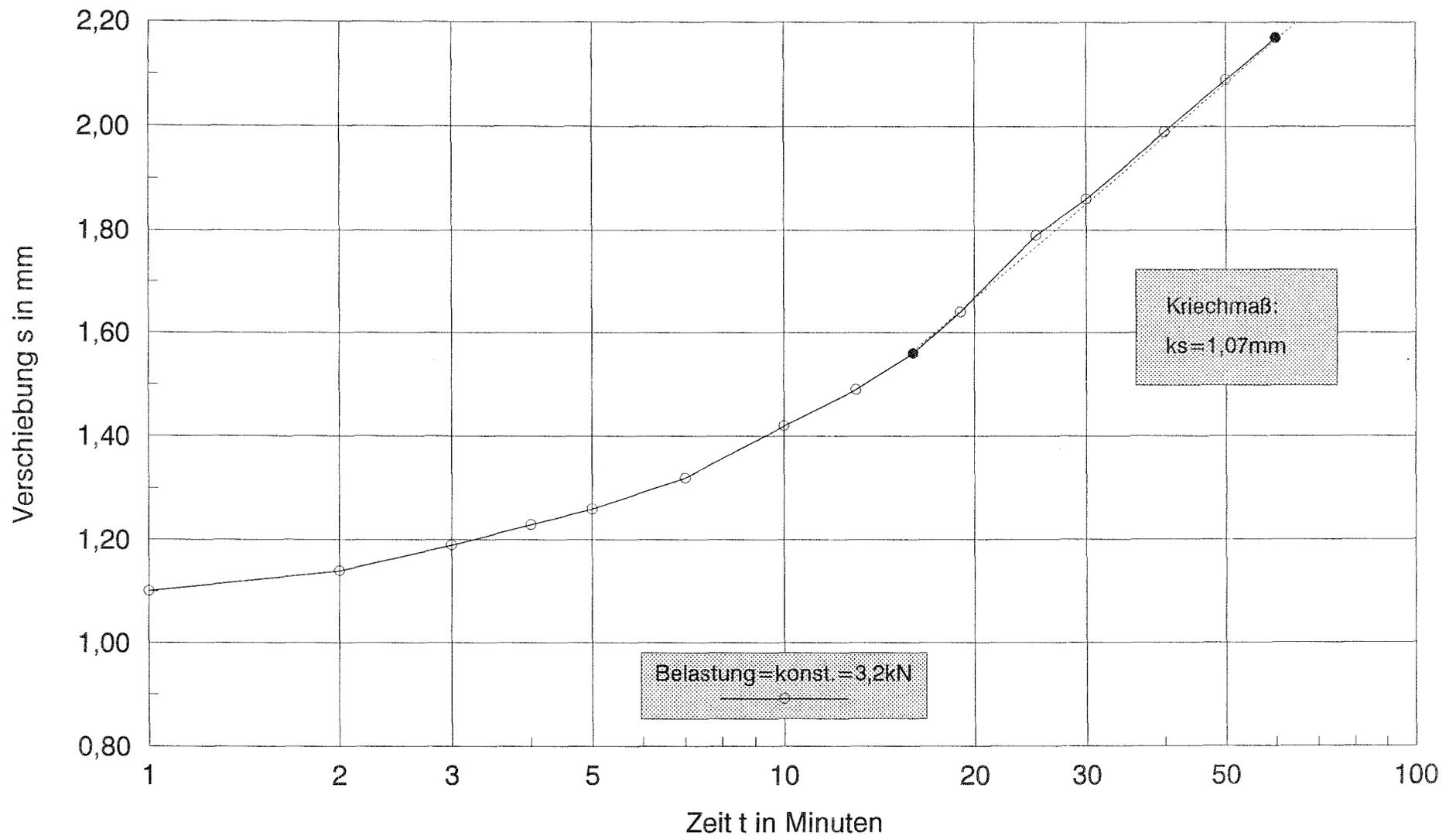


Bild 17. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 100/5

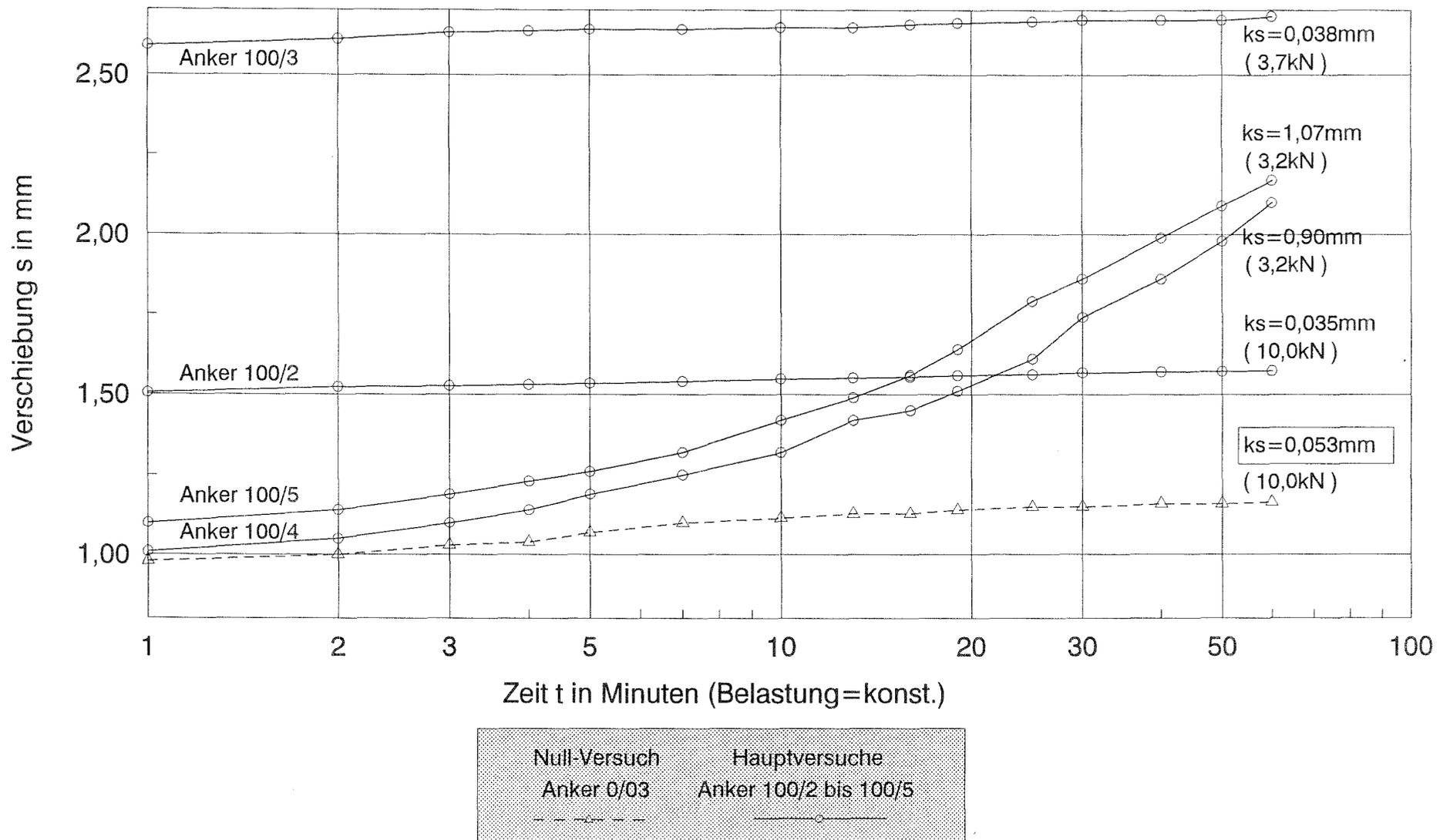


Bild 18. Zusammenfassung aller Zeit-Verschiebungs-Linien der Modellanker bei einer CO_2 -Konzentration von 100 mg/l

