

**DIN EN ISO 22477-1**

ICS 93.020

Einsprüche bis 2017-08-23

**Entwurf**

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung –  
Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen –  
Teil 1: Pfahlprobelbelastungen durch statische axiale Druckbelastungen  
(ISO/DIS 22477-1:2017);  
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 22477-1:2017**

Geotechnical investigation and testing –  
Testing of geotechnical structures –  
Part 1: Pile load test by static axially loaded compression (ISO/DIS 22477-1:2017);  
German and English version prEN ISO 22477-1:2017

Reconnaissance et essais géotechniques –  
Essais de structures géotechniques –  
Partie 1: Essai de charge statique axiale en compression (ISO/DIS 22477-1:2017);  
Version allemande et anglaise prEN ISO 22477-1:2017

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-06-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter [www.din.de/go/entwuerfe](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nabau@din.de](mailto:nabau@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 57 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (prEN ISO 22477-1:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnics“, erarbeitet.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-07 AA „Baugrund; Pfähle“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

## **Nationaler Anhang NA (informativ)**

Die prEN ISO 22477-1:2017 ermöglicht nationale Festlegungen in den folgenden Abschnitten.

*Zu Abschnitt 4.3.4:*

Die Last muss immer mit Druckmessdosen und die Pressen gemessen werden.

*Zu Abschnitt 5.2:*

Es müssen mehrere Belastungs-/Entlastungszyklen ausgeführt werden.

*Zu Abschnitt 6.3:*

Die kritische Kriechkraft muss nicht ermittelt werden. Die Verwendung der erwähnten mathematischen Modelle ist nicht zulässig.

**Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Prüfung von  
geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen — Teil 1:  
Pfahlprobebelastungen durch statische axiale Druckbelastungen  
(ISO/DIS 22477-1:2017)**

*Reconnaissance et essais géotechniques — Essais de structures géotechniques — Partie 1 : Essai de charge statique axiale en compression (ISO/DIS 22477-1:2017)*

*Geotechnical investigation and testing — Testing of geotechnical structures — Part 1: Pile load test by static axially loaded compression (ISO/DIS 22477-1:2017)*

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm  
Dokument-Untertyp:  
Dokumentstufe: parallele Umfrage  
Dokumentsprache: D

STD Version 2.8l

## Inhalt

|                                                                                  | Seite |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                       | 3     |
| Vorwort .....                                                                    | 4     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                        | 5     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                   | 5     |
| 3 Begriffe und Symbole .....                                                     | 5     |
| 3.1 Begriffe .....                                                               | 6     |
| 3.2 Symbole .....                                                                | 6     |
| 4 Prüfeinrichtung .....                                                          | 7     |
| 4.1 Allgemeines .....                                                            | 7     |
| 4.2 Reaktionsvorrichtung .....                                                   | 7     |
| 4.3 Krafteintrag .....                                                           | 9     |
| 4.3.1 Praktische Überlegungen .....                                              | 9     |
| 4.3.2 Spezifikationen für den Krafteintrag .....                                 | 9     |
| 4.3.3 Messung der Verschiebungen des Pfahlkopfes .....                           | 9     |
| 4.3.4 Messung der Pfahlbelastung .....                                           | 11    |
| 4.4 Pfahlinstrumentierung .....                                                  | 11    |
| 5 Prüfverfahren .....                                                            | 12    |
| 5.1 Vorbereitung der Prüfung .....                                               | 12    |
| 5.1.1 Schutzvorkehrungen .....                                                   | 12    |
| 5.1.2 Herstellung eines Probepfahles .....                                       | 12    |
| 5.1.3 Prüfdatum .....                                                            | 13    |
| 5.1.4 Vorbereitung der Kopfplatte .....                                          | 13    |
| 5.2 Belastungsverfahren .....                                                    | 13    |
| 5.2.1 Allgemeines .....                                                          | 13    |
| 5.2.2 Abfolge und Dauer der Lastschritte für Verfahren mit einem Zyklus .....    | 14    |
| 5.2.3 Abfolge und Dauer der Lastschritte für Verfahren mit mehreren Zyklen ..... | 15    |
| 5.2.4 Maximale Probelast $Q_{\max}$ .....                                        | 16    |
| 5.2.5 Messintervalle .....                                                       | 16    |
| 6 Prüfbericht .....                                                              | 17    |
| 6.1 Allgemeine Informationen .....                                               | 17    |
| 6.2 Datenbericht .....                                                           | 18    |
| 6.3 Erläuternder Bericht .....                                                   | 20    |
| Anhang A (informativ) Kritische Kriechkraft unter Druck .....                    | 26    |
| Anhang B (informativ) Bidirektionale Probelastung .....                          | 27    |
| B.1 Bidirektionale Probelastung .....                                            | 27    |
| B.2 Anzahl der Vorschubpressen .....                                             | 27    |
| B.3 Einbau eingebetteter Vorschubpressen .....                                   | 28    |
| B.4 Kraftmessung .....                                                           | 28    |
| B.5 Messungen der Pfahlverschiebung .....                                        | 28    |
| B.6 Belastungsverfahren .....                                                    | 28    |
| B.7 Prüfbericht .....                                                            | 29    |

## **Europäisches Vorwort**

Dieses Dokument (prEN ISO 22477-1:2017) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 182 „Geotechnics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 341 „Geotechnische Erkundung und Untersuchung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

### **Anerkennungsnotiz**

Der Text von ISO/DIS 22477-1:2017 wurde von CEN als prEN ISO 22477-1:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: [www.iso.org/iso/foreword.html](http://www.iso.org/iso/foreword.html).

Die Internationale Norm ISO 22477-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 182, *Geotechnics*, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 341, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung* erarbeitet. Das für dieses Dokument zuständige Komitee ist CEN TC 341/WG 4.

