



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen in einem Wildfluss

Destruction and Formation of Riffle-Pool Structures in a Torrential River

Hideaki Marui¹ und Satoshi Iwasaki²

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Beitrag behandelt den Mechanismus der Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen in einem Wildfluss. Typen und Funktionen der Seichte-Tiefe Strukturen und weiter hydraulische Aspekte über die Zerstörung und Bildung dieser Strukturen werden zusammengefasst. Formen und Dimensionen der Seichte-Tiefe Strukturen werden von der Mündung bis zum Oberlauf des Nou-Flusses systematisch untersucht. Zwanzig Tiefen, die in engem Zusammenhang mit den Sandbänken gebildet sind, werden von insgesamt vierzig untersuchten Tiefen ausgewählt. Basierend auf der Überprüfung der relevante Faktoren, die die Länge der Tiefen beeinflussen, wird eine Formel, die die Länge der Tiefen ausdrückt, eingeführt. Die Länge jeder Tiefe ist proportional zur Grösse des Sammelgebietes und invers proportional zur Quadratwurzel des Bachgefälles. Die Korngrösseverteilungen des auf den 9 Seichten abgelagerten Geschiebes werden von der Mündung bis zum Oberlauf untersucht. Die Hochwasserabflussgrösse, die der Jährlichkeit von etwa zehn Jahren entspricht, bestimmt die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen.

Schlüsselworte: Seichte-Tiefe Struktur, Sandbank, Hochwasserabflussgrösse, Jährlichkeit

ABSTRACT

This paper concerns the mechanism of destruction and formation of riffle-pool structures in a torrential river. Types and functions of riffle-pool structures and furthermore hydraulic aspects related to the destruction and formation of riffle-pool structures are reviewed. Forms and dimensions of riffle-pool structures are investigated systematically from the river mouth to the upper area of the Nou-river. Twenty pools that are formed in close relation to bars are selected from altogether forty investigated pools. Based on the examination of important factors that influence the length of pools, a formula that expresses the length of pools is introduced. Each length of pools is proportional to the catchment area and inverse proportional to the square root of the gradient of riverbed. Particle size distributions of bed load materials in nine target heavy riffles are investigated from the river mouth to the upper area. The flood discharge that is corresponding to the return period of about ten years controls the destruction and formation of riffle-pool structures.

Key words: riffle-pool structure, bar, flood discharge, return period

¹ Professor, Research Institute for Hazards in Snowy Areas, Niigata University, Ikarashi Ninocho 8050, Niigata, 950-2181 Japan (Tel: +81-25-262-7055; Fax: +81-25-262-7050; email: maruihi@cc.niigata-u.ac.jp)

² Engineer, River planning and Management Division, Department of Public Works, Niigata Prefecture, Shinkocho 4-1, Niigata, 950-0941 Japan

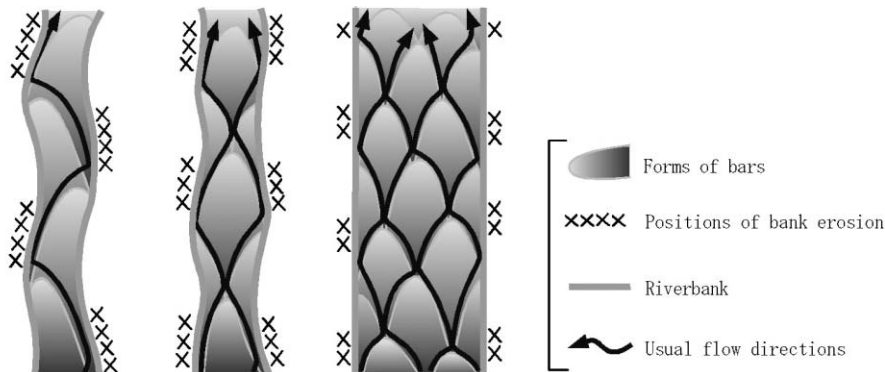
EINLEITUNG

Um ein Flussökosystem in seinem ökologischen Wert zu erhalten, ist es notwendig, die auf der Flussstrecke vorhandenen vielfältigen Habitats zu nicht zu verlieren. Die derartige Habitats zusammensetzenden mikromorphologischen Elemente können nur durch gewisse Störungen der Flussmorphologie gebildet werden. Deswegen ist es wichtig, die ökologisch relevante Störung zu akzeptieren, um dadurch die Bildungsprozesse der Habitats nicht zu verhindern. Andererseits ist es aber auch erforderlich, die Schaden bringenden katastrophalen Störungen wie grosse Hochwässer und damit verbundene Geschiebetransporte zu verhindern. Das Ziel der zukünftigen Flussregulierungen soll darin liegen, eine harmonische Lösung zu finden, mit der einerseits die schädliche Wirkungen der katastrophalen Ereignisse vermieden werden können und andererseits die Eigendynamik des Fließgewässers möglichst gestattet und die Störungen bis zu einer gewissen Grösse akzeptiert werden kann (Yata, 1999). Daraus entsteht eine wesentliche Frage, wie weit Flussökosysteme derartige Störungen benötigen und man sie akzeptieren kann.

