



Liebherr-Werk Nenzing GmbH (Hrsg.)

Kompendium Spezialtiefbau, Teil 2: Baugrundverbesserung

Verfahren, Geräte, Anwendungen, IT-Lösungen

- umfassende Übersicht über die verschiedenen
 Baugrundverbesserungsverfahren
- Hilfe bei Planung und Ausführung
- anschauliche Illustrationen und hochwertige Renderings
- anschauliche Illustrationen und hochwertige Renderings

Das Kompendium gibt in eine umfassende Übersicht über Verfahren, Geräte und Anwendungen im Spezialtiefbau. Es ist als Hilfe für Planung und Ausführung gedacht und soll Praktiker, Behörden und Ingenieurbüros unterstützen. Teil 2 behandelt die Baugrundverbesserung.

BESTELLEN +49 (0)30 470 31-236 marketing@ernst-und-sohn.de www.ernst-und-sohn.de/3281 KOMPENDIUM SPEZIALTIEFBAU
Teil 2: Baugrundverbesserung
Verfahren - Geräte - Anwendungen - IT-Lösungen

11/2022 · ca. 336 Seiten · ca. 150 Abbildungen · ca. 86 Tabellen

Hardcover

ISBN 978-3-433-03281-7

€ 98*

Bereits vorbestellbar.

ÜBER DAS BUCH

Die erste Auflage des Kompendiums Spezialtiefbau hat sich innerhalb kürzester Zeit zu einem Standardnachschlagewerk im Bereich der Spezialtiefbauverfahrensund Maschinentechnik entwickelt. Die Neuauflage des Kompendiums wird nun in vier Teile gesplittet, deren Schwerpunkte auf den Verfahren zum Bohren, zur Baugrundverbesserung, zum Rammen/Rütteln und zum Schlitzen liegen. Jeder Band gibt einen umfassenden Überblick über das behandelte Verfahren, präsentiert sämtliche Maschinendaten, zeigt die Anwendungen und zugehörige IT-Lösungen.

Die umfassende Marktkenntnis der Autoren, ihr Überblick über alle aktuellen Verfahren einschließlich der neuesten Entwicklungen sowie die eigenständige Erfahrung aus der internationalen Anwendungspraxis spiegeln sich im neuen Kompendium Spezialtiefbau wider.

Das neue Kompendium gibt damit eine umfassende Übersicht über die Verfahren, die Geräte und die Anwendungsgebiete im Spezialtiefbau.

Es ist als Hilfe für Planung und Ausführung gedacht und soll Praktiker, Behörden, Ingenieurbüros und Studenten helfen, ihr Wissen zu erweitern und abzurunden.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN/	Titel	Preis
	978-3-433-03281-7	Kompendium Spezialtiefbau, Teil 2: Baugrundverbesserung []	€ 98*

	Privat Ge	schäftlich		
itte richten Sie Ihre Bestellung an: el. +49 (0)30 47031-236 ax +49 (0)30 47031-240	Firma, Abteilung	UST-ID Nr.		
arketing@ernst-und-sohn.de	Name, Vorname	Telefon	Fax	
	Straße, Nr.			
	PLZ/Ort/Land	E-Mail		
www.ernst-und-sohn.de/3281	Datum / Untavashvift			

Vorwort

Im Jahr 2019 wurde mit dem ersten Teil des Kompendiums Spezialtiefbau der Grundstein für eine neue Buchreihe gelegt, die das Ziel verfolgt, auf die gestiegenen Anforderungen an Spezialtiefbauprodukte und die wachsende Komplexität der Verfahrens- und Maschinentechnik im Bereich des Spezialtiefbaus einzugehen. Um in diesem Fachgebiet erfolgreich sein zu können, ist das Wissen über die verschiedenen Spezialtiefbauverfahren und die dazugehörige Gerätetechnik eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen. An dieser Stelle setzt das vorliegende "Kompendium Spezialtiefbau, Teil 2: Baugrundverbesserung" an, das die Buchreihe nun fortführt. Es beschreibt die aktuellen Verfahren, Geräte und Anwendungen für die Baugrundverbesserung im Spezialtiefbau. Ergänzend dazu werden IT-Lösungen vorgestellt, die bei der Baugrundverbesserung zum Einsatz kommen können. Besonders bei den letztgenannten digitalen Hilfsmitteln hat es in den vergangenen Jahren enorme Entwicklungssprünge gegeben, die bei weitem noch nicht beendet sind und auch zukünftig ein großes Potential für Innovationen bieten.

Wie bereits beim Teil 1 des Kompendiums, der sich mit den Bohrverfahren befasst, gilt auch beim jetzt vorliegenden Teil 2: Wir möchten mit dem Buch nicht in Konkurrenz stehen zu Literatur, die sich zwar ebenfalls mit der Errichtung geotechnischer Bauwerke befasst, jedoch vertiefend auf die Dimensionierung und weniger auf die Bauausführung eingeht. Vielmehr soll es als Ergänzung dazu dienen und offene Fragen bezüglich der Bauverfahren und erforderlichen Geräte beantworten. Daher soll das Kompendium sowohl für Planende als auch für Ausführende, aber auch für Neueinsteiger im Spezialtiefbau als Nachschlagewerk dienen und eine Arbeitshilfe für die tägliche Praxis auf der Baustelle sein. Das Kompendium erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, es spiegelt den aktuellen Stand der Technik in den gelisteten Themenbereichen wider. So wurde in einigen Kapiteln auf die Nennung und die Beschreibung von Sonderverfahren verzichtet. Darüber hinaus existieren noch weitere Verfahren, die der Baugrundverbesserung zuzuordnen sind, jedoch im vorliegenden Kompendium nicht behandelt werden. Auf diese Verfahren wird zu Beginn des Kompendiums verwiesen.

An dieser Stelle danken wir ganz besonders der Geschäftsführung der Liebherr-Werk Nenzing GmbH. Schon bei der Erstellung des ersten Teils war klar, mit welch großem zeitlichen und finanziellen Aufwand ein solches Buch verbunden ist. Wir durften dennoch die volle Unterstützung erfahren und konnten somit auch den zweiten Teil des Kompendiums erfolgreich realisieren.

Großer Dank gilt natürlich auch allen Beteiligten, die bei der Erstellung dieses Buchs mitgewirkt haben. An erster Stelle sind die Mitarbeiter der Liebherr-Werk Nenzing GmbH aus den Abteilungen Konstruktion, Produktmanagement, Marketing und Systementwicklung hervorzuheben. Sie unterstützten die beiden Autoren vor allem bei den gerätetechnischen Details. Die Mitarbeiter der Abteilung Marketing erstellten mit großem Engagement und mit viel Akribie die hochwertigen Renderings, die dem Kompendium einen besonderen Charakter verleihen. Darüber hinaus gaben sie dem Buch durch wertvolle Anregungen und das professionelle Lektorat den letzten Feinschliff.

Die zahlreichen anschaulichen Illustrationen im vorliegenden Kompendium sollen das Verständnis erleichtern. Hierfür gilt unser Dank dem Team der Firma kom DESIGN · 1 GmbH, das für die Illustrationen, die grafische Gestaltung und die Gesamtherstellung des Buchs verantwortlich war.

Wir danken außerdem Adam Zehentner für zahlreiche Illustrationen, die er mit hohem technischen Sachverstand und großer Detailschärfe erstellt hat.

Wie bereits bei Teil 1 waren auch bei Teil 2 wieder zahlreiche Zulieferer und Kunden der Liebherr-Werk Nenzing GmbH sehr behilflich. Sie unterstützten die beiden Autoren, indem sie geduldig und uneigennützig zahlreiche Werkzeugmodelle, Fotos und wichtige Informationen teilten. In besonderem Maße halfen hierbei die nachfolgenden Firmen und Personen: BSP, EMDE, Eurodrill, GMB, Karl Rainer Massarsch, MENARD, Obermann, Robl, STRABAG, terra infrastructure, TEC Systems und Vibro Services.

Ebenso danken wir all denjenigen, die hier unerwähnt bleiben und dennoch ihren Teil zum Gelingen beigetragen haben.

Wir hoffen, mit dem vorliegenden Teil 2 des Kompendiums einen Beitrag zur Verbreitung des Wissens über den Spezialtiefbau zu leisten und wünschen allen Freunden dieses Fachgebiets und jenen, die es hoffentlich noch werden, viel Erfolg und viel Vergnügen mit dem Buch.