ISO 22477 besteht aus den folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel *Geotechnical investigation and testing — Testing of geotechnical structures*:

- Teil 1: *Pile load test by static axial compression*
- Teil 2: *Pile load test by static axially loaded tension*
- Teil 3: *Pile load test by static transversally loaded tension*
- Teil 4: *Pile load test by dynamic axially loaded compression test*
- Teil 5: *Testing of pre-stressed anchors*
- Teil 6: *Testing of nailing*
- Teil 7: *Testing of reinforced fill*

## 1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt die Spezifikationen für die Durchführung statischer Pfahlprobebelastungen fest, bei denen ein einzelner Pfahl einer axialen statischen Druckbelastung ausgesetzt wird, um so sein Last-Verschiebungsverhalten zu bestimmen.

Die Bestimmungen der EN 22477-1 gelten sowohl für vertikale als auch für geneigte Pfähle.

Die vorliegende Norm deckt alle Pfahltypen ab.

Die in dieser Norm betrachteten Prüfungen sind auf lastgesteuerte Probebelastungen begrenzt. Pfahlprobebelastungen mit konstanter Eindringgeschwindigkeit und zyklischen Probebelastungen werden durch diese Norm nicht abgedeckt.

EN ISO 22477-1 ist im Zusammenhang mit EN 1997-1 anzuwenden. EN 1997-1 enthält Zahlenwerte der Teilsicherheitsbeiwerte für Grenzzustände und der Korrelationsfaktoren, mit deren Hilfe aus statischen Pfahlprobebelastungen Kennwerte abgeleitet werden können, die bei der Bemessung zu berücksichtigen sind.

Diese Norm enthält Spezifikationen für:

- a) die Überprüfung, ob ein Pfahl sich entsprechend seiner Bemessung verhält,
- b) die Messung des Pfahlwiderstands unter bestimmten geotechnischen Bedingungen.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1990, *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung*

EN 1997-1, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

EN 1997-2, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*

EN 1536, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Bohrpfähle*

EN 10002-2, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 2: Prüfung der Kraftmeßeinrichtungen von Zugprüfmaschinen*

EN 12699, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Verdrängungspfähle*

EN 14199, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)*

## 3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990, EN 1997 und die folgenden Begriffe.

### 3.1 Begriffe

#### 3.1.1

##### **Pfahlbelastung**

während der Prüfung auf den Pfahlkopf aufgebrachte Last

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Prüfungen mit eingebetteten Vorschubpressen darf die Last auf unterschiedlichen Ebenen aufgebracht werden (siehe Anhang B).

#### 3.1.2

##### **Lastschritt**

während der Prüfung stattfindender Belastungs- oder Entlastungsschritt

#### 3.1.3

##### **äquivalenter Pfahlsohlendurchmesser**

bei nicht kreisförmigen Pfahlquerschnitten, bei denen A die Fläche der relevanten Pfahlsohle ist, entspricht der äquivalente Durchmesser  $\sqrt{(4/\pi) \cdot A}$

#### 3.1.4

##### **Bauwerkspfahl**

Pfahl für die Gründung eines Bauwerkes (EN 1536)

#### 3.1.5

##### **Probepfahl**

Pfahl, auf den Lasten aufgebracht werden, um das Widerstands-Verschiebungs-Verhalten des Pfahles und des umgebenden Baugrundes zu ermitteln (EN 1536)

#### 3.1.6

##### **gemessener Widerstand unter Druckbelastung**

Messwert des Widerstands unter Druckbelastung beim Grenzzustand der Tragfähigkeit bei einer oder mehreren Pfahlprobebelastungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die empfohlenen Versagenskriterien werden in EN 1997-1 angegeben.

#### 3.1.7

##### **Kriechmaß**

Verhältnis zwischen Zunahme der Verschiebung des Pfahlkopfes und Logarithmus der Zeit über ein festgelegtes Zeitintervall (üblicherweise die letzten 30 min eines Lastschrittes)

### 3.2 Symbole

|            |                                                                   |
|------------|-------------------------------------------------------------------|
| $D_b$      | äquivalenter Pfahlsohlendurchmesser                               |
| $N$        | Axialkraft                                                        |
| $Q$        | während der Prüfung auf den Pfahlkopf aufgebrachte Pfahlbelastung |
| $\Delta Q$ | Lastschritt                                                       |
| $Q_{\max}$ | zuvor festgelegt bei der Prüfung maximal aufzubringende Last      |
| $Q_b$      | Sohlenlast                                                        |
| $Q_s$      | Mantelreibung                                                     |
| $R_b$      | Grenzwiderstand der Pfahlsohle                                    |
| $R_{b,m}$  | Messwert von $R_b$ bei einer oder mehreren Pfahlprobebelastungen  |

|            |                                                                                                    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_c$      | Widerstand des Baugrundes unter Druckbelastung gegen einen Pfahl im Grenzzustand der Tragfähigkeit |
| $R_{c,cr}$ | kritische Kriechkraft unter Druck                                                                  |
| $R_{c,m}$  | <b>Messwert von <math>R_c</math> bei einer oder mehreren Pfahlprobelbelastungen</b>                |
| $R_s$      | <b>Grenzwiderstand des Pfahlschafts</b>                                                            |
| $R_{s,m}$  | Messwert von $R_s$ bei einer oder mehreren Pfahlprobelbelastungen                                  |
| $q_s$      | Mantelreibung in der Pfahlgruppe                                                                   |
| $s_h$      | axiale Verschiebung des Pfahlkopfes                                                                |
| $s_b$      | axiale Verschiebung der Pfahlsohle                                                                 |
| $t$        | Zeit                                                                                               |
| $z$        | Tiefe                                                                                              |
| $\alpha$   | Kriechmaß                                                                                          |

## 4 Prüfeinrichtung

### 4.1 Allgemeines

Bei der Auswahl der Ausrüstung sind das Ziel der Prüfung, die Bedingungen des Baugrundes, die Durchführung der Prüfung und die zu erwartende Verschiebung des Pfahls unter der maximalen Probelast zu berücksichtigen.

