

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 544-2

Ausbreitungsprobleme von Einleitungen – Prozesse, Methoden
und Modelle – Teil 2: Mehrdimensionale Modelle

Juli 2016

VORSCHAU



VORSCHAU

DWA-Regelwerk

Merkblatt DWA-M 544-2

Ausbreitungsprobleme von Einleitungen – Prozesse, Methoden
und Modelle – Teil 2: Mehrdimensionale Modelle

Juli 2016

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

Herausgeber und Vertrieb:

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

Satz:

DWA

Druck:

druckhaus köthen GmbH & Co KG

ISBN:

978-3-88721-281-0 (Print)
978-3-88721-337-4 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2016

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

Vorwort

Das Merkblatt „Ausbreitungsprobleme von Einleitungen – Prozesse, Methoden und Modelle“ gliedert sich in zwei Teile. Während der erste Teil die zugrunde liegenden physikalischen Prozesse behandelt, einen Methodenüberblick gibt und vertiefend auf Schätzformeln, Grobscreening und eindimensionale Modelle eingeht, bilden Strahlintegral- und Längenmaßstabsmodelle, Methoden der Hydroinformatik und prozessorientierte Detailuntersuchungen den Gegenstand des hier vorliegenden zweiten Teiles. Zusammen verfolgen beide Teile des Merkblattes das Ziel, Anwendern eine fachlich fundierte Hilfestellung für die Behandlung von Ausbreitungsproblemen zu geben.

Wie auch schon im ersten Teil angemerkt, sind Transportvorgänge im Zusammenhang mit Feststoffen (Geschiebe, Schweb- und Schwimmstoffen), Gasbläschen („*bubble plumes*“) oder Öl von dem vorliegenden Merkblatt nicht umfasst. Bei der Beschreibung von Berechnungs- bzw. Untersuchungsmethoden waren die Verfasser bemüht, Vor- und Nachteile darzustellen, die Modelle mit Anwendungsbeispielen zu illustrieren und Anhaltspunkte für eine zweckmäßige Verfahrenswahl zu bieten.

Besonderer Dank gilt Herrn Markus Urbanek vom Bundesamt für Wasserwirtschaft in Wien für seine Unterstützung im Rahmen der Manuskripterstellung.

Wien, im Mai 2016

Bernhard H. Schmid

In diesem Merkblatt wird im Hinblick auf einen gut verständlichen und lesefreundlichen Text für personenbezogene Berufs- und Funktionsbezeichnungen verallgemeinernd die männliche Form verwendet. Alle Informationen beziehen sich in gleicher Weise auf beide Geschlechter.

Frühere Ausgaben

Kein Vorgängerdokument

Verfasser

Das Arbeitsblatt wurde von der DWA-Arbeitsgruppe WW-3.4 „Ausbreitungsprobleme von Einleitungen“ im DWA-Fachausschuss WW-3 „Hydraulik“ erstellt, der folgende Mitglieder angehört:

BLENINGER, Tobias	Prof. Dr.-Ing., Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasilien
BRENDA, Marian	Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt, Darmstadt
BUNG, Daniel B.	Prof. Dr.-Ing., FH Aachen, Aachen
HENGL, Michael	Dipl.-Ing. Dr. techn., Bundesamt für Wasserwirtschaft, Wien
SCHMID, Bernhard H.	Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn., Technische Universität Wien, Wien (Sprecher)
SCHNEIDER, Eugenia	Dr.-Ing., Ingenieurbüro für Wasserbau Schneider GmbH, Leonberg
SONNENBURG, Alexander	Dr.-Ing., Technische Universität Darmstadt, Darmstadt
STOSCHEK, Oliver	Dr.-Ing., DHI-WASY GmbH, Syke

Als Gäste haben mitgewirkt:

ROESCH, Josef	Dr.-Ing., RWE Power AG, Biblis
ZÖLLER, Alexander	Dipl.-Ing., Ingenieurbüro für Wasserbau Schneider GmbH, Leonberg

