

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 529

Auskolkungen an pfahlartigen Bauwerksgründungen

März 2021

VORSCHAU

VORSCHAU

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 529

Auskolkungen an pfahlartigen Bauwerksgründungen

März 2021

VORSCHAU

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft,
Abwasser und Abfall e. V. (DWA)
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

© DWA, 1. Auflage, Hennef 2021

Satz:

Christiane Krieg, DWA

Druck:

Bonner Universitäts-Buchdruckerei

ISBN:

978-3-96862-066-4 (Print)

978-3-96862-067-1 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Merkblatts darf vorbehaltlich der gesetzlich erlaubten Nutzungen ohne schriftliche Genehmigung der Herausgeberin in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Bilder und Tabellen, die keine Quellenangaben aufweisen, sind im Rahmen der Merkblätterstellung als Gemeinschaftsergebnis des DWA-Fachgremiums zustande gekommen. Die Nutzungsrechte obliegen der DWA.

Vorwort

In Fließgewässern und küstennahen Bereichen sowie Offshore werden Bauwerke gegründet, die der Strömung ausgesetzt sind. An der Bauwerksgründung kann es durch die Strömung zu lokalen Erosionen, den sogenannten Auskolkungen, kommen. Dabei wird im Bereich der Bauwerksgründung die Gewässersohle erodiert. Bei der Planung der Bauwerksgründung stellt sich zumeist die Frage nach der maximalen Tiefe und der maximalen Ausdehnung der Auskolkungen, um bautechnisch diesen Auskolkungen vorbeugen zu können, beispielsweise durch eine Gründung, die tiefer ausgelegt wird, als die maximale Kolkentiefe, oder durch einen Kolkschutz.

Da die physikalischen Prozesse bei der Interaktion zwischen Strömung, Sediment und Bauwerk noch nicht abschließend verstanden sind, ist die Prognose der zu erwartenden Auskolkungsprozesse nach wie vor mit Unsicherheiten behaftet und die in der Literatur verfügbaren Berechnungsverfahren führen zum Teil zu stark abweichenden Ergebnissen. Vielfach sind deshalb Untersuchungen zu Auskolkungsprozessen Gegenstand der aktuellen Forschung und von Naturbeobachtungen. Die Erkenntnisse aus diesen zumeist experimentellen Forschungen und aus den Naturbeobachtungen verbessern schrittweise das Verständnis der beim Auskolkungsprozess ablaufenden komplexen Prozesse.

Das vorliegende Merkblatt legt den Schwerpunkt auf die pfahlartigen Bauwerksgründungen, da diese den größten Teil der Bauwerksgründungen in Fließgewässern, küstennahen Bereichen und Offshore umfassen. Ziel ist es, dem planenden Ingenieur eine Hilfestellung bei der Planung der Bauwerksgründung zu geben. Hierzu wurden aus der zumeist englischsprachigen Literatur eine Vielzahl von Berechnungsverfahren und Ansätze gesichtet und wesentliche Inhalte daraus in diesem Merkblatt für die ingenieurpraktische Anwendung zusammengeführt.

Magdeburg, im Januar 2021

Bernd Ettmer

In diesem Merkblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird die weibliche und die männliche Form verwendet. Ist dies aus Gründen der Verständlichkeit nicht möglich, wird nur eine von beiden Formen verwendet. Alle Informationen beziehen sich aber in gleicher Weise auf alle Geschlechter.

Frühere Ausgaben

Kein Vorgängerdokument

Verfasser

Dieses Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe WW-2.7 „Auswirkungen an Bauwerken“ im Auftrag des DWA-Hauptausschusses „Wasserbau und Wasserkraft“ (HA WW) im Fachausschuss WW-2 „Morphodynamik und Sedimentmanagement“ erarbeitet.

