Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 72 (1980)

Heft: 3

Artikel: Natürliche und korrigierte alpine Flüsse : Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Gerinne und Sohlenformen, ihr Einfluss auf die Flussfauna

Autor: Jaeggi, Martin

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941378

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 27.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Natürliche und korrigierte alpine Flüsse

Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Gerinne und Sohlenformen, ihr Einfluss auf die Flussfauna

Martin Jaeggi

Zusammenfassung

Natürliche und korrigierte Flüsse Neuseelands und der Schweiz werden miteinander verglichen. Es wird besonders auf die Bildung von Bänken in verzweigten natürlichen Flüssen und alternierenden Bänken in korrigierten Flüssen hingewiesen. Beide Sohlenformen verursachen bei Niederwasserabfluss Folgen von Schnellen und Ruhigwassern; sie sind für das Leben im Fluss von grosser Bedeutung.

Résumé: Fleuves alpines naturels et endigués – ressemblances et différences morphologiques, influence de celles-ci sur la faune

On compare des fleuves alpins naturels et corrigés de la Nouvelle-Zélande avec ceux de la Suisse. La formation de bancs dans un fleuve naturel et de bancs alternés dans un fleuve endigué est décrite. On fait remarquer la ressemblance de l'écoulement lors de petits débits dans ces deux cas ainsi que l'importance de l'alternance de courants rapides et calmes pour la faune.

Abstract: Natural and Regulated Alpine Rivers – Resemblances and Differences in Morphology, Their Influence on River Fauna

Natural and regulated alpine rivers in New Zealand and Switzerland are compared. Bar formation in a natural braided river and alternate bar formation in a regulated river are described. The similarity of the low-flow aspects induced by these bedforms is pointed out, as well as its importance for fishlife.

Die Hochwasserkatastrophen früherer Jahrhunderte und auch neuerer Zeit zwangen die Anwohner der Flüsse immer wieder, sich und ihre Siedlungen vor den Gewalten des Wassers zu schützen. Mit zunehmenden Kenntnissen über Abflussverhalten und Feststofftransport sowie mit immer besseren technischen Hilfsmitteln konnten die Flüsse immer «hochwassergerechter» verbaut werden. Je grösser die Eingriffe in den natürlichen Fluss wurden, um so mehr wurden Bedenken über negative Einflüsse auf das Leben im Fluss laut.

Der Verfasser hatte 1978/79 Gelegenheit, auf der Südinsel Neuseelands Flüsse zu studieren, die noch kaum verbaut sind. Das Gebirge der Südinsel, das etwa in Nord-Süd-Richtung verläuft, weist in verschiedener Hinsicht grosse Ähnlichkeit mit den europäischen Alpen auf; es wird denn auch als «Südalpen» bezeichnet. Die meisten Flüsse fliessen von den Hochtälern her in östlicher bzw. westlicher Richtung dem Meer zu (Bilder 1 und 2). Sie sind steil und führen Kies bis praktisch an die Küste hinunter. Länge sowie Wasserführung sind mit verschiedenen Schweizer Flüssen vergleichbar. Die europäischen Siedler des 19. Jahrhunderts haben im grossen Stil Forellen und Salm in diesen Flüssen ausgesetzt, und die Fische haben sich gut akklimatisiert.

Der Vergleich zwischen natürlichen neuseeländischen und korrigierten Schweizer Flüssen ist hier auf Flüsse im Kiesalluvion beschränkt. Es werden die Unterschiede und Gemeinsamkeiten in Gerinne- und Sohlenformen gezeigt sowie auf deren Einfluss auf das Leben im Fluss hingewiesen.

