



Bauingenieur-Praxis



Lutz Wichter, Wolfgang Meiniger

# Verankerungen, Vernagelungen und Mikropfähle in der Geotechnik

2. Auflage

Ernst & Sohn  
A Wiley Brand



**Verankerungen, Vernagelungen und  
Mikropfähle in der Geotechnik**



# **Verankerungen, Vernagelungen und Mikropfähle in der Geotechnik**

*Lutz Wichter und Wolfgang Meiniger*

2. aktualisierte Auflage

## Autoren

**Univ.-Prof. Dr.-Ing.**

**Lutz Wichter**

Erlenweg 25

03185 Teichland, OT Maust

**Baudirektor Dipl.-Ing.**

**Wolfgang Meiniger**

Steinbühlweg 13

87487 Wiggensbach

## Titelbild

Hangsicherung mit Verpressankern an der Bundesautobahn A 71 bei Meiningen

## 2. Auflage

Alle Bücher von Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2022 Ernst & Sohn GmbH, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

**Satz** le-tex publishing services GmbH, Leipzig  
**Druck und Bindung**

**Print ISBN** 978-3-433-03249-7

**ePDF ISBN** 978-3-433-60952-1

**ePub ISBN** 978-3-433-60950-7

**oBook ISBN** 978-3-433-60949-1

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

## Vorwort

Die Technik der Einleitung von Zugkräften in das Gebirge wurde bereits vor mehr als 100 Jahren bei der Firstsicherung im Bergbau mit Kurzankern angewandt. In den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts blieb der Einsatz von Ankern im Bauwesen aber auf Einzelfälle im Felsbau beschränkt. In großem Umfang fanden Verpressanker erst Eingang in das Bauwesen, nachdem im Jahre 1958 der erste Anker im Lockergestein erfolgreich hergestellt worden war. Seitdem haben sich vorgespannte Anker und nicht vorgespannte Nägel zu wichtigen und häufig eingesetzten Konstruktionselementen im Ingenieurbau entwickelt. Ihr Einsatz für dauernde Zwecke ist in Deutschland bauaufsichtlich geregelt.

Auch Vernagelungen von Baugrubenwänden und Böschungen sind seit etwa dem Jahre 1980 fester Bestandteil der Spezialtiefbauverfahren. Das Bauverfahren „Bodenvernagelung“ ist beim Einsatz für Daueraufgaben ebenfalls bauaufsichtlich geregelt worden. Es bietet z. B. bei der Herstellung von Baugruben im Vergleich zu anderen Verfahren häufig Vorteile. Der Einsatz ist allerdings an die Voraussetzung gebunden, dass der Boden über eine kurze Zeit die Herstellung einer ungestützten Steilböschung von 1,5–2,0 m Höhe erlaubt und dass die Baumaßnahme oberhalb des Grundwasserspiegels durchgeführt wird.

Gebirgsanker (Felsbolzen) sind unverzichtbarer Bestandteil der Sicherungsmittel des modernen Tunnelbaus. Ihr Einsatz ist eine Voraussetzung für die Herstellung zahlreicher Großtunnel für den Verkehrswegebau in den letzten beiden Jahrzehnten gewesen. Die Anforderungen an Gebirgsanker unterscheiden sich von denen, die an vorgespannte Verpressanker zu stellen sind. Gebirgsanker werden in Deutschland meist nur für vorübergehende Zwecke eingesetzt. Sollen sie für Daueraufgaben verwendet werden, so müssen sie hinsichtlich der konstruktiven Durchbildung die Anforderungen an den Korrosionsschutz erfüllen, die auch an Daueranker gestellt werden.

Anker und Nägel sind, wenn sie sachgerecht hergestellt und geprüft wurden, sichere und dauerhafte Konstruktionselemente. Im Zusammenhang mit dem Einsatz treten aber in der Praxis insbesondere dann, wenn hohe Kräfte dauerhaft in den Baugrund abgetragen werden müssen, nicht selten Fragen und auch Vorbehalte auf. Sie sind zum Teil in der Furcht vor Korrosion begründet, zum anderen Teil auch in der vermeintlichen Notwendigkeit, diese Bauteile während der gesamten Einsatzdauer überwachen zu müssen.

Das Buch soll einen Überblick über den Stand der Verankerungs- und Vernagelungstechnik vermitteln. Es entstand aus der Tätigkeit der Autoren, die seit ca. 40 Jahren mit der Prüfung und Beurteilung von Verankerungen und Vernagelungen beschäftigt sind. Die Erfahrungen von Kollegen, die bei zahlreichen Fachveranstaltungen über Anker und Nägel berichtet haben, wurden so weit als möglich eingearbeitet. Das Buch ist für die Praxis gedacht und enthält deshalb eine Anzahl von Tabellen zum Nachschlagen. Es behandelt die Herstellung und Bauarten von Verpressankern, Bodennägeln und Gebirgsankern im Berg- und Tunnelbau, Ankerwerkstoffe und Ankerteile, die Wirkungsweise von Verpressankern und Nägeln, die Prüfungen an Ankern sowie die Überwachungsmöglichkeiten bei verankerten Konstruktionen. Nicht zuletzt soll es Hinweise zur Vermeidung von Schäden bei Verankerungen geben.