An der Erstellung des Merkblatts waren folgende Personen beteiligt:

ETTMER, Bernd	Prof. Dr.-Ing., Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft, Magdeburg (Sprecher)
ALVARADO-ANCIETA, Cesar	Dipl.-Ing, M.Sc., International Expert Wasserkraft und Wasserbau, Nürnberg-Lima-Prag-Sandvika
BLECK, Matthias	Dr.-Ing., Bremen
BROICH, Karl	Dr.-Ing., Ibb Ingenieur Büro Dr. Karl Broich, München
GRIES, Frank	Dipl.-Ing. (FH), Ing.-Gesellschaft mbH Heidt + Peters, Abteilung Wasserbau, Celle
LINK, Oscar	Prof. Dr.-Ing., Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Civil, Chile
MEYERING, Henrich	Dr.-Ing., Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit GmbH (GRS), Abteilung Strahlenschutz, Berlin
PFLEGER, Florian	Dr.-Ing., Aquasoli Ingenieurbüro, Bauwesen, Traunstein
SCHMIDT, Eckard	Dr.-Ing., WKC Hamburg GmbH, Planungen im Bauwesen, Hamburg
STAHLMANN, Arne	Dr.-Ing., Ramboll, Hamburg
UNGER, Jens	Dr.-sc. techn., AFRY Deutschland GmbH, Berlin
WEICHERT, Roman	Dr.-sc. techn., Bundesanstalt für Wasserbau, Binnenbereich, Karlsruhe
WERTH, Katja	Dipl.-Ing., Bremen
ZANKE, Ulrich	Em. Prof. Dr.-Ing., TU Darmstadt, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Darmstadt

Dem DWA-Fachausschuss WW-2 „Morphodynamik und Sedimentmanagement“ gehören folgende Mitglieder an:

PFEFFERKORN, Christel	Dipl.-Ing., Geschäftsführerin, PICON GmbH, Dresden (Obfrau)
HUBER, Nils	Dr.-Ing, Referatsleiter Flussbau (W2), Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe (Stellvertretender Obmann)
DETERING, Michael	Dr.-Ing., Detering & Partner, Werne
DIETL, Volker	Dipl.-Ing., Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG, Wilhelmshaven
ETTNER, Bernd	Prof. Dr.-Ing., Hochschule Magdeburg-Stendal, FB Wasser- und Kreislaufwirtschaft, Magdeburg
HAHN, Jens	Dr. Dipl.-Geogr., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Referat G2, Koblenz
HILDEBRANDT, Ina	Dr. rer. nat., BGD ECOSAX GmbH, FB Gewässerbewirtschaftung / Limnologie, Dresden
HILMER, Uwe	Dipl.-Ing., Technischer Leiter Umwelttechnik, Detlef Hegemann Umwelttechnik GmbH, Bremen
JAHNS, Christin	Dr., Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, Referat 44, Dresden
JANSON, Johannes von	Wolter Hoppenberg, Rechtsanwälte Partnerschaft mbB, Hamm
JENTSCH, Stefan	Dipl.-Ing., Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Pirna
MEWIS, Peter	PD Dr.-Ing. habil., TU Darmstadt, Fachbereich 13 FG Wasserbau u. Hydraulik, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Darmstadt
SEIDEL, Björn	Bauass. Dipl.-Ing., HPA Hamburg Port Authority AöR, Hamburg
SÖHNGEN, Bernhard	Prof. Dr.-Ing., Bad Schönborn (vormals Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe)
WIEPRECHT, Silke	Prof. Dr.-Ing., Universität Stuttgart, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Stuttgart
WOYWOD, Christoph	Dipl.-Ing. (FH), Hülskens Wasserbau GmbH & Co. KG, Bodenmanagement, Wesel
WURPTS, Andreas	Dr.-Ing., NLWKN-Bst. Norden-Norderney, Forschungsstelle Küste, Norderney

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

SCHRENK, Georg J. A.	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasser- und Abfallwirtschaft
----------------------	----------------------------------------------------------------