Nenzing im August 2022

Peter Quasthoff Markus Schönit

Inhaltsverzeichnis

1	Einl	Einleitung1				
	1.1	Hintergrun	d	1		
		1.1.1	Geschichte der Liebherr-Werk Nenzing GmbH	1		
		1.1.2	Entstehung des Kompendiums	2		
	1.2	Aufbau und	d Gebrauch des Kompendiums	2		
		1.2.1	Allgemeines	2		
		1.2.2	Aufbau der Hauptkapitel	3		
		1.2.2.1	Verfahrensprinzip	3		
		1.2.2.2	Eigenschaften und Anwendungsgrenzen	3		
		1.2.2.3	Gerätesystem mit Ausrüstung	3		
		1.2.3	Anwendungen der Baugrundverbesserungsverfahren	3		
		1.2.4	IT-Lösungen	∠		
		1.2.5	Technische Erläuterungen zum Kompendium	∠		
_		_		_		
2	Allg	emeines .		<i>1</i>		
3	Nas	smischen		15		
	3.1	Verfahrensprinzip				
		3.1.1	Unverrohrtes Mischen	16		
		3.1.1.1	Einfachgestänge	16		
		3.1.1.2	Mehrfachgestänge	17		
		3.1.1.3	Endlosschnecken	19		
		3.1.1.4	Gegenläufiger Mischkopf	21		
		3.1.2	Verrohrtes Mischen	22		
		3.1.2.1	Niederdruckspülung	22		
		3.1.2.2	Hochdruckspülung	24		
	3.2	Eigenscha	ften und Anwendungsgrenzen	26		
		3.2.1	Eigenschaften	26		
		3.2.2	Anwendungsgrenzen	27		
	3.3	Gerätesyst	em mit Ausrüstung	28		
		3.3.1	Trägergeräte	28		
		3.3.1.1	Unverrohrtes Mischen	28		
		3.3.1.1.1	Einfachgestänge	28		
		3.3.1.1.2	Mehrfachgestänge	32		
		3.3.1.1.3	Gegenläufiger Mischkopf	34		

3.3.1.2	Verrohrtes Mischen	35
3.3.2	Misch- und Bohrantriebe	36
3.3.2.1	Mischantriebe	36
3.3.2.2	Bohrantriebe	39
3.3.3	Mischanlagen	43
3.3.3.1	Allgemeines	43
3.3.3.2	Anlageneinheiten	44
3.3.3.2.1	Silos und Förderschnecken	44
3.3.3.2.2	Wasserbehälter	44
3.3.3.2.3	Suspensionsmischer.	45
3.3.3.2.4	Vorratsbehälter	46
3.3.3.2.5	Förderpumpen	47
3.3.3.2.5.1	Plungerpumpen	47
3.3.3.2.5.2	Exzenterschneckenpumpen	48
3.3.3.3	Steuerung	48
3.3.3.4	Kompaktmischanlagen	50
3.3.4	Maschinengrenzen	52
3.3.4.1	Unverrohrtes Mischen	52
3.3.4.1.1	Einfachgestänge	52
3.3.4.1.2	Mehrfachgestänge	54
3.3.4.1.3	Gegenläufiger Mischkopf	57
3.3.4.2	Verrohrtes Mischen	58
3.3.5	Werkzeugsystem	59
3.3.5.1	Unverrohrtes Mischen	59
3.3.5.1.1	Einfachgestänge	59
3.3.5.1.2	Mehrfachgestänge	61
3.3.5.1.3	Gegenläufiger Mischkopf	63
3.3.5.2	Verrohrtes Mischen	64
3.3.5.2.1	Druckrohre	64
3.3.5.2.2	Bohrrohre	65
3.3.5.2.3	Schneidschuhe	66
3.3.5.2.4	Kopfstücke	66
3.3.5.2.5	Mischschnecken	67
3.3.5.2.6	Schneckenanfänger	68
3353	Vorechloißtoila	60

4	Tro	ckenmiso	chen	71	
	4.1	Verfahren	nsprinzip	71	
	4.2	Eigensch	naften und Anwendungsgrenzen	72	
		4.2.1	Eigenschaften	72	
		4.2.2	Anwendungsgrenzen	73	
	4.3	Gerätesys	stem mit Ausrüstung	73	
		4.3.1	Trägergeräte	73	
		4.3.2	Kalk-Zement-Station	74	
		4.3.3	Mischantriebe	76	
		4.3.4	Maschinengrenzen	76	
		4.3.5	Werkzeugsystem	77	
5	Fräs	smischer	n	79	
	5.1		nsprinzip		
	5.2	Eigensch	naften und Anwendungsgrenzen	81	
		5.2.1	Eigenschaften	81	
		5.2.2	Anwendungsgrenzen	82	
	5.3	Gerätesys	stem mit Ausrüstung	82	
		5.3.1	Trägergeräte	82	
		5.3.1.1	Mit Kopfführung (TD)	83	
		5.3.1.2	Mit Durchgangsführung (HTGD)	85	
		5.3.2	Kellystangen und Kellyführungen	86	
		5.3.2.1	Kellystangen	86	
		5.3.2.2	Kellyführungen	87	
		5.3.2.3	Konfigurationen	88	
		5.3.3	Fräsmischköpfe	89	
		5.3.4	Maschinengrenzen	90	
		5.3.4.1	Mit Kopfführung (TD)	90	
		5.3.4.2	Mit Durchgangsführung (HTGD)	90	
		5.3.5	Werkzeugsystem	91	
6	Anv	Anwendungen der Bodenmischverfahren9			
	6.1	Allgemeir	nes	93	
	6.2	Unverroh	nrtes Mischen	93	
		6.2.1	Einzelsäulen zur Bodenstabilisierung	93	
		6.2.1.1	Anordnung beim Mischen mit Einfachgestänge	94	
		6.2.2	Bodenmischlamellen zur Bodenstabilisierung	94	

		6.2.2.1	Anordnung beim Mischen mit Zweifachgestänge	95
		6.2.2.2	Anordnung beim Mischen mit Dreifachgestänge	96
		6.2.3	Dichtwände und Baugrubenverbauwände	97
		6.2.3.1	Bodenmischlamellen "frisch in frisch"	97
		6.2.3.2	Bodenmischlamellen im Pilgerschrittverfahren	97
		6.2.3.3	Bodenmischlamellen mit Endlosschnecken im doppelten Pilgerschrittverfahren	98
	6.3	Verrohrtes	s Mischen	99
		6.3.1	Mischen mit Niederdruckspülung im modifizierten Pilgerschrittverfahren	99
	6.4	Fräsmisch	nen	101
	6.5	Statisch b	pelastbare Bodenmischelemente	102
	6.6	Beispiele	für die Anordnung von Bodenmischelementen	103
	6.7	Dimension	nierung von Mischanlagen	104
7	Tief	ienverdic	htung mit Tiefenrüttler	107
•	7.1		sprinzip	
		7.1.1	Rütteldruckverdichtung	
		7.1.2	Rüttelstopfverdichtung	111
		7.1.2.1	Trockenverfahren mit Materialzugabe von der Geländeoberkante	112
		7.1.2.2	Nassverfahren	
		7.1.2.3	Trockenverfahren mit Materialzugabe von der Rüttlerspitze	115
		7.1.3	Rüttelstopfverdichtung mit hydraulischen Bindemitteln	
		7.1.3.1	Vermörteltes Verfahren	
		7.1.3.2	Fertigmörtelverfahren	119
		7.1.3.3	Teilvermörteltes Verfahren	120
		7.1.3.4	Betonrüttelverfahren	121
		7.1.4	Bewehrte Rüttelstopfverdichtung	122
		7.1.4.1	Geokunststoffummantelte Sand- und Schottersäulen	122
	7.2	Eigenscha	aften und Anwendungsgrenzen	123
		7.2.1	Eigenschaften	123
		7.2.1.1	Rütteldruckverdichtung	123
		7.2.1.2	Rüttelstopfverdichtung	125
		7.2.2	Anwendungsgrenzen	126
		7.2.2.1	Allgemeines	126
		7.2.2.2	- Rütteldruckverdichtung	126
		7.2.2.3	Rüttelstopfverdichtung	128
	7 2	Corötoov	etom mit Augrügtung	100

