

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 543-1

**Geodaten in der Fließgewässermodellierung
Teil 1: Grundlagen und Verfahren**

Februar 2019



DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 543-1

Geodaten in der Fließgewässermodellierung
Teil 1: Grundlagen und Verfahren

Februar 2019



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 2019

Satz:
Christiane Krieg, DWA

Druck:
druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:
978-3-88721-746-4 (Print)
978-3-88721-747-1 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

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

Vorwort

Numerische Modelle zur Simulation von Strömungsvorgängen in Fließgewässern werden seit mehreren Jahrzehnten als Analyse- und Prognosewerkzeug in nahezu allen Bereichen des Wasserbaus und der Wasserwirtschaft eingesetzt. Aufgrund begrenzter Rechnerleistungen war die computergestützte Abbildung hydraulischer Prozesse dabei zunächst nur näherungsweise mittels starker Vereinfachungen in den physikalischen Grundgleichungen möglich. Mittlerweile lassen sich jedoch auch aufwendige mehrdimensionale Modellsysteme mit hoher Auflösung und Genauigkeit auf handelsüblichen Computern effizient einsetzen.

Neben der fachlich fundierten Auswahl und Handhabung von Modellierungsmethodik und Simulationssoftware hängt die Qualität einer hydraulischen Untersuchung maßgeblich von der adäquaten Abbildung der topographischen bzw. geometrischen Randbedingungen der zu modellierenden Gewässerstrecke ab. Hier treffen nun zwei Fachdisziplinen aufeinander: auf der einen Seite der Geodät bzw. Geoinformatiker, der mit der Erfassung und Bereitstellung der geometrischen Eingangsgrößen beauftragt wurde – auf der anderen Seite der Hydrauliker, der die Daten zur Erstellung seiner Modellgeometrie nutzen möchte und letztendlich den Anforderungen des Auftragsgebers an die Genauigkeit der Modellierungsergebnisse gerecht werden muss.

Fast schon sprichwörtlich ist in Fachkreisen die Antwort des Hydraulikers auf die Frage des Geodäten nach der geforderten Genauigkeit der Vermessung "Naja, so genau wie möglich eben!", welche wohl kaum zur Klärung der vermessungstechnischen Aufgabenstellung beitragen kann. Die Antwort auf diese durchaus berechtigte (und notwendige) Frage ist jedoch alles andere als trivial. So geht es bei der Bestimmung der für eine Modellierung benötigten Datenbasis nicht nur um die Festlegung der tolerierbaren Messunsicherheiten einzelner Vermessungspunkte sondern vor allem auch um die differenzierte Vorgabe, welche Oberflächenstrukturen aus hydraulischer Sicht überhaupt erfasst werden müssen und welche räumliche Auflösung zu wählen ist. Hierbei sind nicht zuletzt zeitliche und ökonomische Zwänge, aber auch Fragen der technischen Machbarkeit sowohl in Bezug auf die Datenerhebung als auch die hydraulische Modellierung zu berücksichtigen und fachgebietsübergreifend zielführende Lösungen zu finden.

Aufgrund der engen Verknüpfung sowie gegenseitiger Abhängigkeiten zwischen der Strömungsmodellierung und der ihr zugrunde liegenden Geodatenbasis ist ein Dialog bzw. Informations- und Wissensaustausch zwischen den beiden Fachdisziplinen Gewässerhydraulik und Vermessungstechnik für die Qualitätssicherung sowohl in Bezug auf die Geländemodellierung als auch die hydraulischen Berechnungsergebnisse von grundlegender Bedeutung.

Die Merkblattreihe DWA-M 543 richtet sich daher gleichermaßen an Geodäten bzw. Geoinformatiker sowie Hydrauliker, um beiden Seiten zu einem vertieften Einblick in die Anforderungen und Möglichkeiten der Fließgewässermodellierung sowie die dazu benötigte Datenbasis zu verhelfen. Darüber hinaus bietet die Merkblattreihe aber auch Hilfestellungen für Fachleute aus allen anderen Disziplinen, die fließgewässerbezogene Geodaten und/oder hydraulische Modellierungsergebnisse für ihre weiterführenden Expertisen bzw. Entscheidungsfindungen nutzen und mehr Sicherheit in der eigenen Bewertung der Genauigkeit und Aussagekraft topographischer Informationen und darauf aufbauender Strömungssimulationen gewinnen möchten. Nicht zuletzt ist die Auseinandersetzung mit den Methoden der Datenerfassung und Modellierungstechnik aber auch für die Verantwortlichen in Behörden und Unternehmen bedeutsam, um Auftragsvergaben fachlich und ökonomisch abzusichern und ein fundiertes Qualitätsmanagement gewährleisten zu können.