### 4.2 Reaktionsvorrichtung

Bei der Reaktionsvorrichtung für die Pfahldruckbelastungen kann es sich um Folgendes handeln:

- Totlast (Ballast);
- Verankerung im Erdreich durch Zugpfähle oder Bodenanker;
- ein Bauwerk über dem Probepfahl (z. B. für eingepresste Unterfangungspfähle).

**ANMERKUNG** Die Reaktionsvorrichtung kann der Probepfahl selbst sein, bei dem die Last in der Tiefe mit Hilfe einer oder mehrerer hydraulischer Vorschubpresse(n) aufgebracht wird, die für die bidirektionale Pfahlbelastung in den Pfahl einbetoniert ist/sind (siehe Anhang B).

Die Totlast sollte nicht für Prüfungen an geeigneten Pfählen angewendet werden, sofern nicht bestimmte Maßnahmen in Hinblick auf die Stabilität und die Verschiebungen des Ballastsystems genau berücksichtigt werden.

Die Auswirkung auf das Reaktionssystem auf dem Probepfahl muss so gering wie möglich gehalten werden. Die erforderlichen Mindestabstände sind in den Bildern 1a bis 1e dargestellt.

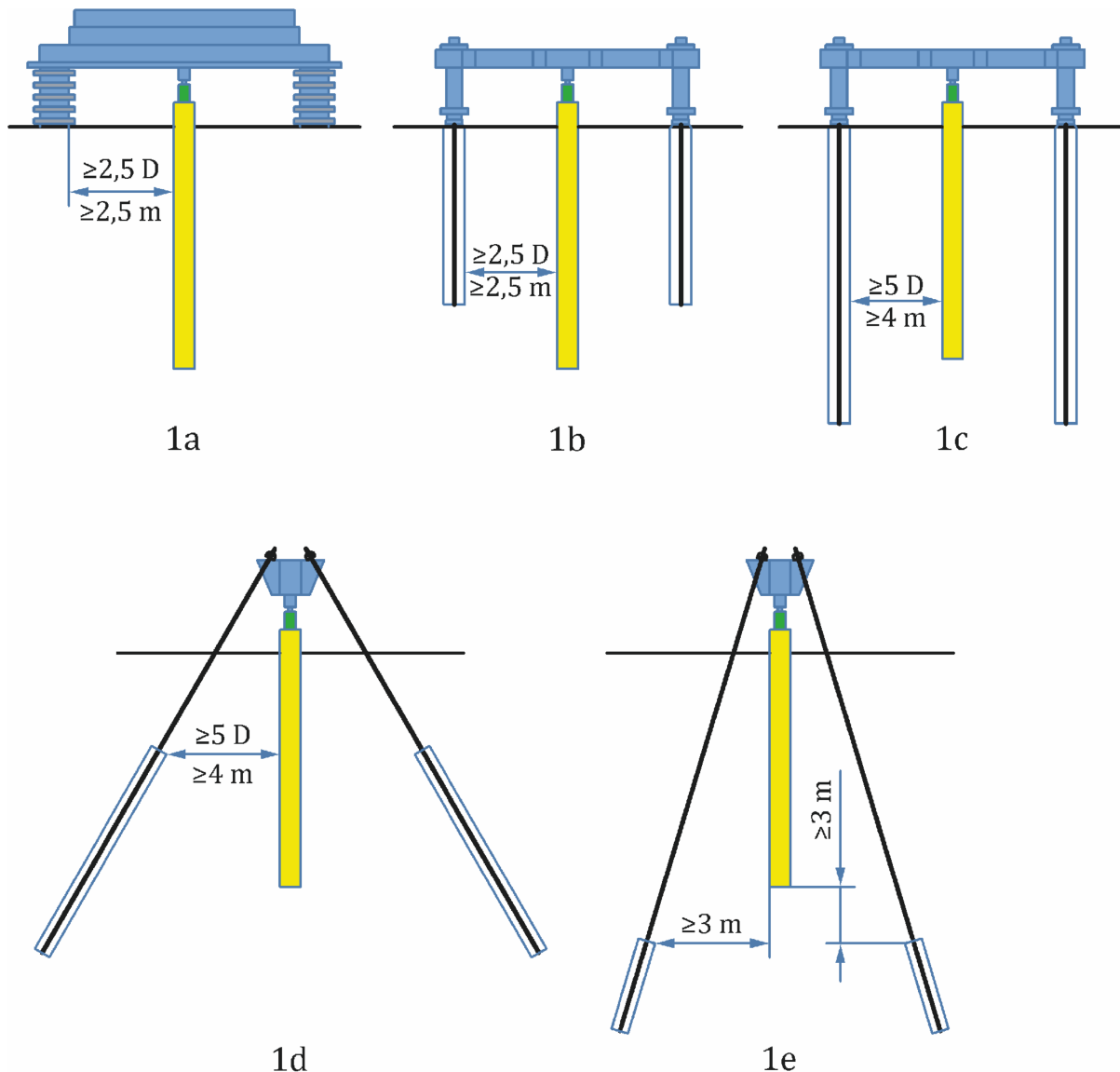


**Bild 1 — Reaktionssystem**

Bei statischen Pfahlprobelastungen an Mikropfählen darf dieser Abstand verringert werden. Dennoch ist ein lichter Mindestabstand von 1,5 m empfohlen.

Das Reaktionssystem muss so bemessen sein, dass dies in Übereinstimmung mit den zutreffenden Europäischen Normen der maximalen Probelast  $Q_{\max}$  standhält.