		7.3.1	Trägergeräte	129
		7.3.1.1	Raupenbagger mit Tiefenrüttler	129
		7.3.1.2	Mäklergeführtes Tiefenrütteln	130
		7.3.1.3	Freireitendes Tiefenrütteln	133
		7.3.2	Tiefenrüttler	135
		7.3.2.1	Funktionsweise	135
		7.3.2.2	Elektrische Tiefenrüttler	136
		7.3.2.3	Hydraulische Tiefenrüttler	137
		7.3.3	Luftkompressoren	138
		7.3.4	Maschinengrenzen	139
		7.3.4.1	Raupenbagger	139
		7.3.4.2	Mäklergeführt mit Schleusenrüttler	139
		7.3.4.3	Freireitend	140
		7.3.5	Werkzeugsystem	142
		7.3.5.1	Versenkeinheit für die Rütteldruckverdichtung mit Tiefenrüttler	142
		7.3.5.1.1	Verlängerungsrohre und Rollenkopf	142
		7.3.5.1.2	Verschleiß- und Außenbauteile des Tiefenrüttlers	144
		7.3.5.1.3	Rüttlerspitzen für die Rütteldruckverdichtung	145
		7.3.5.2	Versenkeinheit für die Rüttelstopfverdichtung mit Schleusenrüttler	146
		7.3.5.2.1	Materialschleuse	146
		7.3.5.2.2	Silorohre	148
		7.3.5.2.3	Verschleiß- und Außenbauteile des Tiefenrüttlers	149
		7.3.5.2.4	Rüttlerspitzen für die Rüttelstopfverdichtung	150
8	Tief	enverdich	ntung mit Aufsatzrüttler	153
	8.1	Verfahrens	sprinzip	153
		8.1.1	Mechanische Grundlagen des Rüttelns	153
		8.1.1.1	Grundprinzip	153
		8.1.1.2	Schwingungserzeugung	154
		8.1.1.3	Rammgutbewegung	155
		8.1.1.4	Kenngrößen	156
		8.1.1.4.1	Statisches Moment	156
		8.1.1.4.2	Erregerkraft	157
		8.1.1.4.3	Frequenz	157
		8.1.1.4.4	Schwingweite	157
		8.1.1.4.5	Beschleunigung	158

	8.1.1.4.6	Auflast	.158
	8.1.2	Tiefenverdichtung mit Verdichtungsbohle	.159
	8.1.3	Tiefenverdichtung mit Verrohrung	.160
	8.1.3.1	Rüttelsäulen	.160
	8.1.3.2	Rüttelstopfsäulen	.162
	8.1.3.3	Betonrüttelsäulen	.164
	8.1.3.3.1	Geschlossenes System	.164
	8.1.3.3.1.1	Einrütteln	.165
	8.1.3.3.1.2	Betonieren und Ziehen	.166
	8.1.3.3.1.3	Bewehren	.167
	8.1.3.3.2	Offenes System	.167
	8.1.3.3.2.1	Einrütteln	.168
	8.1.3.3.2.2	Bewehren	.168
	8.1.3.3.2.3	Betonieren und Ziehen	.169
	8.1.3.4	Geokunststoffummantelte Rüttelsäulen	.169
	8.1.3.4.1	Verdrängungsverfahren	.170
	8.1.3.4.1.1	Einrütteln	.170
	8.1.3.4.1.2	Einlegen des Geokunststoffs und Verfüllen mit Zugabematerial	.171
	8.1.3.4.1.3	Ziehen	.172
	8.1.3.4.2	Aushubverfahren	.174
8.2	Eigenschaft	en und Anwendungsgrenzen	.175
	8.2.1	Eigenschaften	.175
	8.2.1.1	Tiefenverdichtung mit Verdichtungsbohle	.175
	8.2.1.2	Tiefenverdichtung mit Verrohrung	.176
	8.2.1.2.1	Rüttelsäulen und Rüttelstopfsäulen	.176
	8.2.1.2.2	Betonrüttelsäulen	.177
	8.2.1.2.3	Geokunststoffummantelte Rüttelsäulen	.178
	8.2.2	Anwendungsgrenzen	.179
	8.2.2.1	Tiefenverdichtung mit Verdichtungsbohle	.180
	8.2.2.2	Tiefenverdichtung mit Verrohrung	.181
	8.2.2.2.1	Rüttelsäulen, Rüttelstopfsäulen, Betonrüttelsäulen	.181
	8.2.2.2.2	Geokunststoffummantelte Rüttelsäulen	.181
8.3	Gerätesyste	em mit Ausrüstung	.182
	8.3.1	Trägergeräte	.182
	8.3.1.1	Mäklergeführt	.182
	8.3.1.2	Freireitend	185

		8.3.2	Ruttler	186
		8.3.2.1	Bauformen	186
		8.3.2.1.1	Aufsatzrüttler	187
		8.3.2.1.2	Gürtelrüttler	188
		8.3.2.1.3	Baggeranbaurüttler	188
		8.3.2.2	Konstantes statisches Moment	189
		8.3.2.3	Variables statisches Moment	190
		8.3.2.3.1	Verstellung mit verteilten Wellen	192
		8.3.2.3.2	Verstellung mit konzentrischen Wellen	193
		8.3.2.4	Resonatoren	194
		8.3.2.5	Klemmzangensysteme	194
		8.3.2.5.1	Klemmzangen	194
		8.3.2.5.2	Wendeplatten und Leisten	196
		8.3.2.5.3	Anordnungsbeispiele	196
		8.3.3	Spülhilfen	197
		8.3.3.1	Außenspülung	197
		8.3.3.2	Innenspülung	198
		8.3.3.3	Spülanlagen	198
		8.3.4	Betonpumpen	199
		8.3.5	Maschinengrenzen	200
		8.3.5.1	Mäklergeführt	200
		8.3.5.2	Freireitend	201
		8.3.6	Werkzeugsystem	201
		8.3.6.1	Tiefenverdichtung mit Verdichtungsbohle	201
		8.3.6.2	Tiefenverdichtung mit Verrohrung	202
		8.3.6.2.1	Rüttelsäulen	202
		8.3.6.2.2	Rüttelstopfsäulen	203
		8.3.6.2.2.1	Rüttelrohr, Einfülltrichter und Vorratsbehälter	203
		8.3.6.2.2.2	Rüttelspitzen	205
		8.3.6.2.3	Betonrüttelsäulen	206
		8.3.6.2.3.1	Geschlossenes System	206
		8.3.6.2.3.2	Offenes System	207
		8.3.6.2.4	Geokunststoffummantelte Rüttelsäulen	208
9	Anv	vendungen	n der Tiefenverdichtungsverfahren	211
	9.1	Rütteldruck	verdichtung	211

	9.1.1	Allgemeines	211
	9.1.2	Verdichtungsraster	212
	9.1.3	Verdichtungsmethoden	214
	9.1.3.1	Stufenweises Ausfahren	215
	9.1.3.2	Intervallstopfen	216
	9.1.3.3	Pilgerschrittmethode	216
	9.1.4	Tandem-Verdichtung	217
	9.1.5	Verdichtungskontrolle	219
9.2	Rüttelstop	fverdichtung	220
	9.2.1	Allgemeines	220
	9.2.2	Säulenraster	222
	9.2.3	Verdichtungsmethoden	225
	9.2.3.1	Stopfschema	225
	9.2.3.2	Bearbeitungsfolge der Verdichtungspunkte	225
	9.2.4	Qualitätskontrolle	226
9.3	Tiefenverd	ichtung mit Aufsatzrüttler	227
	9.3.1	Tiefenverdichtung mit Verdichtungsbohle	227
	9.3.2	Tiefenverdichtung mit Verrohrung	228
	9.3.2.1	Rüttelsäulen	228
	9.3.2.2	Rüttelstopfsäulen	228
	9.3.2.2.1	Allgemeines	228
	9.3.2.2.2	Säulenraster	228
	9.3.2.2.3	Stopfschema	229
	9.3.2.2.4	Bearbeitungsfolge beim Verdichten	229
	9.3.2.2.5	Qualitätskontrolle	230
	9.3.2.2.6	Menge des Zugabematerials	230
	9.3.2.3	Betonrüttelsäulen	231
	9.3.2.4	Geokunststoffummantelte Rüttelsäulen	233
	9.3.2.4.1	Allgemeines	233
	9.3.2.4.2	Beispiele für die Anordnung von geokunststoffummantelten Rüttelsäulen	234
	9.3.2.4.3	Säulenraster	234
	9.3.2.4.4	Systemoptimierung	235
	9.3.2.4.5	Abdichtung gegen gespanntes Grundwasser	236
10 Fall	gewichtsv	verdichtung	239
10.1	Verfahrens	enrinzin	239

