

# **BWK - Regelwerk**

## **Merkblatt BWK-M1**

### **Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern**

**Teil 1: Stationäre Berechnung der Wasserspiegellinie  
unter besonderer Berücksichtigung von Bewuchs- und  
Bauwerkseinflüssen**

3. Auflage, Mai 2009



## Verantwortlicher Herausgeber

Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.  
Postfach 0524, D-71047 Sindelfingen  
Tel. (07031) 4383994, Fax (07031) 4383995  
E-Mail: [info@bwk-bund.de](mailto:info@bwk-bund.de)  
<http://www.bwk-bund.de>

Dieses Merkblatt wurde erarbeitet von der BWK-Arbeitsgruppe 7.2 „Hydraulische Modelle in der Wasserwirtschaft“ unter Mitwirkung von:

<b>Gebhardt, Günter,</b> Dipl.-Ing.	Emscher Genossenschaft/Lippeverband, Essen
<b>Knauf, Dieter</b> Prof. Dr.-Ing.	Fachhochschule Darmstadt
<b>Pasche, Erik</b> Prof. Dr.-Ing.	Technische Universität Hamburg-Harburg (Vorsitzender)
<b>Rickert, Klaus</b> Dr.-Ing.	Weiterbildendes Studium Bauingenieurwesen- Wasserwirtschaft Universität Hannover
<b>Sacher, Hartmut</b> Dr.-Ing.	Firma Hydrotec, Ingenieurgesellschaft, Aachen
<b>Stein, Jürgen</b> Dr.-Ing.	Ingenieurbüro Kisters, Aachen

## Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

## Vertrieb

Fraunhofer IRB Verlag  
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau  
Postfach 800469, D-70504 Stuttgart  
Telefon: (0711) 970-2500, Fax (0711) 970-2508  
E-Mail: [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)  
<http://www.baufachinformation.de>

## Urheberrecht

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche anderweitige, auch auszugsweise, Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2009 Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.

## Der BWK

Der Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V. arbeitet als technisch-wissenschaftlicher Verband von Fachleuten in den Bereichen Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft, Bodenschutz und Altlasten. Dabei ist er politisch und wirtschaftlich unabhängig.

Zweck des Verbandes ist die Förderung der Wissenschaft und Forschung, der Bildung und des Umweltschutzes. Der BWK bietet seinen etwa 4000 Mitgliedern seit über 100 Jahren eine Plattform für Information, den Erfahrungsaustausch, die Fort- und Weiterbildung, die Erarbeitung des BWK-Regelwerkes und für einen aktiven, interdisziplinären Umweltschutz. Der BWK trägt zu einer praxisgerechten Umsetzung der Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung bei.

3. Auflage, Mai 2009  
ISBN 978-3-8167-7832-5  
Die Schutzgebühr beträgt 30,- €, für BWK-Mitglieder 24,- €.

## Vorwort zur ersten Auflage

Die Gefährdung unserer Siedlungsräume durch Hochwasser, aber auch die hohe Bedeutung, die unsere Fließgewässer für eine intakte Umwelt haben, fordern vom Ingenieur vielfältige Maßnahmen am Gewässer, deren Wirkung sicher beurteilt werden muß. Hierzu gehören sowohl Hochwasserschutzmaßnahmen als auch die Verbesserung der ökologischen Verhältnisse. Große Bedeutung kommt dabei der richtigen Erfassung und Bewertung strömungsphysikalischer Vorgänge zu. Oftmals noch angewandte vereinfachte Berechnungsverfahren, bei denen mit einem Beiwert sämtliche Fließwiderstände zusammengefaßt werden, werden diesem Anspruch bei naturnahen Gewässern nicht mehr gerecht. Für eine fundierte hydraulische Berechnung ist es unverzichtbar, daß das Wirkungsgefüge zwischen den einzelnen gewässermorphologischen Elementen, einschließlich Bewuchs und den sich daraus ergebenden Strömungsverhältnissen, aufgeschlüsselt wird und Berechnungsansätze verwendet werden, die die Strömungsgrößen auf der Grundlage direkt in der Natur bestimmbarer Größen berechnen.