Aus den bisherigen flussökologischen Studien ist bekannt, dass die Seichte-Tiefe Strukturen zahlreiche mikromorphologische Umweltelemente enthalten, die von verschiedenen aquatischen Lebewesen benötigt werden. (Takemon, 1991). Nach den bisherigen flusshydraulischen Studien ist geklärt, dass Formen der Sandbänke, die diese Seichte-Tiefe Strukturen enthalten, durch die mittlere Jahresmaximumabflussmenge bestimmt werden, bei der das Niedrigwassergerinne fast voll ist, (Yamamoto, 1994). Aufgrund der oben erwähnten Studienergebnissen haben die Autoren jene Störung, durch die auf dem Flussbett vorhandenen Seichte-Tiefe Strukturen zerstört und gebildet werden, als die erforderliche und gleichzeitig akzeptable Grösse der Störung betrachtet. Dabei ist es notwendig, zuerst die Verteilung der Seichte-Tiefe Strukturen zu erkennen und die hydraulischen Bedingungen festzustellen, die die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen beeinflussen. Das Ziel dieser Untersuchung ist zuerst, die Charakteristiken der Verteilung der Seichte-Tiefe Strukturen entlang des Längsschnittes zu erfassen und weiters jene Hochwasserabflussgrösse zu bestimmen, die für die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen verantwortlich ist.

KONZEPT DER SEICHTE-TIEFE STRUKTUREN

In natürlichen Flüssen mit Geschiebesohle werden im allgemeinen Flussformen beobachtet, die aus Paaren von Seichte und Tiefe bestehen. Derartige Paarstrukturen werden als Seichte-Tiefe Strukturen benannt. Die Seichte-Tiefe Strukturen werden stark von den Sandbänken beeinflusst. Sandbänke können nach jeweiliger Grundrissform in alternative Sandbänke, doppel Sandbänke und multipel Sandbänke klassifiziert werden (Abb. 1). Aus den bisherigen flusshydraulischen Untersuchungen ist geklärt, dass die Entwicklung der Sandbänke durch das Verhältnis zwischen Gerinnebreite und Wassertiefe (B/H) gesteuert wird (Sakekawa, 1992). Der Wert der Gerinnebreite B und der Wert des Wassertiefes H ist mit der Jahresmaximumabflussmenge korreliert. Alternative Sandbänke werden unter der Bedingung von B/H von 10 bis 20 gebildet. DoppelSandbänke werden unter der Bedingung B/H von 70 bis 100 und multiple Sandbänke mit $B/H > 100$ gebildet. Die Entstehung und Erhaltung der Seichte-Tiefe Strukturen hängt mit der Entwicklung der alternativen Sandbänke durch ständige lokale Erosionen und Sedimentationen eng zusammen (Abb. 2).



a) Alternate bars b) Double bars c) Multiple bars
Abb. 1: Klassifikation der Sandbänke (Modifiziert von Sakekawa et al., 1992)
Fig. 1: Classification of bars (Modified from Sakekawa et al., 1992)

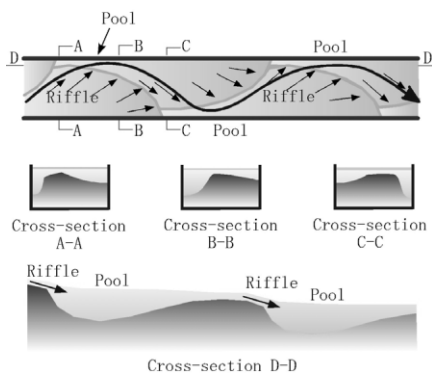


Abb. 2: Verhältnis zwischen Sandbänken und Seichte-Tiefe Strukturen (Modifiziert von Sakekawa et al., 1992)
Fig. 2: Relationship between bars and riffle-pool structures (Modified from Sakekawa et al., 1992)

CHARAKTERISTIKEN DES EINZUGSGEBIETES

Der Nou-Fluss im südwestlichen Teil der Niigata Präfektur wurde als zu untersuchender Wildfluss ausgewählt (Abb. 3). Das Einzugsgebiet hat eine Länge von 26 km und Grösse von 105 km². Der steile wildbachartige Fluss fliesst am Talboden und mündet ohne Schwemmkegel direkt ins Japanischen Meer. Das Sohlgefälle und das Sammelgebiet verändern sich entlang der Flussstrecke fast kontinuierlich (Abb. 4, Abb.5).