Das Merkblatt wird in folgenden drei Teilen veröffentlicht:

- Teil 1: Grundlagen und Verfahren (Merkblatt DWA-M 543-1)
- Teil 2: Bedarfsgerechte Datenerfassung und -aufbereitung (Merkblatt DWA-M 543-2)
- Teil 3: Aspekte der Strömungsmodellierung und Fallbeispiele (Merkblatt DWA-M 543-3)

Der vorliegende Teil 1 erläutert die grundlegenden fachspezifischen Terminologien und gibt eine Übersicht in Bezug auf Verfahren der Strömungsmodellierung sowie Vermessungsmethoden zur Erhebung fließgewässerbezogener Geodaten. Der zweite Teil der Merkblattreihe liefert konkrete Handlungsempfehlungen zur Erfassung und Aufbereitung der Geodatenbasis in Abhängigkeit der einer Modelluntersuchung zugrunde liegenden Anforderungen. Teil 3 behandelt fortführende Arbeitsschritte zur Erstellung und Gütesicherung des Strömungsmodells und illustriert den im Rahmen der Merkblattreihe behandelten Themenkomplex anhand ausgewählter Praxisbeispiele.

Angesichts aktueller Innovationen im Bereich der Fernerkundung sowie des kontinuierlichen Ausbaus moderner und standardisierter Geodienste sind in den kommenden Jahren weitere Fortschritte hinsichtlich der Verfügbarkeit regelmäßig aktualisierter und hochaufgelöster Fließgewässerdaten sowie deren Integration in Fließgewässermodelle zu erwarten. Dem fachlichen Austausch zwischen den involvierten Fachdisziplinen und der Weiterentwicklung effizienter Daten- bzw. Modellschnittstellen wird auch zukünftig eine wesentliche Aufgabe zukommen. Die Verfasser hoffen, mit dem vorliegenden Merkblatt hierzu einen Beitrag leisten zu können.

Karlsruhe, im Januar 2018

Peter Oberle
(Sprecher der AG WW-3.2)

Ettlingen, im Januar 2018

Andreas Dittrich
(Obmann des FA WW-3)

In diesem Arbeitsblatt werden, soweit wie möglich, geschlechtsneutrale Bezeichnungen für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verwendet. Sofern dies nicht möglich ist, wird im Hinblick auf einen gut verständlichen und lesefreundlichen Text verallgemeinernd die männliche Form verwendet. Alle Informationen beziehen sich in gleicher Weise auf alle Geschlechter.

Frühere Ausgaben

Kein Vorgängerdokument

Verfasser

Das Merkblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe WW-3.2 „Mehrdimensionale numerische Modelle“ im DWA-Fachausschuss WW-3 „Hydraulik“ des DWA-Hauptausschusses „Wasserbau und Wasserkraft“ (HA WW) erstellt. An der Erarbeitung dieses Merkblatts haben nachfolgende Personen mitgewirkt:

OBERLE, Peter	Dr.-Ing., Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe (Sprecher)
BERNREUTHER, Andreas	Dipl.-Ing., Wald+CORBE Consulting GmbH, Hügelsheim
HE, Yingping	Dr.-Ing., Rehm Software GmbH, Berg/Ravensburg
KOWALSKI, Reinhard	Dipl.-Ing., Ingenieurbüro valitec® simulations, Aachen
MANDLBURGER, Gottfried	Dipl.-Ing. Dr. techn., Department für Geodäsie und Geoinformation (E 120.7), Technische Universität Wien, Wien
MUSALL, Mark	Dr.-Ing., Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
SCHRÖDER, Paul Michael	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
VÖGTLE, Thomas	Dr.-Ing., Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
WEIDNER, Uwe	Dr.-Ing., Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe

Als Gäste haben mitgewirkt:

BROCKMANN, Herbert	Dipl.-Ing., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
BRUDY-ZIPPELIUS, Thomas	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
CZERNY, Rebekka	Dr.-Ing., Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
RIESTERER, Jochen	Dipl.-Ing., Institut für Wasser und Gewässerentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe
TRENKLE, Jürgen	Dipl.-Ing., Ingenieurteam Trenkle GmbH, Karlsruhe
VETSCH, David Florian	Dr. sc., Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
WENKA, Thomas	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