Aufbauend auf den Ergebnissen des DFG-Forschungsberichtes „Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse“ (ROUVÉ, 1987) wurden 1991 erste Empfehlungen zur hydraulischen Berechnung von naturnahen Fließgewässern mit dem DVWK Merkblatt 220 der breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Sie haben den Weg zur Anwendung des universellen Fließgesetzes und der Einführung neuer Verfahren zur hydraulischen Quantifizierung des durch Bewuchs hervorgerufenen Fließwiderstandes aufgezeigt. Jedoch bleiben darin einige wesentliche Strömungsphänomene unberücksichtigt, wie z. B. der Einfluß einer mäandrierenden Linienführung, die Durch- und Überströmung von Bauwerken in Gewässern sowie der Fließwiderstand bei extremen Rauheiten, bei denen sich keine logarithmische Geschwindigkeitsverteilung über dem Rauheitselement einstellt. Des weiteren fehlt eine zusammenhängende Aufbereitung hydraulischer Verfahren für eine Anwendung in Wasserspiegelberechnungen. Diesen kommt die größte Bedeutung in der Fließgewässerhydraulik zu, da in naturnahen Fließgewässern stationär-ungleichförmige Strömungsvorgänge dominieren und diese mit einer Wasserspiegelberechnung realitätsnah nachvollzogen werden können.

Hier setzt dieses Merkblatt an. Es soll diese Lücke in der Wasserspiegellinienberechnung schließen. In über 4-jähriger Tätigkeit wurde von der technisch-wissenschaftlichen BWK-Arbeitsgruppe 7.2 „Hydraulische Modelle in der Wasserwirtschaft“ gezielt für den in der Praxis tätigen Ingenieur eine Grundlage geschaffen, mit der er sein Verständnis für die Strömungsvorgänge in Fließgewässern auf der Basis physikalisch gut begründeter Verfahren verbessern kann. Dabei wird in bezug auf das universelle Fließgesetz und die hydraulische Quantifizierung von Bewuchs sowie Trennflächenwiderstand auf das DVWK-Merkblatt Heft 220 zurückgegriffen. In den zahlreichen Stellungnahmen zum Gelbdruck des Merkblattes wurde eine Doppelgleisigkeit mit dem DVWK-Merkblatt gesehen, wodurch sich der Anwender vor die Schwierigkeit gestellt sieht, zur Lösung seiner hydraulischen Problemstellung das anzuwendende Verfahren aus zwei thematisch ähnlich gelagerten Merkblättern auswählen zu müssen. Diese Auffassung wird von den Autoren nicht geteilt, da

- ein inhaltlicher Widerspruch zwischen den beiden Merkblättern nicht existiert und
- beide Merkblätter sich inhaltlich deutlich abgrenzen und ergänzen.

Das DVWK-Merkblatt Heft 220 hat seinen Schwerpunkt in der Abflußberechnung bei stationär-gleichförmigem Abfluß. Demgegenüber wendet sich dieses Merkblatt vor allem dem Problembereich der Wasserspiegelberechnung bei stationär-ungleichförmigem Abfluß zu. Aufgrund dieser thematischen Abgrenzung behält das DVWK Merkblatt 220 seine Bedeutung als wichtige Grundlage für die hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern.

Im vorliegenden Merkblatt wurden die Problembereiche der instationären Strömung und der sedimentbeeinflussten Strömung ausgeklammert. Letzterer Problembereich wurde bereits mit der DVWK Schrift Heft 118 aus dem Jahre 1997 und der DVWK Mitteilung Heft 25 aus dem Jahre 1994 umfassend behandelt. Dem gegenüber ist der Problembereich der instationären Strömung in den bisherigen Regelwerken für die Ingenieurpraxis unzureichend behandelt worden, so daß sich die BWK Arbeitsgruppe 7.2 diesem in Kürze zuwenden wird und die dabei gewonnenen Ergebnisse im Teil 2 des Merkblattes dokumentieren wird.

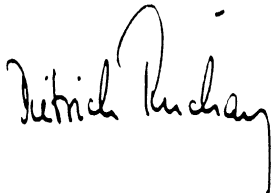
Aufgrund der erweiterten theoretischen Grundlage dieses Merkblattes wird die hydraulische Berechnung komplexer und der Aufwand in der Datenerhebung kann sich erhöhen. Da heute Wasserspiegellagen ausschließlich EDV-gestützt berechnet werden, ist eine komplexere hydraulische Berechnung ohne Mehraufwand möglich, sofern entsprechende EDV-Programme zur Verfügung stehen.

Um das Merkblatt umfassend nutzen zu können, wird hydraulisches Grundwissen vorausgesetzt. Spezialwissen der Mathematik und der Physik hingegen ist nicht erforderlich. Für vertiefte Studien der theoretischen Grundlagen wird jedoch auf den technischen Bericht, 1/2000 des BWK „Hydraulische Berechnung von natürlichen Fließgewässern - Grundlagen für stationäre, eindimensionale Wasserspiegelberechnungen“, verwiesen.

Die Datenerhebung ist sicherlich auf der Grundlage dieses Merkblattes aufwendiger und schwieriger als bei den vereinfachten Berechnungsverfahren. Sie erfordern vom Ingenieur, sich eingehend mit den gewässer-morphologischen Verhältnissen auseinanderzusetzen. Eine intensive Ortsbegehung und Gewässerstrukturerhebung werden daher als unverzichtbar für eine Wasserspiegelberechnung angesehen. Das BWK-Merkblatt gibt konkrete Hinweise zu dem entsprechenden methodischen Vorgehen, das sich von der Problembeschreibung über die Phase der Datenerhebung und bis zur Ergebnisbewertung erstreckt.