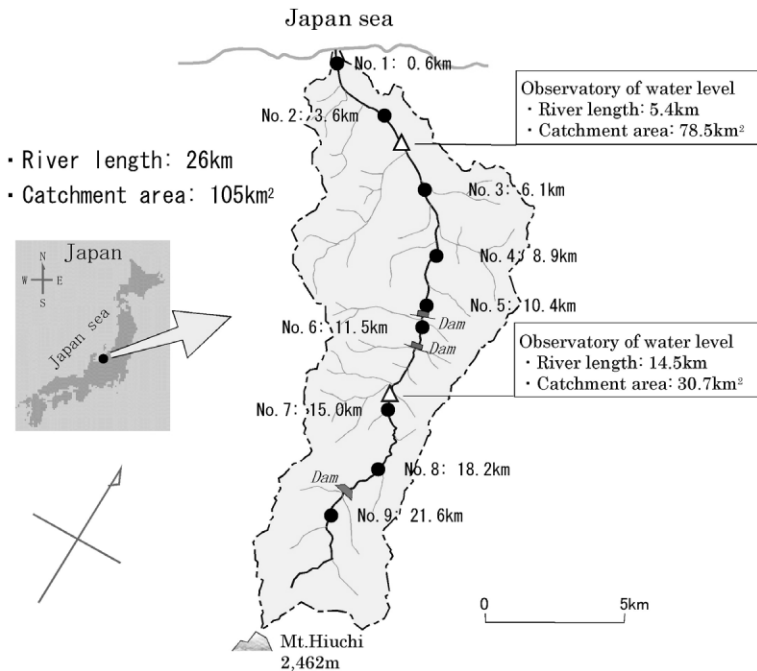


Abb. 3: Einzugsgebiet des Nou-Flusses
 Fig. 3: Watershed of Nou-river

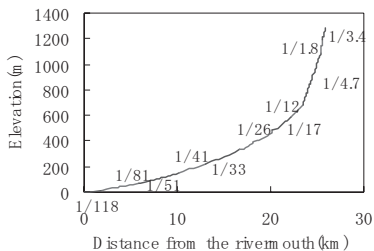


Abb. 4: Längsprofil des Nou-Flusses
 Fig. 4: Longitudinal profile of Nou-river

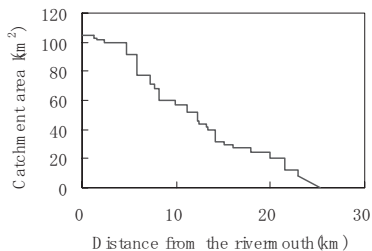


Abb. 5: Änderung des Sammelgebietes entlang der Flussstrecke
 Fig. 5: Longitudinal variation of watershed

VERTEILUNG DER SEICHTE-TIEFE STRUKTUREN

Untersuchungsmethoden

In dieser Untersuchung wurden die jeweiligen Längen der Tiefen, als wesentliche Elemente der Seichte-Tiefe Strukturen in Flussrichtung vermessen. Bei den Messungen werden die Tiefen wie folgt definiert:

- 1) Tiefen durch Entwicklung der Sandbänke an Kurven der Flussstrecke gebildet.
- 2) Bereich: Von der Mündung ins Meer bis zur obersten Grenze, wo noch Tiefen vorhanden sind.
- 3) Längen der Tiefen: Obere Seite: der mikrogeomorphologisch kritische Punkt von einer Seichte zu einer Tiefe. Untere Seite: der kritische Punkt der Geschwindigkeitsänderung am Ende einer Tiefe (Abb. 6).

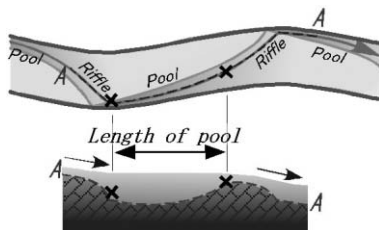


Abb. 6: Länge der Tiefe
Fig. 6: Length of pool

Ergebnisse und Überlegungen

Nach obenerwähnten Definitionen wurden insgesamt vierzig Tiefen vermessen. Die Verteilung der Längen der Tiefen wurde längsverlaufend in Abb. 7 dargestellt. Tendenziell wird die Länge der Tiefe stromaufwärts kleiner, aber die Längen streuen manchenorts sehr. Es wird geschätzt, dass der Grund der Streuung durch die Form und Grösse der Sandbänke verursacht wird. Daher wurden jene zwanzig Tiefen, die in engem Zusammenhang mit alternativen Sandbänken gebildet sind, von insgesamt vierzig untersuchten Tiefen ausgewählt und vermessen. Dabei wurde die Auswahl der Tiefen nach den folgenden Kriterien durchgeführt:

- 1) Die oberhalb der jeweiligen Tiefe angrenzende Seichte soll die Flussstrecke komplett diagonal überqueren.
- 2) Bei Hochwässer soll sich das fließende Wasser an der jeweiligen Tiefe konzentrieren.
- 3) Der Einfluss der künstlichen Bauwerke kann vernachlässigt werden.

Nach den oben erwähnten Kriterien wurden insgesamt zwanzig Tiefen ausgewählt und die Verteilung ihrer Längen entlang des Flusses in Abb. 8 dargestellt. Die Verteilung der Längen der Tiefen zeigt ohne Streuung fast eine gewisse Regelmässigkeit.

