

INSTITUT WAR — Bibliothek —
Wasserversorgung, Abwassertechnik
Abfalltechnik und Raumplanung
Technische Universität Darmstadt
Petersenstraße 13 64287 Darmstadt
TEL. 0 61 51 / 16 36 59 + 16 27 48
FAX 0 61 51 / 16 37 58

W. A. R. — Bibliothek
Inv.-Nr. D 17938

Martin Marburger

~~02.1 MAB~~
10 KWM 8

Entwicklung eines tiefengemittelten morphodynamischen Fließgewässermodells

Ein Beitrag zur zweidimensionalen
numerischen Simulation bettbildender
Prozesse

Technische Universität Darmstadt
Bibliothek Wasser und Umwelt
Petersenstraße 13
D-64287 Darmstadt
Telefon 06151 / 163659
Fax 06151 / 163758

KASSELER WASSERBAU – MITTEILUNGEN HEFT 8

Universität Gesamthochschule Kassel
Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft
Leiter: Prof. Dr.-Ing. F. Tönsmann

Kassel, September 1999

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1. Problemstellung.....	1
1.2. Skalenmäßige Einordnung der zu modellierenden Prozesse.....	2
1.3. Verfahren zur numerischen Simulation von morphologischen Prozessen.....	5
1.3.1. Klassifizierung bestehender Verfahren - Stand der Modellierungstechnik.....	5
1.3.2. Kriterien der Verfahrenswahl	10
1.4. Zielsetzung der Arbeit	12
2. GRUNDLEGENDE FESTSTOFFTRANSPORTBEZIEHUNGEN.....	15
2.1. Empirische Feststofftransportansätze	15
2.2. Vorgänge an der Sohle.....	16
2.2.1. Transportbeginn.....	16
2.2.2. Sohlenformen	18
2.2.3. Korn- und Formrauheit.....	20
2.2.4. Sinkgeschwindigkeit und Suspensionsbeginn.....	20
2.3. Verwendete Geschiebetransportformeln	21
2.3.1. Der Ansatz von Meyer-Peter/Müller und Hunziker	22
2.3.2. Die Donau-Geschiebeformel der BAW.....	23
2.3.3. Geschiebetrieb für Feinmaterial nach van Rijn.....	23
2.4. Schwebstofftransport.....	24
3. PROZESSE DER MORPHOLOGISCHEN ENTWICKLUNG	26
3.1. Einfluß der Korngrößenverteilung - Fraktionsweiser Transport	26
3.1.1. Einfluß der Mischsohle	26
3.1.2. Diskretisierung der Körnungslinie und Anzahl der Fraktionen	29
3.1.3. Abschattungs- und Expositionsfunktionen.....	30
3.2. Störungen im Feststoffregime	34
3.2.1. Abpflasterungsvorgänge.....	34
3.2.2. Transport über eine feste Sohle	34
3.2.3. Rauheitsentwicklung und Transportfeld	37
3.2.4. Abweichungen vom Gleichgewichtstransport und Anpassungsstrecken	38
3.3. Richtung des Feststofftransportes.....	39
3.3.1. Krümmungsinduzierte Sekundärströmungen	39
3.3.2. Sohlenneigungseinfluß	42
4. GLEICHUNGSSYSTEM ZUR ERFASSUNG MORPHOLOGISCHER VORGÄNGE.....	44
4.1. Zweidimensional-tiefengemittelte Strömungsberechnung.....	44
4.1.1. Gleichungssystem in krummlinigen Koordinaten.....	44
4.1.2. Instationäre Formulierung.....	45
4.1.3. Gleichungssystem der Flachwasser-Gleichungen	46
4.1.4. Turbulenzmodellierung mit dem k- ϵ -Ansatz	47