Teichland und Wiggensbach,  
im März 2022

*Lutz Wichter und Wolfgang Meiniger*



# Inhaltsverzeichnis

	<b>Vorwort</b>	<i>V</i>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<i>1</i>
<b>2</b>	<b>Entwicklung der Ankertechnik, gültiges technisches Regelwerk, Symbole</b>	<b>5</b>
2.1	Entwicklung der Ankertechnik	<i>5</i>
2.2	Technisches Regelwerk	<i>7</i>
2.3	Symbole	<i>10</i>
<b>3</b>	<b>Herstellung und Bauarten von Verpressankern</b>	<b>11</b>
3.1	Ankerbohrverfahren	<i>11</i>
3.1.1	Bohrungen im Lockergestein	<i>11</i>
3.1.2	Bohrungen in Fels	<i>13</i>
3.1.3	Bohrungen gegen drückendes Wasser	<i>13</i>
3.1.4	Selbstbohrende Anker	<i>14</i>
3.1.5	Ankereinbau und Verpressen	<i>15</i>
3.1.6	Nachverpressen	<i>17</i>
3.1.7	Montage des Ankerkopfes	<i>18</i>
3.1.8	Spannen und Festlegen	<i>19</i>
3.2	Bauarten von Verpressankern	<i>20</i>
3.2.1	Verbundanker	<i>20</i>
3.2.2	Druckrohranker	<i>22</i>
3.2.3	Anker mit aufweitbarem Verpresskörper	<i>23</i>
3.2.4	Anker mit ausbaubarem Zugglied	<i>25</i>
3.2.5	Anker mit der Möglichkeit zur Regulierung der Ankerkräfte	<i>26</i>
<b>4</b>	<b>Ankerwerkstoffe und Ankerbauteile</b>	<b>29</b>
4.1	Zugglieder	<i>29</i>
4.1.1	Zugglieder für Einstabanker	<i>29</i>
4.1.2	Zugglieder für Litzenanker	<i>29</i>
4.1.3	Zugglieder für Bündelanker (Mehrstabanker)	<i>32</i>
4.1.4	Zugglieder aus Stahlrohren	<i>32</i>

- 4.1.5 Zugglieder aus Edelstahl rostfrei 32
- 4.1.6 Zugglieder aus Glasfasern 33
- 4.1.7 Zugglieder aus Aramid oder Kohlefasern 33
- 4.2 Ankerköpfe 33
- 4.3 Verpresskörper 35
- 4.4 Korrosionsschutz 36
- 4.5 Abstandhalter 38
  
- 5 Tragfähigkeit von Verpressankern 39**
- 5.1 Tragfähigkeit des Stahlzuggliedes 39
  - 5.1.1 Tragfähigkeit bei vorwiegend ruhender Belastung 39
  - 5.1.2 Tragfähigkeit bei nicht vorwiegend ruhender Belastung 40
  - 5.1.3 Haftverbund von Stahlzuggliedern in Zementmörtel 40
- 5.2 Bodenmechanische Tragfähigkeit von Ankern 41
  - 5.2.1 Krafteintragung vom Anker in den Baugrund 41
  - 5.2.2 Abschätzung der bodenmechanischen Tragfähigkeit 48
  - 5.2.3 Erhöhung der Ankertragfähigkeit durch Nachverpressung 51
  
- 6 Prüfungen an Ankern nach DIN EN 1537 und DIN SPEC 18537 55**
- 6.1 Allgemeines 55
- 6.2 Untersuchungsprüfungen an Ankern 57
- 6.3 Eignungsprüfungen 58
- 6.4 Abnahmeprüfung 65
- 6.5 Gruppenprüfung 67
- 6.6 Schwellbelastungsprüfung 67
- 6.7 Ankerachprüfung 68
  
- 7 Überwachung eingebauter Anker 71**
- 7.1 Optische Kontrollen der sichtbaren Ankerteile 71
- 7.2 Ankerkraftüberwachung mit Abhebeversuchen 72
- 7.3 Im Bohrloch eingebaute Kontrolleinrichtungen 75
  - 7.3.1 Optische Sensoren/Lichtwellenleitersensoren (LWL-Sensoren) 75
  - 7.3.2 Potentialmessungen mit eingebauten Elektroden 76
  - 7.3.3 Reflektometrische Impulsmessungen 76
- 7.4 Überwachung der Ankerkräfte mit fest installierten Kraftmesseinrichtungen 77
- 7.5 Indirekte Überwachung mit Extensometern 79
- 7.6 Prüfung durch elektrische Widerstandsmessungen 79
  