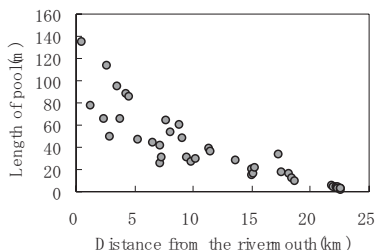


Abb. 7: Veränderung der Längen der Tiefen entlang der Flussstrecke

Fig. 7: Longitudinal variation of lengths of pools

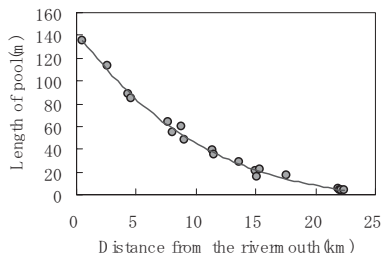


Abb. 8: Veränderung der Längen der ausgewählten Tiefen entlang der Flussstrecke

Fig. 8: Longitudinal variation of lengths of selected pools

Nach der Überlegung, dass die Entwicklung der Tiefen durch die Grösse der Sandbänke beschränkt wird, wird eine Hypothese aufgestellt, dass die Längen der Tiefen auch durch die gleichen Elemente, die die Entwicklung der Sandbänke beeinflussen, bestimmt sind. Aus den bisherigen flusshydraulischen Studien ist es bekannt, dass die Verteilung der Sandbänke durch das Verhältnis zwischen der Gerinnebreite und der Wassertiefe bestimmt wird und weiter dieses Verhältnis mit dem repräsentativen Korndurchmesser des Bettmaterials, dem Sohlengefälle und der Abflussmenge zusammenhängt (Yamamoto, 1994). Daher sollten die Längen der Tiefen, die eigentlich

schon von den Sandbänken bestimmt sind, durch die oben erwähnten drei Elemente repräsentiert werden.

Basierend auf der Bewertung dieser drei Elemente wird eine Formel abgeleitet, die die Längen der Tiefen ausdrückt. Die Veränderung der repräsentativen Korndurchmesser entlang des Flusses kann hauptsächlich als Ergebnis der Gradierung betrachtet werden. Somit ist der repräsentative Korndurchmesser von der Abflussmenge und dem Sohlengefälle abhängig. Die Abflussmenge kann durch die Grösse des Sammelgebietes substituiert werden. Daher wird die Länge der Tiefe mit der Grösse des Sammelgebietes und dem Sohlengefälle in Zusammenhang gebracht. Schliesslich wird die Länge der Tiefe durch eine Exponentialfunktion der beiden Terme durch die Formel (1) ausgedrückt. Dabei ist k eine proportionale Konstante, α und β exponentiale Konstanten, L die Länge der Tiefe A die Grösse des Sammelgebietes und I_b das Sohlengefälle. Nach dem Einsetzen der gemessenen Werte in die Formel (1) werden die einzelnen Konstanten wie folgt $k = 0.11$, $\alpha = 1$, $\beta = -0.5$ bestimmt. Schliesslich wird die Länge der Tiefe durch die Formel (2) ausgedrückt.

$$L = kA^\alpha I_b^\beta \dots(1)$$

$$L = 0.11 \frac{A}{\sqrt{I_b}} \dots(2)$$

Die mit der Formel (2) berechneten Werte und die gemessenen Werte in Abb. 8 wurden vergleichend in Abb. 9 dargestellt. Da die berechnete und die gemessene Werte weitgehend übereinstimmen, können die Längen der Tiefen mit der Grösse des Sammelgebietes und dem Sohlengefälle gut ausgedrückt werden. Nach der Formel (2) ist die Länge der Tiefe proportional zur Grösse des Sammelgebietes und invers proportional zur Quadratwurzel des Bachgefälles.

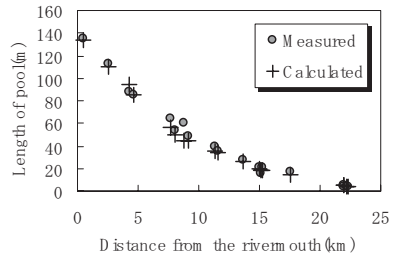


Abb. 9: Vergleich zwischen den gemessenen und den berechneten Längen

Fig. 9: Comparison of measured values and calculated values of lengths of pools

Unter Anwendung der Theorie der kritischen Schubkraft wird weiters das Sohlengefälle durch die Formel (3) ausgedrückt. Mit S : Spezifisches Gewicht des Geschiebes in Wasser, g : Erdbeschleunigung, d : Durchmesser des Geschiebes und h : Wassertiefe. Nach Substituierung der Formel (3) in die Formel (2) wird die Länge der Tiefe wiederum mit der Formel (4) ausgedrückt. Mit C' : neue proportionale Konstante. Nach der Formel (4) ist die Länge der Tiefe proportional zur Quadratwurzel der relativen Wassertiefe nämlich $(h/d)^{0.5}$.

$$I_b = \frac{cs}{g} \frac{d}{h} \dots(3)$$

$$L = c' A \sqrt{\frac{h}{d}} \dots(4)$$

ZERSTÖRUNG UND BILDUNG DER DIE SEICHTE-TIEFE STRUKTUREN BESTIMMENDEN HOCHWASSERABFLUSSGRÖSSE

Abflussmenge und ihre Jährlichkeit

Um die Hochwasserabflussgrösse zu bestimmen, die für die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen verantwortlich ist, wird die Jährlichkeit des Hochwasserabflusses verwendet. Zuerst wird das Verhältnis zwischen der Abflussmenge und der Jährlichkeit entlang des Flusses an willkürlichen Punkten abgeleitet. Im Nou-Fluss gibt es zwei Pegelstationen, bei km 5,4 und km 14,5 von der Mündung an gerechnet (Abb. 3). Nach der statistischen Bearbeitung der hydrologischen Daten der beiden Messstationen wird die Jährlichkeit der Abflussmenge (Abb. 10) abgeleitet. Aus Abb. 10 werden folgende Annäherungsformeln (5) und (6) abgeleitet. Q_1 : Abflussmenge am Punkt km 5,4, Q_2 : Abflussmenge am Punkt km 14,5 und T: Jährlichkeit.