4.2.	Die Sohlschubspannung als Schnittstelle zum Sedimenttransport	49
4.2.1.	Erfassung des Reibungs- und Widerstandsphänomens	49
4.2.2.	Zusammenwirken der Größen im morphodynamischen Modell.....	50
4.3.	Der Ansatz gewichteter Impulsgleichungen - Moment of Momentum	52
4.3.1.	Grundlagen und Form des Gleichungssystems	52
4.3.2.	Auswirkungen auf die Schubspannungen	56
4.3.3.	Modellierungsaspekte.....	56
4.4.	Die Schwebstofftransportgleichung.....	57
1.1.1.	Konvektive und dispersive Terme	57
4.4.2.	Quelltermformulierung	58
4.4.3.	Zusammenwirken mit dem Turbulenzmodell.....	59
4.5.	Die Sedimentkontinuitätsgleichungen	61
4.5.1.	Modellierung der Sohlschichtung und „Exner“-Gleichung.....	61
4.5.2.	Kontinuitätsgleichung je Fraktion und Sortierungsgleichungen.....	63
4.6.	Aspekte der zweidimensionalen Feststofftransportmodellierung	67
4.6.1.	Rotation des Geschwindigkeitsfeldes und resultierende Sohlenneigung.....	67
4.6.2.	Modellierungsaspekte beim Transport über fester Sohle.....	68
4.6.3.	Das „Loading Law“ des Geschiebetransportes	71
4.6.4.	Der Bettformenentwicklungsansatz – BSDF	73
4.7.	Näherungslösung der stationären Sedimentkontinuitätsgleichung	75
4.7.1.	Morphologische Entwicklung und Schubspannungsänderung.....	76
4.7.2.	Modellierungsaspekte.....	78
4.8.	Randbedingungen bei morphologischen Berechnungen	78
4.8.1.	Anfangsbedingungen.....	79
4.8.2.	Eintragungsgrenze.....	79
4.8.3.	Ausströmungsgrenze.....	80
4.8.4.	Seitliche Berandungen.....	81
4.8.5.	Berandung des aktiven Bettes.....	82
5.	NUMERISCHES VERFAHREN	84
5.1.	Diskretisierung des Gleichungssystems	84
5.1.1.	Herleitung der Differenzgleichungen	84
5.1.2.	Differenzenbildung der zeitabhängigen Terme	89
5.1.3.	Linearisierungen und numerische Stabilität.....	90
5.2.	Lösungsstrategie.....	91
1.1.1.	Lösungsmöglichkeiten innerhalb des morphodynamischen Verfahrens	91
5.2.2.	Konvergenzkriterien.....	93
5.3.	Lösung der Sedimentkontinuitätsgleichung	95
5.3.1.	Explizite Lösung mit einem Prädiktor-Korrektor-Verfahren	96
5.3.2.	Explizite Lösung mit der modifizierten Lax-Methode.....	97
5.4.	Stabilitätskriterien bei der Zeitschrittwahl.....	98
5.5.	Zu morphologischen Effekten einiger implementierter Ansätze.....	99
5.5.1.	Näherungsverfahren zur Abschätzung eines stationären morphologischen Zustandes... ..	99
5.5.2.	Transport über fester Sohle	101
5.5.3.	Entwicklung der Betrauheit	108
6.	ANWENDUNG AUF IDEALISIERTE TRANSPORTSITUATIONEN.....	114
6.1.	Numerisches Verhalten bei der morphologischen Berechnung	114

6.1.1.	Klassierung und morphologische Entwicklung beim Ein- und Zweischicht-Ansatz	114
6.1.2.	Einfluß der zeitlichen Diskretisierung und numerische Dispersion	121
6.2.	Sekundärströmungseinfluß in einer Krümmerströmung	124
6.2.1.	Der Einfluß der "Moment-of-Momentum" Gleichungen	124
6.3.	Morphologische Änderungen in einem Laborkrümmen	127
6.3.1.	Rotationsbehaftete Strömung und Richtung der Schubspannung	129
6.3.2.	Krümmungskolkentwicklung und Querklassierungseffekte	130
6.4.	Das Günter-Experiment, Selbststabilisierung in einem Rechteckgerinne	133
6.4.1.	Zeitlicher Verlauf der Rotationserosion – Vergleichsrechnung mit der Mehrkomformel	135
6.4.2.	Klassierung und Selbststabilisierung – Anwendung der Donau-Geschiebe-Formel	139
6.4.3.	Einflüsse durch Parametrisierung	142
6.5.	Geschiebetransport in einem Labor-Bassin	145
6.5.1.	Einfluß des Loading-laws	146
6.5.2.	Einfluß des numerischen Lösungsverfahrens	148
7.	BEISPIELRECHNUNGEN ZUM SUSPENSIONSTRANSPORT	151
7.1.	Erosion und Anlandung in einem Labor-Bassin	151
7.2.	Suspensionstransport im Kemnader Stausee / Ruhr	154
7.2.1.	Das Untersuchungsgebiet	154
7.2.2.	Morphodynamische Simulation eines Hochwasserereignisses	157
7.2.3.	Aspekte des klassierten Schwebstofftransportes	161
7.2.4.	Langzeit-Aspekte	164
7.2.5.	CPU-Zeiten	166
8.	FALLBEISPIEL: DIE DONAUSCHLEIFE BEI BAD ABBACH	167
8.1.	Vorstellung des Fallbeispiels	167
8.1.1.	Wasserbauliche und morphologische Fragestellungen	168
8.1.2.	Datengrundlagen und –aufbereitung, Besonderheiten im Untersuchungsgebiet	169
8.2.	Weitere Aspekte der Modellbildung und des -betriebes	175
8.2.1.	Berechnung des Strömungsfeldes und Zeitschrittwahl	175
8.2.2.	Morphologische Randbedingungen	178
8.2.3.	Kalibrierung des morphologischen Modells	179
8.3.	Ergebnisse der morphodynamischen Simulation	180
8.3.1.	Zeitliche Entwicklung der Sohlentopographie	180
8.3.2.	Klassierung des Sohlenmaterials, Einfluß der Felshorizonte	183
8.3.3.	Wertung und Praxistauglichkeit	185
9.	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	187
10.	LITERATUR	191
	Verzeichnis der Inserenten	198
	Publikationen des Fachgebietes Wasserbau und Wasserwirtschaft	202