- 8 Schadensmöglichkeiten bei Verpressankern 83**
- 8.1 Schäden durch Korrosion der Stahlzugglieder und Ankerkopfteile 83
- 8.2 Schäden durch konstruktive Mängel des Bauentwurfes 86
  - 8.2.1 Schäden durch ungenügende Berücksichtigung des Schichtaufbaus 87
  - 8.2.2 Fehlender Ansatz des Wasserdrucks 89
  - 8.2.3 Zu schwache Dimensionierung der Kopfaufleger 90

- 8.3 Schäden durch schlecht geplanten Bauablauf 90
- 8.4 Beschädigung von Ankern durch den Transport 91
- 8.5 Beschädigung von Ankern bei der Lagerung und beim Einbau 92
- 8.6 Beschädigung eingebauter Anker durch den Baustellenbetrieb 93
- 8.7 Schäden an Ankern durch aggressive Inhaltsstoffe in Grundwasser und Boden 94
  - 8.7.1 Maßnahmen bei hohem Sulfatgehalt 97
  - 8.7.2 Maßnahmen bei hohem Gehalt an kalklösender Kohlensäure 99
  - 8.7.3 Maßnahmen bei hohem Ammoniumgehalt oder Magnesiumgehalt 99
- 8.8 Schäden durch nicht fachgerechte Herstellung der Anker 100
  - 8.8.1 Beschädigung des Korrosionsschutzes beim Einbau 101
  - 8.8.2 Ungenügende Begrenzung des Verpresskörpers 101
  - 8.8.3 Undichtigkeiten und Bodenaustrag bei der Ankerherstellung gegen drückendes Grundwasser 101
  - 8.8.4 Ankerversagen durch fehlende oder zu weit auseinanderliegende Abstandhalter 102
  - 8.8.5 Schäden durch zu hohe Verpressdrücke 104
  - 8.8.6 Schäden durch nicht haltende Litzenverkeilungen 105
  - 8.8.7 Ankerversagen durch ungenügenden Winkelausgleich 110
  - 8.8.8 Ankerversagen infolge Bodenauflockerung bei der Kampfmittelerkundung 111
- 9 Beispiele für den Einsatz von Verpressankern 113**
  - 9.1 Baugrubenwandverankerungen 113
    - 9.1.1 Berliner Baugruben im Grundwasser 113
    - 9.1.2 Bergseitige Baugrubensicherung für den Neubau der Landesbausparkasse in Stuttgart 113
  - 9.2 Verankerte Stütz- und Futtermauern 116
    - 9.2.1 Stützmauer Rötteln 116
    - 9.2.2 Futtermauern an der BAB A7 bei Aalen 117
  - 9.3 Verankerungen von Hängen und Böschungen 121
    - 9.3.1 Hangsicherung Zaisersweiher 121
    - 9.3.2 Sicherung einer Wohnbebauung auf einem Rutschhang durch verankerte Tiefbrunnen 121
    - 9.3.3 Verankerung der Krone eines Autobahndammes 123
  - 9.4 Auftriebssicherungen 126
  - 9.5 Abgespannte Konstruktionen 128
    - 9.5.1 Neckarbrücke in Stuttgart-Hofen 128
    - 9.5.2 Kylltalbrücke im Zuge des Baus der BAB A60 128
  - 9.6 Ertüchtigung der Staumauer der Talsperre Muldenberg in Sachsen 129
  - 9.7 Kavernen 131
    - 9.7.1 Kaverne Goldisthal 131
    - 9.7.2 Kaverne Kraftwerk Waldeck II 132

<b>10</b>	<b>Berechnung von Verankerungen</b>	<b>133</b>
10.1	Grundsätze	133
10.2	Verankerungen beim Baugrubenverbau und bei Ufersicherungen	133
10.3	Hangsicherungen durch Verankerung	134
10.4	Auftriebssicherungen durch Verankerung	135
10.5	Verankerte Seilabspannungen	135
10.6	Andere Anwendungen	136
<b>11</b>	<b>Vernagelungen von Boden und Fels</b>	<b>137</b>
11.1	Verfahrensbeschreibung	137
11.2	Historische Entwicklung und Anwendungsgrenzen	141
11.3	Baurechtliche Aspekte	142
11.4	Nagelwerkstoffe und Zubehör	143
11.5	Bauarten von Nägeln	147
11.6	Herstellung, Transport, Lagerung und Einbau der Nägel	149
11.7	Prüfungen an Nägeln	150
11.8	Schadensmöglichkeiten	153
11.9	Beispiele für Vernagelungen	155
11.9.1	Vernagelte Baugrubenwand an der B29 – Umfahrung Schorndorf	155
11.9.2	Vernagelung eines Hanganschnittes im Glimmerschiefer	155
11.9.3	Böschungvernagelung im Zuge der B312 bei Reutlingen	158
11.9.4	Erhöhung der Standsicherheit von Bahndämmen durch flächenhafte Bewehrung	158
<b>12</b>	<b>Berechnung von Vernagelungen</b>	<b>163</b>
12.1	Statische Berechnung von Vernagelungen mit einer Außenhaut aus Spritzbeton	163
12.1.1	Nachweis der äußeren Standsicherheit	164
12.1.2	Bemessung der Nägel	168
12.1.3	Bemessung der Außenhaut aus Spritzbeton	170
12.2	Nachweis der Standsicherheit bei der Vernagelung alter Stützmauern aus Naturstein	171
12.2.1	Allgemeines	171
12.2.2	Nachweis der äußeren Standsicherheit	173
12.2.3	Bemessung der Nägel	173
12.2.4	Nachweis der Einleitung der Nagelkopfkräfte in die Mauern	174
12.3	Vernagelung von rutschgefährdeten Böschungen	175
12.3.1	Vernagelung mit Nägeln oder Zugpfählen	175
12.3.2	Vernagelung mit gleichzeitiger Stabilisierungsinjektion („Injektionsvernagelung“, „Injektionsverdübelung“)	176