$$Q_1 = 112.4 \ln(2.5T) \quad \dots\dots(5)$$

$$Q_2 = 31.4 \ln(2.2T) \quad \dots\dots (6)$$

Die Abflussmenge kann im allgemeinen durch eine Funktion der Grösse des Sammelgebietes ausgedrückt werden. Daher leitet sich die folgende Formel für die Abflussmenge ab. Mit γ : proportionale Konstante und δ : exponentiale Konstante.

$$Q(A) = \gamma A^\delta \quad \dots\dots(7)$$

Wenn diese Formel für beide Messpunkte verwendet wird, ergeben sich folgende Gleichungen.

$$Q_1 = \gamma A_1^\delta \quad \dots\dots(8)$$

$$Q_2 = \gamma A_2^\delta \quad \dots\dots(9)$$

Mit A_1 und A_2 : jeweilige Grösse des Sammelgebietes an den beiden Messpunkten. Nach der Lösung der Gleichungssysteme (8) und (9) können folgende Formeln für γ und δ erhalten werden.

$$\gamma = \exp \left\{ \frac{\ln Q_2 \ln A_1 - \ln Q_1 \ln A_2}{\ln A_1 - \ln A_2} \right\} \quad \dots\dots (10)$$

$$\delta = \frac{\ln Q_1 - \ln Q_2}{\ln A_1 - \ln A_2} \quad \dots\dots (11)$$

Die Mengen Q_1 und Q_2 in den Formeln (10) und (11) sind jeweils Funktionen der Jährlichkeit, wie in den Formeln (5) und (6) klar gestellt ist. Daher sind die Konstanten γ und δ auch Funktion nur der Jährlichkeit T. Schliesslich lässt sich das Verhältnis zwischen der Abflussmenge und der Jährlichkeit an jedem willkürlichen Punkten entlang des Flusses mit den Formeln (7), (10) und (11) aus der jeweiligen Grösse des Sammelgebietes berechnen. Dieses Verhältnis wird für die 9 Bezugspunkte berechnet und in Abb. 11 graphisch dargestellt.

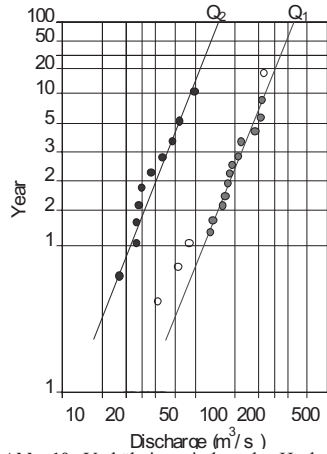


Abb. 10: Verhältnis zwischen der Hochwasserabflussmenge und der Jährlichkeit
Fig. 10: Relationship between flood discharge and return period

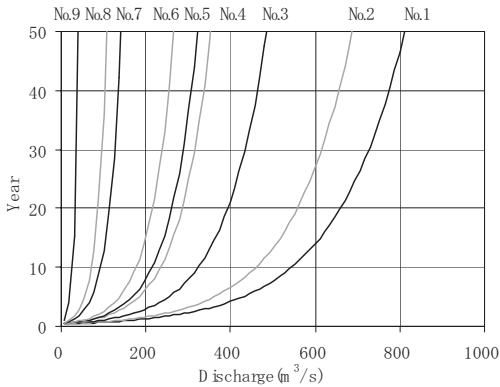


Abb. 11: Verhältnis zwischen den Hochwasserabflussmengen und der Jährlichkeiten an 9 Bezugspunkten

Fig. 11: Relationship between flood discharge and return period at nine check points

Repräsentative Korngröße und mittlere Korngröße

Um den Hochwasserabfluss, der die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen verursacht, bestimmen zu können, wurden repräsentative Korngrößen und mittlere Korngrößen an den obenerwähnten 9 Bezugspunkten (Abb. 3) mit Hilfe einer Kornverteilungsanalyse abgeleitet. In dieser Untersuchung wird angenommen, dass die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen im Zusammenhang mit den Geschiebebewegungen am vorderen Rand der Sandbänke passieren. Daher wurden für die jeweiligen 9 Bezugspunkte die Korngrösseverteilungsanalysen am vorderen Rand der Sandbänke mittels Linienzahlanalyse durchgeführt. Der geometrische Durchschnitt wurde nach den Messungen der drei Achsen des jeweiligen Geschiebekorns als Durchmesser betrachtet. Drei typische Korngrösseverteilungskurven von Ober-, Mittel- und Unterlauf werden in Abb. 12 gezeigt.