Um übermäßigen Auftrieb oder Instabilität des Ballasts zu vermeiden, sollte die Totlast zentriert werden und um mindestens 10 % über der maximalen Probelast  $Q_{\max}$  liegen.

Bauwerkspfähle dürfen als Reaktionspfähle verwendet werden, vorausgesetzt, ihre Tragfähigkeit ist ausreichend und es treten keine negativen Auswirkungen auf ihre Fähigkeit auf, als Teil des Bauwerkes zu fungieren. Der Auftrieb von Bauwerkspfählen muss während der Prüfung überwacht und die Daten im Prüfbericht aufgenommen werden.

Reaktionspfähle und Anker sollten symmetrisch um den Probepfahl herum angeordnet werden. Im Falle von unsymmetrischen Reaktionssystemen sind Maßnahmen einzuleiten, um eine übermäßige Drehung und/oder Verschiebung des Reaktionssystems zu vermeiden.

### 4.3 Krafteintrag

Eine oder mehrere hydraulische Vorschubpresse(n) sollten eingesetzt werden, um die Last auf den Probepfahl aufzubringen.

Wenn mehrere hydraulische Vorschubpressen zur Aufbringung der Probelast verwendet werden, müssen diese symmetrisch angeordnet, vom gleichen Hersteller und Modell sein sowie über eine gemeinsame Leitung von einer einzigen Hydraulikanlage betrieben werden. Jede hydraulische Vorschubpresse muss mit einem Absperrventil und einem zusätzlichen Manometer ausgestattet sein.

#### 4.3.1 Praktische Überlegungen

Oberhalb der hydraulischen Vorschubpresse ist eine kugelförmige Aufnahme vorzusehen.

Wenn eine einzelne Presse verwendet wird, muss sie mittig auf der Kopfplatte angeordnet werden, um sicherzustellen, dass der Pfahl axial und ohne Außermittigkeiten belastet wird.

Eine starre Platte muss auf den Pfahlkopf oder die Kopfplatte gegeben werden, um die Last zu verteilen.

#### 4.3.2 Spezifikationen für den Krafteintrag

Die Pressenkraft und der Pressenhub müssen  $Q_{\max}$  und die zu erwartenden Verformungen (Verschiebung des Pfahlkopfes und des belasteten Reaktionssystems) übersteigen.

Es muss möglich sein, die Last fließend ohne Stöße oder Schwingungen zu verringern oder zu erhöhen und auf jedem erforderlichen Wert zu halten.

ANMERKUNG Um die erforderliche Genauigkeit einzuhalten, darf eine automatische und kontinuierliche elektrische oder hydraulische Regelung der Pressenkraft angewendet werden. Alternativ darf eine Handpumpe mit genauer Druck- oder Lastmessung und dauerhafter Regelung in Betracht gezogen werden.

Die Genauigkeit der Kraftregelung muss dem Prüfzweck entsprechen.

Die Genauigkeit des Kraftreglers muss größer als 0,5 % von  $Q_{\max}$  oder 5 kN betragen, je nachdem, welcher Wert der größere ist.

#### 4.3.3 Messung der Verschiebungen des Pfahlkopfes

Die Verschiebungen des Pfahlkopfes müssen entweder mit Messuhren oder Messwertwandlern, die auf Bezugsbalken auflagern, gemessen werden.

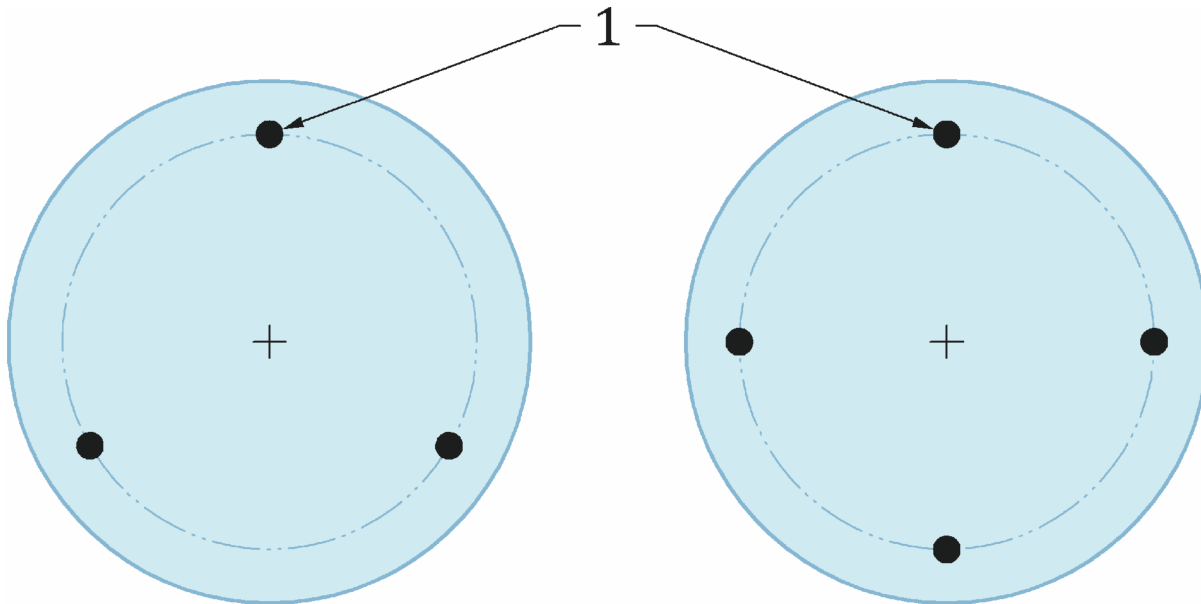
Bezugsbalken sollten unabhängig vom Probepfahl aufgelagert sein.