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

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

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	4
Bilderverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Benutzerhinweis	9
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	10
2 Symbole und Abkürzungen	10
3 Strahlintegral- und Längenmaßstabsmodelle	14
3.1 Modellierungsansätze	14
3.2 Längen- und Zeitmaßstäbe	14
3.3 Empirische Durchmischungsgleichungen	19
3.4 Strahl-Integral-Modelle	20
3.5 Längenmaßstabsmodelle	24
3.6 Anwendungsbeispiel.....	26
3.6.1 Problemstellung	26
3.6.2 Datenlage.....	27
3.6.3 Längen- und Zeitmaßstäbe	33
3.6.4 Empirische Durchmischungsgleichungen	35
3.6.5 Längenmaßstabsmodelle	36
4 Methoden der Hydroinformatik	42
4.1 Vorbemerkungen	42
4.2 Modellgrundlagen.....	43
4.2.1 Allgemeines	43
4.2.2 Zweidimensionale oder dreidimensionale Simulation?	43
4.2.3 Untersuchungsgebiet und Modellgröße.....	46
4.2.4 Räumliche Modellauflösung.....	47
4.2.5 Zeitliche Modellauflösung	49
4.2.6 Anfangs- und Randbedingungen	50
4.2.7 Modellgenauigkeit	50
4.2.8 Quellen, Senken/Einleitungen und Entnahmen	51
4.2.9 Häufig eingesetzte Software.....	51
4.2.10 Grenzen der Software für Stufe-3-Anwendungen	53
4.3 Anwendungsbereiche und Praxisbezug bei Anwendung auf Kühlwassereinleitungen.....	53
4.3.1 Anwendungsbereiche von Stufe-3-Software.....	53
4.3.2 Planung	54
4.3.3 Genehmigung.....	55
4.3.4 Umweltschutz	55

4.3.5	Sonstige Anwendungen	56
4.3.6	Zusammenspiel und Rückwirkungen.....	57
4.3.7	Wahl der Modellgebietsgröße	57
4.4	Integrierte Problembearbeitung	58
4.5	Fallbeispiel: Wärmelastplan Tideelbe.....	58
4.5.1	Allgemeines	58
4.5.2	Hintergrund	59
4.5.3	Modellspezifika	59
4.5.4	Modellergebnisse	60
5	Prozessorientierte Detailuntersuchungen.....	64
5.1	Vorbemerkung	64
5.2	CFD-Modellierung	66
5.2.1	Einführung	66
5.2.2	Vor- und Nachteile von CFD im Vergleich zu Experimenten	67
5.2.3	Anwendungsbereiche von CFD.....	68
5.2.4	Beispiel – Flussmodell mit Tracersimulation.....	68
5.3	Physikalisches Modellieren.....	71
5.3.1	Allgemeines (Modellieren von Nah- und Fernfeld).....	71
5.3.2	Modellähnlichkeit von Turbulenz	73
5.3.3	Modellaufbau und Messtechnik.....	73
5.3.4	Messmethoden und Tracer.....	74
5.3.5	Fallstudie: Modellversuche für Pflanzenkläranlagen.....	76
Anhang A	Übersicht zu theoretischen Grundlagen der dreidimensionalen numerischen Modellierung von Ausbreitungsvorgängen	79
A.1	Massenbilanz des Fluids (Kontinuitätsgleichung)	79
A.2	Impulsbilanz (Navier-Stokes-Gleichung)	80
A.3	Massenbilanz transportierter Stoffe (Stoffbilanz).....	80
A.4	Diskretisierung	82
A.5	Turbulenzmodelle.....	83
A.6	Schichtungseffekte	85
A.7	Wandfunktion.....	87
A.8	Sohrauheit	88
Quellen und Literaturhinweise	89	

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Dreidimensionale Strahlverläufe eines horizontal eingeleiteten, auftriebsbehafteten Impulsstrahls in stehendes Gewässer. Vergleich von Labormessungen und Modellrechnungen.....	16
Bild 2:	Illustration der geometrischen Bedeutung des Impulslängenmaßstabs L_M für einen Einzelstrahl zur Unterscheidung von impulsdominierten und auftriebsdominierten Strahlregionen	17
Bild 3:	Darstellung des Strahlverlaufs und der charakteristischen Parameter für einen Einzelstrahl	21