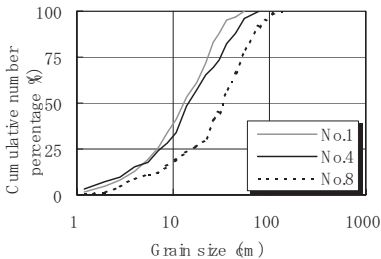


Abb. 12: Korngrösseverteilungskurven an den Bezugspunkten Nr. 1, Nr. 4 und Nr. 8

Fig. 12: Particle diameter distribution curves at check points No. 1, No. 4 and No. 8

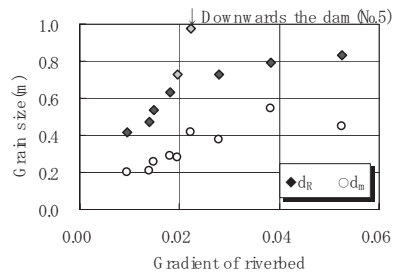


Abb. 13: Repräsentative Korngröße (d_R) und mittlere Korngröße (d_m) im Verhältnis zum Sohlengefälle

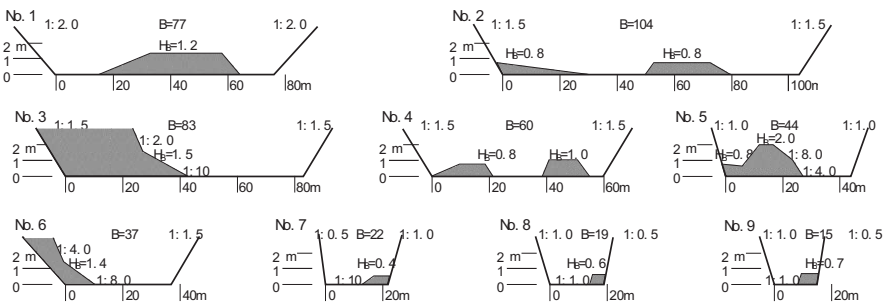
Fig. 13: Representative particle diameter (d_R) and mean particle diameter (d_m) in relation to riverbed gradient

Die repräsentative Korngröße und die mittlere Korngröße wurden mit den Korngrösseverteilungskurven wie folgt bestimmt (Yamamoto, 1994). Zuerst wird die Korngrösseverteilungskurve mit Hilfe der Wendepunkte in drei Gruppen, nämlich Gross-, Mittel- und Kleinkornfraktion eingeteilt. In diesen drei Gruppen kann die Kleinkornfraktion, die nur als wirkungsloses Matrixmaterial den Zwischenraum der Gross- und Mittelkörner ausfüllt, als unabhängig von der Fussbettän-

derung vernachlässigt werden. Somit wird die repräsentative Korngröße als Mittelwert der Grossfraktion und die mittlere Korngröße als Mittelwert der Gross- plus Mittelfraktion bestimmt. In dieser Untersuchung wurden %-Krongröße (d_{70} , d_{50} etc), die in hydraulischen Experimenten oft verwendet werden, mit Absicht nicht verwendet, weil die %-Korngröße durch den Anteil des Kleingeschiebes beeinflusst wird. Die Werte der repräsentativen Korngröße und mittleren Korngröße an den 9 Bezugspunkten werden in Abhängigkeit vom Sohlgefälle in Abb. 13 dargestellt.

Kritische Hochwasserabflussgröße

Um jene Hochwasserabflussgröße zu berechnen, die das Geschiebe der repräsentativen Krongröße in Bewegung setzt und dadurch die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen bewirkt, werden die geometrischen Daten der Flussquerprofile benötigt. Die Gerinnequerprofile an den 9 Bezugspunkten werden in Abb. 14 dargestellt. Der Fließquerschnitt wird an jedem Bezugspunkten aus der Wassertiefe ermittelt. Die Abflussmenge ergibt sich aus der Multiplikation der Querschnittsfläche mit der mittleren Fließgeschwindigkeit.



B, Width of riverbed; HB, Length of bar

Abb. 14: Gerinnequerprofile an 9 Bezugspunkten

Fig. 14: Cross sections of river profiles at 9 check points

Mit Hilfe der Formel (12) von Ashida et al.(1975) wird die kritische Schubspannung bestimmt, weiters wird die Wassertiefe mit Hilfe der Formel (13) aus der kritischen Schubspannung und dem Sohlgefälle berechnet.

$$\tau_{CR} = 0.04 \left[\frac{\log_{10} 19}{\log_{10} (19d_R / d_m)} \right]^2 \times 10^{1.76I} (\sigma - \rho) g d_R \quad \dots (12)$$

$$\tau_{CR} = \rho g h_c I \quad \dots (13)$$

τ_{CR} : kritische Schubspannung für repräsentative Korngröße (d_R), d_m : mittlere Krongröße, I : Sohlgefälle, σ : Geschiebedichte, ρ : Wasserdichte, g : Erdbeschleunigung und h_c : kritische Wassertiefe.

Die mittlere Geschwindigkeit wird aus der Schubspannungsgeschwindigkeit mit der Formel (14) bestimmt. Wobei die mittlere Geschwindigkeit, die Schubspannung, die kritischen Wassertiefe und die repräsentativen Korngröße in die Formel (15) von Kishi (1972) eingeht.

$$U_* = \sqrt{\tau_{CR} / \rho} \quad \dots (14)$$

$$U_0 = U_* \{6.0 + 5.75 \log_{10} (h_c / d_R)\} \quad \dots (15)$$

U_* : Schubspannungsgeschwindigkeit der repräsentativen Krongröße und U_0 : Mittlere Geschwindigkeit.