Der lichte Abstand zwischen den tragenden Enden der Bezugsbalken und dem Probepfahl und den Reaktionspfählen oder der nächstgelegenen Kante des Ballastauflagers sollte mindestens 2,5 m oder 2,5D betragen, je nachdem, welcher Wert der größere ist.

Ein Ende jedes Bezugsbalkens sollte frei gleiten können.

Die Ausrichtung der Bezugsbalken muss von einem sekundären Kontrollmesssystem wie Nivellierverfahren oder anderen Messverfahren geprüft werden. Die Ausrichtung des Pfahlkopfes sollte ebenfalls von diesem sekundären Kontrollsystem geprüft werden.

Die axiale Verschiebung des Pfahlkopfes ist mit Hilfe von mindestens drei Verschiebungsmesswertwandlern oder Messuhren zu messen. Sie müssen symmetrisch (siehe Bild 1) und parallel zur Pfahlachse angeordnet sein. Die Reibung zwischen dem Pfahlkopf und den Sensoren sollte durch Verwendung geeigneter Vorrichtungen wie unter den Sensoren angebrachte Glasplatten minimiert werden.



#### Legende

- 1) Verschiebungsmesswertwandler

**Bild 2 — Lage von Verschiebungsmesswertwandlern**

Die Gesamtgenauigkeit der gemessenen Verschiebung des Pfahlkopfes muss mehr als 0,1 mm oder 0,2 % des Messwertes betragen, je nachdem, welcher Wert der größere ist. Daher müssen Messuhren oder Messwertwandler Ablesungen mit einer Auflösung von mindestens 0,01 mm und einem optischen System von 0,1 mm ermöglichen.

Die Messuhren oder Messwertwandler sollten auch über einen ausreichenden Messbereich verfügen, um eine Nachstellung während der Prüfung zu vermeiden.

Das sekundäre Kontrollmesssystem muss Ablesungen mit einer Genauigkeit von mindestens 0,1 mm ermöglichen.

Die optischen Nivelliermessungen sind durch Bezug auf einen oder mehrere feststehende(n) Bezugspunkt(e) zu überprüfen.

Die potenzielle transversale Verschiebung des axial belasteten Probepfahles sollte mit Hilfe zweier Messuhren oder Messwertwandler überprüft werden, deren Genauigkeit der vorstehend genannten entspricht und die orthogonal ausgerichtet sowie auf Bezugsbalken befestigt sind. Alternativ können transversale Verschiebungen des Pfahlkopfes mit horizontalen Untersuchungen bestimmt werden. Diese Messungen müssen während Probelastungen auf geneigten oder schlanken (flexiblen) Pfählen ausgeführt werden.

Zur Absicherung gegen ein Versagen der Auflager sollten die Eckpunkte des Ballasts oder die Ankerköpfe in die Nivellierungsüberprüfungen mit einbezogen werden.

#### 4.3.4 Messung der Pfahlbelastung

Die Messung der Belastung sollte mit Hilfe einer oder mehrerer Kraftmessdose(n) oder unter Anwendung angemessener kalibrierter Manometer aus dem Druck der Vorschubpresse oder des Pressensystems bestimmt werden.

ANMERKUNG Weitere Anleitungen können dem nationalen Vorwort entnommen werden.

Die Geräte zur Messung der Belastung sind nach einem geeigneten Bezugsgerät zu kalibrieren, das vollständige Rückführung zu einer Nationalen Norm oder EN 10002-2 bietet.

Die Genauigkeit der Belastungsmessung sollte bei höchstens 1 % liegen.

Wird die Belastung sowohl mit einer Kraftmessdose als auch mit Manometern gemessen, muss die Kalibrierung innerhalb von 12 Monaten vor der Prüfung durchgeführt worden sein.

Wird die Belastung nur mit Pressendruck gemessen, muss die Kalibrierung innerhalb eines Zeitraums von 6 Monaten vor der Prüfung durchgeführt worden sein.

ANMERKUNG 1 Unter bestimmten Umständen, z. B. Stöße oder außermittige Belastung oder Abweichungen der elektronischen Kraftmessdosen, wird eine zusätzliche Kalibrierung empfohlen.

ANMERKUNG 2 Unter bestimmten Umständen, z. B. häufige Nutzung oder Austausch von Bauteilen oder vermutlicher Beschädigung, wird eine zusätzliche Kalibrierung empfohlen.

#### 4.4 Pfahlinstrumentierung

Die Pfahlinstrumentierung hängt vom Ziel der statischen Pfahlprobelastung ab:

- Bestimmung des Gesamtwiderstands;
- Bestimmung des Widerstands der Pfahlsohle und des Schafts;
- Bestimmung des Widerstands der Pfahlsohle sowie der Verteilung der Mantelreibung entlang der Länge des Pfahls.

Die Lastverteilung entlang des Pfahlschafts kann durch direkte oder indirekte Messung der Kraft an Querschnitten des Pfahles in verschiedenen Tiefen bestimmt werden.

Die Lastverteilung entlang des Pfahlschafts kann zum Beispiel wie folgt gemessen werden:

- eingebauter oder abnehmbarer Dilatometer;
- Dehnungsmessgeräte wie Schwingdrahtdehnungsmessgeräte, Glasfasersensoren, usw.;

Der Widerstand der Pfahlsohle kann mit einer Kraftmessdose an der Pfahlsohle gemessen werden.

Hinsichtlich der Tiefe, der Anzahl der Messebenen und der Anzahl der Geräte auf jeder Ebene müssen die Bedingungen des Baugrundes, der Typ und die Größe des Probepfahles und das Ziel der Prüfung berücksichtigt werden.

Abnehmbare Dilatometer müssen jeweils für jede zu messende Tiefe im Mittelpunkt von Pfählen mit geringerem Durchmesser (Schaftdurchmesser  $\leq 0,6$  m) oder bei Pfählen mit größerem Durchmesser (Schaftdurchmesser  $> 0,6$  m) in diametral gegenüberliegenden Paaren eingebaut werden.