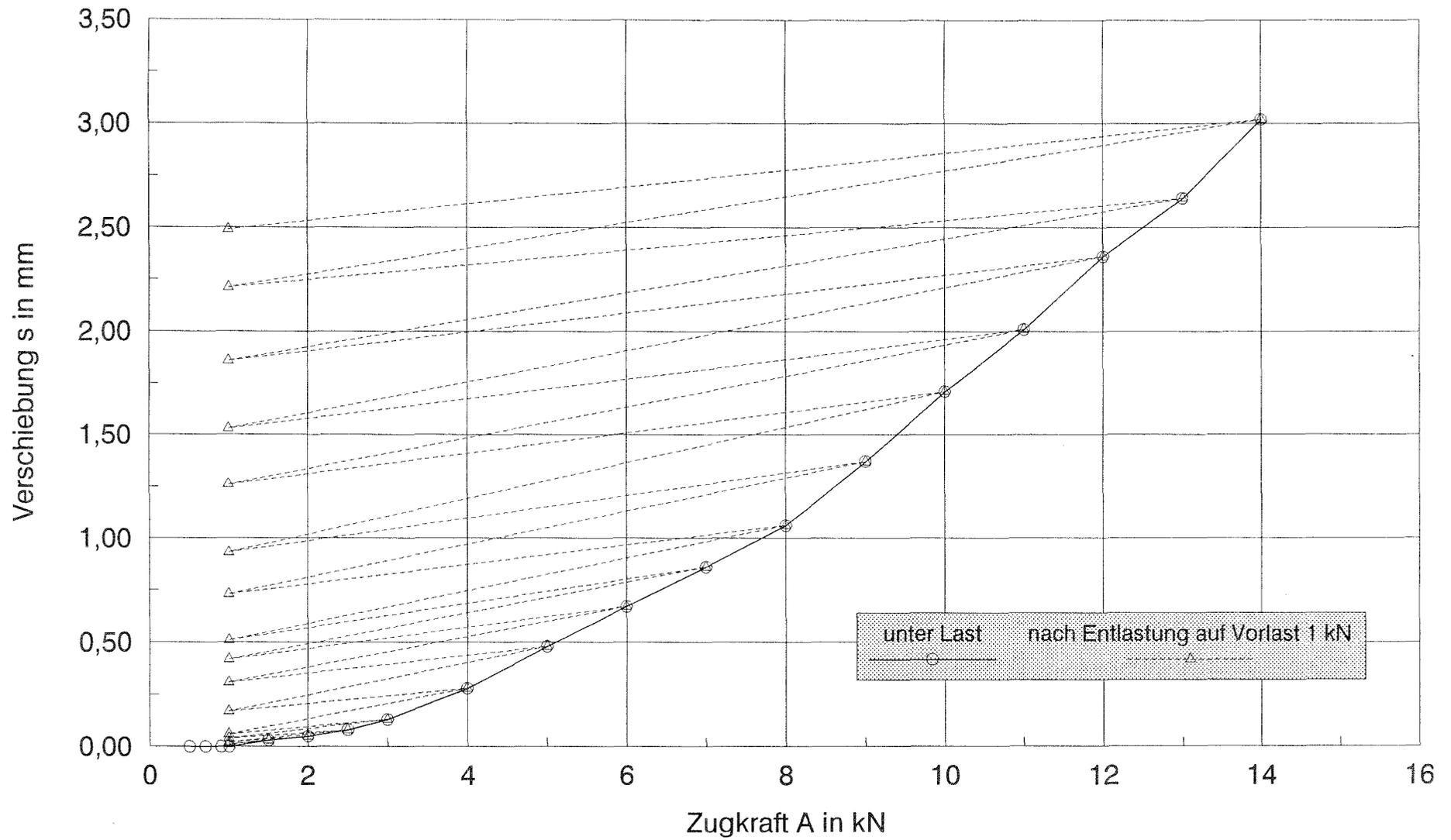


Bild 19. Kraft-Verschiebungs-Linie des Modellankers 0/1

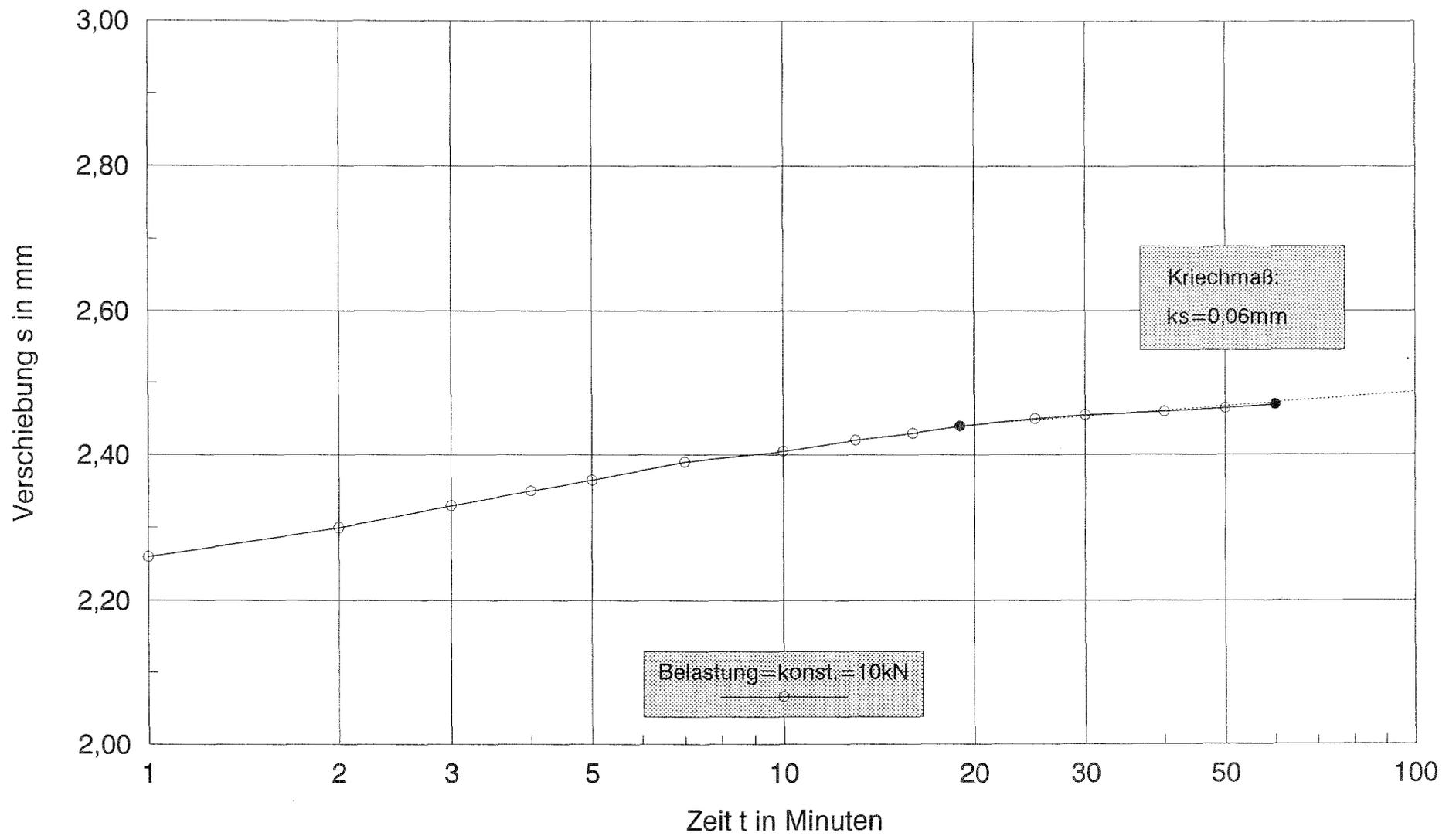