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	4
Bilderverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	9
Hinweis für die Benutzung	10
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich	12
2 Allgemeine Ausführungen und Grundlagen	13
2.1 Definition Auskolkung	13
2.2 Maximale Kolkentiefe	14
2.3 Klarwasserkolke und Kolke bei Sedimenttransport	14
2.3.1 Klarwasserkolke	14
2.3.2 Kolke bei Sedimenttransport	14
2.4 Zeitlicher Verlauf von Auskolkungen	15
2.4.1 Gleichgerichtete Strömung	15
2.4.2 Alternierende, tidebeeinflusste Strömung	16
2.4.3 Oszillierende Strömung	16
2.5 Bewegungsbeginn von Sedimenten	16
2.6 Einwirkungskombinationen und Lastfälle	19
2.7 Verklausung und Eisversatz	19
2.8 Überlagerung von Erosionsprozessen	20
2.9 Experimentelle Untersuchungen und numerische Modelle	21
3 Kolkbildung im Binnenbereich	21
3.1 Einführung	21
3.2 Charakteristisches Strömungsbild	22
3.3 Berechnung der maximalen Kolkentiefe	23
3.3.1 Allgemeines	23
3.3.2 Berechnungsansatz	23
3.3.3 Pfeilerdurchmesser	24
3.3.4 Pfeilerform	25
3.3.5 Pfeilergruppe	26
3.3.6 Pfeilerfundament	28
3.3.7 Vertikale Pfeilergeometrie	29
3.3.8 Anströmungsrichtung auf den Pfeiler	30
3.3.9 Fließgeschwindigkeit	31
3.3.10 Wassertiefe	31
3.3.11 Sedimenteigenschaften	32
3.3.12 Verklausung und Eisversatz	33
3.3.13 Einschnürungseffekte	34
3.3.14 Instationäre Abflussbedingungen	34

3.3.15	Erdbeben.....	34
3.4	Lage und Ausdehnung des Kolklochs	34
3.5	Zeitlicher Verlauf der Auskolkung.....	35
3.5.1	Kolkphasen	35
3.5.2	Zeitlicher Verlauf der Auskolkung in der Entwicklungsphase (Phase II)	37
3.5.3	Zeitlicher Verlauf der Auskolkung (Phase I bis IV)	37
4	Kolkbildung im Küstenbereich.....	39
4.1	Einführung	39
4.2	Strömungsbild	40
4.3	Maximale Kolktiefe	41
4.3.1	Allgemeines	41
4.3.2	Schlanke Pfeiler $KC > 6$	41
4.3.3	Mittelgroße und große Pfeiler	43
4.3.4	Einfluss der Wassertiefe auf die maximale Kolktiefe	43
4.3.5	Pfeilerform.....	43
4.3.6	Pfeilergruppen.....	44
4.3.7	Komplexe Strukturtypen	44
4.4	Lage und Ausdehnung des Kolks	44
4.5	Zeitlicher Verlauf der Auskolkung.....	45
5	Kolkschutz.....	46
5.1	Vorbemerkung	46
5.2	Art der Kolkschutzmaßnahme.....	46
5.3	Lage und Ausdehnung des Kolkschutzes.....	47
5.4	Aufbau des Kolkschutzes	48
5.5	Filteraufbau	48
5.6	Steinschüttung unverklammert	50
5.6.1	Allgemeines	50
5.6.2	Berechnungsansätze zur Bemessung einer Steinschüttung	50
5.6.3	Hinweise zur Planung und Ausführung von Steinschüttungen	52
5.6.4	Steinschüttung verklammert	53
5.6.5	Sandgefüllte geotextile Container	54
6	Empfehlungen zum Monitoring	55
7	Beispielrechnung	56
7.1	Kolkbildung im Binnenbereich	56
7.2	Kolkbildung im Küstenbereich	59
7.3	Kolkschutz	60
	Quellen und Literaturhinweise	62