	10.1.1	Wirkungsweise	239
	10.1.2	Verfahrensablauf	241
	10.1.3	Tiefenwirkung	242
10.2	2 Eigenscha	aften und Anwendungsgrenzen	244
	10.2.1	Eigenschaften	244
	10.2.2	Anwendungsgrenzen	245
10.3	3 Gerätesys	stem mit Ausrüstung	246
	10.3.1	Trägergeräte	246
	10.3.2	Maschinengrenzen	247
	10.3.3	Werkzeugsystem	247
	10.3.3.1	Fallgewichte	248
	10.3.3.2	Ausklinkvorrichtung	248
11 lm	pulsverdic	htung	251
11.	1 Verfahrens	sprinzip	251
11.5	2 Eigenscha	aften und Anwendungsgrenzen	252
	11.2.1	Eigenschaften	252
	11.2.2	Anwendungsgrenzen	253
11.3	3 Gerätesys	stem mit Ausrüstung	253
	11.3.1	Trägergeräte	253
	11.3.2	Hämmer	255
	11.3.3	Maschinengrenzen	255
	11.3.4	Werkzeugsystem	255
12 An	wendunge	en der Fallgewichtsverdichtung und Impulsverdichtung	257
12.	1 Allgemeine	es	257
12.	2 Ablauf bei	i der Verdichtung	257
	12.2.1	Punkt an Punkt	257
	12.2.2	Einfaches Pilgerschrittverfahren	257
	12.2.3	Doppeltes Pilgerschrittverfahren	258
12.3	3 Sanierung	g von Deichen	258
12.4	4 Herstellun	ng von Schottersäulen	258
12.	5 Verdichtur	ng von Müllkörpern	260
12.0	3 Vertikaldrä	äns als Hilfsmaßnahme	261
	12.6.1	Allgemeines	261
	12.6.2	Arten von Vertikaldräns	261
	1263	Finhau vorgefertigter Dräns	261

13 IT-L	.ösungen		267
13.1	Allgemein	es	267
	13.1.1	Digitalisierung im Bauwesen	267
	13.1.2	Digitalisierung im Spezialtiefbau	267
13.2	Umfeldaut	fnahme	268
13.3	Planung		269
	13.3.1	Maschineneinsatzplanung	269
	13.3.2	MyJobsite	270
	13.3.3	Hubeinsatzplanung	270
	13.3.4	Fahrsimulator	271
13.4	Fahrerass	sistenzsysteme	273
	13.4.1	Fernsteuerung	273
	13.4.2	Steuerungsbildschirm	273
	13.4.3	Kamerasysteme	274
	13.4.4	Positionierungssystem	274
	13.4.5	Prozessdatenerfassung	275
	13.4.6	Mäklerausrichtautomatik	277
	13.4.7	Vorschubassistent	277
	13.4.8	Vertikalitätsassistent	277
	13.4.9	Referenzwertkontrolle beim Nassmischen	277
	13.4.10	Rüttelassistent	278
	13.4.11	Hinderniserkennung	278
	13.4.12	Freifallsteuerung	279
	13.4.13	Windenautomatik	279
	13.4.14	Bodendruckassistent	279
	13.4.15	Anbaugeräteerkennung	280
13.5	Qualitätsm	nanagement	280
	13.5.1	MyJobsite	280
	13.5.1.1	Planung	281
	13.5.1.2	Baufortschritt	281
	13.5.1.3	Prozessdaten	281
	13.5.1.4	Benachrichtigungen	282
	13.5.2	Prozessdatennutzung	282
	13.5.3	Echtzeitüberwachung	283
13.6	Telematiks	system	283
	13.6.1	Maschineninformationen	284

	13.6.2	Benachrichtigungen	284
	13.6.3	Wartung	284
	13.6.4	Berichte	284
	13.6.5	Teleservice	285
14 Tec	hnische E	Erläuterungen zum Kompendium	287
14.1	Trägergerä	äte	287
14.2	Misch- un	d Bohrantriebe	287
14.3	Aufsatzrüt	tler	288
14.4	Hämmer		288
14.5	Technische Daten		
	14.5.1	Mäklerlänge	288
	14.5.2	Abstand Drehachse zu Mischachse bzw. Rammachse bzw. Verdichtungspunkt	288
	14.5.3	Nutzlänge	288
	14.5.3.1	Nassmischen und Trockenmischen	288
	14.5.3.2	Fräsmischen	289
	14.5.3.3	Tiefenverdichtung mit Aufsatzrüttler	291
	14.5.3.4	Tiefenverdichtung mit Tiefenrüttler	292
	14.5.4	Mäklerhöhenverstellung	293
	14.5.5	Auslegerlänge	294
	14.5.6	Gesamthöhe	294
	14.5.7	Hakenhöhe	294
	14.5.8	Rohrlänge	294
	14.5.9	Fallhöhe	294
	14.5.10	Traglast	295
	14.5.11	Windenzugkraft	295
14.6	6 Maschinengrenzen		
	14.6.1	Generelles	295
	14.6.2	Säulendurchmesser und Lamellenabmessungen beim Bodenmischen	295
	14.6.2.1	Nassmischen	295
	14.6.2.2	Trockenmischen	296
	14.6.2.3	Fräsmischen	296
	14.6.3	Säulendurchmesser bei der Tiefenverdichtung mit Aufsatzrüttler	296
	14.6.4	Säulendurchmesser bei der Tiefenverdichtung mit Tiefenrüttler	296
	14.6.4.1	Mäklergeführt mit Schleusenrüttler	296
	14.6.5	Mischtiefen beim Bodenmischen	296

iterat	urverzeich	hnis	307
14.7	raromusie	JI	300
117	7 Forbmusts	er	205
	14.6.10	Zugkraft Kellywinde	305
	14.6.9	Vorspannkraft und Zugkraft	303
	14.6.8	Traglast	303
	14.6.7	Versenktiefen bei der Tiefenverdichtung mit Tiefenrüttler	302
	14.6.6	Rammtiefen bei der Tiefenverdichtung mit Aufsatzrüttler	300
	14.6.5.3	Fräsmischen	300
	14.6.5.2	Trockenmischen	299
	14.6.5.1	Nassmischen	297

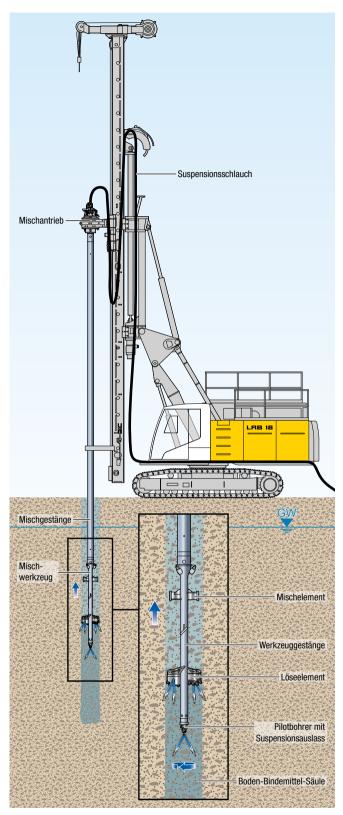


Abb. 3.1: Verfahrensprinzip beim Nassmischen mit Einfachgestänge

3.1 Verfahrensprinzip

3.1.1 Unverrohrtes Mischen

3.1.1.1 Einfachgestänge

Die Mischvorrichtung besteht aus einem Mischgestänge an dessen unterem Ende das Mischwerkzeug angebracht ist. Das Mischgestänge sowie das Werkzeuggestänge werden von einem Mischantrieb oder einem Bohrantrieb, der über einen Schlitten mit dem Mäkler verbunden ist, angetrieben. Der zu verbessernde Boden wird mit dem Mischwerkzeug aufgebrochen und rotationsförmig durchmischt.

