

Anhang B

Beschreibung des Transportmodells

Inhaltsverzeichnis

B	Beschreibung des Programms MORMO	2
B1	Allgemeine Grundlagen	2
B1.1	Modellierung und Berechnungsablauf.....	2
B1.2	Erfassung der Querprofilgeometrie	3
B1.3	Erfassung der Oberflächenrauigkeit.....	4
B1.4	Ermittlung des lokalen Gefälles.....	5
B1.5	Berechnung der dimensionslosen Schubspannung	5
B1.6	Berechnung des charakteristischen mittleren Korndurchmessers	6
B1.7	Schichtaufbau.....	6
B2	Konzept für die Berechnung des Geschiebetriebes an der Donau	8
B2.1	Einleitung	8
B2.2	Transportformel	9
B2.3	Fraktionsweiser Geschiebetransport	9
B2.4	Berücksichtigung von Schubspannungsschwankungen	10
B2.5	Berücksichtigung von Bänken und Kolken bei der Berechnung der Schubspannung	11
B2.6	2Layer-Technik.....	12
B3	Literaturverzeichnis	14
B4	Liste der Symbole	15

B Beschreibung des Programms MORMO

Das an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich entwickelte Programm MORMO ist ein eindimensionales, quasistationäres, explizites Simulationsmodell zur Berechnung von Sedimenttransportraten und Sohlenveränderungen in Flüssen und Stauhaltungen. Das Modell wurde in den letzten 10 Jahren an verschiedenen Flüssen in der Schweiz und im Ausland eingesetzt. Dabei wurden sehr unterschiedliche Problemstellungen untersucht. Die bisherigen Erfahrungen zeigten, dass die Erfassung der morphologischen Prozesse sehr komplex ist und bei den Sedimenttransportmodellen immer noch ein grosses Entwicklungspotential vorhanden ist. Auch für die Modellierung der Donau wurden neue Konzepte in das Modell eingeführt. MORMO wird heute von der ETH Zürich und dem Ingenieurbüro Hunziker, Zarn & Partner gemeinsam weiter entwickelt.

B1 Allgemeine Grundlagen

B1.1 Modellierung und Berechnungsablauf

Ein Flusssystem wird mit Hilfe von zwei Konstruktionselementen (Querprofile und Knoten) modelliert. Die Geometrie des Flusses wird durch Querprofile erfasst, wobei zu jedem Querprofil auch Angaben über die Rauigkeit der Sohle und der Ufer sowie über die Zugabe oder Entnahme von Geschiebe gemacht werden können. Mehrere Querprofile zusammen definieren einen Flussabschnitt. Bauwerke wie Wehre und Schwellen oder Zusammenflüsse werden durch spezielle Knoten berücksichtigt. Diese Knoten können mehrere Flussabschnitte miteinander verbinden. Am oberen Ende des Modells muss als Randbedingung ein Geschiebeeintrag definiert werden, am unteren Ende wird für die hydraulische Berechnung eine Pegel-Abfluss-Beziehung benötigt. Für jeden Flussabschnitt kann eine Abflussganglinie definiert werden. Bild 1 zeigt schematisch die Modellierung eines Flusssystems mit 4 Flussabschnitten und 5 Knoten.

Eine Ganglinie wird in Zeitschritte unterteilt. Für jeden Zeitschritt berechnet das Programm zuerst eine Staukurve und insbesondere in jedem Querprofil die hydraulischen Grössen wie Abflussgeschwindigkeit und Abflusstiefe. Die Staukurvenrechnung basiert auf der allgemeinen Bernoullischen Gleichung und dem Rauigkeitsansatz nach Strickler (1923). Der Abfluss bleibt während diesem Zeitschritt abschnittsweise konstant. Aus den berechneten hydraulischen Grössen wird in jedem Querprofil die Geschiebetransportkapazität bestimmt und dann flussabwärts die Sedimentkontinuitätsbedingung (Exner-Gleichung) angewandt. Dabei wird aus der Bilanz der ein- und

ausgetragenen Geschiebemenge in jedem Querprofil die Sohlenveränderung ermittelt. Die Länge des Zeitschritts ist abhängig von dieser Sohlenveränderung. Überschreitet sie während dem Zeitschritt einen bestimmten Grenzwert, wird der Zeitschritt automatisch verkleinert und die Rechnung wiederholt.