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

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	5
Bilderverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	9
Hinweis für die Benutzung	10
1 Anwendungsbereich	10
2 Begriffe	11
2.1 Definitionen	11
2.2 Abkürzungen	11
2.3 Symbole	14
3 Fachspezifische Einführung	16
3.1 Hydrodynamisch-numerische Modellierung	16
3.1.1 Allgemeines	16
3.1.2 Strömungsarten	17
3.1.3 Modelltypen	19
3.1.4 Modellanwendungen	20
3.1.5 Vorgehensweise	21
3.1.6 Datengrundlage	23
3.1.7 Kalibrierung/Validierung	24
3.1.8 Abgrenzung zu hydrologischen und physikalischen Modellen	25
3.2 Geoinformatik und Geodäsie	26
3.2.1 Allgemeines	26
3.2.2 Dimensionen	26
3.2.3 Bezugssysteme und kartografische Projektionen	27
3.2.4 Koordinatentransformationen	29
3.2.5 Datenmodelle	29
3.2.6 Dateninhalte	30
3.2.7 Qualitätsmaße für Geodaten	31
4 Modellierung von Strömungs- und Transportprozessen	33
4.1 Strömungsgleichungen	33
4.1.1 Inkompressible Navier-Stokes-Gleichungen (3D)	33
4.1.2 Turbulente Strömungen	34
4.1.3 Reynoldsgleichungen (3D)	36
4.1.4 Flachwassergleichungen (3D)	38
4.1.5 Tiefengemittelte Flachwassergleichungen (2D)	38
4.1.6 Eindimensionale Gleichungen	39
4.2 Rand- und Anfangsbedingungen	39
4.3 Fließwiderstände in 1D- und 2D-Modellen	42
4.3.1 Allgemeines	42
4.3.2 Reibungswiderstand	43

4.3.3	Empirische Fließformeln	45
4.3.4	Formwiderstand durch Sohlenbettformen	45
4.3.5	Formwiderstand durch Vegetation	46
4.4	Diskretisierung	47
4.4.1	Allgemeines	47
4.4.2	Ortsdiskretisierung.....	47
4.4.3	Zeitdiskretisierung.....	48
4.5	Modellerweiterungen	49
4.5.1	Allgemeines	49
4.5.2	Morphodynamik	50
4.5.3	Transportmodelle	53
5	Erfassung von Oberflächen	55
5.1	Allgemeines	55
5.2	Terrestrische Methoden	57
5.2.1	Vorbemerkung	57
5.2.2	Nivellement.....	57
5.2.3	Tachymetrie	57
5.2.4	Terrestrisches Laserscanning (TLS)	58
5.2.5	Globale Satelliten-Navigationssysteme (GNSS).....	59
5.2.6	Mobiles Laserscanning (MLS)	60
5.2.7	Hydroakustische Verfahren	61
5.3	Flugzeug- und satellitengestützte Methoden	62
5.3.1	Vorbemerkung	62
5.3.2	Luftbild-Photogrammetrie	62
5.3.3	Flugzeuggetragenes Laserscanning	64
5.3.4	Laser-Bathymetrie	67
5.3.5	Weitere Fernerkundungssensoren	69
5.4	Erfassung der Oberflächencharakteristik und Vegetation	70
6	Modellierung von Oberflächen.....	72
6.1	Datentypen zur Geländerepräsentation	72
6.1.1	Raster-/Gittermodell	72
6.1.2	Dreiecksvermaschung/Triangular Irregular Network (TIN)	72
6.1.3	Hybride DGM-Struktur.....	73
6.1.4	Weitere DGM-Datenstrukturen	73
6.2	Filterung	74
6.3	Interpolationsverfahren.....	75
6.4	Datenreduktion	77
6.5	Klassifizierung von Fernerkundungsdaten	78
7	Systeme zur Weiterverarbeitung der Geobasisdaten.....	80
7.1	Einführung	80
7.2	Geoinformationssysteme.....	80
7.2.1	Allgemeines	80
7.2.2	Datenformate	82
7.2.3	Analyse- und Editierfunktionalitäten.....	83

7.2.4	Georeferenzierung, Koordinatentransformation	85
7.2.5	Ergebnisdarstellung	86
7.3	CAD	86
7.3.1	Allgemeines	86
7.3.2	Funktionalitäten.....	87
7.3.3	Geometriemodelle	87
7.3.4	Datenformate.....	88
7.4	Weitere Softwaresysteme.....	89
7.4.1	Allgemeines	89
7.4.2	Preprozessoren für Hydraulik-Software.....	89
7.4.3	Postprozessoren für Hydraulik-Software	90
Quellen und Literaturhinweise		92