Bild 20. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 0/2

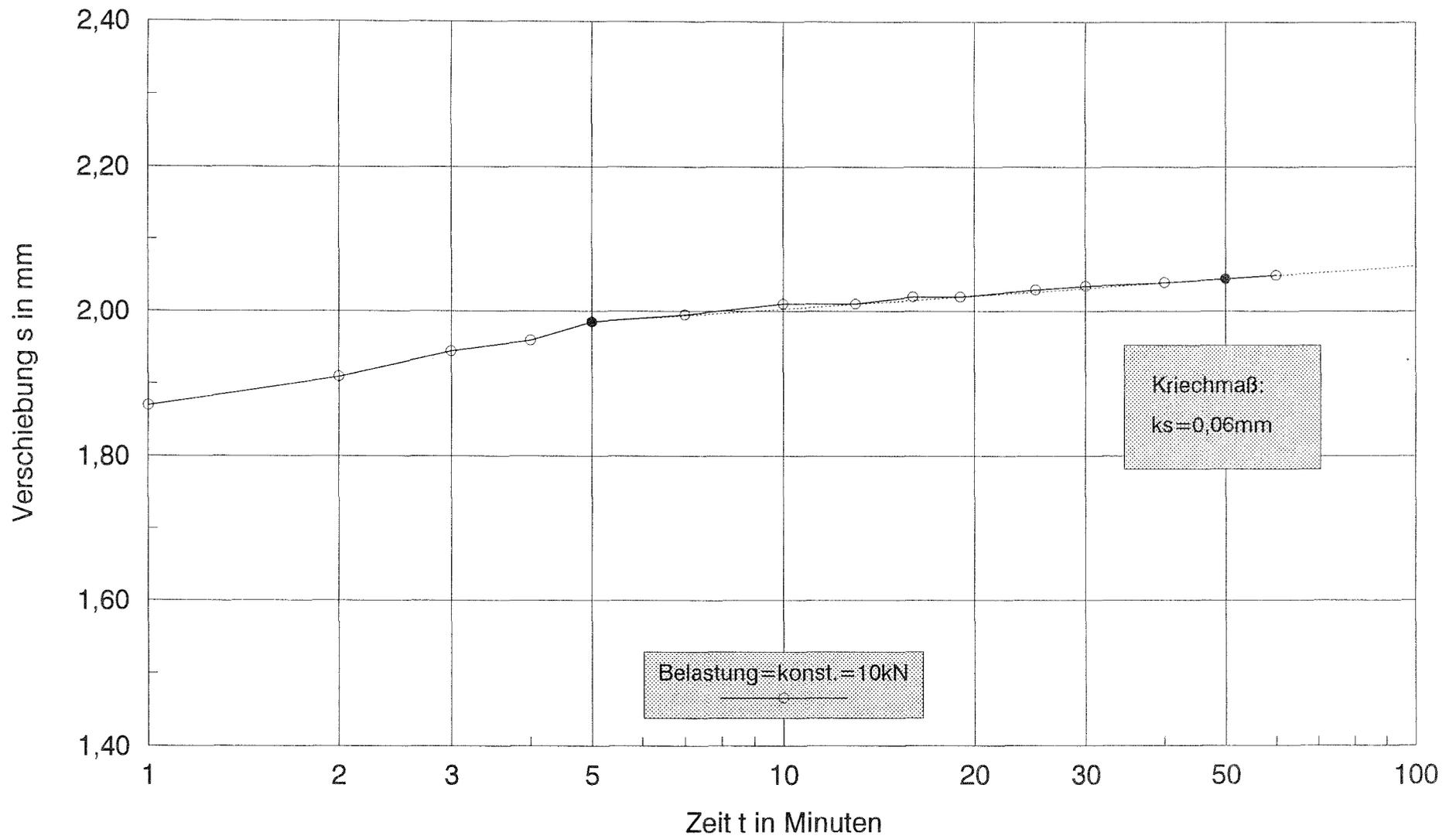


Bild 21. Zeit-Verschiebungs-Linie des Modellankers 0/3