Dehnmessgeräte sollten an der Bewehrung befestigt oder im Beton von Betonpfählen eingebettet oder an der Wand von Stahlpfählen angebracht werden, mindestens in symmetrisch angeordneten Teilen für jede zu messende Tiefe.

Dehnungsmessungen mit durchgehenden Glasfasern müssen mindestens innerhalb von zwei symmetrisch angeordneten Schlaufen erfolgen.

ANMERKUNG Zur Bestimmung der Belastung durch Dehnung müssen der Querschnitt A und das Elastizitätsmodul des Pfahlwerkstoffs beurteilt werden. Alle im Pfahl vorhandenen Materialien müssen berücksichtigt werden.

## 5 Prüfverfahren

### 5.1 Vorbereitung der Prüfung

#### 5.1.1 Schutzvorkehrungen

Während des gesamten Prüfzeitraumraums müssen alle erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um zu verhindern, dass äußere Bedingungen (wie Witterung, Schwingungen usw.) die Prüfergebnisse beeinflussen.

Die Maßnahmen zur Erfüllung dieser Anforderung dürfen Folgendes umfassen:

- Abdecken des gesamten Prüfaufbaus mit einem Zelt o. ä.;
- Schutzabdeckungen;
- geeignete Materialwahl für Bezugsbalken und Konzeption dieser Balken;
- Verwendung temperaturkompensierter Messgeräte;
- weißgestrichene Bezugsbalken.

Alle Bauteile, Kabel und Messgeräte, die in den Pfahl eingebettet oder außerhalb des Pfahles angeordnet sind, müssen während aller Stufen der Herstellung und Prüfung gegen Schäden geschützt sein. Dies schließt insbesondere eine angemessene Isolierung der elektrischen Messgeräte und Kabel gegen Wasser sowie den mechanischen Schutz gegen Schäden während der Betonierung und des Ablängens des Pfahles, der Vorbereitung des Pfahlkopfes und der Errichtung des Prüfaufbaus und der Prüfgeräte ein.

Jegliche weiteren Tätigkeiten am Standort, die die Messungen beeinflussen können, beispielsweise Schwingungen durch laufende Bauarbeiten, sollten für die Dauer der Prüfung ausgesetzt werden.

Die Lufttemperatur muss im Verlauf der Prüfung regelmäßig aufgezeichnet werden, um alle Temperatureinflüsse auf die Prüfergebnisse zu ermitteln.

#### 5.1.2 Herstellung eines Probepfahles

Probepfähle sollten ähnlich hergestellt werden wie Bauwerkspfähle (das gleiche Einbringverfahren, die gleichen Maschinen und die gleichen Werkstoffe).

Probepfähle sollten denselben Durchmesser wie Bauwerkspfähle aufweisen. Probelastungen an Probepfählen mit geringerem Durchmesser dürfen entsprechend den Spezifikationen und Einschränkungen nach EN 1997-1, 7.6.2.2 (4), in Betracht gezogen werden.

Die Probepfähle müssen so bemessen sein, dass sie der maximalen Probelast standhalten können, daher sind zusätzliche Bewehrungen und Beton höherer Festigkeit zulässig. Jedoch muss deren möglicher Einfluss auf das Pfahlverhalten beurteilt werden.

Die Auswirkung der Pfahlinstrumentierung auf die Pfahlherstellung und die Pfahlintegrität ist so gering wie möglich zu halten.

Besondere Sorgfalt sollte der Überwachung und Aufzeichnung des Einbringens der Probepfähle und der Ausarbeitung von Pfahlrammprotokollen gewidmet werden. Eine Anleitung zu den verschiedenen zu überwachenden und aufzuzeichnenden Aspekten ist in den jeweiligen Europäischen Ausführungsbestimmungen zur Pfahlherstellung enthalten.

### **5.1.3 Prüfdatum**

Die folgenden Zeiträume zwischen Einbringung und Prüfung eines Pfahles werden empfohlen:

**Tabelle 1 — Zeiträume zwischen Einbringung und Prüfung eines Pfahles**

| Bodenart                                                                                  | Pfahltyp           | Mindestzeitraum in Tagen |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Grobkörnige Böden                                                                         | Alle               | 7                        |
| Feinkörnige Böden                                                                         | Bohrpfähle         | 21                       |
|                                                                                           | Verdrängungspfähle | 28                       |
| ANMERKUNG 1 Alternative Zeiträume können mit angemessener Begründung spezifiziert werden. |                    |                          |
| ANMERKUNG 2 Bei empfindlichen Böden sind manchmal längere Zeiträume erforderlich.         |                    |                          |
| ANMERKUNG 3 In Gestein können spezifische Zeiträume erforderlich sein.                    |                    |                          |

Probebelastungen bei Ortbetonpfählen und verpressten Mikropfählen dürfen nur beginnen, wenn das Material die zur Akzeptanz der Probelast erforderliche Festigkeit erreicht hat.

### **5.1.4 Vorbereitung der Kopfplatte**

Die Kopfplatte ist so zu bemessen und herzustellen, dass die Last gleichförmig und mittig auf den Pfahlkopf aufgebracht werden kann, ohne Schäden zu verursachen. Die Oberseite muss flach, glatt und lotrecht zur Pfalachse sein.

Jede Lastübertragung zwischen Kopfplatte und Boden muss vermieden werden.

## **5.2 Belastungsverfahren**

Die Probebelastung sollte durch Aufbringen der Last in einem einzelnen Belastungs-/Entlastungszyklus durchgeführt werden. Alternativ dürfen mehrere Belastungs-/Entlastungszyklen ausgeführt werden.