Der natürliche Fluss

Die Bilder 3 bis 6 zeigen einige typische Ansichten von alpinen Flüssen Neuseelands. Bild 3 ist eine Aufnahme des Harper Rivers, eines steilen Nebenflusses des Rakaia Rivers in seinem Oberlauf (Bild 2). Ein Gletschertal wurde mit Alluvion gefüllt. Heute nimmt der Fluss das Tal in seiner ganzen Breite in Anspruch. Auf ähnliche Weise ist der Oberlauf des Waimakariri Rivers entstanden (Bild 4). Bereits nach wenigen Kilometern Lauflänge wird das Tal (bzw. der Fluss) über 1 km breit. Nach Durchfliessen solcher Hochtäler winden sich diese Flüsse meist in einer en-

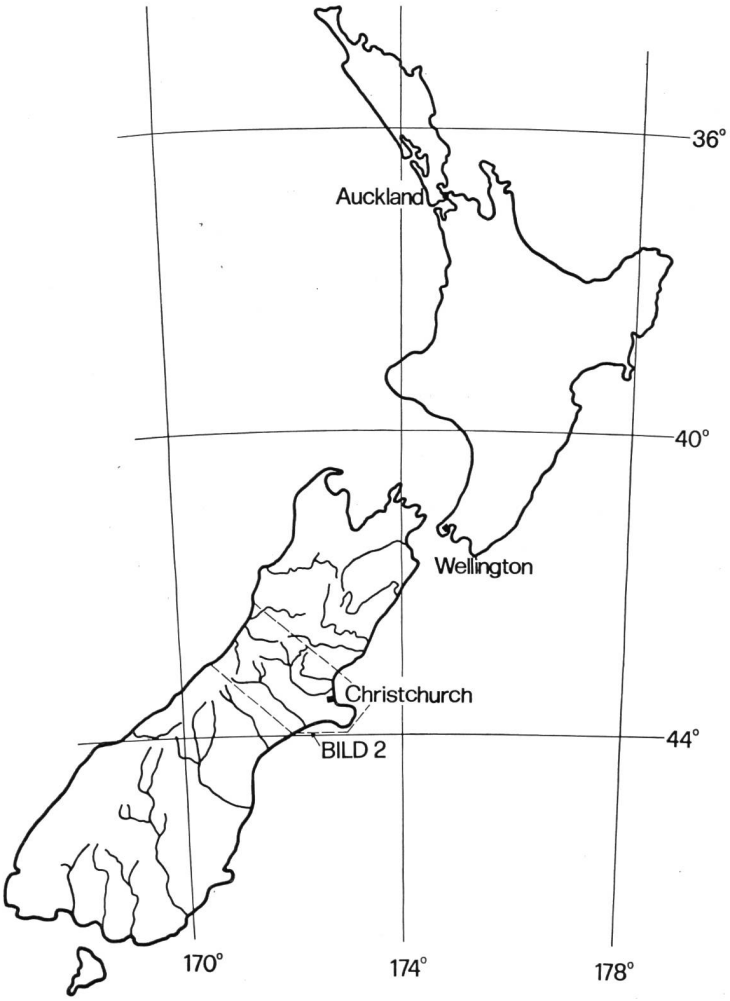


Bild 1. Karte Neuseelands mit den wichtigsten Flüssen der Südinsel.

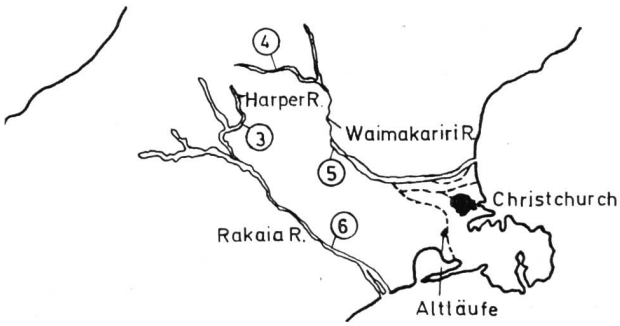


Bild 2. Standorte der Aufnahmen der Bilder 3 bis 6; Lage der Stadt Christchurch zwischen den Altläufen des Waimakariri Rivers.