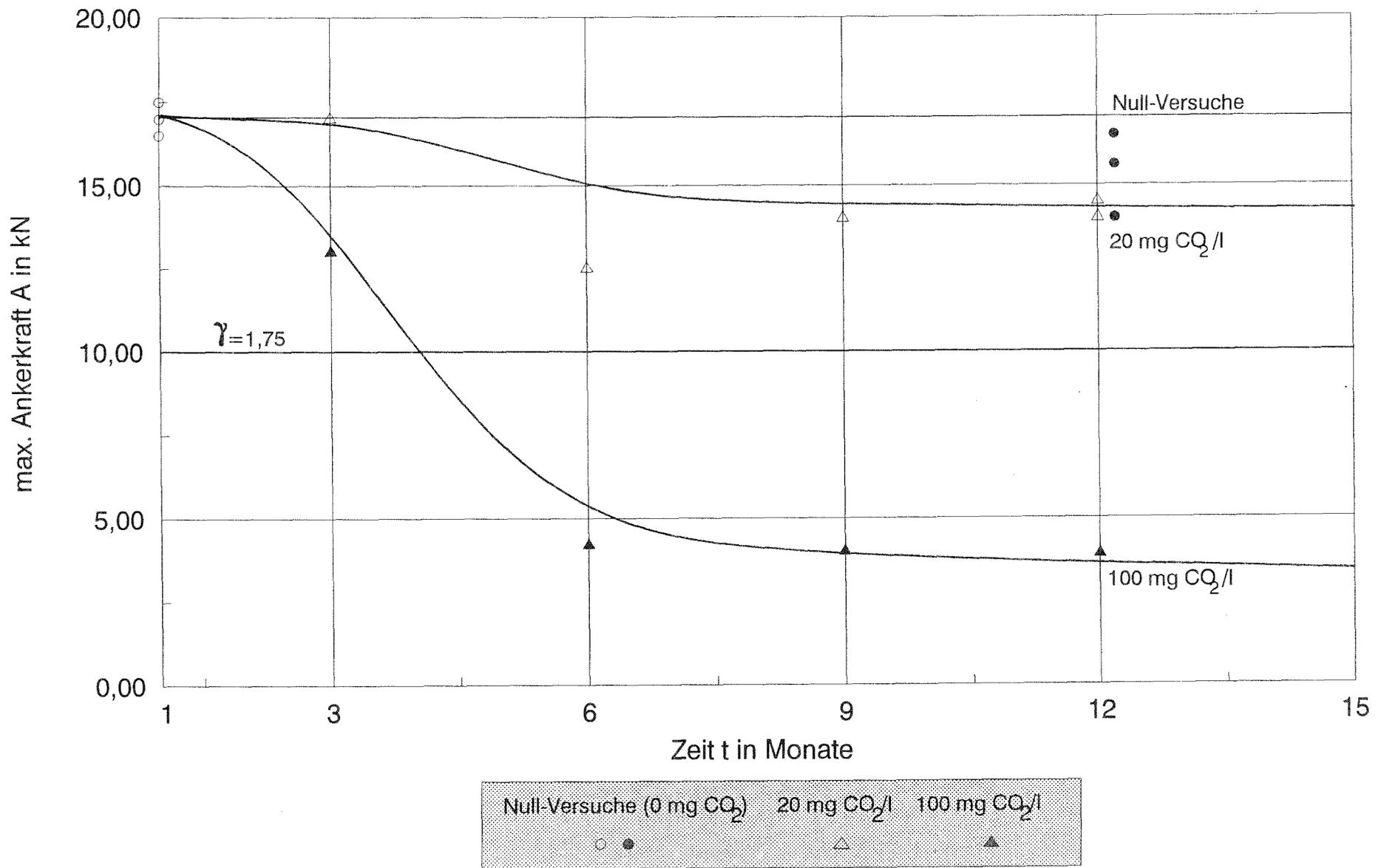


Bild 22. Maximale Ankerkraft A in Abhängigkeit von der Zeit und der CO₂-Konzentration