Ergebnisse

Berechnete Werte der kritische Abflussmenge und die entsprechende Jährlichkeit an den 9 Bezugspunkten werden in Tab. 1 dargestellt. Die Jährlichkeit der kritischen Abflussmenge, die die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen bestimmt, ist im Unterlauf (No. 1 – No. 3) kleiner als 10 Jahre, von 10 bis 20 Jahre im Mittellauf (No. 4 –No.7) und grösser als 30 Jahre im Oberlauf (No. 8, No. 9). Dieser Wert ist direkt unterhalb der Wildbachsperre (No. 5) etwa 40 Jahre und damit grösser als an den oberen und unteren Nebenbezugspunkten.

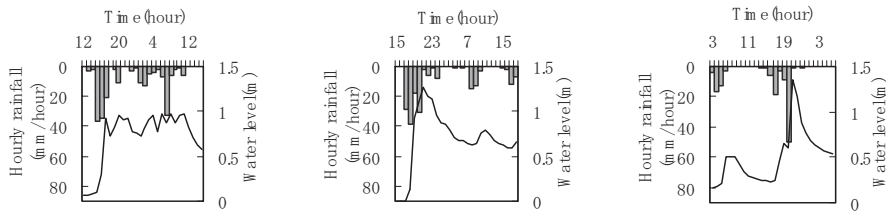
Tab. 1: Kritische Hochwasserabflussgrößen und ihre Jährlichkeiten an 9 Bezugspunkten

Tab. 1: Critical flood discharges and their return periods at nine check points

Check points	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
Discharge (m ³ /s)	429	434	318	260	309	191	112	99	35
Return period (year)	5	9	9	14	40	13	19	33	27

Überprüfung

Um die obenerwähnten Ergebnisse zu überprüfen, wurden die Jährlichkeiten und die Wirkungen auf die Seichte-Tiefe Strukturen bei den Hochwässern in den letzten Jahren analysiert. Die Hochwässer in Juli 1995 und das Hochwasser in August 1998 werden als Beispiele für die Analyse herangezogen. Der zeitliche Verlauf des Niederschlags und des Wasserspiegels des jeweiligen Hochwassers wird in Abb. 15 und in Abb. 16 dargestellt. Lokale Gerinneveränderung zwischen dem Bezugspunkt No. 2 und dem Bezugspunkt No.4 wurden bei beiden Hochwässern beobachtet. Der höchste Wasserspiegel innerhalb der 16 jährigen Messungsreihe wurde beim Hochwasser im September 1998 beobachtet, wie in Abb. 17 gezeigt wird. Dabei wurden aber keine nennenswerte Gerinneveränderungen festgestellt. Über die Niederschläge, die die obenerwähnten drei Hochwässer brachten, wurden die Niederschlagssummen innerhalb der Hochwasserkonzentrationszeit (2 Stunden) und ihre Jährlichkeit analysiert und in Tab. 2 dargestellt. Unter der Annahme, dass die Jährlichkeit dieser Niederschlagssumme etwa gleich ist, wie die Jährlichkeit des jeweiligen Hochwassers, wird festgestellt, dass die Zerstörung und die Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen auf der Strecke zwischen dem Bezugspunkt Nr.2 und dem Bezugspunkt Nr. 4. - wie in der Tab. 2 gezeigt - durch die Abflussgrösse mit der Jährlichkeit von etwa 10 Jahre eintritt. Andererseits sind die Jährlichkeiten, die in dieser Untersuchungen analysiert wurden, jeweils 9 Jahre am Bezugspunkt Nr.2 , 9 Jahre am Bezugspunkt Nr.3 und 14 Jahre am Bezugspunkt Nr. 4. Diese Werte sind etwa gleich wie die in den oben erwähnten drei Beispielen abgeleiteten Ergebnisse.



Links: Abb. 15: Verteilung der 1-stündigen Niederschlagsmenge und Veränderung des Wasserspiegels (11. Juli 1995)
Left: Fig.15: Distribution of 1-hour precipitation and variation of water table (11th July 1995)

Mitte: Abb. 16: Verteilung der 1-stündigen Niederschlagsmenge und Veränderung des Wasserspiegels (16. August 1998)
Middle: Fig. 16: Distribution of 1-hour precipitation and variation of water table (16th August 1998)

Rechts: Abb. 17: Verteilung der 1-stündigen Niederschlagsmenge und Veränderung des Wasserspiegels (21. September 1998)
Right: Fig. 17: Distribution of 1-hour precipitation and variation of water table (21st September 1998)

Tab. 2: 2- stündige Niederschlagsmengen und ihre Jährlichkeiten

Tab. 2: 2 hours precipitations and their return periods

Date	11. Juli 1995	16. August 1998	21. September 1998
Disturbance	○	○	×
Total rainfall in 2 hours	71mm	68mm	59mm
Return period (year)	15	11	7