Bild 6. Rakaia River, Canterbury, Neuseeland, Unterlauf; hier ist das Bett etwa 2 km breit. Bevorzugte Fliessrichtungen des Niederwassers: schräg zur Richtung des Flusslaufs oder um Bänke herum schlängelnd.

gen Schlucht durch die letzten Gebirgsketten und breiten sich dann in einer Küstenebene wieder aus. Bild 5 zeigt nochmals den Waimakariri River kurz nach Verlassen seiner Schlucht, etwa 60 km oberhalb der Mündung. Bild 6 zeigt den Rakaia River kurz vor seiner Mündung in den Pazifischen Ozean.

Die folgenden Eigenschaften sind solchen Flüssen gemeinsam: Die Breite ist meist nur durch topographische Gegebenheiten (Talflanke, Schuttkegel) begrenzt (Bilder 2 bis 4). In einer weiten Ebene wie auf Bild 6 hatte sich der Fluss in frühere Ablagerungen eingegraben, die Breite wurde somit hauptsächlich von Abfluss- und Materialparametern bestimmt. Der heutigen Flussbreite entspricht bei zwei- bis fünfjährlichen Abflüssen eine mittlere Abflusstiefe, die in der Grössenordnung der Grenztiefe bei Transportbeginn für das umliegende Material entspricht. Ein solcher Fluss weitet sich also aus, bis die Sohle nur mehr selten auf der ganzen Breite in Bewegung gerät. Diese Beobachtungen stimmen mit den Feststellungen *Parkers* [15] überein.

Das Flussbett ist aber nicht eben. Lokale Abflusstiefen sind wegen einer grossen Zahl von Kiesbänken sehr unterschiedlich. Diese Unregelmässigkeiten der Sohle zwingen den Fluss bei kleineren Abflüssen zum *Verzweigen.* Der Abfluss teilt sich in mehrere Arme auf, die sich immer wieder neu aufteilen und vereinigen.

Die Arme verlaufen selten parallel zur Hauptrichtung des Flusses. Es kann vorkommen, dass der ganze Abfluss von einem Ufer zum andern pendelt und lokal das Ufer angreift (Bild 4).

Da die Bänke für die kleineren Abflüsse nur schwer angreifbare Hindernisse darstellen, müssen diese von Hochwassern gebildet worden sein. Wäre der gerinnebildende Abfluss konstant, würde sich eine Bankanordnung wie auf Bild 7a entwickeln, worauf verschiedene Veröffentlichungen über die Entstehung von Mäandern und Verzweigungen hinweisen [2, 4, 5, 14]. In einem solchen Bankmuster ergeben sich zwangsläufig bevorzugte Fliessrichtungen für die kleineren Abflüsse: schräg zur Hauptrichtung wie auf Bild 7b oder um die Bänke herumschlängelnd wie auf 7c und 7d. Kombinationen dieser Möglichkeiten sind in 7e eingetragen; dieses Muster weist mit den Bildern 3 bis 6 tatsächlich viel Ähnlichkeit auf. Die Verhältnisse in der Natur sind nie so ideal wie auf Bild 7, da ein ganzer Abflussbereich gerinnebildend ist und nicht nur ein einzelner konstanter Abfluss.

Die Stabilität einzelner Teilgerinne ist anfällig auf Veränderungen im Geschiebetransport; leichte, lokale Auflandungen und Erosionen genügen, um das Verzweigungsmuster völlig zu verändern. Der weitaus grösste Teil des Geschiebes wird entlang solchen Teilgerinnen transportiert, Veränderungen des Verzweigungsmusters beeinflussen deshalb umgekehrt die Transportkapazität stark. Sammelt sich der Abfluss lokal zu einem Hauptgerinne, kann darin mehr Geschiebe transportiert werden, bei feiner Verästelung dementsprechend weniger. Unter solchen Verhältnissen passt sich eher die Geometrie der Flussarme der Geschiebezufuhr an und weniger, wie im kanalisierten Fluss, das Gefälle.