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Zerstörung einer Brücke durch Auskolkungen.....	10
Bild 2:	Kolk an einem kreiszylindrischen Brückenpfeiler unter Laborbedingungen.....	13
Bild 3:	Flächenhafte Erosion über die gesamte Flussbreite im Flussbett des Rio Piura/Peru	13
Bild 4:	Kolkeintiefung unter Klarwasser- und Sedimenttransportbedingungen	15
Bild 5:	Hjulström-Diagramm, modifiziert	17
Bild 6:	Modifiziertes Shields-Diagramm	17
Bild 7:	Verklammerung der Schwarzenbergbrücke an der Donau in Wien	19
Bild 8:	Verklammerung an einer Brücke über den Tiber in Rom	20
Bild 9:	Prinzipskizze Pfeilerkolk, Widerlagerkolk und Einschnürungskolk.....	21
Bild 10:	Strömungssituation im entwickelten Kolkloch	22
Bild 11:	Kolkausbildung an Pfeilern mit unterschiedlichen Durchmessern bei gleichen, stationären Strömungsbedingungen, Anströmung von rechts nach links, Feinsand, $d_{50} = 0,12 \text{ mm}$	24
Bild 12:	Pfeilerformen; Anströmung von links nach rechts	25
Bild 13:	Hintereinander liegende Pfeiler	27
Bild 14:	Pfeilergruppe aus nebeneinander und hintereinander liegenden Pfeilern	28
Bild 15:	Brückenpfeiler mit vertikal unterschiedlicher Geometrie und Streifenfundament	28
Bild 16:	Brückenpfeiler mit frei gelegtem Streifenfundament.....	29
Bild 17:	Anströmungsfaktor k_A	30
Bild 18:	Lage und Abmessungen des Kolklochs bei kreiszylindrischen Pfeilern	35
Bild 19:	Vier-Phasen der Kolkeintiefung.....	36
Bild 20:	Lokale Auskolkung an einer Tripod-Struktur im Labor unter Offshorebedingungen	39
Bild 21:	Unverklammerte Steinschüttung nach mehrjährigem Strömungsangriff	46
Bild 22:	Lage und Ausdehnung der Kolkschutzmaßnahme.....	47
Bild 23:	Definition des Pfeilerdurchmessers D , der Pfeilerlänge L und des Anströmungswinkels α	47
Bild 24:	Deckschicht und Filterschicht beim Aufbau einer Kolkschutzmaßnahme	48
Bild 25:	Geotextiler Filter und Ausführungsbeispiel Deckwerk auf geotextilem Filter ...	48
Bild 26:	Ausdehnung der Filterschicht	53
Bild 27:	Befüllen und Verschließen von geotextilen Sandcontainern	54
Bild 28:	Verladen, Transport und Schütten von geotextilen Sandcontainern	54
Bild 29:	Großer Wellenkanal Hannover (GWK), Modelluntersuchungen zur Stabilität von geotextilen Sandcontainern sowie Pfeiler in der Nordsee, Amrumbank West 5 Jahre nach Einbau des Kolkschutzes	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kritische Fließgeschwindigkeit und kritische Schubspannung	18
Tabelle 2:	Formfaktor k_{F_0} für Pfeilerformen A bis G auf Grundlage von MOSTAFA (1994) und MELVILLE & COLEMAN (2000) und Formfaktor k_{F_0} für Pfeilerformen H bis K nach HOFFMANS & VERHEIJ (1997)	26
Tabelle 3:	Verhältniswert k_0 für Pfeilergruppen auf Grundlage von HOFFMANS & VERHEIJ (1997).....	27
Tabelle 4:	Vertikalgeometriefaktor k_V nach HOFFMANS & VERHEIJ (1997).....	29
Tabelle 5:	Fließgeschwindigkeitsfaktor k_{F_l}	31
Tabelle 6:	Einflussfaktor k_W	32
Tabelle 7:	Ungleichförmigkeitsfaktor k_U in Anlehnung an RAUDKIVI & ETTEMA (1985).....	33
Tabelle 8:	Faktor ω nach ZANKE (1982).....	38
Tabelle 9:	Anforderungen an geotextile Filter gemäß TLG (2008) für Böschungs- und Sohlensicherungen.....	49

Hinweis für die Benutzung

Dieses Merkblatt ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher/wirtschaftlicher Gemeinschaftsarbeit, das nach den hierfür geltenden Grundsätzen (Satzung, Geschäftsordnung der DWA und dem Arbeitsblatt DWA-A 400) zustande gekommen ist. Für ein Merkblatt besteht eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jeder Person steht die Anwendung des Merkblatts frei. Eine Pflicht zur Anwendung kann sich aber aus Rechts- oder Verwaltungsvorschriften, Vertrag oder sonstigem Rechtsgrund ergeben.

Dieses Merkblatt ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für fachgerechte Lösungen. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall; dies gilt insbesondere für den sachgerechten Umgang mit den im Merkblatt aufgezeigten Spielräumen.