Am Bezugspunkt Nr. 5 direkt unterhalb der Wildbachsperre ist die analysierte Jährlichkeit viel grösser als an den oberen und unteren Nebenbezugspunkten. Die Wildbachsperre wurde etwa vor 50 Jahren gebaut. Daher gab es keine Lieferung von grobem Geschiebe aus dem Oberlauf zu diesem Bezugspunkt (Nr. 5) innerhalb dieser 50 Jahre. Das bedeutet, dass die aktuelle Flusssohle am Bezugspunkt Nr. 5 von Geschiebe gebildet ist, das während dieser 50 Jahren nicht in Bewegung gesetzt wurde. Daher lässt sich die Jährlichkeit der kritischen Abflussmenge am Bezugspunkt Nr. 5 etwa mit 50 Jahren angeben. Der in dieser Untersuchung analysierte Betrag der Jährlichkeit von 40 Jahren ist nicht so weit entfernt von einer Jährlichkeit von 50 Jahren.

Insgesamt ist es somit erklärt, dass die analysierte Jährlichkeit der kritischen Abflussmenge, die die Zerstörung und Bildung der Seichte-Tiefe Strukturen bewirkt, sowohl im Mittel- und Unterlauf als auch direkt unterhalb der Wildbachsperre mit der, aus den Hochwasserereignisse der letzten Jahren mit der geschätzten Jährlichkeit relativ gut übereinstimmt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Jene Störung der Flusssohle, die die Seichte-Tiefe Strukturen gerade zerstört oder bildet, wird in dieser Untersuchung als die für die Erhaltung des Flussökosystems notwendige und gleichzeitig für den Lebensraum akzeptable Störung betrachtet. Unter dieser Voraussetzung wird festgehalten, dass einerseits die Charakteristiken der Verteilung der Tiefen als wesentliche Komponente der Seichte-Tiefe Strukturen zu begreifen sind und andererseits die kritische Hochwasserabflussgrösse zu analysieren ist.

Nach den Ergebnisse der Felderhebungen der Verteilung der Tiefen und der Analyse der hydraulischen Faktoren wird eine Formel abgeleitet, die die Länge der Tiefen bestimmt. Es wird gezeigt, dass die Länge der Tiefe mit der Grösse des Sammelgebietes und dem Sohlengefälle korreliert werden kann und proportional zur Grösse des Sammelgebietes und invers proportional zur Quadratwurzel des Sohlengefälles und weiters proportional zur Quadratwurzel der relativen Wassertiefe ist.

Mit der repräsentativen Korngrösse und der mittleren Korngrösse wird die kritische Hochwasserabflussgrösse durch die Jährlichkeit ausgedrückt. Es wird festgestellt, dass diese Jährlichkeit der kritischen Hochwasserabflussgrösse im Unterlauf kleiner als 10 Jahre, im Mittellauf von 10 bis 20 Jahren und im Oberlauf grösser als 30 Jahre ist. Ausserdem beträgt die Jährlichkeit direkt unterhalb der Wildbachsperre etwa 40 Jahre und ist damit viel grösser als an den oberen und unteren Nebenbezugsunkten. Diese analysierten Werte sind mit den tatsächlichen Störungen, die bei den letzten Hochwässern die Seichte-Tiefe Strukturen tatsächlich entstanden sind, relativ gut im Einklang.

Die oben erwähnte Regelmässigkeit der Verteilung der Länge der Tiefe kann bei der Planung von Querwerken im Flussgerinne effektive Hinweise über ihre Positionen und ihre Abstände geben. Durch die Berechnung der kritischen Hochwasserabflussgrösse kann die Grösse oder Häufigkeit der zu akzeptierenden Störung der Flusssohle bestimmt werden und damit weiters auch eine künstliche Störung eingeführt werden.

Es ist auch zu bemerken, dass diese Untersuchungsergebnisse, aus dem Nou-Fluss stammen, einem relativ einfachen Einzugsgebiet mit geringem Einfluss durch künstliche Bauwerke und quasi erhaltener Eigendynamik der Flusssohle. Um die allgemeine Gültigkeit der Untersuchungsergebnisse zu überprüfen, ist es natürlich notwendig, derartige Untersuchungen auch in weiteren Einzugsgebieten durchzuführen und nach der vergleichenden Beurteilung eine ganzheitliche Darstellung zu gewinnen.

LITERATUR

- Yata K. (1999): "Reconstitution of fluvial nature on the basis of the ecological viewpoint, -On ecological cycle and continuity-", Applied ecological engineering, 2 (1); 37-45. (in Japanese).
- Tkemon Y. (1991): "Existence of river from the viewpoint of fluvial fauna", Report of Kansai Consortium on Nature Conservation, No. 13; 5-18.
- Yamamoto K. (1994): "Alluvial river morphology, -From the viewpoint of sedimentation environment-", Sankaido Press.
- Sakekawa N. et al. (1992): "River engineering", Kajima Shuppankai Press.
- Ashida K. et al. (1975): "Hydraulic study on channel work planning", Journal of Jap. Society of Erosion Control, Vol. 97; 97-16.
- Kishi T. (1972): "Roughness of the flume on movable bed", Lecture proceedings on Water Engineering.