Anhand von 5 Beispielen aus der Ingenieurpraxis wird das prinzipielle Vorgehen bei der Berechnung von Wasserspiegellagen dargestellt. Dabei sind 3 Beispiele aus der 5. Auflage der Richtlinie für naturnahe Unterhaltung und naturnahen Ausbau der Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen, herausgegeben vom Landesumweltamt NRW, entnommen worden. Hiermit sollen der enge Zusammenhang zwischen der ökologischen und strömungsphysikalischen Problembewältigung dargelegt und neue Wege für ein interdisziplinäres und ganzheitliches Vorgehen bei der naturnahen Unterhaltung und beim naturnahen Ausbau von Fließgewässern aufgezeigt werden. Dem Land Nordrhein-Westfalen sei für die Zurverfügungstellung dieser Beispiele und die finanzielle Unterstützung bei der Aufstellung dieses Merkblattes gedankt.

September 1999



Dr.-Ing. E.h. Dietrich Ruchay  
Präsident des BWK



Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche  
Vorsitzender der technisch-wissenschaftlichen BWK-Arbeitsgruppe 7.2  
„Hydraulische Modelle in der Wasserwirtschaft“

### Vorwort zur dritten Auflage

Annähernd zehn Jahre nach der Erstveröffentlichung des BWK-Merkblattes 1 liegt das Merkblatt nun bereits in seiner dritten Auflage vor. Die große und stetige Nachfrage des Merkblattes zeigt zum einen die nach wie vor vorhandene oder sogar gestiegene Aktualität der Thematik des Merkblattes an, das die Wasserspiegelberechnung bei stationär-ungleichförmigem Abfluss unter besonderer Berücksichtigung von Bewuchs- und Bauwerkseinflüssen zum Schwerpunkt hat. Zum anderen bestätigt es das Bemühen des BWK, Regelwerksarbeit dort zu leisten, wo aufgrund neuer Erkenntnisse in einer gesamtökologischen Betrachtungsweise Lücken in der Wasserwirtschaft sichtbar werden. In der dritten Auflage wurden an einigen Stellen Aktualisierungen und Korrekturen vorgenommen, ohne die inhaltliche Aussage des Merkblattes zu verändern.

Mai 2009



Dipl.-Ing. Edgar Freund  
Präsident des BWK



Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche  
Vorsitzender der technisch-wissenschaftlichen BWK-Arbeitsgruppe 7.2  
„Hydraulische Modelle in der Wasserwirtschaft“

## Inhalt

<b>1. Allgemeines .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Methodisches Vorgehen .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Theoretische Grundlagen der Spiegellinienberechnung .....</b>	<b>14</b>
3.1 Grundgleichung der Spiegellinienberechnung .....	14
3.2 Verfahren zur Abschätzung des Druckhöhenverlustes infolge Reibung .....	18
3.2.1 Das Reibungsverlustgesetz .....	18
3.2.2 Auswirkungen auf den Energiestrombeiwert $\alpha$ und den Boussinesq-Beiwert $\alpha'$ .....	23
3.2.3 Darcy-Weisbach Koeffizient $\lambda$ für Sohl- und Wandrauheiten .....	24
3.2.4 Darcy-Weisbach-Koeffizient für Bewuchs .....	29
3.2.5 Fließwiderstand infolge Geometrie- und Rauheitsgliederung .....	37
3.3 Verfahren zur Berechnung des Fließwiderstandes infolge Mäandrierung .....	41
3.4 Verfahren zur Berechnung des Fließwiderstandes bei geometrischer Änderung des Fließquerschnittes .....	43
3.5 Verfahren zur Berechnung örtlicher Verluste .....	44
3.5.1 Einzelhindernisse .....	45
3.5.2 Plötzliche Querschnittsänderung an Ein- und Ausläufen .....	46
3.5.3 Tauchwand .....	47
3.5.4 Rechen .....	47
3.5.5 Plötzliche Aufweitung an SohlspRUNgen .....	48
3.6 Verfahren zur Berechnung der Verluste an Wehren .....	49
3.6.1 Der Überfallbeiwert an Wehren mit vollkommenem Überfall .....	50
3.6.2 Der Überfallbeiwert an Wehren mit unvollkommenem Überfall .....	59
3.6.3 Der hydraulische Verlust an Wehren mit strömendem Abfluß (Sohlschwellenströmung) .....	61
3.6.4 Die Berechnung des Oberwasserspiegels an Wehren mit unterschiedlichen Kronenhöhen .....	62
3.7 Verfahren zur Berechnung der Verluste an Schützen .....	62
3.7.1 Schütz mit freiem Abfluß .....	63
3.7.2 Schütz mit gestautem Durchfluß .....	65
3.8 Verfahren zur Berechnung der Verluste an Brücken und Durchlässen .....	69
3.8.1 Freier Abfluß .....	69
3.8.2 Eingestaute Brücke mit freiem Abfluß unter der Brücke .....	73
3.8.3 Eingestautes Brückenbauwerk mit rückgestautem Abfluß .....	74
3.8.4 Überströmtes Brückenbauwerk mit vollkommenem Überfall .....	74
3.8.5 Überströmtes Brückenbauwerk mit unvollkommenem Überfall .....	76
<b>4. Hinweise für die Erhebung der Datengrundlage .....</b>	<b>78</b>
4.1 Vermessung .....	78
4.1.1 Auswahl der Profile .....	78
4.1.2 Vermessung der Profile .....	79
4.1.3 Vermessungsbegleitende Daten .....	80
4.2 Schätzung der hydraulischen Parameter .....	81
4.2.1 Sohlrauheiten und Fließwiderstände durch Bewuchs .....	81
4.2.2 Klassifizierung von Informationen .....	83
4.3 Erfassung von Bauwerken .....	83
4.4 Längsschnittdaten .....	85