ANMERKUNG Weitere Anleitungen können dem nationalen Vorwort entnommen werden.

Während der Pfahlprobebelastung sollte die Last-Verschiebungs-Kurve manuell oder automatisch aufgezeichnet werden. Das Kriechmaß  $\alpha$  sollte während der Prüfung berechnet werden.

### **5.2.1 Allgemeines**

Das Belastungsverfahren sollte mit einer ersten Belastung von höchstens  $0,05 Q_{\max}$  begonnen werden, um die Belastungs- und Messausrüstung zu überprüfen. Falls erforderlich, wird der Pfahl zu entlastet und die Ausrüstung eingestellt.

Die Belastung sollte fließend erhöht oder verringert werden, um Stöße und Schwingungen zu vermeiden.

ANMERKUNG In der Praxis scheint eine minimale Belastungsgeschwindigkeit von 1 min für ein Hinzufügen von  $\Delta Q$  angemessen zu sein.

Während eines Lastschrittes ist die Last entsprechend den festgelegten Toleranzen nach den Empfehlungen unter 4.3 konstant zu halten.

### 5.2.2 Abfolge und Dauer der Lastschritte für Verfahren mit einem Zyklus

Die statische Belastungskraft ist schrittweise zu erhöhen, und jeder Schritt ist für einen bestimmten, festgelegten Zeitraum konstant zu halten. Die maximale Probelast  $Q_{\max}$  muss in mindestens 8 Lastschritten erreicht werden.

Lastschritte sollten die gleiche Größe haben.

Die Entlastung des Pfahles sollte für Bemessungsprüfungen in mindestens 4 Lastschritten durchgeführt werden.

Bei Annäherung an die Versagenslast darf die Größe des Lastschrittes verringert werden, um das Setzungsverhalten bei Annäherung an das Versagen genau zu bestimmen und so die Bestimmung des Grenzwiderstands des Pfahles genauer durchzuführen.

Jeder Belastungs und Entlastungsschritt ist (wie in Bild 3 dargestellt) über ein feststehendes Zeitintervall auszudehnen, das vor der Durchführung der Prüfung definiert wurde und das für alle Belastungs- bzw. Entlastungsschritte jeweils gleich sein sollte. Für die Belastungsschritte wird ein Zeitintervall von mindestens 60 min empfohlen. Die ersten Belastungsschritte dürfen eine kürzere Dauer haben, wenn die Verschiebungsgeschwindigkeit eines Pfahls niedriger als ein vorgeschriebener Wert ist, z. b. 0,1 mm/20 min. Für die Entlastungsschritte wird ein Zeitintervall von mindestens 10 min (sowie von 30 min für die Gesamtentlastung) empfohlen.

Sofern nichts anderes vereinbart wurde, sollte der Belastungszeitraum solange verlängert werden, bis die Verschiebungsgeschwindigkeit des Pfahles weniger als 0,1 mm/20 min beträgt.

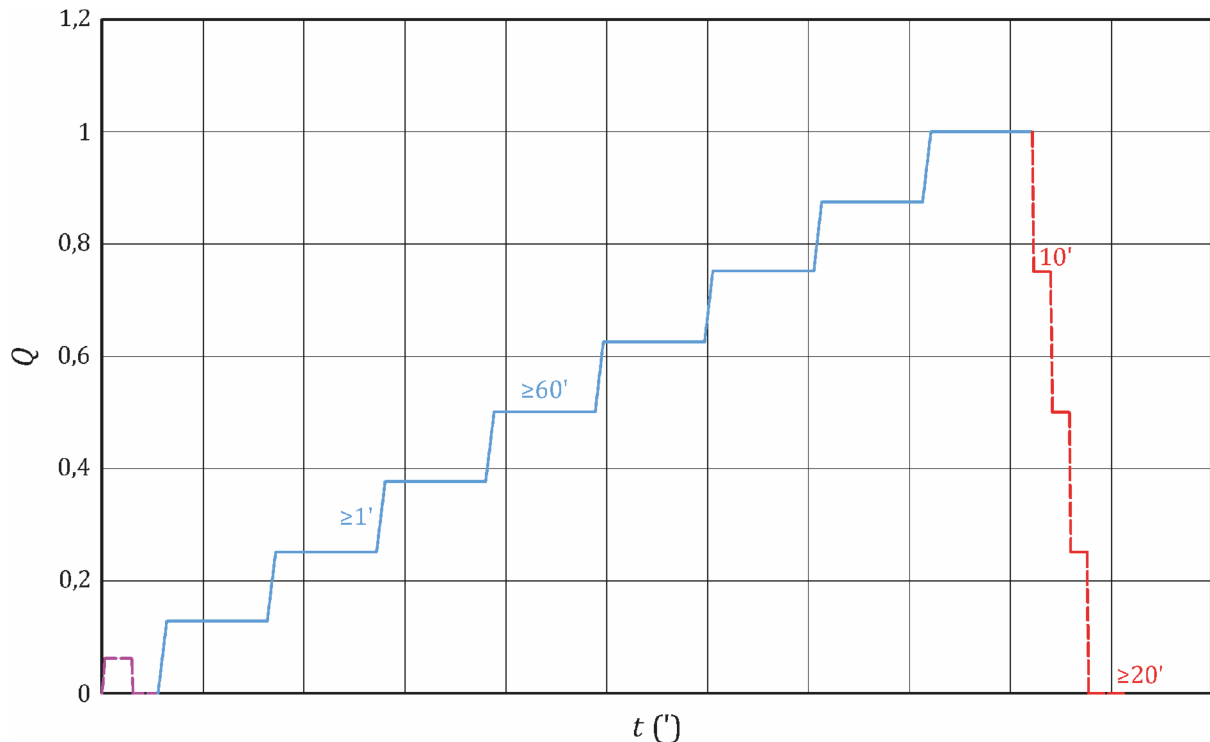


**Bild 3 — Abfolge der Lastschritte für Prüfungen mit einem Zyklus**

### 5.2.3 Abfolge und Dauer der Lastschritte für Verfahren mit mehreren Zyklen

Die statische Belastungskraft ist schrittweise zu erhöhen, und jeder Schritt ist für einen bestimmten, festgelegten Zeitraum konstant zu halten. Die maximale Probelast  $Q_{\max}$  muss in mindestens zwei Zyklen und mindestens 8 Lastschritten erreicht werden.