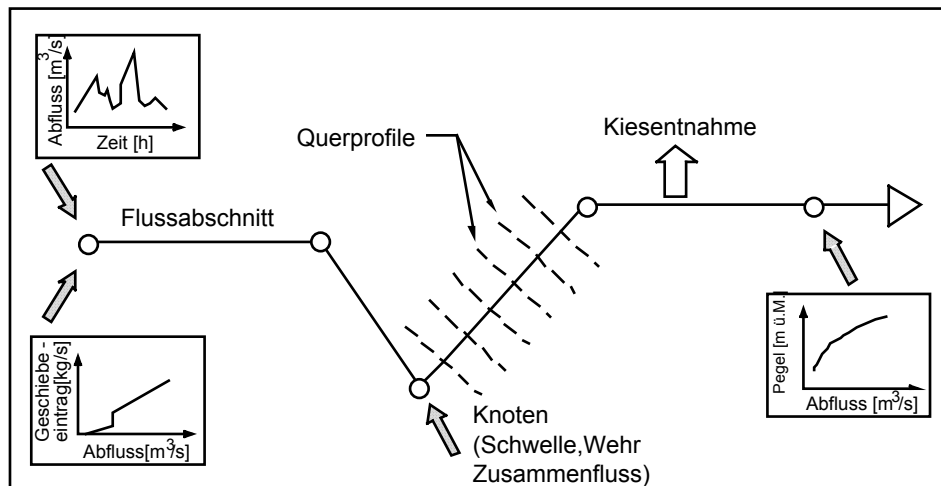


Bild 1 Modellierung eines Flusssystems.

B1.2 Erfassung der Querprofilgeometrie

Ein Querprofil wird durch mehrere Profilpunkte erfasst. Zu jedem Profilpunkt können Angaben über die Oberflächenrauigkeit in der Form von Strickler k-Werten gemacht werden. Auch die Unterscheidung von verschiedenen Profilbereichen (Hauptgerinne, Vorland, Sohlen- und Wandbereich) kann durch die spezielle Kennzeichnung von Profilpunkten erfolgen. Bild 2 zeigt, wie ein Querprofil durch mehrere Profilpunkte definiert wird. Das Programm MORMO ermittelt dann für verschiedene Abflusstiefen die charakteristischen Größen des Querprofils, wie benetzte Fläche A , Breite B_w auf der Höhe des Wasserspiegels, hydraulischer Radius R und Conveyance (Durchflussvermögen) K , die in Tabellenform gespeichert werden. Es entstehen damit Funktionen, welche die charakteristischen Größen als Funktion der Abflusstiefe darstellen. Diese Funktionen können für die hydraulischen und morphologischen Berechnungen weiter verwendet werden.

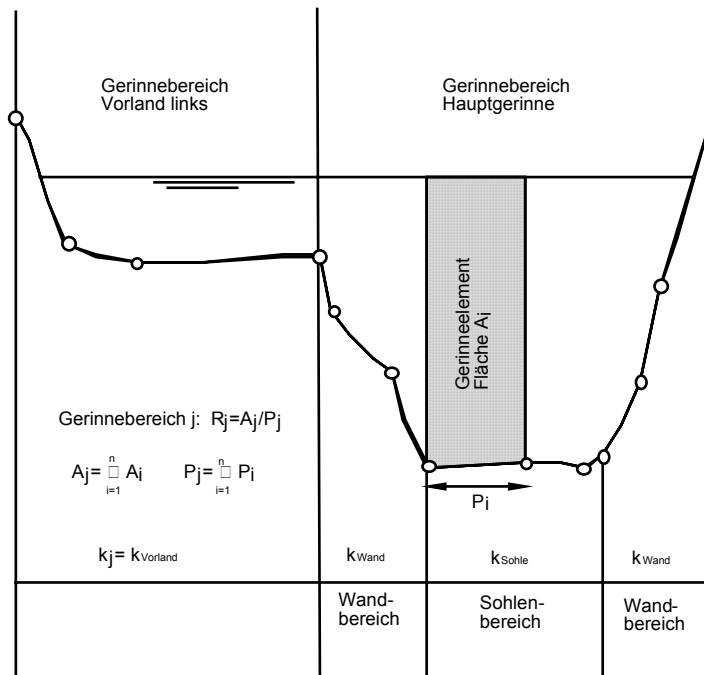


Bild 2 Gegliedertes Querschnitt. R_j , P_j und k_j bezeichnen den hydraulischen Radius, den benetzten Umfang resp. den k -Wert eines Gerinnebereichs.

Aus der Sedimentkontinuitätsbedingung wird in jedem Querprofil eine Sohlenveränderung berechnet. Diese kann entweder proportional zur Abflusstiefe oder gleichmässig über den Sohlenbereich verteilt abgetragen werden. An der Donau wurde eine gleichmässige Verteilung gewählt.