<b>13</b>	<b>Zugpfähle</b>	<b>181</b>
13.1	Zugpfähle aus Stabstählen mit aufgerolltem Gewinde	181
13.1.1	Pfähle mit Traggliedern aus Stahl B500B und S555/700 (Gewindepfähle, GEWI-Pfähle)	182
13.1.2	Soiljet-GEWI-Pfähle	183
13.2	Rohrverpresspfähle mit aufgerolltem Gewinde	186
13.2.1	Pfähle mit Traggliedern aus Feinkornbaustahl (Verpresspfähle TITAN)	186
13.2.2	Pfähle mit Traggliedern aus Vergütungsstahl (Verpresspfähle DYWI Drill)	189
13.3	Pfähle mit Traggliedern aus Rundstahl	190
13.4	Bemessung von Zugpfählen	192
13.5	Prüfung von Zugpfählen (statische axiale Probelastungen)	192
13.5.1	Probelastungen an Bauwerkspfählen	192
13.5.2	Prüfregime	194
13.5.3	Auftragung und Beurteilung der Prüfergebnisse	195
13.6	Rammpfähle aus Stahlprofilen (RV-Pfähle, MV-Pfähle) und Gussrohren	195
13.6.1	Rammverpresspfähle (RV-Pfähle) und Mantelverpresspfähle (MV-Pfähle)	195
13.6.2	Rüttel-Injektionspfähle (RI-Pfähle)	196
13.6.3	Pfähle aus duktilem Gusseisen	198
<b>14</b>	<b>Anker und Nägel im Tunnel- und Bergbau</b>	<b>201</b>
14.1	Allgemeines	201
14.2	Bauarten von Gebirgsankern	202
14.2.1	Kunstharzklebeanker	202
14.2.2	Schlitzkeilanker, Gleitkeilanker, Spreizhülsenanker	203
14.2.3	Zementmörtelanker	204
14.2.4	Expansionsanker „Swellex“	205
14.3	Zugglieder von Gebirgsankern	206
14.3.1	Zugglieder aus Stahl	206
14.3.2	Gebirgsanker aus GFK	206
14.4	Prüfungen an Gebirgsankern	208
	<b>Literatur</b>	<b>209</b>



# 1

## Einleitung

Mit Verankerungen und Vernagelungen ist es heute möglich, große Zugkräfte in nahezu jeden Baugrund einzuleiten und damit Ingenieurbauwerke zu errichten, die vor der Entwicklung dieser Bauelemente völlig anders ausgefallen wären. Als ein Beispiel seien hier Hängeseilbrücken genannt, deren Seilkräfte vor der Entwicklung der Ankertechnik ausschließlich durch große Totlasten aufgenommen werden mussten. Noch zu Beginn der Sechzigerjahre des 20. Jahrhunderts zeigte ein Blick in große und tiefe Baugruben zunächst eine Stahlbaustelle: Die Aufnahme der Erd-druckkräfte erforderte eine große Anzahl von Steifen aus schweren Stahlprofilen, die zudem bei größeren Baugrubenbreiten wegen der erforderlichen Knicksicherheit eine Vielzahl vertikaler Stützungen benötigten. Ein wirtschaftliches Arbeiten war in solchen Baugruben kaum möglich, da der Einsatz größerer Geräte durch die Steifen und Stützen verhindert wurde (Abb. 1.1). Ausgesteifte große Baugruben findet man heute kaum noch. Verpressanker haben seit ca. 50 Jahren die Steifen ersetzt (Abb. 1.2).

Mit der Entwicklung des Bauverfahrens Bodenvernagelung vor etwa 40 Jahren wurde es möglich, Baugruben auszuheben und die Sicherung der Baugrubenwände mit Spritzbeton und Zuggliedern aus Baustahl während des Aushubs vorzunehmen.