Die Herstellung eines Bodenmischelements erfolgt in den folgenden Phasen (siehe auch Abb. 3.3):

In einem ersten Schritt wird am Mischpunkt Mutterboden abgetragen, sofern solcher vorhanden ist, und die Vertiefung mit geeignetem, meist nichtbindigem Material (Sand) bis knapp unter die Geländeoberfläche wieder aufgefüllt. Damit soll vermieden werden, dass sich überschüssige Suspension während des Mischens über die Geländeoberfläche verteilen kann. Das Mischwerkzeug, bestehend aus einem Werkzeuggestänge mit angeordneten Paddeln, Flügeln und/oder Schneiden, wird in den Boden eingedreht. Dazu wird vorab die Bindemittelsuspension, meist eine Wasser-Zement-Bentonitsuspension, in einer Mischanlage gemischt und mittels Förderpumpe über einen Suspensionsschlauch zum Spülkopf des Misch- oder Bohrantriebs gepumpt. Bereits beim Eindrehen wird durch die Suspensionsdüsen im Mischwerkzeug die Bindemittelsuspension eingepresst und eine erste Teilvermischung mit dem Boden erzielt.

Nach dem Erreichen der Endtiefe erfolgen das weitere Durchmischen des Bodens und das Zurückziehen. Beim Ziehen





Abb. 3.2: LB 36 (a) und LRB 355 (b) mit Einfachgestänge

Unterhalb des Mischgestänges befindet sich das Werkzeuggestänge mit den Misch- und Löseelementen und dem Pilotbohrer. Die Mischelemente bestehen in der Regel aus mehreren Mischpaddeln oder –flügeln, die versetzt am Gestänge angeschweißt sind. Während dem Mischen rotieren die Paddel um die vertikale Achse und vermischen den Boden mit der Bindemittelsuspension. Unterhalb der Mischpaddel befindet sich das Löseelement. Dieses kann je nach Anwendung unterschiedlich als Schneide, Teilschnecke oder auch als Schneckenanfänger ausgebildet sein. Das Löseelement kann mit Flachzähnen oder Rundschaftmeißeln bestückt werden. Den unteren Abschluss des Mischwerkzeugs bildet der Pilotbohrer. Dieser kann als Fischschwanzpilotbohrer oder als Rundschaftmeißelpilotbohrer

Der Zahn- oder Meißelbesatz am Löseelement und Pilotbohrer ist auf die vorherrschenden Bodenverhältnisse abzustimmen. Mit einem Flachzahnbesatz können locker gelagerte bis mitteldicht gelagerte nichtbindige Böden sowie Mischböden aufgebrochen und gemischt werden. Rundschaftmeißel werden in mitteldicht bis dicht gelagerte nichtbindigen Böden

eingesetzt.

ausgebildet sein. Zusätzlich kann der Pilotbohrer mit tangential

schneidenden Flachzähnen oder Rundschaftmeißeln bestückt

Die Abb. 3.68 und Abb. 3.70 zeigen verschiedene Ausführungsformen von Mischwerkzeugen, die je nach Bodenbeschaffenheit eingesetzt werden.

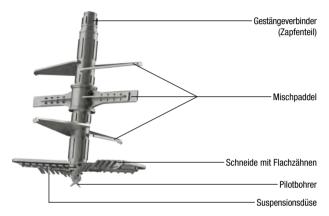


Abb. 3.68: Mischwerkzeug mit Paddeln, Schneiden und Pilotbohrer mit Flachzahnbesatz

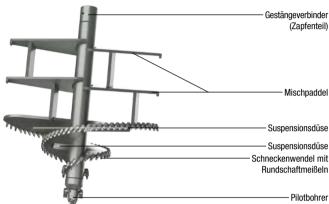


Abb. 3.70: Mischwerkzeug mit Paddeln, Schneckenanfänger und Pilotbohrer mit Rundschaftmeißelbesatz



Abb. 3.69: Mischwerkzeug mit Paddeln, Schneiden und Pilotbohrer mit Flachzahnbesatz

Am Mischwerkzeug befinden sich die Suspensionsdüsen für den Bindemittelauslass. Die Bindemittelsuspension wird über den Suspensionsspülkopf oberhalb des Misch- bzw. Bohrantriebs durch das Mischgestänge bis zum Mischwerkzeug geleitet. Über die Düsen tritt die Bindemittelsuspension aus und wird in den vom Löseelement aufgebrochenen Boden injiziert.

Die Mischwerkzeuge sind in verschiedenen Durchmessern von 500 mm bis über 3.000 mm erhältlich.



Abb. 3.71: Mischpaddel beim Spülen mit Wasser

7.1.3.2 Fertigmörtelverfahren

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Rüttelstopfsäulen mit Fertigmörtel herzustellen. Dazu wird als Baustoff erdfeuchter Beton (Konsistenzklasse C1, [52]) verwendet. Der Fertigmörtel wird werksseitig hergestellt und kann analog zum Baustoff Kies direkt auf der Baustelle für den unmittelbaren Einbau abgekippt und zwischengelagert werden. Der Fertigmörtel wird dann mit Hilfe eines Radladers in den Materialkübel gefüllt und der Materialschleuse zugeführt. Eine separate Misch- und Pumpanlage wie beim vermörtelten Verfahren ist dafür nicht erforderlich.

Die Säulenherstellung und das Stopfen erfolgen analog der herkömmlichen Rüttelstopfverdichtung, siehe Abb. 7.20.

Der Tiefenrüttler wird unter Druckluftzugabe bei geschlossener Materialschleuse in den zu verbessernden Boden versenkt. Nach Erreichen der Endtiefe wird das System drucklos geschaltet und die Materialschleuse geöffnet, sodass der Fertigmörtel im Inneren des Silorohrs bis zur Rüttlerspitze rutscht. Beim Ziehen des Rüttlers tritt der Fertigmörtel an der offenen Rüttlerspitze in den entstandenen Hohlraum aus und wird beim Wiederversenken seitlich in den Boden gedrückt.

Im weiteren Verlauf der Säulenherstellung erfolgen das stufenweise Ziehen und Wiederversenken des Schleusenrüttlers in vorgegebenen Tiefenstufen, bei gleichzeitiger Zugabe des Fertigmörtels, bis eine komplette Mörtelsäule über die gesamte Säulenlänge gestopft ist.

Auch beim Fertigmörtelverfahren sollte die undrainierte Scherfestigkeit des zu behandelnden Bodens mindestens $c_u \ge 15 \text{ kN/m}^2$ aufweisen. Fertigmörtelstopfsäulen können je nach anstehendem Baugrund und zugegebenem Mörtelmaterial für zulässige Belastungen zwischen 350 und 500 kN ausgelegt werden [88]. Diese Säulen haben in der Regel geringe Verformungen, da zum einen durch intensives Stopfen eine sehr gute Verzahnung mit dem umgebenden Baugrund geschaffen wird. Zum anderen wird ein tragfähiger innerer Verbund durch die Vermörtelung erzielt.

Dadurch, dass bei diesem Verfahren keine externe Mischanlage mit Pumpe benötigt wird sowie keine zusätzliche Schlauchleitung für die Suspension bzw. das Suspensionsrohr am Schleusenrüttler mitzuführen ist, zählt das Fertigmörtelverfahren zu den wirtschaftlichsten und leistungsstärksten Verfahren unter den Rüttelstopfverfahren mit hydraulischen Bindemitteln.