B1.3 Erfassung der Oberflächenrauigkeit

Zur Berücksichtigung der Reibungsverluste können für die verschiedenen Abflussbereiche k -Werte nach Strickler angegeben werden. Der k -Wert der Böschung wird entsprechend den örtlichen Verhältnissen (Büsche, Blockwurf, etc.) gewählt. Der k -Wert der Sohle wurde für die Berechnungen an der Donau gemäss der folgenden Gleichung berechnet:

$$k_s = \frac{21}{\sqrt[6]{d_{ms}}}$$

d_{ms} = mittlerer Korndurchmesser der Deckschicht

Durch ein gewichtetes Mittel zwischen den Wand- und den Sohlenkennwerten wird entsprechend dem Verfahren von Einstein (1934) ein mittlerer k-Wert k_m für den ganzen Gerinnebereich bestimmt.

B1.4 Ermittlung des lokalen Gefälles

In der Staukurvenrechnung werden in jedem Querschnitt die Fliessgeschwindigkeit und die Abflusstiefe ermittelt. Durch eine Rückrechnung kann im Querschnitt ein "lokales" Gefälle J_l berechnet werden, welches bei der Ermittlung der Schubspannung verwendet wird.

$$J_l = \left(\frac{v_m}{k_m R^{2/3}} \right)^2$$

Durch die Einführung des lokalen Gefälles J_l wird das Resultat der ungleichförmigen Staukurvenrechnung in jenes einer gleichförmigen Normalabflussberechnung überführt. Das Gefälle J_l wird so bestimmt, dass für die errechnete Abflusstiefe und die gegebene Abflussmenge die Strömungsgeschwindigkeit für den ungleichförmigen und gleichförmigen Abfluss gleich gross ist. Dadurch werden örtliche Verhältnisse wie zum Beispiel Verengungen oder Gerinneaufweitungen besser berücksichtigt.

B1.5 Berechnung der dimensionslosen Schubspannung

Die dimensionslose Schubspannung wird aufgrund der mittleren Abflusstiefe des Hauptgerinnes, des lokalen Gefälles J_l sowie des mittleren Korndurchmessers d_m berechnet.

$$\theta'_{dm} = \frac{\mu h_m J_l}{(s-1) d_m}$$

h_m = mittlere Abflusstiefe

J_l = Kornreibung

μ = Faktor für Formverluste (Riffel-Faktor)

$s = \rho_g / \rho_w = 2.65$

d_m = mittlerer Korndurchmesser

B1.6 Berechnung des charakteristischen mittleren Korndurchmessers

Der mittlere Korndurchmesser d_m wird nach einem Vorschlag von Müller (1943) mit

$$d_m = \sum d_i f_i$$

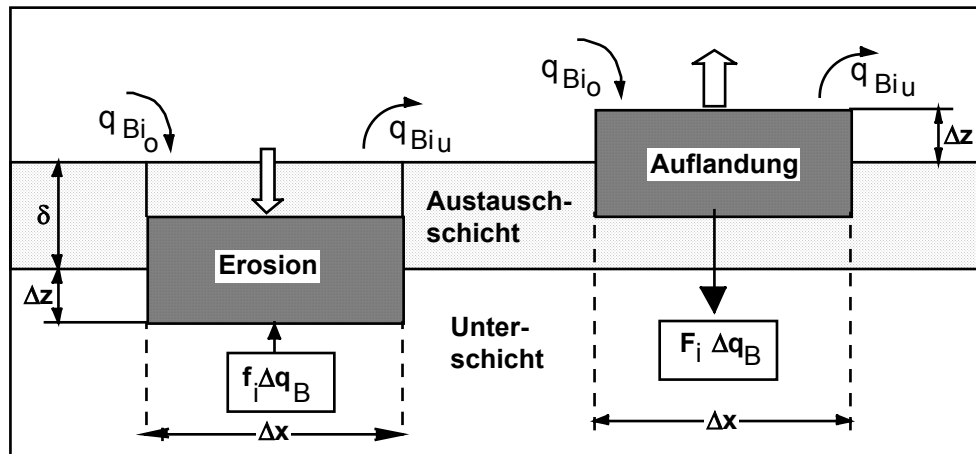
d_i = mittlerer Korndurchmesser der Fraktion i

f_i = Anteil der Fraktion i

berechnet.

B1.7 Schichtaufbau

Die Flusssohle wird durch verschiedene Schichten definiert. An der Sohlenoberfläche befindet sich die Deckschicht, auch Mixing Layer genannt. Darunter können mehrere Unterschichten mit unterschiedlichen Kornverteilungen angegeben werden. Dadurch kann der geologische Aufbau der Sohle nachvollzogen werden. Der Mixing Layer ist eine Speicherschicht, in welcher die Austauschprozesse zwischen dem Unterschichtmaterial und dem laufenden Material bilanziert werden. Das in MORMO verwendete Konzept basiert auf einem Vorschlag von Hirano (1971).