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Wesentliche Komponenten der HN-Modellierung.....	17
Bild 2:	Ein-, zwei- und dreidimensionale Strömung in einem Rechteckkanal	18
Bild 3:	Stationäre bzw. instationäre Strömung.....	18
Bild 4:	Ablaufschema der Strömungsmodellierung in der wasserbaulichen Praxis.....	22
Bild 5:	Skizze Bezugssysteme	28
Bild 6:	Gauß-Krüger-Koordinatensystem (Grundlage: Abbildungen	28
Bild 7:	Gauß-Krüger-Streifen und Universal-Transversal-Mercator-Zonen (UTM)	28
Bild 8:	Vektordaten (OpenStreetMap: Gebäude), Rasterdaten (Satellitenbild: Landsat, Ground Sample Distance 30 m) und Überlagerung	30
Bild 9:	Verwirbelung von Stromfäden in Scherschichten.....	35
Bild 10:	Koordinatendefinition	37
Bild 11:	Randbedingungen in einem Gerinne und lokales Koordinatensystem.....	41
Bild 12:	Hydraulisch glatte und hydraulisch raue Wirkung einer Wand	44
Bild 13:	Qualitativer Zusammenhang zwischen Fließwiderstand und Fließgeschwindigkeit für verschiedene Bettformen	46
Bild 14:	Verteilung der Berechnungstützstellen bei unterschiedlichen Modelltypen.....	48
Bild 15:	Prinzipskizze zu expliziten (links) und impliziten (rechts) Verfahren	49
Bild 16:	Shieldskurve	52
Bild 17:	„Hiding und Exposure“-Effekt	52
Bild 18:	Möglicher vertikaler Aufbau eines morphodynamischen Modells	52
Bild 19:	Zeitabhängiger Stofftransport	54
Bild 20:	Einsatz eines terrestrischen Laserscanners zur Vermessung einer naturnahen Fischeaufstiegsanlage am Hochrhein; Vor-Ort-Einsatz, visualisiertes Scan-Ergebnis	58
Bild 21:	Komponenten eines GNSS-Systems	59
Bild 22:	Mobile Laserscanning Systeme, links: Montage am Dach eines PKW, rechts: Montage am Dach eines Vermessungsbootes.....	60
Bild 23:	Hydroakustische Tiefenmesssysteme	61
Bild 24:	Prinzip des flugzeuggetragenen Laserscannings.....	65

Bild 25:	a) Größe des Footprints aufgrund der Strahldivergenz γ b) „First- und Last echo“-Effekt: Teile des Laserimpulses werden an den oberen Objektteilen reflektiert, andere Teile am Boden oder am Dach.....	66
Bild 26:	„First echo“- und „Last echo“-Laser-scanningdaten, Ausschnitt des Campus des Karlsruher Instituts für Technologie (ca. 400 m × 200 m), Höhen farbcodiert ...	67
Bild 27:	Prinzipskizze zur Signalausbreitung des grünen Laserstrahls in Luft und Wasser	68
Bild 28:	Schrägsicht einer ALB-Punktwolke eingefärbt nach Signalamplitude	69
Bild 29:	Datenstrukturen zur Repräsentation Digitaler Oberflächen- oder Geländemodelle...	73
Bild 30:	Verbreitete Interpolationsmethoden; links: Nearest Neighbour, Mitte: Bilineare Interpolation, rechts: Triangulation auf Basis des Umkreiskriteriums.....	77
Bild 31:	Exemplarisches Klassifizierungsergebnis auf der Grundlage von Landsat-Daten...	79
Bild 32:	GIS-Ebenenstruktur bei der HN-Modellierung	81
Bild 33:	GIS-Darstellung von Überflutungsflächen im Hochwasserfall, überlagert mit Luftbildern und sonstigen hochwasserrelevanten Informationen	84
Bild 34:	Rechnerinterne CAD-Geometriemodelle	88
Bild 35:	Interaktive Echtzeitvisualisierung einer Hochwassersimulation am Neckar, 3D-Visualisierung des historischen Rom	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung der unterschiedlichen Erfassungsmethoden	55
Tabelle 2:	Zusammenstellung der üblichen Datendichte und -genauigkeiten unterschiedlicher Erfassungsmethoden.....	56