Tabelle 1. Ergebnisse der bodenmechanischen und erdbautechnischen Untersuchungen

Kennwerte des Sandes der Gewinnungsstätte Karlsruhe/Elsaß		
Ungleichförmigkeitszahl U	[-]	2,1
Krümmungszahl C	[-]	1,0
Kornrohddichte	[g/cm ³]	2,64
Lagerungsdichte - minimal - maximal - im Proctorversuch	[g/cm ³]	1,45 1,67 1,60
Wassergehalt bei Proctordichte	[%]	10,0
Durchlässigkeitsbeiwert k(·10)	[m/s]	3,9
Reibungswinkel - im CD-Versuch - direkt. Scherversuch	[°] [°]	34,5 35,5
Kohäsion	[kN/m ²]	0,0

Tabelle 2. Überblick über die Versuchsanker

Bezeichnung der Versuchsanker	CO ₂ -Gehalt des Wassers [mg/l]	Prüfalter [Monate]	Bemerkung
0/01 0/02 0/03	0	1	Nullversuche
0/1 0/2 0/3	0	12	Hauptversuche
20/1 20/2 20/3 20/4 20/5	20	3 6 9 12 12	Hauptversuche
100/1 100/2 100/3 100/4 100/5	100	3 3 6 9 12	Hauptversuche

Tabelle 3. CO₂-Gehalt des Wassers

Gehalt an kalklösender Kohlensäure	angestrebter Wert der CO ₂ -Konzentration [mg/l]	erreichter Wert der CO ₂ -Konzentration (Mittelwert) [mg/l]
schwach angreifend ¹⁾	20	23
stark angreifend ¹⁾	100	95
¹⁾ Angriffsgrad nach DIN 4030		

Tabelle 4. Verschiebungen der Modellanker 0/01 und 0/02 bei Aufnahme der Kraft-Verschiebungs-Linie

Last	Verschiebungen in mm			
	Anker 0/01		Anker 0/02	
	unter Last	nach Entlastung auf Vorlast 1 kN	unter Last	nach Entlastung auf Vorlast 1 kN
[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0,5	0	0	0	0
0,7	0	0	0	0
0,9	0	0	0	0
1,0	0	0	0	0
1,5	0,02	0	0,01	0
2,0	0,04	0,01	0,04	0,01
2,5	0,06	0,02	0,055	0,02
3,0	0,09	0,04	0,075	0,03
4,0	0,19	0,11	0,17	0,10
5,0	0,35	0,21	0,33	0,22
6,0	0,52	0,34	0,51	0,35
7,0	0,68	0,48	0,69	0,46
8,0	0,85	0,61	0,87	0,61
9,0	1,00	0,73	1,02	0,74
10,0	1,20	0,89	1,19	0,87
11,0	1,36	1,03	1,44	1,10
12,0	1,53	1,16	1,63	1,25
13,0	1,72	1,32	1,85	1,44
14,0	1,91	1,49	2,10	1,63
15,0	2,14	1,68	2,36	1,89
15,5	2,30	1,83	-	-
16,0	2,46	1,98	2,72	2,20
16,5	2,64	2,15	-	-
17,0	2,85	2,32	3,33	2,79
17,5	3,04	2,52	-	-

Tabelle 5. Verschiebungen des Modellankers 0/03 bei Aufnahme der Zeit-Verschiebungs-Linie

Last [kN]	Zeit [Minuten]	Verschiebung [mm]
1,0	1	0
2,0	2	0,09
3,0	3	0,26
4,0	4	0,35
5,0	5	0,43
6,0	6	0,51
7,0	7	0,63
8,0	8	0,77
9,0	9	0,90
10,0	10	0,95
	11	0,98
	12	1,00
	13	1,03
	14	1,04
	15	1,07
	17	1,10
	20	1,115
	23	1,13
	26	1,13
	29	1,14
	40	1,15
	45	1,15
	60	1,16
	70	1,165
16,5	95	2,70

Tabelle 6. Verschiebungen der Modellanker 20/1 bis 20/5 bei Aufnahme der Zeit-Verschiebungs-Linie