Normen und sonstige Bestimmungen anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder anderer Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum stehen Regeln der DWA gleich, wenn mit ihnen dauerhaft das gleiche Schutzniveau erreicht wird.

Einleitung

Auskolkungen

Pfahlartige Bauwerksgründungen wie beispielsweise Brückenpfeiler, Pierpfeiler, Gründungsstrukturen von Windkraftanlagen sowie Dalben stellen im Fluss, im Ästuar und Offshore ein Fließhindernis dar, an dessen Sohle es zu lokalen Erosionen, den sogenannten Auskolkungen (engl. *scour*), kommen kann. Die Auskolkungen können beträchtliche Größenordnungen erreichen und führen oftmals zu Beschädigungen, oder sogar zur Zerstörung des Bauwerks, siehe Bild 1.



Bild 1: Zerstörung einer Brücke durch Auskolkungen (Foto: C. ALVARADO)

VORSCHAU

In Fließgewässern und in küstennahen Bereichen sowie Offshore werden Bauwerke gegründet, die der Strömung ausgesetzt sind. An der Bauwerksgründung kann es durch die Strömung zu lokalen Erosionen, den sogenannten Auskolkungen, kommen. Dabei wird im Bereich der Bauwerksgründung die Gewässersohle erodiert. Bei der Planung der Bauwerksgründung stellt sich zumeist die Frage nach der maximalen Tiefe und der maximalen Ausdehnung der Auskolkungen, um bautechnisch diesen Auskolkungen vorbeugen zu können, beispielsweise durch eine Gründung, die tiefer ausgelegt wird, als die maximale Kolkentiefe.

Da die physikalischen Prozesse bei der Interaktion zwischen Strömung, Sediment und Bauwerk noch nicht abschließend verstanden sind, ist die Prognose der zu erwartenden Auskolkungsprozesse nach wie vor mit Unsicherheiten behaftet und die in der Literatur verfügbaren Berechnungsverfahren führen zum Teil zu stark abweichenden Ergebnissen.

Aufgrund der zahlreichen Einflussgrößen bei der Kolkbildung und bei der Bemessung des Kolkschutzes ist die Beachtung des Gültigkeitsbereichs jedes Berechnungsansatzes unabdingbar. Die Verwendung eines Ansatzes außerhalb seines Gültigkeitsbereichs kann zu signifikanten Fehlern führen und sollte daher nur mit Bedacht und ingenieurmäßigem Sachverstand durchgeführt werden. Vom planenden Ingenieur sollte ein gesamtheitliches Konzept zum Schutz des Bauwerks erstellt werden, welches die Abschätzung der maximalen Kolkentiefe sowie Kolktausdehnung und falls erforderlich, die zeitliche Entwicklung des Kolks, den Kolkschutz und das Monitoring beinhaltet.

Aufgrund der Komplexität des Themas und der zahlreichen Fragestellungen, die sich in Bezug auf die Kolkbildung und den Kolkschutz ergeben, wurde eine Abgrenzung des vorliegenden Merkblatts gegenüber angrenzenden Themengebieten vorgenommen. So wird nicht den Fragen nach dem Risiko des Versagens der Bauwerke nachgegangen. Zudem werden Fragen zur Ökologie ausgeklammert. Das vorliegende Merkblatt legt den Schwerpunkt auf die pfahlartigen Bauwerksgründungen, da diese den größten Teil der Bauwerksgründungen in Fließgewässern, küstennahen Bereichen und Offshore umfassen.

Ziel ist es, dem planenden Ingenieur eine Hilfestellung bei der Planung der Bauwerksgründung zu geben und ihm eine Auswahl geeigneter Verfahren und Ansätze aus der zumeist englischsprachigen Literatur zusammenzustellen.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, dass Berechnungen zur Kolkbildung und zum Kolkschutz - nach wie vor - zumeist als Abschätzung anzusehen sind.

Der Geltungsbereich des Merkblatts umfasst Fließgewässer, Ästuare und Meere.

ISBN: 978-3-96862-066-4 [Print]
978-3-96862-067-1 [E-Book]

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef

Telefon: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100

info@dwa.de · www.dwa.de