- q_{Bi_o} = Geschiebezufluhr der Fraktion i in $[m^3/s]$ pro Meter Breite
 q_{Bi_u} = Geschiebeabtrag der Fraktion i in $[m^3/s]$ pro Meter Breite
 $f_i \Delta q_B$ = Geschiebezufluhr der Fraktion i aus der Unterschicht in die Austauschschicht in $[m^3/s]$ pro Meter Breite
 $F_i \Delta q_B$ = Geschiebeabgabe der Fraktion i aus der Austauschschicht an die Unterschicht in $[m^3/s]$ pro Meter Breite
 Δz = Sohlenveränderung in $[m]$
 Δx = Diskretisation in Fließrichtung in $[m]$
 δ = Dicke der Austauschschicht in $[m]$

Bild 3 Modellvorstellung einer Austauschschicht nach Hirano (1971).

Im Falle einer Erosion wird Material mit der Kornverteilung des Untergrundmaterials der Speicherschicht zugeführt. Im Fall einer Auflandung wird Material mit der Kornverteilung der Speicherschicht an die Unterschicht abgegeben. Aus der Bilanz der ein- und ausgetragenen Geschiebemengen kann auf die Änderung der Kornverteilung in der Speicherschicht geschlossen werden.

B2 Konzept für die Berechnung des Geschiebetriebes an der Donau

B2.1 Einleitung

Ein numerisches Modell sollte anhand von gemessenen Sohlenveränderungen durch Anpassung verschiedener Parameter geeicht werden. Grundsätzlich ist zwischen der Eichung von Modellparametern (z.B. die Konstanten in der Meyer-Peter und Müller-Formel, etc.) und den gewässerspezifischen Eichparametern (z.B. Kornverteilung des Sohlenmaterials, k-Werte, etc.) zu unterscheiden. Für die Modellierung der Donau wurde davon ausgegangen, dass die aus Laborversuchen abgeleiteten Formeln möglichst originalgetreu übernommen werden sollten und dafür die gewässerspezifischen Eichgrößen, welche oft eine sehr grosse Streuung aufweisen, variiert werden können. Die Variation dieser Eichparameter muss aber innerhalb des gemessenen Streubereichs liegen.

Der Geschiebetransport ist das Produkt von sehr unterschiedlichen Prozessen, welche sich gegenseitig beeinflussen. Eine Berücksichtigung aller Prozesse ist nicht möglich. Das Modell muss so aufgebaut sein, dass die dominierenden Prozesse erfasst werden. Bei der Donau handelt es sich trotz des geringen Gefälles immer noch um einen kiesführenden Fluss. Unter diesen Verhältnissen sind die Bestimmung der Geschiebetransportkapazität bei geringen Schubspannungen sowie die Simulation der Deckschichtbildungsprozesse von zentraler Bedeutung.

Für die morphologischen resp. die sedimentologischen Berechnungen des Geschiebetransports wurde darum folgendes Konzept gewählt:

1. Verwendung der Transportformel von Meyer-Peter und Müller
2. Berechnung des fraktionsweisen Geschiebetransports auf der Basis des „Equal Mobility“ Prinzips
3. Berücksichtigung von Schubspannungsschwankungen
4. Modifikation der Meyer-Peter und Müller Formel nach dem Ansatz von Zarn
5. Berechnung der Schubspannung aufgrund einer mittleren Abflusstiefe, Berücksichtigung des Wandeinflusses über eine Reduktion der transportaktiven Breite
6. Berücksichtigung von Deckschichtbildungsprozessen mit einer 2Layer-Technik

B2.2 Transportformel

Die Transportformel von Meyer-Peter und Müller (1948) wurde für geschiebeführende Flüsse mit mittleren und steilen Gefällen entwickelt und ist auch heute noch eine sehr oft verwendete Transportformel. Die Originalformel lautet:

$$\phi_{d_{mo}} = 8 (\theta'_{d_{mo}} - \theta_c)^{3/2} \quad \text{MPM-Formel}$$

mit
$$\phi_{d_{mo}} = \frac{q_B}{(s-1)^{1/2} g^{1/2} d_{mo}^{3/2}}$$

mit
$$\theta'_{d_{mo}} = \frac{\mu h_m J_l}{(s-1) d_{mo}} \quad \text{dimensionslose Schubspannung bezogen auf } d_{mo}$$

d_{mo} = mittlerer Korndurchmesser der Unterschicht

Die transportrelevante Breite ergibt sich durch eine Reduktion der maximalen Bettbreite aufgrund des Verhältnisses der Rauigkeitsbeiwerte zwischen der Sohle und den Böschungen.