Entlang des Unterlaufs nimmt die Transportkapazität stark

Bild 8. Rhein bei Sargans. Alternierende Bänke in einem korrigierten Fluss, «Läufe» («Riffles») zwischen, «Hinterwasser» («Pools») neben den Bänken.
(Foto: W. Wachter, Schaan, FL)

ab, so dass der Fluss dort auflandet und – über geologische Zeiträume gesehen – seinen Lauf immer wieder wechselt. So ist Christchurch, eine Stadt von 300 000 Einwohnern, in einem Gebiet gebaut, das noch vor einigen hundert Jahren vom Waimakariri River durchflossen war (Bild 2). Bis heute erreicht der vom Fluss mitgeführte Kies das Meer nicht. Um eine gefährliche Sohlenerhöhung zu vermeiden, muss die gesamte Gechiebefracht von rund 150 000 m^3/Jahr aus dem Fluss gebaggert werden [13, 19].

Durch die unebene Sohlenkonfiguration werden das Energieliniengefälle und der Wasserspiegelverlauf für die kleineren Abflüsse gebrochen. Bild 9a zeigt den möglichen Verlauf eines solchen Abflusses in der Situation, dargestellt für ein idealisiertes Bankmuster wie in Bild 7a. Auf Bild 9c ist das Längenprofil der Sohle und des Wasserspiegels dargestellt, wie es sich als Abwicklung längs der Fliessrichtung ergibt. Es ergeben sich Sequenzen von Stau- und Beschleunigungsstrecken, die im englischen Sprachraum als «Pool-Riffle»-Systeme bezeichnet werden [10]. Diese Begriffe sind der Fischersprache entlehnt. Dementsprechend werden im folgenden Text die Bezeichnungen «Hinterwasser» für «Pool» und «Lauf» für «Riffle» gebraucht.

In den Hinterwassern sind das Energieliniengefälle und die Geschwindigkeit kleiner, in den Läufen grösser als die Mittelwerte dieser Grössen im Fluss. In den Läufen ist die Sohle gröber, da wegen des höheren Gefälles die Feinkomponenten ausgewaschen werden. Bei zunehmendem Abfluss wird das Gefälle regelmässiger.

Läufe sind auf Bild 3 als weisse Stellen zu erkennen, da sich hier der Abfluss intensiv mit Luft durchmischt. Auf Bild 5 lässt sich der Wechsel von seichten (dunklen) und tiefen (hellen) Stellen verfolgen. Bild 4 zeigt im Vordergrund einen typischen Lauf mit stark gewelltem Abfluss, der von der grossen Sohlenrauhigkeit zeugt.

Der korrigierte Fluss

Länge, Gefälle und Abflussregime verschiedener Schweizer Flüsse sind vergleichbar mit den entsprechenden Eigenschaften der auf Bild 3 bis 6 gezeigten neuseeländischen Flüsse, hingegen unterscheiden sie sich in der Breite, die durch die Korrektionsarbeiten wesentlich verringert wurde (Rhein oberhalb Bodensee, Hinterrhein im Domleschg, Reuss im Kanton Uri, Rhone, Tessin in der Magadinoebene). Dabei wurde nicht nur die Talebene weitgehend vor Überflutung durch Hochwasser geschützt, sondern das Ziel verfolgt, den Geschiebeanfall vollständig flussabwärts zu verfrachten und meistens in einem See abzulagern [12]. Nur durch Erreichen dieses Ziels ist auch die Hochwassersicherheit auf längere Zeit gewährleistet. Diese Bedingung ist, wie vorhin gezeigt, im natürlichen Fluss nicht erfüllt. Die Hochwassersicherheit kann für die Talebene nur durch einen wesentlichen Eingriff in die natürlichen Verhältnisse des Flusses erreicht werden.