**Abb. 1.1** Ausgesteifte Baugrube.



**Abb. 1.2** Verankerte Baugrubenwand in Berlin.

Ramm- und Bohrarbeiten mit schwerem Gerät zur Einbringung von Verbauträgern von der Geländeoberfläche aus wurden überflüssig, wenn die Baugrundverhältnisse den Einsatz des neuen Verfahrens ermöglichten. Auch bei der Bodenvernagelung geht es darum, Zugkräfte in den Baugrund einzuleiten.

Die moderne Tunnel- und Bergbautechnik setzt in großem Umfang Gebirgsanker ein. Die sogenannte Systemanker der Firste und Ulme großer Tunnel und Kavernen ist eines der wichtigsten Sicherungsmittel der heute in Europa fast ausschließlich angewandten Spritzbetonbauweise, die man auch als Neue Österreichische Tunnelbauweise (NÖT) bezeichnet. Auch hier ist es erst durch den Einsatz von Anker in Verbindung mit dem Sicherungsmittel Spritzbeton möglich geworden, beim Tunnelvortrieb auf Steifen weitgehend zu verzichten und für den Ausbruch und die Sicherung große Maschinen einzusetzen. Die zahlreichen seit etwa dem Jahr 1980 in Deutschland ausgeführten Tunnelbauten für Neubaustrecken der Bahn und für leistungsfähige Fernstraßen und Ortsumgehungen wären, ebenso wie die neueren Tunnel der Alpenquerungen, ohne den Einsatz von Gebirgsankern kaum mit angemessenem Aufwand möglich gewesen.

Die Einleitung von Zugkräften in den Baugrund und die dafür erforderlichen Materialien, Verfahren und Prüfvorschriften sind der Gegenstand dieses Buches. Der Begriff „Anker“ wird im Bauwesen häufig sowohl für vorgespannte als auch für nicht vorgespannte Bauteile verwendet. Die mechanische Wirkungsweise und auch das technische Regelwerk lassen es aber sinnvoll erscheinen, zwischen Verpressankern, Bodennägeln, Gebirgsankern und Zugpfählen zu unterscheiden (siehe Abb. 1.3).



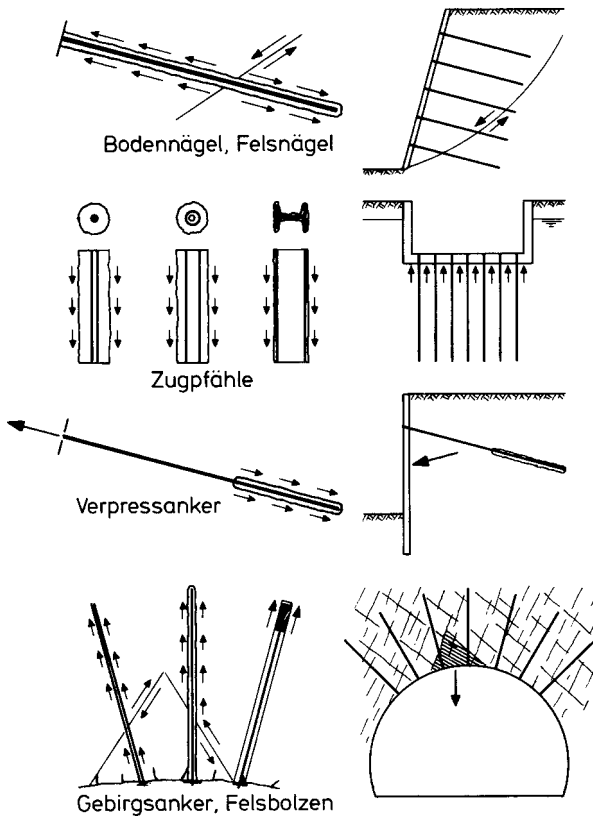


Abb. 1.3 Nägel, Zugpfähle, Verpressanker, Gebirgsanker.

## Verpressanker

Verpressanker bestehen aus drei Hauptteilen, nämlich dem Stahlzugglied, dem Ankerkopf und dem Verpresskörper. Das Stahlzugglied, meist aus Spannstahl, ist zwischen dem Verpresskörper und dem Ankerkopf in Längsrichtung frei beweglich und wird nach dem Erhärten des Verpresskörpers vorgespannt (gezogen). Die dadurch erzeugte Ankerkraft wirkt dann aktiv auf das verankerte Bauteil oder den verankerten Erdkörper ein. Verpressanker benötigen also keine Verschiebung der verankerten Konstruktion, um wirksam zu werden. Sie dienen allein zur Aufnahme von Zugkräften. Durch Scherbeanspruchungen werden sie zerstört.