B2.3 Fraktionsweiser Geschiebetransport

Die Meyer-Peter und Müller-Formel wurde auf der Basis eines charakteristischen mittleren Korndurchmessers entwickelt, welcher die Kornverteilung symbolisiert. Um die Bildung einer Deckschicht simulieren zu können, ist jedoch der Übergang von der Einkornformel zur Mehrkornformel notwendig. Durch den Einbau einer sogenannten „Hiding Function“ in die Transportformel können die Transportraten der einzelnen Fraktionen berechnet werden. Für die Simulationen an der Donau wurde die Meyer-Peter und Müller Formel in der fraktionsweisen Form (Hunziker, 1995) verwendet. Das Verfahren ist auf dem Prinzip aufgebaut, dass die Deckschicht als Regulator für die Mobilität der einzelnen Fraktionen wirkt und im Gleichgewichtszustand die Kornverteilung des laufenden Materials derjenigen des Unterschichtmaterials entspricht.

$$q_B = \sum_{i=1}^n q_{Bi} \quad \text{Transportkapazität der Mischung}$$

$$\phi_{dms,i} = F_i \cdot 5 \cdot (\varphi_i (\theta'_{dms} - \theta_{cm}))^{3/2} \quad \text{fraktionsweise Form der MPM-Formel}$$

mit

$$\phi_{dms,i} = \frac{q_{Bi}}{(s-1)^{1/2} g^{1/2} d_{ms}^{3/2}}$$

mit

$$\theta_{cm} = \theta_{ce} \left(\frac{d_{mo}}{d_{ms}} \right)^{0.33} \quad \text{kritische dimensionslose Schubspannung der Mischung}$$

mit

$$\theta_{ce} = f(\text{Re}^*) \quad \text{kritische dimensionslose Schubspannung von Einheitskorn.}$$

Für die Simulationen an der Donau wurde $\theta_{ce}=0.043$ angenommen, um den Einfluss der Schifffahrt berücksichtigen zu können.
Nur für die HW-Szenarien wurde $\theta_{ce}=0.047$ eingesetzt.

mit

$$\theta'_{dms} = \frac{\mu h_m J_l}{(s-1) d_{ms}} \quad \text{dimensionslose Schubspannung bezogen auf } d_{ms}$$

mit

$$\varphi_i = \left(\frac{d_i}{d_{ms}} \right)^{-\alpha} \quad \text{„Hiding Function“}$$

mit

$$\alpha = 0.011 \cdot \theta_{dms}^{-1.5} - 0.3 \quad \text{Exponent der „Hiding Function“}$$

B2.4 Berücksichtigung von Schubspannungsschwankungen

Infolge der Turbulenz der Strömung sind die Schubspannungen nicht konstant, sondern schwanken um einen Mittelwert. Diese Schubspannungsschwankungen spielen vor allem bei kleineren Abflüssen eine Rolle, wenn die kleinsten Schubspannungen bereits unterhalb des Transportbeginns, die Schubspannungsspitzen jedoch über dem Transportbeginn liegen. Diese Spitzen führen dazu, dass auch bei kleineren Abflüssen noch Geschiebe transportiert wird und die Geschiebefunktion entsprechend

modifiziert werden muss. Die Transportraten sind zwar sehr gering, da aber die Anzahl der Tage mit kleinen Abflüssen gross ist, müssen diese Frachten in der Gesamtbilanzierung berücksichtigt werden.

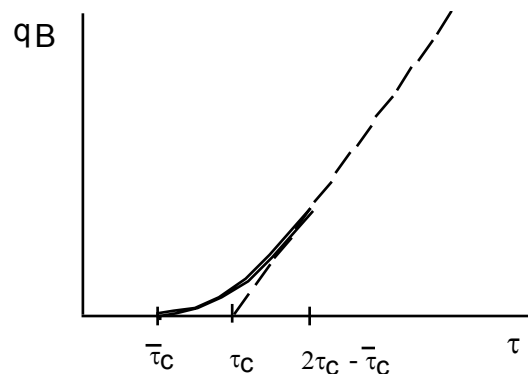


Bild 4 Einfluss der Schubspannungsschwankungen

Die Schubspannungsschwankungen werden nach einem Ansatz von Pazis und Graf (1977) direkt durch eine Geschiebefunktion berücksichtigt:

$$\phi_B = f(10^\alpha \theta^{8.15})$$

Diese Funktion wird so angepasst, dass sie im Bereich $\tau = 2\tau_c - \bar{\tau}_c$ an die Formel von Meyer-Peter und Müller anschliesst.