Auch im korrigierten Fluss ist die Sohle oft unstabil. Die auftretenden Deformationen sind denjenigen in natürlichen Flüssen ähnlich. Bild 8 zeigt alternierende Kiesbänke im Rhein bei Sargans. Die Dimensionen dieser Bänke und das von ihnen verursachte Abflussverhalten bei Nieder-

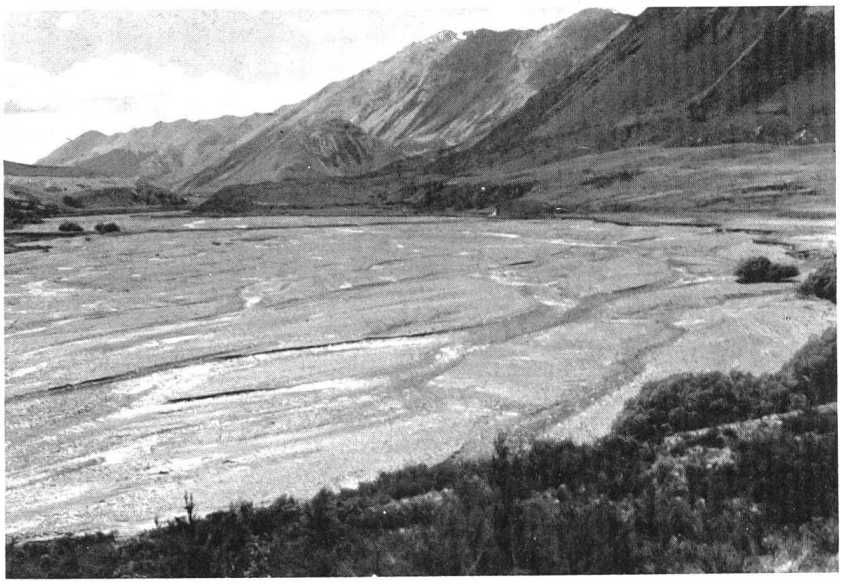


Bild 3. Harper River, Canterbury, Neuseeland. Der Flusslauf beansprucht die ganze Talbreite. Das Niederwasser schlängelt sich zwischen Kiesbänken durch; «weisse Wasser» weisen auf Schnellen hin.

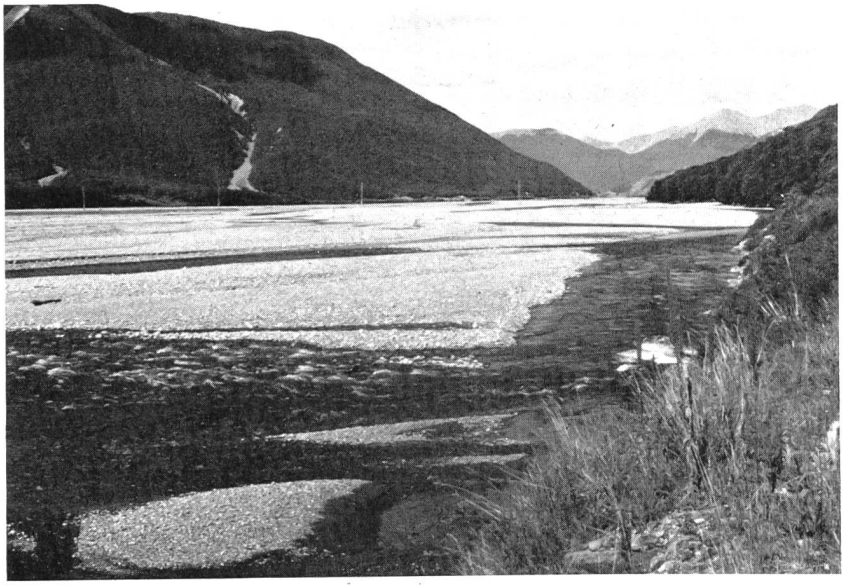


Bild 4. Waimakariri River, Canterbury, Neuseeland, Oberlauf. Trotz der 1,5 km breiten Talsohle greift hier fast der ganze Niederwasserabfluss das Ufer an. Im Vordergrund Abfluss über eine Bank mit lokal steilem Energieliniengefälle («Lauf» oder «Riffle»), anschliessend Strecke mit fast horizontalem Gefälle («Hinterwasser» oder «Pool»).