## Bodennägel, Felsnägel

Nägel im Grundbau sind nicht vorgespannte, auf der ganzen Länge im Boden oder Fels in einem Verpresskörper liegende Zugglieder. Es ist üblich, von Nägeln zu sprechen, wenn die Durchmesser der Zugglieder nicht größer als 32 mm sind. Größere

Durchmesser bezeichnet man eher als Zugpfähle. Mit Nägeln werden bei dem Bauverfahren Bodenvernagelung Bodenkörper in engem Raster (meist ca.  $1,5 \times 1,5$  m) bewehrt. In der Praxis werden zunehmend auch selbstbohrende Nägel mit verlorener Bohrkronen eingesetzt. Die Bemessung der Nägel erfolgt auf Zug.

## Gebirgsanker

Im Bergbau und Tunnelbau heißen alle in das Gebirge zu Sicherungszwecken eingebrachten Zugglieder Anker, gleichgültig ob sie vorgespannt werden oder nicht. Besonders im Bergbau sind die Gebirgsanker wegen der großen erlaubten Gebirgsdeformationen meist auch Scherbeanspruchungen ausgesetzt. Die meisten Anker in diesem Bereich des Berg- und Bauingenieurwesens sind daher nach der oben genannten Definition eigentlich Nägel. Man spricht auch von Felsbolzen (in Anlehnung an die englische Bezeichnung „rock bolts“). Da sich in der Praxis des Berg- und Tunnelbaus oft Längs- und Querkräfte auf die Felsbolzen oder Gebirgsanker einstellen, sollte man diese Sicherungselemente, sofern das Zugglied aus Stahl besteht, planmäßig nur für vorübergehende Zwecke einsetzen (wie dies in der Regel beim untertägigen Bauen auch geschieht). Sollen sie für dauerhafte Zwecke eingebaut werden, so müssen die Scherverschiebungen auf ein Maß begrenzt werden, das den Korrosionsschutz (der meist nur aus dem das Zugglied umgebenden Zementmörtel besteht) unversehrt lässt. Auch der Einbau doppelt korrosionsgeschützter Gebirgsanker oder glasfaserverstärkter Kunststoffanker (GFK-Anker) ist bei der Anwendung für dauernde Zwecke zu erwägen.

## Zugpfähle

Zugpfähle können aus Walzstahlprofilen (Rammverpress-Pfähle) oder Betonstabstählen bestehen. Große Verbreitung haben in den letzten 40 Jahren Zugpfähle erfahren, deren Tragglieder aus Gewindebetonstabstählen (GEWI-Betonstabstählen) oder Feinkornbaustählen mit aufgerolltem Gewinde bestehen. Zugpfähle sind wie Nägel auf der ganzen Länge im Boden mit diesem kraftschlüssig verbunden. Sie dienen vornehmlich der direkten Aufnahme von Zugkräften (z. B. bei Auftriebssicherungen oder Kaimauern), werden aber auch zur Rückverankerung von Baugrubenwänden und zur Vernagelung von Geländesprüngen eingesetzt.

## 2

# Entwicklung der Ankertechnik, gültiges technisches Regelwerk, Symbole

## 2.1 Entwicklung der Ankertechnik

Die Anfänge der Ankertechnik gehen auf die Verwendung von Stahlstäben zur Firstsicherung im Bergbau zurück. Im Oberschlesischen Kohlerevier wurde diese Methode bereits zum Beginn des vergangenen Jahrhunderts eingesetzt.

Die Entwicklung vorgespannter Verpressanker im Fels begann in Frankreich in den Jahren 1934–1940 mit Konstruktionen der Firmen „Rodio“ und „Sondages, Etanchement, Consolidation“ (heute Soletanche). Sie setzten die Ideen von Coyne und Freyssinet um, indem sie die Schwierigkeiten bei der Verankerung des Stahlzuggliedes im Kopfbereich und im Bereich der Verpresskörper überwand. Die Verankerungsstrecken lagen im Fels oder im Massenbeton von Staumauern. In Versuchen wurden Ankerkräfte bis zu 12 MN erreicht. Das waren für die damalige Zeit außerordentlich hohe Kräfte, die aufwändige Dimensionen der Ankerkonstruktion erforderten. Die Anker wurden in den Jahren 1934–1940 bei der Ertüchtigung bzw. Erhöhung einiger Staumauern in Algerien eingesetzt (Barrage de l'Oued Fergoud 1934/2,85 MN; Barrage de Cheurfas 1935/10 MN; Barrage de Bou-Hanifia 1938/10 MN).

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden Verpressanker auch für andere Anwendungszwecke eingesetzt. Beispiele dafür sind die Staumauer Castillon (Frankreich 1948) oder Vajont (Italien 1960), bei denen im Bereich der seitlichen Widerlager der Mauern die Felsböschungen durch vorgespannte Anker ertüchtigt wurden, oder Anwendungen beim Bau von Kraftwerkskavernen in der Schweiz (Maggiawerke 1954; Grande Dixence, Kaverne Nendaz 1957). Abbildung 2.1 zeigt das verankerte in Fließrichtung gesehene linke Felswiderlager der Talsperre Vajont in Oberitalien, das der 70 m hohen Überströmung der Mauerkrone während des durch einen gewaltigen Bergrutsch verursachten Unglückes am 9. Oktober 1963 standgehalten hat [40].