B2.5 Berücksichtigung von Bänken und Kolken bei der Berechnung der Schubspannung

In den meisten Versuchen zur Herleitung der Transportformel von Meyer-Peter und Müller waren keine Bänke und Kolke vorhanden, sondern die Sohle war eben. In Wirklichkeit ist in vielen Fällen das Flussbett jedoch nicht eben, sondern von Kiesbänken und Kolken geprägt. Diese Sohlenformen führen dazu, dass die Abflussgeschwindigkeiten im Querschnitt variabel sind. Die von Meyer-Peter (1963) vorgeschlagene Streifenmethode, bei welcher der Querschnitt in mehrere Bereiche mit verschiedenen Abflusstiefen aufgeteilt wird, ermöglicht eine Berücksichtigung der Geschwindigkeitsunterschiede. Untersuchungen am Alpenrhein zeigten jedoch, dass die Transportkapazität mit diesem Verfahren eher überschätzt wird. Und auch die Resultate des 2d-Modells zwischen der Isarmündung und Winzer führen zum Schluss, dass im Fall von Sohlenformen zwar Geschwindigkeitsunterschiede vorhanden sind, dass diese jedoch wesentlich weniger ausgeprägt sind, als sie aufgrund der Unterschiede der Abflusstiefen zu erwarten wäre.

Um den Einfluss von Sohlenformen generell berücksichtigen zu können, wurde ein von Zarn (1997) entwickeltes Verfahren in das Programm MORMO eingebaut. Dieses Verfahren basiert auf dem Prinzip des Ersatzgerinnes. Anstelle eines Flusses mit Bänken wird ein rechteckiges Ersatzgerinne mit einer ebenen Sohle gewählt. Die Breite des Ersatzgerinnes entspricht der Wasserspiegelbreite B_w , welche aufgrund eines empirischen Ansatzes von Zarn ermittelt wird. Falls keine ausgeprägten

morphologischen Strukturen vorhanden sind, ergibt die Formel die gleichen Resultate wie die Meyer-Peter und Müller-Formel. Das Gefälle des Ersatzgerinnes ist in der Regel kleiner als dasjenige des Flussbettes. Damit wird berücksichtigt, dass das Wasser wegen der pendelnden Teilgerinne einen längeren Weg zurücklegt, als wenn es parallel zur Flussachse fließen würde. Die Verlängerung des Fließweges resp. die Reduktion des Gefälles wird mit der Sinusität S beschrieben. Weiter wird angenommen, dass im Ersatzgerinne Normalabfluss (vgl. auch Kapitel B1.4) herrscht, die Strömung eindimensional ist und die Geschwindigkeitsverteilung mit dem logarithmischen Fließgesetz oder mit dem Gesetz von Strickler beschrieben werden kann, wobei der Formanteil des Fließwiderstandes infolge der Bänke und Teilgerinne berücksichtigt werden kann.

Der Geschiebetransport wird auf der Basis der dimensionslosen Schubspannung für das Ersatzgerinne ($\theta'_{\text{Ersatzgerinne}}$) und der transportaktiven Breite B_w berechnet. Bild 5 zeigt schematisch das Verfahren von Zarn.

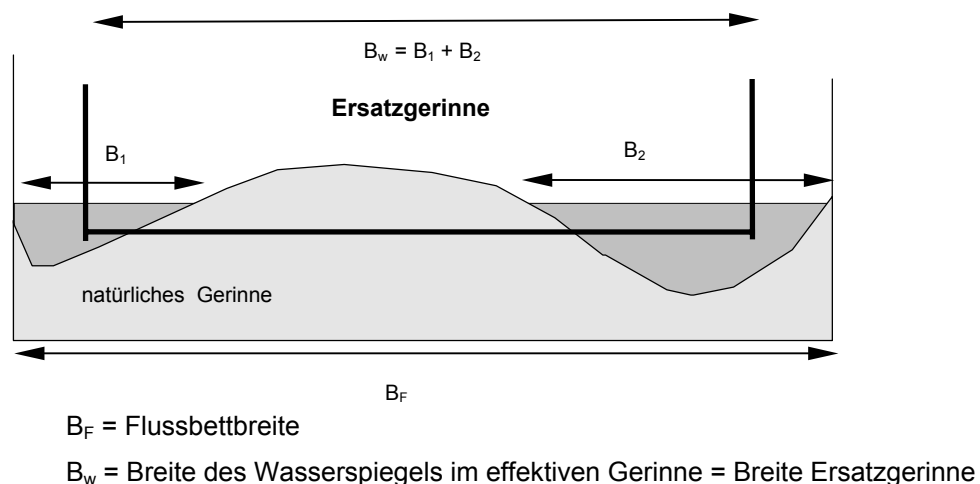


Bild 5 Modellvorstellung von Zarn (1997)