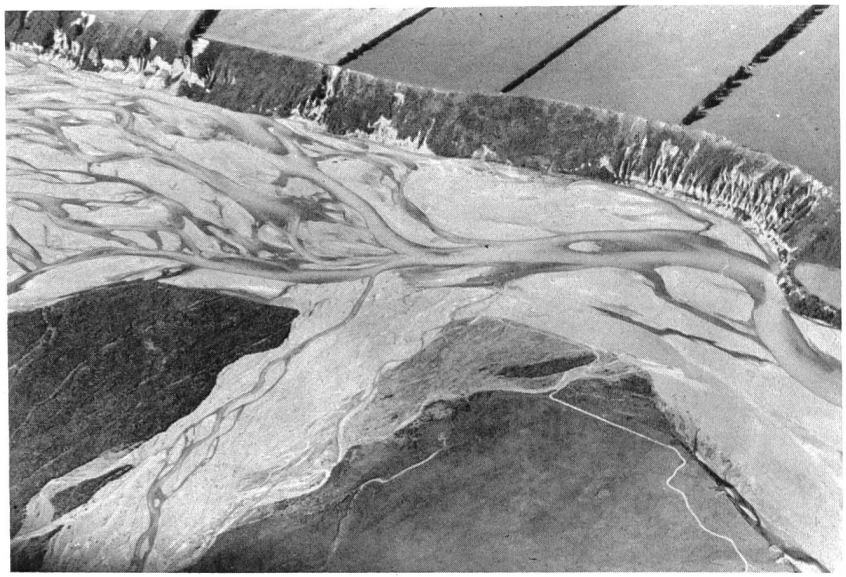
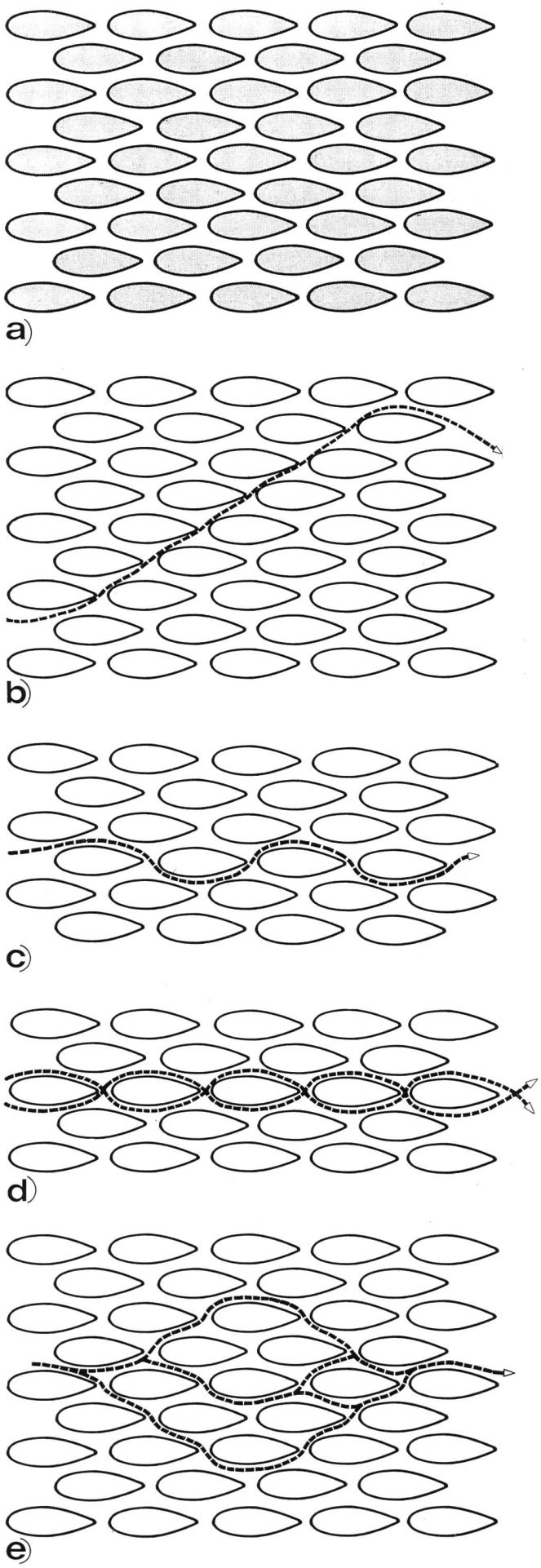