Die maximale Last im ersten Zyklus sollte der charakteristischen Pfahlbelastung  $F_{c,k}$  entsprechen, wenn diese bekannt ist.

Lastschritte sollten die gleiche Größe haben (siehe Bild 4):

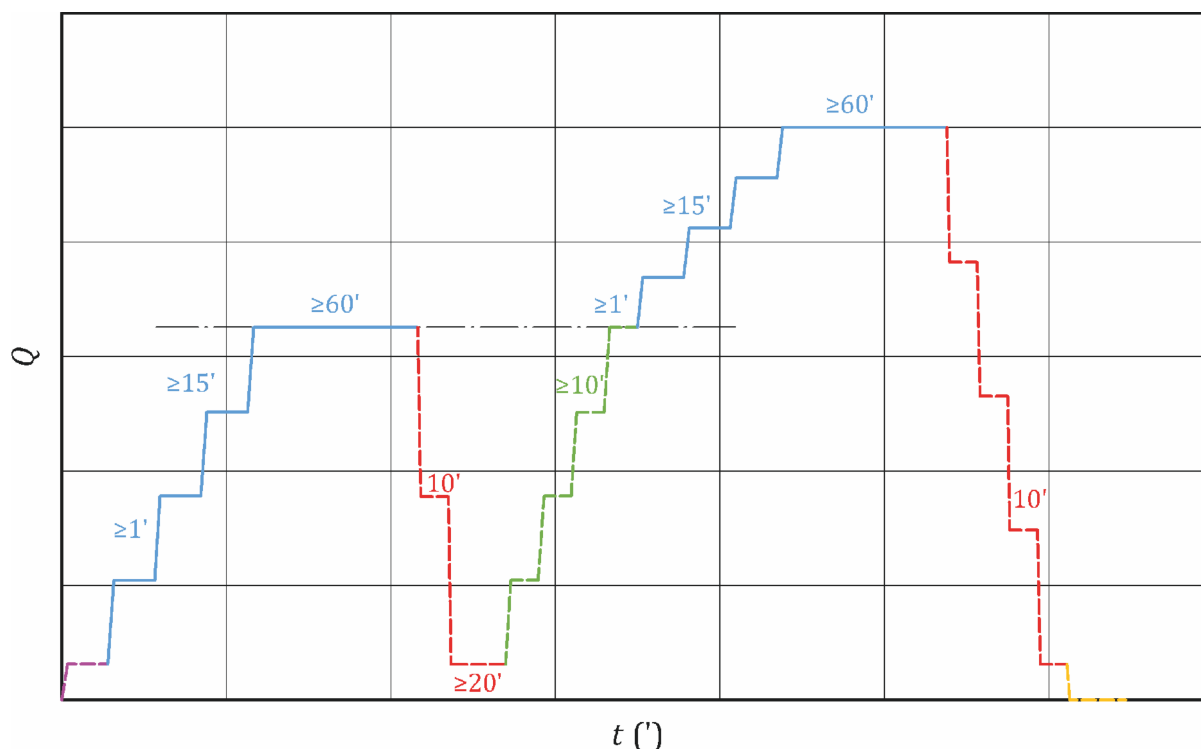
- zwischen der ersten Last und der maximalen Last des ersten Zyklus;
- zwischen der maximalen Last des ersten Zyklus und  $Q_{\max}$ .

**ANMERKUNG** Die Größen von Lastschritten zwischen der ersten Last und der maximalen Last des ersten Zyklus und  $Q_{\max}$  unterscheiden sich in der Regel.

Bei Annäherung an die Versagenslast darf die Größe des Lastschrittes verringert werden, um das Setzungsverhalten bei Annäherung an das Versagen genau zu bestimmen und so die Bestimmung des Pfahlwiderstands genauer durchzuführen.

Die Entlastung des Pfahles sollte für Bemessungsprüfungen in mindestens zwei Lastschritten nach dem ersten Zyklus und vier Lastschritten nach dem zweiten Lastzyklus durchgeführt werden. Nachdem die Verschiebungen unter der ersten Last beendet sind, sollte der Pfahl vollständig entlastet und die Messungen fortgeführt werden, bis die Verschiebungen vollständig beendet sind.

Für die Entlastungsschritte wird ein Zeitintervall von mindestens 10 min (sowie von 30 min für den Gesamtentlastungsschritt) empfohlen.



#### 5.2.4 Maximale Probelast $Q_{\max}$

Wenn die Pfahlbelastung vorher festgelegt worden ist, muss die maximale Probelast nach EN 1997-1 abgeleitet werden. Wenn die Pfahlbelastung nicht vorher festgelegt worden ist, sollte ein Wert verwendet werden, der den geschätzten oder erwarteten Widerstand unter Druckbelastung,  $R_c$ , überschreitet.

Während jedes Lastschrittes sind die axialen Verschiebungen des Pfahlkopfes, die auf den Pfahl aufgebrachte Last und, sofern eingebaut, die Pfahlinstrumentierung aufzuzeichnen.

Die Verschiebungen des Pfahlkopfes und die aufgebrachte Last sind mindestens mit den folgenden Zeitintervallen aufzuzeichnen:

- Belastungsschritte: (0, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 und 60) min sowie anschließend alle weiteren 10 bis 30 min;