Bild 4:	Darstellung des Strahlverlaufs und der charakteristischen Parameter für einen ebenen Strahl.....	21
Bild 5:	Darstellung des Strahlverlaufs und der charakteristischen Parameter für einen Freispiegelstrahl.....	22
Bild 6:	Klassifizierungsschema für Freispiegeleinleitungen des Modellsystems CORMIX..	26
Bild 7:	Geografische Karte des Anwendungsbeispiels.....	27
Bild 8:	Schematische Darstellung des Abwassersammlers, Einleitungsbauwerks und der Messstelle für Geschwindigkeits- und Dichteprofile sowie Wasserspiegellage ...	27
Bild 9:	Gemessene Strömungsdaten für verschiedene Wassertiefen für Februar 1998 sowie Histogramme der Geschwindigkeitsbeträge in jeder Schicht	28
Bild 10:	Tiefengemittelte Strömungsdaten für Februar 1998 und November 1998	29
Bild 11:	Gemessene Strömungsdaten für tiefengemittelte Geschwindigkeiten.....	30
Bild 12:	Gemessene Wasserspiegellagen an zwei Messstellen in der Nähe des Einleitungsorts für Februar 1998	31
Bild 13:	Gemessene Wassertemperaturunterschiede (ΔT) zwischen 5,5 m und 17,4 m.....	31
Bild 14:	Gemessene Temperatur- und Salzgehaltsprofile (PSU = <i>practical salinity unit</i> = dimensionslose Einheit für Salinität) sowie daraus berechnetes Dichteprofil ($\sigma_t = \rho - 1000 \text{ kg/m}^3$) für einen Messzeitpunkt in der Nähe des Einleitungsorts	32
Bild 15:	Angenommene zeitliche Änderung des Abwasserdurchflusses	32
Bild 16:	Schematische Darstellung des Einleitungsbauwerks	33
Bild 17:	Strömungsklassifizierung für das Anwendungsbeispiel	36
Bild 18:	CORMIX Strahlverlauf (Seitenansicht).....	37
Bild 19:	CorTime Ausgabe. Zeitlicher Verlauf der Durchmischung, Fahndicke und Fahnenposition am Ende des Nahfelds, dessen Position variabel ist	38
Bild 20:	Statistische CorTime-Ausgabe für Durchmischung, Nahfeldposition, Einschichtungshöhe, Fahndicke und Fahnenbreite am Ende des Nahfelds	39
Bild 21:	Überschreitungshäufigkeit des Umweltqualitätsziels für Bakterien (1000 MPN/100 ml) für den Monat Februar 1998.....	40
Bild 22:	Illustrativer, schematischer Vergleich zweier Extremösungen	41
Bild 23:	Anwendungsbereiche der unterschiedlichen Modelldimensionen.....	47
Bild 24:	Schematische Darstellung der Diskretisierung eines Untersuchungsgebiets mit einem Finiten-Differenzen-Verfahren (FDV) und Finiten-Elemente-Verfahren (FEV).....	48
Bild 25:	Vertikale Modellauflösung in Form von festen Schichtstärken (Δz -Ebenen) im linken Bildteil oder flexiblen Schichtstärken (σ -Grid) im rechten Bildteil.....	48
Bild 26:	3D-Modell zwischen Geesthacht und Cuxhaven mit Hervorhebung des Detailbereichs bei Hamburg.....	59
Bild 27:	Berücksichtigte Wärmeeinleiter im Bereich des Hamburger Hafens.....	60
Bild 28:	Temperaturverteilung in der Elbe bei Hamburg während Ebbe.....	62
Bild 29:	Temperaturverteilung in der Elbe bei Hamburg während Flut	63
Bild 30:	Einbindung physikalischer und numerischer Modelle in den Untersuchungsprozess.....	65
Bild 31:	Geometrie des Modellgebiets mit Einleitungsstelle des Tracers und Fließrichtung	69
Bild 32:	Tracer mit der Dichte von Wasser; Verteilung nach 120 s.....	69
Bild 33:	Tracer mit Dichte von Wasser; Seitenansicht nach 120 s.....	69
Bild 34:	Tracer mit einer geringeren Dichte (900 kg/m^3) als Wasser (998 kg/m^3); Verteilung nach 120 s	70
Bild 35:	Tracer mit einer geringeren Dichte (900 kg/m^3) als Wasser (998 kg/m^3); Seitenansicht nach 120 s	70