Bei hohen Außentemperaturen sollten dem angelieferten Fertigmörtel bereits werksseitig je nach Bedarf Zusatzmittel (Verzögerer) beigemischt werden und/oder der auf der Baustelle abgeladene Fertigmörtel sollte mit einer Schutzfolie abgedeckt

Ansetzen des Schleusenrüttlers am Verdichtungspunkt

Versenken des Schleusenrüttlers unter Druckluftzufuhr, dabei Vorverdichtung des **Bodens**

Nach Erreichen der Endtiefe Einfüllen des Fertigmörtels in den Einfülltrichter und Beginn des Stopfvorgangs



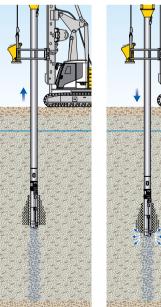


Fertige Mörtelstopfsäule









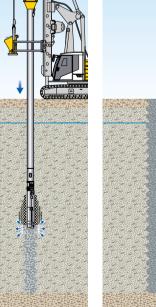


Abb. 7.20: Verfahrensablauf bei der Rüttelstopfverdichtung mit Fertigmörtel





Abb. 7.26: Bewehrte Rüttelstopfverdichtung: Schleusenrütller mit übergestülptem Geotextilstrumpf (a), beim Stopfen (b)

Nach dem Stopfen erhält man einen Verbund zwischen dem Kies und dem Geotextil, der wie eine äußere Bewehrung wirkt. Die seitliche Ausdehnung der Kiessäule in den umgebenden Boden infolge vertikalen Lasteintrags wird durch das Geotextil eingeschränkt. Dadurch können die Einzelsäulen höhere Lasten aufnehmen als Säulen ohne Geotextilummantelung, ohne dass diese abscheren. Ein weiterer Anwendungsbereich für geotextilummantelte Säulen findet sich in einer verbesserten Drainagewirkung des Baugrunds. Durch das Geotextil wird das Eintreiben von Feinanteilen in die Kiessäule vermindert, sodass die Drainagewirkung der Säule längerfristig aufrechterhalten bleibt gegenüber reinen Kiessäulen [88].



Abb. 7.27: Verdichtungstrichter über den verdichteten Bodenkörpern

7.2 Eigenschaften und Anwendungsgrenzen

7.2.1 Eigenschaften

7.2.1.1 Rütteldruckverdichtung

Die Rütteldruckverdichtung zählt zu den klassischen Verfahren einer Tiefenverdichtung, bei der eine Eigenverdichtung des zu behandelnden Baugrunds erfolgt. Dieser besteht in der Regel aus nichtbindigen Böden (Sand, Kies) mit geringen Anteilen an feinkörnigen Böden (Ton, Schluff). Bei der Rütteldruckverdichtung werden keine Säulen im eigentlichen Sinn hergestellt, sondern es entstehen an den jeweiligen Verdichtungspunkten zylindrisch verdichtete Bodenkörper. Demzufolge kann einem einzelnen Verdichtungspunkt auch keine Last, wie es bei einer Säule oder einem Pfahl erfolgt, zugeordnet werden. Die zylindrischen Bodenkörper haben einen Ausdehnungsbereich um den Verdichtungspunkt in Abhängigkeit von den Baugrundverhältnissen, dem eingesetzten Tiefenrüttler und der Behandlungsdauer mit einem Durchmesser zwischen 1,5 bis zu 5,0 m, siehe Abb. 7.27. Durch ein flächiges Verdichtungsraster entstehen kompakte Verdichtungskörper, die beispielsweise Fundamentlasten abtragen können, siehe Abb. 7.28.

Die Rütteldruckverdichtung zeichnet sich durch weitere Eigenschaften aus [95]:

- Nichtbindige Böden können sich durch Vibrationen in eine höhere Lagerungsdichte umlagern
- Zunahme des Reibungswinkels um üblicherweise bis zu 8°
- Erhöhung der Scherfestigkeit grobkörniger Böden durch die Verdichtung
- Verringerung der Durchlässigkeit des Bodens um das 2- bis 50-Fache
- Vorwegnahme von Setzungen für nachträgliche Bebauungen. Das Setzungsmaß des zu behandelnden Baugrunds liegt im Größenbereich zwischen 2 und 15 %, im Mittel bei ca. 5 %
- Erhöhung des Steifemoduls des zu behandelnden Bodens um das 2- bis 5-Fache
- Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens. Übertragung von Flächenpressungen zwischen 400 und 800 kN/m².

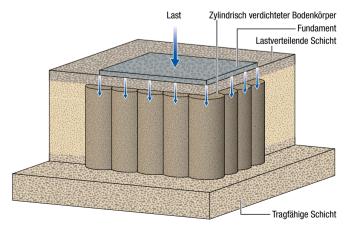


Abb. 7.28: Lastverteilung einer Flachgründung auf einem verdichteten Sand-Kies-Gemisch

7.3.1.2 Mäklergeführtes Tiefenrütteln

Beim mäklergeführten Tiefenrütteln kommen die Trägergeräte der LB-, LRB- und LRH-Serie zum Einsatz. Dabei ist die Versenkeinheit über eine Adapterplatte mit dem Mäklerschlitten des Trägergeräts verbunden und kann somit über das Vorschubsystem verfahren werden, wodurch Zieh- und Vorschubkräfte zur Verfügung stehen.

Bei der LB-Serie sowie dem LRB 23 und LRB 355 ist der Mäkler als Starrmäkler ohne Dreheinrichtung ausgebildet und mit einem breiten Mäklerprofil ausgestattet.

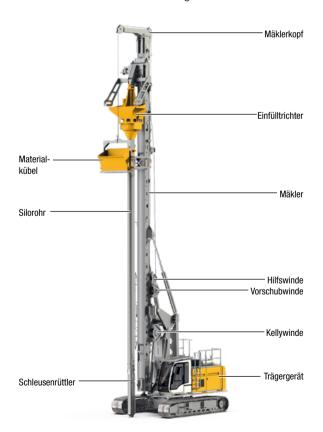
Die anderen Trägergeräte der LRB-Serie (LRB 16/18, LRB 125 bis LRB 255) wurden als multifunktionale Geräte sowohl für den Einsatz als Ramm- und Bohrgeräte entwickelt und mit einer Mäklerdreheinrichtung ausgestattet, die ein Drehen des Mäklers um +/- 90° um die Vertikalachse ermöglicht. Das Mäklerprofil dieser Trägergeräte ist deutlich schmaler ausgebildet im Vergleich zu den Starrmäklern der LB-Serie, des LRB 23 und LRB 355.

Alle Trägergeräte der LRB-Serie besitzen dafür eine hydraulische Mäklerhöhenverstellung zur Nutzlängenerhöhung, um bei den verschiedenen Tiefenrüttelverfahren eine größere Arbeitstiefe zu erzielen. Die Trägergeräte der LRB-Serie weisen vergleichsweise deutlich höhere Motorleistungen und somit größere Hydraulikleistungen als die der LB-Serie auf. Bei allen Trägergeräten der LB- und LRB-Serie ist es möglich, hohe Zugkräfte über das Seilvorschubsystem zu übertragen.

A B

Abb. 7.38: Trägergerät der LB-Serie mit Rüttelstopfverdichtungsausrüstung

Mit den Trägergeräten der LB- und LRB-Serie kann nur eine Rüttelstopfverdichtung ausgeführt werden. Eine Verdichtung mit dem Rütteldruckverfahren ist mit diesen Trägergeräten nicht möglich, da sich durch die geringe Mäklerausladung der Verdichtungspunkt immer in unmittelbarer Gerätenähe befinden würde. Erforderliche Sicherheitsabstände infolge möglicher Setzungen am Verdichtungspunkt können nicht eingehalten werden, sodass die Standsicherheit der Trägergeräte nicht gewährleistet werden kann. Auch ist es durch die Ausbildung eines Absenktrichters nicht möglich sich beim Ziehen der Versenkeinheit mit dem Mäklerfuß auf dem Boden abzustützen. Als weitere Erschwernis kommt hinzu, dass für die Materialzugabe das erforderliche Aufschütten mit Sandoder Kiesmaterial um den Absenktrichter herum mittels Radlader durch den Mäkler behindert ist. Daher werden die Trägergeräte der LB- und LRB-Serie nur bei der Rüttelstopfverdichtung eingesetzt. In den meist bindigen Böden ist die Gefahr von unmittelbaren Setzungen um den Verdichtungspunkt oder der Ausbildung von gro-Ben Absenktrichtern deutlich reduziert. Eine Abstützung mit dem Mäklerfuß während der Säulenherstellung ist jederzeit möglich. Bei der Ausführung von Rüttelstopfsäulen haben die Mäklergeräte Vorteile gegenüber Raupenkranen und Seilbaggern. Zum einen verfügen sie durch das Vorschubsystem über Zieh- und Vorspannkräfte, die während der Säulenherstellung genutzt werden können. Zum anderen ist eine genauere Einhaltung der Vertikalität der Rüttelstopfsäule durch die Mäklerführung gegeben, da der Mäkler als zusätzliche vertikale Rammführung dient.