Bemerkenswert ist die Entwicklung der Ausbildung der Ankerköpfe, die in dieser Zeit vorangetrieben wurde. Bei der Staumauer Cheurfas bestand ein Ankerkopf noch aus einem Betonblock mit einem Gewicht von ca. 50 kN. An der Staumauer Bou-Hanifia wurde eine Kopfkonstruktion aus Stahl mit einem Gewicht von ca. 15 kN verwendet. Nach dem Krieg bestanden die Ankerköpfe im Fels dann nur



**Abb. 2.1** Widerlagerverankerung der Talsperre Vajont in den italienischen Alpen.

noch aus Keilträgern mit relativ kleinen Durchmessern, die auf stählerne Ankerplatten aufgelegt wurden.

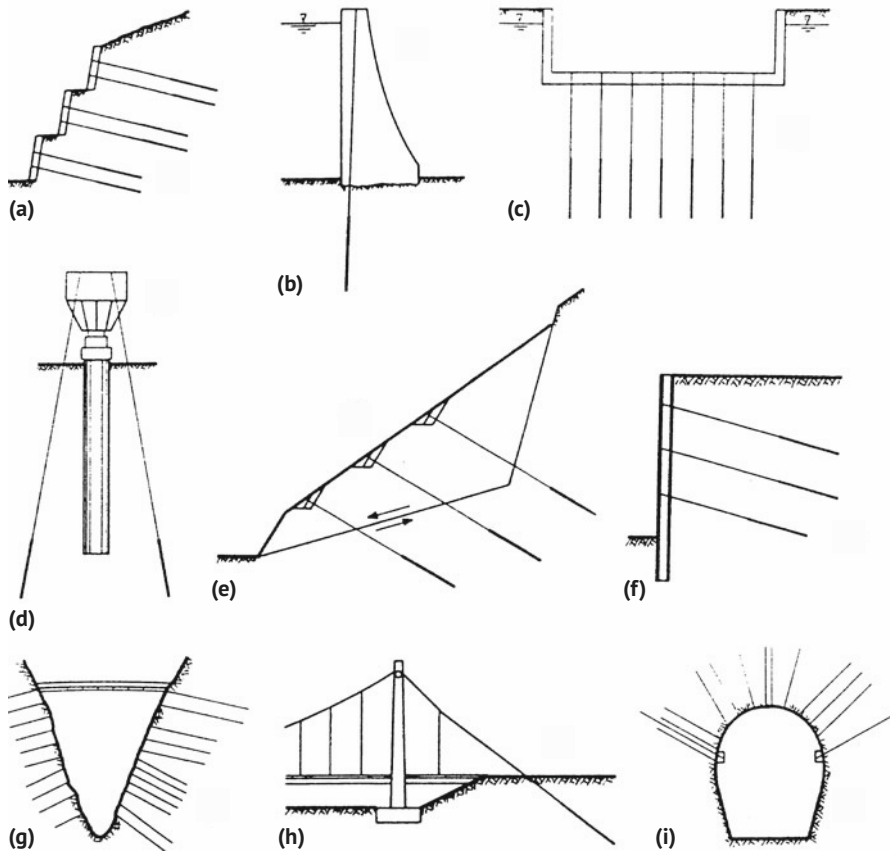
Die Entwicklung der Verpressanker im Lockergestein begann im Jahr 1958 und wurde eigentlich durch einen verfahrenstechnischen Fehlschlag eingeleitet. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden Baugrubenwände immer durch Steifen gesichert. Die Baugrube für den Neubau des Bayerischen Rundfunks in München sollte als überschnittene Bohrfahlwand (die erste in Deutschland) und erstmals ohne Steifen ausgeführt werden. Deshalb sollten jeweils mehrere Zugglieder in Verankerungsbrunnen (sog. Tote Männer) ca. 10 m hinter der Wand fixiert werden, ähnlich wie es seit langer Zeit für die Verankerung von Spundwänden mit eingegrabenen Ankerwänden üblich war. Es erwies sich aber als schwierig, die Brunnen von der Baugrube aus mit der seinerzeit verfügbaren Bohrtechnik zu treffen. Eine große Zahl von Bohrungen verfehlte die Schächte. Nachdem man beim Zurückziehen der Gestänge in dem anstehenden groben Kies Widerstände in der Größenordnung der geplanten Ankerkräfte überwinden musste, wurde der Versuch unternommen, diesen Widerstand durch Einbringen von Zementsuspension zu verstärken und auszunutzen. Dazu wurden die verlorenen Bohrkronen mit einem Gewinde versehen. Nach dem Erreichen der gewünschten Bohrtiefe wurden durch das Bohrgestänge Zugstangen in die Bohrkronen eingeschraubt. Beim Zurückziehen des Gestänges wurden dann die unteren 5 m des Bohrloches mit Zementsuspension verpresst. Die Probelastung nach einigen Tagen zeigte, dass die so hergestellten Anker bis zur Fließgrenze des Stahls belastet werden konnten [43].