4.5 Daten aus digitalen Höhenmodellen oder Befliegungen .....	85
<b>5. Praktische Hinweise zur Berechnung der Wasserspiegellinie .....</b>	<b>88</b>
5.1 Kalibrierung von 1D-Wasserspiegellinienmodellen .....	88
5.1.1 Allgemeine Hinweise.....	88
5.1.2 Grundlagen des Kalibrierungskonzeptes .....	90
5.1.3 Durchführung der Kalibrierung .....	96
5.2 Allgemeine Probleme bei Wasserspiegellinienberechnungen.....	104
5.2.1 Berechnungsprogramm - Programmfehler .....	104
5.2.2 Ungeeignete Datengrundlage.....	104
5.2.3 Berechnungsprogramme und Verfahrensgrenzen.....	106
5.2.4 Fehlerhafte Formulierung der Aufgabenstellung.....	106
5.2.5 Vermeidung von Berechnungs- und Anwendungsfehlern.....	107
5.3 EDV-technische Anforderungen an Spiegellinienmodelle.....	107
<b>6. Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>111</b>
<b>7. Verzeichnis der Symbole .....</b>	<b>113</b>
<b>8. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>117</b>
<b>Anhang</b>	
<b>A1 Beispiel 1: Grosser Bach im Bergland</b>	<b>A1-1</b>
1-1 Allgemeine Beschreibung der Gewässersituation	A1-1
1-2 Morphologische und geometrische Verhältnisse	A1-1
1-3 Das hydraulische System	A1-4
1-4 Abschätzen der hydraulischen Parameter	A1-7
1-5 Berechnungsergebnisse	A1-8
<b>A2 Beispiel 2: Grosser Fluß im Bergland</b>	<b>A2-1</b>
2-1 Allgemeine Beschreibung der Gewässersituation	A2-1
2-2 Morphologische und geometrische Verhältnisse	A2-2
2-3 Das hydraulische System	A2-4
2-4 Abschätzen der hydraulischen Parameter	A2-5
2-5 Berechnungsergebnisse	A2-6
<b>A3 Beispiel 3: Kleiner Bach im Flachland – Sandgebiet</b>	<b>A3-1</b>
3-1 Allgemeine Beschreibung der Gewässersituation	A3-1
3-2 Morphologische und geometrische Verhältnisse	A3-2
3-3 Das hydraulische System	A3-4
3-4 Abschätzen der hydraulischen Parameter	A3-5
3-5 Berechnungsergebnisse	A3-6
<b>A4 Beispiel 4: Kleiner Fluß im Bergland</b>	<b>A4-1</b>
4-1 Allgemeine Beschreibung der Gewässersituation	A4-1
4-2 Morphologische und geometrische Verhältnisse	A4-2
4-3 Das hydraulische System	A4-5
4-4 Abschätzen der hydraulischen Parameter	A4-7
4-5 Berechnungsergebnisse	A4-11
<b>A5 Beispiel 5: Kleiner Bach im Flachland – Sandgebiet</b>	<b>A5-1</b>
5-1 Allgemeine Beschreibung der Gewässersituation	A5-1
5-2 Morphologische und geometrische Verhältnisse	A5-1
5-3 Das hydraulische System	A5-7
5-4 Abschätzen der hydraulischen Parameter	A5-8
5-5 Berechnungsergebnisse	A5-9