B2.6 2Layer-Technik

Naturbeobachtungen sowie Erfahrungen mit physikalischen Modellen zeigen, dass auch Strecken, welche sich langfristig in einem Erosionszustand befinden, temporär auflanden können. Diese Sohlschwankungen haben auch auf die Modellierung der Kornverteilung der Sohlenoberfläche einen bedeutenden Einfluss. Falls sich Geschiebe über einer gut entwickelten Deckschicht ablagert, ist mit einer Verfeinerung der Sohlenoberfläche zu rechnen. Tieft sich der Fluss wieder ein, so ist der

Erosionswiderstand wegen diesen feinkörnigen Ablagerungen vorerst vergleichsweise gering. Sobald die Erosion aber die alte Deckschicht erreicht, nimmt der Erosionswiderstand zu.

Um diese Prozesse wenigstens ansatzweise berücksichtigen zu können, wurde die 2Layer-Technik eingeführt. Dabei werden zwei Deckschichten modelliert. Die Transportkapazität wird immer aufgrund der Kornverteilung des Layer 1 (Mixing Layer) berechnet. Der Layer 1 bilanziert entsprechend Kapitel B1.7 die ein- und ausgetragenen Mengen an der Sohlenoberfläche. Layer 2 stellt diejenige Deckschicht dar, welche bei einer früheren Erosion am tiefsten Punkt vorhanden war. Falls nach einer Auflandung wieder eine Erosion bis auf dieses Niveau erfolgt, bewirkt dieser zweite Layer mit der groben Kornverteilung eine Erhöhung des Erosionswiderstandes.

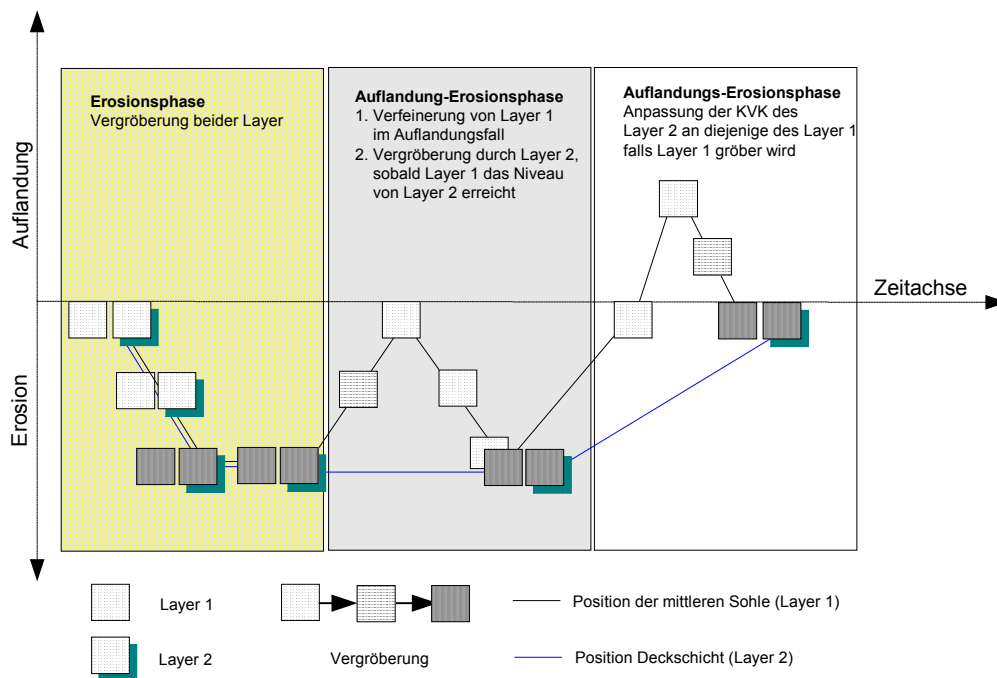


Bild 6 Prinzip der 2-Layer-Technik.