Last [kN]	Zeit [Min.]	Verschiebungen der Anker				
		20/1 [mm]	20/2 [mm]	20/3 [mm]	20/4 [mm]	20/5 [mm]
1,0	1	0	0	0	0	0
2,0	2	0	0,07	0,05	0,06	0,09
3,0	3	0	0,23	0,15	0,15	0,27
4,0	4	0,01	0,40	0,25	0,20	0,495
5,0	5	0,09	0,59	0,30	0,30	0,74
6,0	6	0,19	0,77	0,40	0,35	1,03
7,0	7	0,28	0,97	0,45	0,45	1,25
8,0	8	0,41	1,18	0,50	0,64	1,48
9,0	9	0,52	1,43	0,67	0,85	1,67
10,0	10=0	0,60	1,61	0,82	1,05	1,89
	1	0,61	1,67	0,85	1,07	1,92
	2	0,62	1,69	0,86	1,08	1,93
	3	0,62	1,71	0,875	1,085	1,94
	4	0,62	1,72	0,89	1,09	1,945
	5	0,625	1,73	0,92	1,095	1,95
	7	0,64	1,74	0,95	1,11	1,965
	10	0,65	1,745	0,98	1,125	1,98
	13	0,66	1,75	1,10	1,18	2,03
	16	0,665	1,755	1,17	1,20	2,05
	19	0,67	1,755	1,20	1,22	2,075
	25	0,676	1,762	1,21	1,265	2,11
	30	0,678	1,78	1,23	1,29	2,14
	40	0,679	1,78	1,25	1,31	2,17
	50	0,68	1,78	1,28	1,36	2,20
	60	0,68	1,78	1,31	1,37	2,215
max. Ankerkraft		17,0 kN	12,5 kN	14,0 kN	14,5 kN	14,kN

Tabelle 7. Verschiebungen der Modellanker 100/1 bis 100/5 bei Aufnahme der Zeit-Verschiebungs-Linie

Last	Zeit	Verschiebungen der Anker				
		100/1	100/2	100/3	100/4	100/5
[kN]	[Min.]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1,0	1	0	0	0	0	0
2,0	2	0,01	0,07	0,45	0,08	0,11
3,0	3	0,05	0,22	0,96	0,44	0,50
3,2	3	-	-	-	0,90	1,05
3,7	3	-	-	2,58		
4,0	4	0,3	0,39			
5,0	5	0,54	0,59			
6,0	6	0,86	0,74			
7,0	7	Versuch abgebr.	0,91			
8,0	8		1,09			
9,0	9		1,29			
10,0	10=0		1,48			
	1		1,505	2,59	1,01	1,10
	2		1,523	2,61	1,05	1,14
	3		1,527	2,63	1,10	1,19
	4		1,530	2,635	1,14	1,23
	5		1,535	2,64	1,19	1,26
	7		1,540	2,64	1,25	1,32
	10		1,548	2,645	1,32	1,42
	13		1,551	2,645	1,42	1,49
	16		1,555	2,655	1,45	1,56
	19		1,559	2,66	1,51	1,64
	25		1,562	2,665	1,61	1,79
	30		1,568	2,67	1,74	1,86
	40		1,570	2,67	1,86	1,99
	50		1,572	2,67	1,98	2,09
	60		1,574	2,68	2,10	2,17
max. Ankerkraft		-	13,0 kN	4,2 kN	4,0 kN	3,9 kN

Tabelle 8. Verschiebung des Modellankers 0/1 bei Aufnahme der Kraft-Verschiebungs-Linie

Last [kN]	Verschiebungen in mm	
	Anker 0/1	
	unter Last [mm]	nach Entlastung auf Vorlast 1 kN [mm]
0,5	0	0
0,7	0	0
0,9	0	0
1,0	0	0
1,5	0,03	0,01
2,0	0,05	0,02
2,5	0,08	0,04
3,0	0,13	0,06
4,0	0,28	0,17
5,0	0,48	0,31
6,0	0,67	0,42
7,0	0,86	0,51
8,0	1,06	0,73
9,0	1,37	0,93
10,0	1,71	1,26
11,0	2,01	1,53
12,0	2,36	1,86
13,0	2,64	2,21
14,0	3,02	2,49

Tabelle 9. Verschiebungen der Modellanker 0/2 und 0/3 bei Aufnahme der Zeit-Verschiebungs-Linie

Last [kN]	Zeit [Minuten]	Verschiebungen der Anker	
		0/2 [mm]	0/3 [mm]
1,0	1	0	0
2,0	2	0	0,06
3,0	3	0,03	0,19
4,0	4	0,13	0,34
5,0	5	0,33	0,54
6,0	6	0,59	0,75
7,0	7	0,865	0,98
8,0	8	1,21	1,25
9,0	9	1,65	1,53
10,0	10=0	2,18	1,81
	1	2,26	1,87
	2	2,30	1,91
	3	2,33	1,945
	4	2,35	1,96
	5	2,365	1,985
	7	2,39	1,995
	10	2,405	2,01
	13	2,42	2,03
	16	2,43	2,045
	19	2,44	2,05
	25	2,45	2,07
	30	2,455	2,09
	40	2,46	2,10
50	2,465	2,105	
60	2,47	2,11	
max. Ankerkraft		16,5 kN	15,6 kN