Bild 36:	Durchbruchskurve am Modellaustritt; Tracerzugabe: 10 s, Tracer hat die Dichte von Wasser	70
Bild 37:	Moody-Diagramm zur Bestimmung des Fließwiderstands λ in offenen Gerinnen (mit hydraulischem Durchmesser D_H , hydraulischem Radius R_H , Parametern f_g und f_r zur Berücksichtigung der Querschnittsform nach BOLLRICH 2007).....	71
Bild 38:	<i>Acoustic Doppler Velocity Meter</i> für Turbulenz, Geschwindigkeit und Schwebstoffkonzentration, Miniflügel für Wind- oder Wassergeschwindigkeit, Laser- und Ultraschallabstandssensoren für Sohl- und Wasserspiegelhöhen, Temperatur und Leitfähigkeitssonde	74
Bild 39:	UV-Sonde für Konzentrationsmessungen von Wasserinhaltsstoffen; Laborflügel für Fließgeschwindigkeiten; System für isokinetische (geschwindigkeitsgleiche) Probenentnahme in 2 Fließtiefen mit regelbarer Schlauchquetschpumpe	75
Bild 40:	Pflanzenkläranlage Hovi in Finnland, Modellversuch.....	77
Bild 41:	Wirbelbildung bei Umströmung der „Pflanzen“	77
Bild 42:	Reduzierte Absetzwirkung bei höherer Pflanzendichte und bei Wind an der Wasseroberfläche	78
Bild 43:	Leitfähigkeitsmessung zur Identifikation von Dichteschichtungen.....	78
Bild 44:	Gemessene Salztracerkonzentration bei gleicher Zugabemenge – links: ohne Pflanzen, mit Schichtung; rechts: mit Pflanzen (13 Stängel/m ²), ohne Schichtung.....	78
Bild A.1:	Massenbilanz, Raumelement in kartesischen Koordinaten – Draufsicht	79
Bild A.2:	Advektiver und diffusiver Stofftransport.....	81
Bild A.3:	Netztopologie für ein 3D-Netz mit Quadern.....	82
Bild A.4:	Leichtes Medium oben; Darstellung der Dichteunterschiede	85
Bild A.5:	Leichtes Medium oben; Darstellung der turbulenten kinetischen Energie k	86
Bild A.6:	Leichtes Medium unten; Darstellung der Dichteunterschiede.....	86
Bild A.7:	Leichtes Medium unten; Darstellung der turbulenten kinetischen Energie k	86
Bild A.8:	Die verschiedenen Zonen der Geschwindigkeitsverteilung	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Zusammenstellung der maßgeblichen Längenmaßstäbe	17
Tabelle 2:	Vergleich der Maßstäbe für zwei typische Einleitungsbeispiele einer Großstadt mit einer Einwohnerzahl von 1 Million und einer mehrdüsigigen Einleitung über einen Diffusor der Länge $L_D = 400$ m in das Meer mit einer Schichtung $\varepsilon_a = -(g/\rho_a)(d\rho_a/dz) = 0,0064 \text{ s}^{-2}$	18
Tabelle 3:	Zusammenstellung der maßgeblichen Längen- und Zeitmaßstäbe	34
Tabelle 4:	Vergleich der Diskretisierungsmethoden	49
Tabelle 5:	Beispiele für geeignete Software für Stufe-3-Anwendungen (Stand 2015).....	52

Benutzerhinweis

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 dieses besteht nach der Rechtsprechung eine tatsächliche Vermutung, dass es inhaltlich und fachlich richtig ist.

Jedermann steht die Anwendung des Merkblattes 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.

Einleitung

Genauigkeitsanforderungen und zweckmäßiger Detaillierungsgrad einer Ausbreitungsuntersuchung, aber auch die Komplexität der zugrunde liegenden Strömungs- und Transportprozesse können sich je nach praktischer Aufgabenstellung ganz erheblich voneinander unterscheiden. Während für manchen Anwendungshintergrund mit einer der in Teil 1 dieses Merkblatts vorgestellten, einfachen Schätzformeln eine hinreichend genaue Bearbeitung erfolgen kann, erfordern andere Situationen eine wesentlich detailliertere Erfassung der maßgebenden Prozesse. Im vorliegenden Teil 2 des Merkblattes wird der schon im ersten Teil vorgestellte Stufenaufbau der Methoden weiterverfolgt und abgeschlossen:

Stufe 0: Einleitungen ohne Schadstoffe in bedenklicher Konzentration (Merkblatt DWA-M 544-1),

Stufe 1: Grobscreening, Schätzformeln und eindimensionale Modelle (Merkblatt DWA-M 544-1),

Stufe 2: Strahlintegral- und Längenmaßstabsmodelle (Merkblatt DWA-M 544-2),

Stufe 3: Methoden der Hydroinformatik (Merkblatt DWA-M 544-2),

Stufe 4: Prozessorientierte Detailuntersuchungen (Merkblatt DWA-M 544-2).