B3 Literaturverzeichnis

Einstein, H.A., Der hydraulische oder Profil-Radius, Schweizerische Bauzeitung, Band 103, Nr. 8, 1934

Hirano, M., River Bed Degradation with Armoring, Transactions of JSCE, Vol. 3, Part 2, 1971

Hunziker, R., Fraktionsweiser Geschiebetransport, Mitteilung Nr. 138 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, 1995

Meyer-Peter, E., Müller, R., Formulas for Bed-Load Transport, Second Meeting IAHR, Stockholm, 1948

Meyer-Peter, E., Lichtenhahn, C., Altes und Neuere über den Flussbau, Veröffentlichung des Eidg. Amtes für Strassen- und Flussbau, Bern 1963

Müller, R., Theoretische Grundlagen der Fluss- und Wildbachverbauungen, Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, ETH Zürich, Nr. 4, 1943

Strickler, A., Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen, Mitteilung Nr. 16 des Amtes für Wasserwirtschaft, Eidgenössisches Departement des Innern, Bern, 1923

Pazis, G.C., Graf, W.H., Weak Sediment Transport, Journal of Hydraulics Division, Proc. of the ASCE, Vol. 103, No. HY7, 1977

Zarn, B., Einfluss der Flussbettbreite auf die Wechselwirkung zwischen Abfluss, Morphologie und Geschiebetransportkapazität, Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 1997

B4 Liste der Symbole

Q	[m ³ /s]	Abfluss
A	[m ²]	Fläche des Querschnittes
J	[-]	Gefälle
J _l	[-]	"lokales" Gefälle
J'	[-]	Kornreibungsgefälle
P	[m]	benetzter Umfang
R	[m]	hydraulischer Radius des benetzten Querschnittes
R _b	[m]	hydraulischer Radius des der Sohle zugeordneten Teilquerschnittes
h _m	[m]	mittlere Abflusstiefe im Hauptgerinne
K	[m ³ /s]	Conveyance (Durchflussvermögen)
v _m	[m/s]	mittlere Fließgeschwindigkeit
k	[m ^{1/3} /s]	Reibungsbeiwert nach Strickler
k _m	[m ^{1/3} /s]	mittlerer k-Wert des Gerinnes nach Strickler
k _s	[m ^{1/3} /s]	k-Wert der Sohle nach Strickler
ρ _s	[kg/m ³]	Dichte des Geschiebes (ρ _s ≅ 2600 kg/m ³)
ρ _w	[kg/m ³]	Dichte des Wassers (ρ _s = 1000 kg/m ³)
s	[-]	ρ _s /ρ _w
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung (g = 9.81m/s ²)
Re*	[-]	Kornreynoldszahl
q _B	[m ³ /s/m]	spezifischer Geschiebetrieb pro Laufmeter
q _{Bi}	[m ³ /s/m]	spezifischer Geschiebetrieb pro Laufmeter der Fraktion i
d	[m]	Korndurchmesser
d _i	[m]	Korndurchmesser der Fraktion i
d _m	[m]	charakteristischer Korndurchmesser einer Mischung nach Meyer-Peter und Müller
d _{mo}	[m]	charakteristischer Korndurchmesser der Unterschicht
d _{ms}	[m]	charakteristischer Korndurchmesser der Austauschschicht
d _i	[m]	Korndurchmesser der Fraktion i
F _i	[-]	Anteil der Fraktion i in der Austauschschicht
f _i	[-]	Anteil der Fraktion i in der Unterschicht
a _w	[1/km]	Abriebkoeffizient (Materialkonstante) für die Geschiebefracht
θ	[-]	dimensionslose Schubspannung nach Shields (Shields-Parameter)
θ'	[-]	transportwirksame dimensionslose Schubspannung (in Kombination mit weiteren Indizes)

θ_{dmo}	[-]	dimensionslose Schubspannung bezogen auf d_{m0}
θ_{dms}	[-]	dimensionslose Schubspannung bezogen auf d_{ms}
θ_i	[-]	dimensionslose Schubspannung bezogen auf den Korndurchmesser der Fraktion i
θ_c	[-]	kritische dimensionslose Schubspannung
θ_{ce}	[-]	kritische dimensionslose Schubspannung für Einheitskorn
θ_{cm}	[-]	kritische dimensionslose Schubspannung einer Mischung bezogen auf den mittleren Korndurchmesser der Austauschschicht
τ	[N/m ²]	mittlere Schubspannung
τ_c	[N/m ²]	kritische Schubspannung für den Transportbeginn
φ_i	[-]	Ausgleichsfaktor zur Korrektur von $(\theta - \theta_c)$
α	[-]	Exponent der Ausgleichsfunktion $\varphi(d_i/d_m)$
ϕ	[-]	dimensionsloser Transportparameter nach Einstein
ϕ_{dmo}	[-]	dimensionsloser Transportparameter bezogen auf d_{m0}
$\phi_{dms,i}$	[-]	dimensionsloser Transportparameter der Fraktion i , bezogen auf d_{ms}