Tabelle 10. Zusammenstellung der max. aufnehmbaren Ankerkräfte aller Anker

Bezeichnung der Anker	max.A bei einer CO ₂ -Konzentration von		
	0 mg [kN]	20 mg [kN]	100 mg [kN]
0/01 0/02 0/03	17,5 17,0 16,5		
0/1 0/2 0/3	14,0 16,5 15,6		
20/1 20/2 20/3 20/4 20/5		17,0 12,5 14,0 14,5 14,0	
100/1 100/2 100/3 100/4 100/5			- 13,0 4,2 4,0 3,9

Research project

Influence of aggressive waters and soils upon the long-term behaviour of grouted anchors and piles

Report part II, -pull-out tests-

Summary

In order to determine the influence of aggressive waters upon the long-term behaviour of grouted anchors and piles pull-out tests were carried through upon model anchors in order to know if the bearing capacity of the anchors and piles is reduced while exposed to the effect of aggressive carbonic acid.

For this purpose model anchors out of cement stone with a w/c-ratio of 0,44 were produced and, over a period of 12 months, surrounded with aggressive waters containing aggressive carbonic acid of about 20 mg/l and 100 mg/l.

Within a period of 1, 3, 6, 9, and 12 months the time-displacement-diagram was registered and the creep coefficient k_s and the maximum absorbable anchorage force max A determined.

The test results may be summarized as follows:

- In principle an evident connexion between the creep coefficient, the bearing capacity and the importance of carbonic acid attack could be stated.
- For a CO₂-content of water of about 100 mg/l the tests couldn't be carried through any longer after 6 months in the intended way. The registration of the measured values was only possible at 30 % of the original load. For the comparable anchors of this loading step an increase of the creep coefficient was stated, too. The maximum absorbable anchor force was reduced by 75 % in comparison to a zero position.
- For the model anchors surrounded by pure tap water hardly changes were stated after 12 months. The smaller maximum anchor forces in comparison to the tests after one month might be due to inaccuracies by fabrication or measuring faults.

As far as the subject of the research project is concerned the following statement may be formulated:

After a 12-months exposure to aggressive carbonic acid up to a concentration of 100 mg/l water the cement stone has corroded to such an extent that the long-term behaviour of grouted anchors and piles may be influenced in relation to the soil and the fabrication.

T 2350

Projet de recherche

Influence d'eaux et sols agressifs sur le comportement à long-terme d'ancres et piliers d'injection.

Rapport part II, -Essais d'arrachement-

Résumé

Pour déterminer l'influence d'eaux agressives sur le comportement à long-terme d'ancres et piliers d'injection des essais d'arrachement ont été réalisés sur des ancres modèle pour savoir s'il y a une réduction de la capacité de portance des ancres ou piliers exposés à l'effet d'acide carbonique agressif.

Pour cette raison des ancres modèle en pâte de ciment durcie ont été fabriqués avec un rapport eau/ciment de 0,44 et entourés, sur une période de 12 mois, d'eau aggressive avec des teneurs en acide carbonique agressif d'environ 20 mg/l et 100 mg/l.

A des périodes de 1, 3, 6, 9 et 12 mois la courbe temps-déplacement a été enregistrée et le coefficient de fluage k_s et la force maximum max A que peut absorber l'ancre ont été déterminée.

Les résultats d'essai peuvent être résumés comme suit:

- En principe on pouvait constater une connexion évidente entre le coefficient de fluage, la capacité de portance et l'importance de l'attaque par l'acide carbonique.
- Pour une teneur en CO_2 de l'eau d'environ 100 mg/l les essais ne pouvaient plus être réalisés, après 6 mois, dans la forme prévue. L'enregistrement des valeurs mesurées n'était possible que pour 30 % de la charge originale. Pour les ancres comparables de ce niveau de charge on pouvait également constater une augmentation du coefficient de fluage. La force d'ancre maximum à absorber se réduisait d'environ 75 % par rapport au stockage à zéro.
- Après 12 mois les ancres modèle entourés d'eau de robinet ne montraient à peine de changement. Les forces d'ancre maximum plus faibles comparées aux essais réalisés après un mois devraient être dues aux défauts de fabrication et de mesure.

En ce qui concerne le but du projet de recherche on peut formuler les conclusions suivantes:

Après être exposé pendant 12 mois à l'acide carbonique agressif jusqu'à une concentration de 100 mg/l de l'eau, la pâte de ciment durcie corrode de telle façon que le comportement à long-terme d'ancres et de piliers d'injection peut être influencé par la nature du sol et le procédé de fabrication.