Die nun folgenden Abschnitte des vorliegenden zweiten Teils von Merkblatt DWA-M 544 behandeln die Stufen 2 bis 4, und zwar in Abschnitt 3 die Strahlintegral- und Längenmaßstabsmodelle, in Abschnitt 4 Methoden der Hydroinformatik und in Abschnitt 5 prozessorientierte Detailuntersuchungen mit den Mitteln der Experimentalhydraulik bzw. der CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Die Wahl von Strahlintegral- bzw. Längenmaßstabsmodellen als Untersuchungsmethode erscheint – kurz zusammengefasst – zweckmäßig und naheliegend für die Simulation von Ausbreitungsvorgängen, bei denen eine aktive, impulsbehaftete Einleitung die Vorfluterströmung im Nahfeld signifikant beeinflusst, die Einleitung einen merklichen Dichteunterschied zum Vorfluter aufweist (z. B. als Folge unterschiedlicher Temperaturen und/oder Salzgehalte), ein mehrdüsigter Diffusor mit starker, nicht vernachlässigbarer Anfangsdurchmischung zum Einsatz kommt oder speziell Informationen über das Nahfeld von Interesse sind (Ort eines eventuellen Sohl- oder Uferkontakts des Strahls bzw. der Fahne). Einen Schwerpunkt der Anwendungen stellen Situationen mit stationärer Einleitung in stationäre Vorflutströmungen dar, wobei Erweiterungen für quasistationäre Simulationen mit Berücksichtigung von Zeitreihen durch Aneinanderreihung vieler stationärer Berechnungen verfügbar sind. Auch Module für periodisch-instationäre Vorflutbedingungen können bei bestimmten Aufgabenstellungen Anwendung finden.

VORSCHAU

Einleitungen von Stoffen und/oder Wärme haben – mitunter gravierende – Konsequenzen für die Qualität des im Gewässer herrschenden chemischen und ökologischen Zustands. Für die Planung von Einleitungen oder auch die Beurteilung unplanmäßiger, etwa unfallbedingter Gewässerverunreinigungen ist ein Verständnis der maßgebenden, den Transport und die Ausbreitung bestimmenden Prozesse sowie, darauf aufbauend, die Anwendung geeigneter Methoden und Modelle erforderlich.

„Ausbreitungsvorgänge“ bzw. „Ausbreitungsprobleme“ umfassen in ihrer vollen Allgemeinheit deutlich mehr als in dem vorliegenden Merkblatt, das in zwei Teilen erscheint, abgedeckt werden konnte. Gegenstand beider Teile des Merkblattes ist die Behandlung der Ausbreitungs- und Transportvorgänge von gelösten Stoffen und Wärme, nicht aber von Feststoffen (Geschiebe, Schweb- und Schwimmstoffen), Gasbläschen („bubble plumes“) oder Öl.

Genauigkeitsanforderungen und zweckmäßiger Detaillierungsgrad einer Ausbreitungsuntersuchung, aber auch die Komplexität der zugrunde liegenden Strömungs- und Transportprozesse können sich je nach praktischer Aufgabenstellung ganz erheblich voneinander unterscheiden. Während für manchen Anwendungshintergrund mit einer einfachen Schätzformel eine hinreichend genaue Bearbeitung erfolgen kann, erfordern andere Situationen eine wesentlich detailliertere Erfassung der maßgebenden Prozesse.

Im hier vorliegenden Teil 2 des Merkblattes DWA-M 544 wird der schon in Teil 1 vorgestellte Stufenaufbau der Methoden weiterverfolgt und abgeschlossen. Den Schwerpunkt des zweiten Teils bilden Strahlintegral- und Längenmaßstabsmodelle, Methoden der Hydroinformatik und prozessorientierte Detailuntersuchungen.

Gegenstand des ersten Teiles (DWA-M 544-1) bilden Erläuterungen der physikalischen Prozesse und ein Methodenüberblick sowie Verfahren für Abschätzung, Grobscreening und eindimensional-instationäre Modellierung.

Zusammen verfolgen beide Teile des Merkblattes das Ziel, Anwendern eine fachlich fundierte Hilfestellung für die Behandlung von Ausbreitungsproblemen zu geben.

Das Merkblatt richtet sich an Fachleute in Behörden, Ingenieurbüros, Firmen und Verbänden, die mit der Lösung von Ausbreitungsproblemen bei Einleitungen betraut sind. Vor diesem Anwendungshintergrund soll das Merkblatt als Informationsquelle für praxisnahe Ansätze dienen.

ISBN: 978-3-88721-281-0 (Print)
978-3-88721-337-4 (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