Nach dem Erfolg dieser Versuche wurde die Ankertechnik zunächst vor allem von der Fa. Bauer (Schrobenhausen) planmäßig weiterentwickelt. Für die Sicherung von Baugrubenwänden war der für temporäre Zwecke eingesetzte Verpressanker bald ein fester Bestandteil der Methoden des Spezialtiefbaus. Etwa von der Mitte der Sechzigerjahre des 20. Jahrhunderts an wurden Systeme entwickelt, mit denen die nun eingesetzten Spannstähle von Verpressankern gegen Korrosion zuverlässig geschützt werden konnten. So wurde es möglich, Verpressanker auch für die dauerhafte Einleitung von Zugkräften in den Baugrund einzusetzen. Dazu wurde eine bauaufsichtliche Regelung des Einsatzes erforderlich. Schließlich erschien im Jahr 1976 die erste Fassung der DIN 4125, die seinerzeit in zwei Teilen noch zwischen Anker für vorübergehende Zwecke und Dauerankern unterschied. Die letzte Fassung der nationalen Norm DIN 4125 wurde 1990 verabschiedet [11], sie wurde im Jahr 2001 zurückgezogen und durch die europäische Norm DIN EN 1537:2001-01 [14] ersetzt (in der weiterhin zwischen Temporärankern und Dauerankern unterschieden wird). Eine ausführliche Darstellung über die Entwicklung der Verpressankertechnik in Deutschland gibt Ostermayer [44].

Verankerungen finden heute bei einer Vielzahl von Bauaufgaben Anwendung, bei denen große Zugkräfte in den Boden eingeleitet werden müssen. Abbildung 2.2 zeigt Skizzen einiger Einsatzbereiche.

## 2.2 Technisches Regelwerk

Bis zum Jahr 2001 wurde der Einsatz von vorgespannten Verpressankern in Deutschland durch die Norm DIN 4125:1990-11 (Verpressanker. Kurzzeitanker und Daueranker. Bemessung, Ausführung und Prüfung) geregelt [11]. Im Zuge der Einführung der europäischen Norm DIN EN 1537:2001-01 (Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verpressanker) [14] musste die nationale Norm DIN 4125 zurückgezogen werden. DIN EN 1537:2001-01 regelt lediglich die Ausführung und für eine Übergangsphase die Prüfung von vorgespannten Verpressankern. Um den in Deutschland gültigen Kriterien beim Einsatz vorgespannter Verpressanker gerecht zu werden, mussten zusätzlich zu den Regelungen nach DIN EN 1537 nationale Festlegungen erarbeitet werden. Sie sind als Norm DIN SPEC 18537:2012-02 (Einführendes Element – Zusätzliche Festlegungen zu DIN EN 1537 – ergänzendes Element) veröffentlicht [17]. Dieses Dokument gilt deshalb nur in Verbindung mit DIN EN 1537:2001-01. Hinsichtlich der Prüfungen von vorgespannten Verpressankern ist im Rahmen der europäischen Normung vorgesehen, alle die Prüfung der Tragfähigkeit von Bauwerksteilen im Grundbau (Pfähle, Anker, Nägel) betreffenden Festlegungen in einer gesonderten Norm DIN EN ISO 22477 [18] zusammenzufassen. In DIN EN ISO 22477 (Geotechnische Erkundung und Untersuchung. Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauteilen – Teil 5: Ankerprüfungen) sollen die Festlegungen zur Prüfung der Tragfähigkeit von vorgespannten Verpressankern beschrieben werden.



**Abb. 2.2** Beispiele für den Einsatz von Verpressankern. (a) Verankerte Stützmauer; (b) Stauwandertüchtigung; (c) Auftriebssicherung; (d) Pfahlprobebelastung; (e) Hangsicherung; (f) Baugrubenverbau; (g) Widerlagerverstärkung einer Talsperre; (h) Abspannung einer Hängeseilbrücke; (i) Firstsicherung in einer Kaverne.

DIN EN 1537:2001-01 enthält keine Regelungen zur Bemessung von Verpressankern. Die Regelungen für den Nachweis von vorgespannten Verpressankern sind derzeit in fünf Dokumenten enthalten. Es sind dies:

1. DIN EN 1997-1:2014-03. Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013.
2. DIN EN 1997-1/NA:2010-12, Nationaler Anhang.
3. DIN 1054:2010-12. Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1.
4. DIN 1054/A1:2012-08, Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1:2010; Änderung A1:2012.
5. DIN 1054/A2:2015-11. Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1:2010; Änderung A2:2015.