Einrütteln der Nach Erreichen der Ziehen der Ramm-Ausformen des Ansetzen der Rammlanze bis Endtiefe Füllen der Säulenfußes durch lanze beim gleichauf Endtiefe, dabei Druckkammer, da-Rammlanze am Ziehen und Wiederzeitigen Betonieren Säulenpunkt bei Druckaufbau in Vorverdichtung des einrütteln des Säulenschafts **Bodens** der Kammer

Abb. 8.22: Verfahrensablauf bei der Herstellung von Betonrüttelsäulen mit geschlossenem System

diesen. Somit wird eine durchgehende Ortbetonsäule bis zur Geländeoberkante hergestellt. Die Säulenherstellung erfolgt demnach in einem geschlossenen System, bei dem der Beton von einer Betonpumpe in einer durchgehenden Förderleitung mit Überdruck bis zum Betonauslass am unteren Ende der Rammlanze gefördert wird. Die Durchmesser von Betonrüttelsäulen sind jedoch kleiner als die bei gebohrten Pfählen. Sie liegen in der Regel in einem Bereich zwischen ca. 300 und 450 mm.

Die Fußausbildung der Rammlanze bzw. die Rammspitze und der Verschlussmechanismus sowie der Rammlanzenkopf können unterschiedlich konstruiert sein. Es existieren verschiedene Ausführungen, die in der gängigen Praxis eingesetzt werden. Im vorliegenden Kapitel wird daher lediglich eine mögliche Konstruktionsvariante beschrieben, die häufig verwendet wird.

Der Ablauf zur Herstellung einer Betonrüttelsäule im geschlossenen System läuft wie folgt ab, siehe Abb. 8.22.

8.1.3.3.1.1 Einrütteln

Die Rammlanze wird am Säulenpunkt angesetzt, der Rüttler in Betrieb genommen und danach in den zu verbessernden Boden eingerüttelt. Das Einrütteln erfolgt mit Hilfe der Vorspannkraft über das Vorschubsystem des Trägergeräts, bis die geforderte Endtiefe erreicht ist. Der Verschlussmechanismus am Fuß der Rammlanze ist dabei verschlossen, sodass kein Boden





Fertige Beton-

rüttelsäule

Abb. 8.23: Betonrüttelsäulen: LRB 18 mit LV 20 F und Rammlanze (a), beim Ansetzen der Rammlanze am Säulenpunkt (b)

durch die Rammspitze in die Lanze eindringen kann. Beim Einrütteln wird der Boden von der Rammspitze aufgebrochen und von der nachfolgenden Rammlanze verdrängt sowie seitlich in den umgebenden Boden gedrückt. Bereits hierbei wird der Boden im unmittelbaren Bereich um die Rammlanze vorverdichtet. Nach Erreichen der Endtiefe verbleibt der Rüttler in Betrieb und es erfolgen das Betonieren und das Ziehen der Rammlanze.

Daher existieren unterschiedliche Ausführungsformen für den Einfülltrichter, siehe Abb. 8.80a und b.

Alle Varianten haben gemeinsam, dass der Einfülltrichter im Bereich der Klemmlaschen verstärkt ausgeführt werden muss, um ein Ausreißen der Trichterwandung in diesem Bereich zu vermeiden. Ebenso kann der Trichter selbst mit Stegblechen verstärkt werden, um einer vorzeitigen Rissbildung infolge der permanenten Vibrationen vorzubeugen. Der Einfülltrichter ist in der Regel fest am Rüttelrohr angeschweißt, es existieren aber auch Ausführungen, bei denen das Rüttelrohr mit dem Stutzen des Einfülltrichters über Flanschverbindungen fest verschraubt wird. Es gibt aber auch geschraubte Verbindungen, bei denen die Aufhängung des Trichters noch mit Dämpfungselementen versehen ist, um eine Schwingungsübertragung in den Trichter zu reduzieren, siehe Abb. 8,82a.

Es ist auch möglich, das Rüttelrohr im oberen Bereich zusätzlich mit einer Aufweitung zu versehen, um eine Bevorratung von Zugabematerial zu ermöglichen. Wenn das Stopfvolumen in weichen Böden sehr groß ist und dadurch eine große Menge an Zugabematerial eingebracht wird, kann es erforderlich sein, zusätzlich zum Einfülltrichter eine Bevorratung am oberen Ende des Rüttelrohrs vorzunehmen. Ein solcher Vorratsbehälter liegt dann zwischen dem Rüttelrohr und dem Einfülltrichter.

Bei dieser Ausführungsform wird das Rüttelrohr direkt im aufgeweiteten Kopfbereich von den Doppelklemmzangen des Rüttlers geklemmt, siehe Abb. 8.81a und b. Daher sollte das Rüttelrohr in diesem Bereich verstärkt und mindestens mit einer Wandstärke von 30 mm versehen werden.

In diesem Fall wird der Einfülltrichter nicht am Rüttelrohr angebracht, sondern er wird oberhalb des Vorratsbehälters direkt am Federjoch des Rüttlers angeschraubt. Durch die Befestigung am Federjoch soll eine Übertragung der Vibrationen auf den Einfülltrichter minimiert werden.



Abb. 8.80: Rüttelrohr mit Einfülltrichter und Klemmlaschen, für Einzelklemmzangen (a), für Doppelklemmzangen (b)





Abb. 8.81: Rüttelrohre mit Einfülltrichter und Vorratsbehälter

Werden Gürtelrüttler zur Herstellung von Rüttelstopfsäulen eingesetzt, erfolgt das Klemmen des Rohrs durch spezielle Klemmeinsätze im Gürtelrüttler, sodass das oben offene Rohr über den Rüttler ragt. Die Klemmeinsätze klemmen von außen das Rohr fast vollumfänglich, sodass keine Gefahr für ein Ausreißen der Rohrwandung besteht und eine Rohrwandverstärkung für diesen Bereich nicht erforderlich ist. Auf dem Rohr wird dann ein Einfülltrichter festgeschweißt, der allerdings aufgrund der direkten Vibrationsübertragung vom Rüttelrohr mit angeschweißten Stegblechen verstärkt sein sollte, siehe Abb. 8.38.

Für die Wahl des optimalen Bevorratungssystems ist die Art und Weise der Befüllung des Trichters bzw. Rüttelrohrs in Betracht zu ziehen. Das Einfüllen des Zugabematerials kann entweder mit einem Teleskoplader (Abb. 8.82a) oder mit einem Radlader (Abb. 8.82b) erfolgen.

Die Vorteile beim Teleskoplader liegen darin, dass das Einfüllen auch während des Stopfvorgangs erfolgen kann, also wenn das Rüttelrohr mit Einfülltrichter bereits gezogen werden. Durch das Befüllen beim Stopfen können demzufolge auch kleinere und somit leichtere Einfülltrichter mit geringerem Volumen angebaut werden. Dies wirkt sich wiederum positiv auf die Rüttelleistung aus, da eine geringere Schwingmasse beim Stopfen bewegt werden muss.

Eine Einschränkung beim Teleskoplader ist allerdings eine begrenzte Hubhöhe, die ungefähr im Bereich von 10 m Höhe liegt. Darüber hinaus erhöht sich mit zunehmender Einfüllhöhe die Zeit für das Ein- und Ausfahren des Teleskopauslegers und inklusive Materialtransport somit die Dauer der Einfüllzyklen. Daher ist es auch wichtig, das Zugabematerial in unmittelbarer Nähe am Einbauort zu deponieren.

Werden Radlader eingesetzt, muss das komplette Befüllen mit Zugabematerial für die Säule nach dem Einrütteln bzw. nach dem Erreichen der Endtiefe des Rüttelrohrs erfolgen. Eine nachträgliche Befüllung während des Stopfens ist aufgrund der geringen Schütthöhe des Radladers nicht möglich.

Das bedeutet, die Größe des Einfülltrichters und/oder des Vorratsbehälters muss für das Volumen des lose eingefüllten Säulenmaterials dimensioniert sein. Dadurch ist die Bauweise

Anwendungen der Tiefenverdichtungsverfahren

Rütteldruckverdichtung 9.1

9.1.1 Allgemeines

Die Rütteldruckverdichtung kommt vor allem zur Verbesserung von locker gelagerten Sanden und Kiesen sowie künstlichen Anschüttungen zur Anwendung. Mit diesem Verfahren wird bevorzugt ein flächenhaft belasteter Baugrund verbessert (z.B. für Tanklager, Straßendämme, Lagerhallen, Industrieflächen). Eine weitere Anwendungsmöglichkeit besteht in der Verdichtung (Volumenreduzierung) von Schlacke- und Abraumhalden.

Ein wesentlicher Bestandteil der Sanierung ehemaliger Braunkohletagebaue in Deutschland ist die Wiederherstellung der Standsicherheit von gekippten Böschungen und damit die Herstellung einer geotechnisch sicheren Bergbaufolgelandschaft. Dazu sind Tiefenverdichtungsmaßnahmen in den Kippengebieten erforderlich. Eine Kippenverdichtung mittels einer Rütteldruckverdichtung (siehe Abb. 9.2) ist eine wichtige Maßnahme zur Vermeidung von Hangrutschungen, Setzungen, Grundbruch sowie Fließerscheinungen, insbesondere bei Wiederanstieg des Grundwasserspiegels. Hergestellt werden sogenannte Stützkörper als "versteckte" Dämme bzw. Aufstandsflächen für eine spätere Bebauung der Oberfläche mit Verkehrstraßen, Gewässern oder Aufschüttungen. Mit dem

gegenwärtigen technischen Stand sind Rütteltiefen von bis zu 75 m herstellbar.

Darüber hinaus findet die Rütteldruckverdichtung auch Anwendung im Offshore-Bereich durch eine Unterwasserverdichtung von lose geschütteten Kiessanden bei Hafenanlagen, aber auch für Gründungen von Brückenfundamenten oder für nachträglich geschüttete Ufereinfassungen. Diese Verdichtungsarbeiten erfolgen meistens mit großen Seilbaggern entweder vom Ufer aus oder auf dem Wasser von schwimmenden Arbeitsplattformen aus, siehe Abb, 9.1.



Abb. 9.1: Unterwasserverdichtung



Abb. 9.2: Kippenverdichtung

Wird dann die Arbeitsphase beendet, kann sich der Porenwasserdruck während einer Ruhephase abbauen. Dabei erfolgt eine Konsolidierung des Bodens in eine dichtere Lagerung und der Boden erlangt eine höhere Tragfähigkeit als vorher.

Der Porenwasserüberdruckabbau erfolgt schneller als bei einer vergleichbaren statischen Belastung, die z.B. im Rahmen von Durchlässigkeitsversuchen im Labor durchgeführt wurde [10]. Dies ist auf eine Erhöhung der Durchlässigkeit aufgrund von Rissbildung, die radial ausgehend vom Aufschlagpunkt entsteht, zurückzuführen [92].

Die Dauer der Ruhephasen ist baugrundabhängig und kann von einigen Stunden bis zu wenigen Wochen dauern [70].

10.1.2 Verfahrensablauf

Bevor mit der Ausführung einer Fallgewichtsverdichtung begonnen wird, muss – sofern nicht bereits vorhanden – ein ausreichend tragfähiges Arbeitsplanum aus grobkörnigem Boden auf den zu verdichtenden Baugrund aufgebracht werden. Es dient neben dem Abtrag der Lasten aus dem Trägergerät auch als Auflast um ein Ausweichen des Baugrunds an der Geländeoberkante zu verhindern. In wasserhaltigen Böden übernimmt es zusätzlich die Funktion als Dränschicht.

Nach der Einteilung der zu verdichtenden Fläche in ein gleichmäßiges Raster mit einzelnen Verdichtungspunkten, wird jeder Verdichtungspunkt wie nachfolgend beschrieben und in Abb. 10.6 dargestellt bearbeitet:

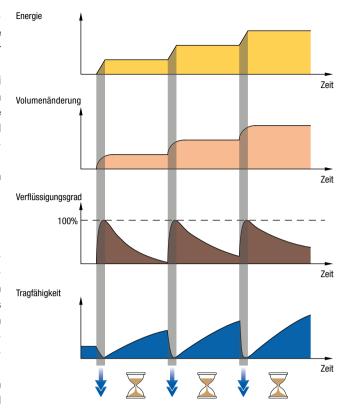


Abb. 10.7: Qualitative Veränderung des Bodens bei der Fallgewichtsverdichtung nach [70]

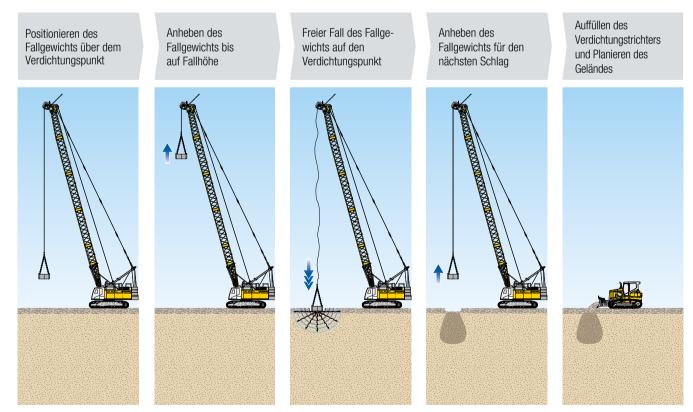


Abb. 10.6: Verfahrensablauf bei der Fallgewichtsverdichtung



Abb. 13.15: Steuerungsbildschirm

von virtuellen Rundinstrumenten, Balken oder als Zahlen angezeigt werden.

Bei auftretenden Störungen kann am Steuerungsbildschirm eine Diagnoseseite mit Gerätefunktionen aufgerufen werden. Diese dynamische Diagnose kann aufgezeichnet werden und bei der Fehlerbehebung durch einen Service-Mitarbeiter unterstützen.

13.4.3 Kamerasysteme

Kameras auf dem Oberwagen des Trägergeräts tragen zur Erhöhung der Sicherheit bei, da der Gerätefahrer durch das Einblenden der Kamerabilder auf einem Bildschirm in der Fahrerkabine (siehe Abb. 13.16) eine Sicht auf die Bereiche hinter dem Gerät und um das Gerät herum gewinnt. Weitere Kamerapositionen sind möglich, z.B. am Mäkler und/oder am Podest des Gürtelrüttlers, um eine optische Überwachung durch den Fahrer in schwer einsehbaren Bereichen zu erhalten.

13.4.4 Positionierungssystem

Zur präzisen Ausrichtung des Trägergeräts und seiner Anbauwerkzeuge am Ansatzpunkt steht das Positionierungssystem LIPOS® zur Verfügung. Bei der konventionellen Positionierung richtet der Gerätefahrer das Werkzeug über einem zuvor auf der Geländeoberkante abgesteckten oder eingezeichneten Punkt aus. Dabei wird er oftmals noch unterstützt durch einen Einweiser. Bei der digitalen Lösung LIPOS bildet ein digitaler Positionsplan die Grundlage. Dieser wird drahtlos oder mittels Speichermedium in die Fahrerkabine übertragen, wo er auf einem separaten Bildschirm angezeigt werden kann (siehe Abb. 13.16). Über diesen Bildschirm kann der gewünschte Ansatzpunkt vorgewählt werden. Über Pfeile und Abstandsangaben wird der Gerätefahrer zum Punkt geleitet, wobei er die Fahrund Mäklerbewegungen händisch auslösen muss.

Die technische Grundlage für LIPOS bildet die DGNSS-Technologie (Differentielles Globales Navigationssatellitensystem). Umgangssprachlich ist die Satellitennavigation hauptsächlich unter der US-amerikanischen Systembezeichnung GPS (Global Positioning System) bekannt. Hierbei senden Satelliten, die sich in der Erdumlaufbahn befinden, ständig Positionsdaten. Am Mäkler bzw. Gittermastausleger des Trägergeräts befinden sich zwei Antennen, die die Satellitensignale aufnehmen und an den Empfänger, der sich im Oberwagen befindet, weiterleiten (siehe Abb. 13.17a).

Der Empfänger berechnet anhand der Satellitensignale die Position des Trägergeräts, was der Standard-GNSS-Technik entspricht. Für die meisten Bauanwendungen ist die



Abb. 13.16: Bildschirme in der Fahrerkabine: Steuerung (unten), LIPOS (Mitte), Kamerasystem (oben links), PDE (oben rechts)





Abb. 13.17: GNSS-Antennen am Mäkler (a), Basisstation (b)