Bild 5. Waimakariri River, Canterbury, Neuseeland, unterhalb Gorge. Eine Vielzahl von Niederwasserrinnen vereinigt sich lokal zu einem Hauptgerinne; dunkle und helle Stellen zeigen regelmässige Folgen von seichten und tiefen Bereichen.

Bild 7. Idealisiertes Bankmuster im verzweigten Fluss: gerinnebildender Abfluss konstant (a); bevorzugte Fliessrichtungen für die kleineren Abflüsse; schräg zur Hauptrichtung, von einem Ufer zum andern (b); lokal mäandrierend (c); symmetrische Vereinigungen und Verzweigungen oder «Doppelmäander» (d); Kombination verschiedener dieser Fliessrichtungen zu einem Verzweigungsmuster (e).



und Mittelwasser entspricht den Zuständen auf den Bildern 3 bis 6. Bild 9b zeigt einen solchen Abflusszustand mit Läufen und Hinterwassern in der Situation. Aus dem eher unregelmässigen Verzweigen ist ein regelmässiges Pendeln des Abflusses von einem Ufer zum anderen geworden. Bild 9c, ein Längenprofil in der abgewickelten Fliessrichtung, könnte auch zu einem korrigierten Fluss mit alternierenden Bänken gehören.

Die Läufe und Hinterwasser, die im Zusammenhang mit alternierenden Bänken auftreten, weisen auch die übrigen Eigenschaften natürlicher Lauf-Hinterwasser-Systeme auf, wie die Sohlenvergröberung in den Läufen, der dadurch bedingte rauhe Abfluss mit Luftaufnahme und die Unterschiede in den Geschwindigkeiten.

Solche alternierenden Bänke wurden von verschiedenen Autoren [3, 9, 11] beschrieben. Es wird im allgemeinen angenommen, dass solche Sohlendeformationen als Anfangsstadium für die Bildung von Mäandern zu betrachten sind; diese würden sich weiterentwickeln, würden die Ufer nachgeben.

Es gibt korrigierte gerade Flussstrecken mit und ohne alternierende Bänke. Letztere werden vom Flussbauer insofern vorgezogen, als die Ufer weniger angegriffen werden und die Energieverluste kleiner sind.

Ob sich eine ursprünglich ebene Sohle in alternierende Bänke deformiert, hängt von den vorhandenen Abfluss- und Sohlenmaterialparametern ab. In Anlehnung an [17] wurde die Bedingung, dass für einen bestimmten Abfluss alternierende Bänke auftreten, vom Verfasser [8] aufgrund von Versuchen durch die Beziehung

$$\frac{h^3}{125\, h_{Gr}^{\,2} J B_r} < 1 \qquad (1)$$

definiert. h ist die Abflusstiefe, h_{Gr} die Abflusstiefe bei Transportbeginn, J das Energieliniengefälle, B_r eine reduzierte Sohlenbreite, durch die berücksichtigt wird, dass rauhe Ufer die Stabilität einer ebenen Sohle begünstigen [1].

Ferner muss die Bedingung

$$h < h_D \qquad (2)$$

erfüllt sein. h_D ist die maximale Abflusstiefe, für die sich noch eine natürliche Deckschicht bilden kann; dieser Wert kann nach *Gessler* [6] oder *Günter* [7] berechnet werden. Tatsächlich ist die ebene Sohle vieler korrigierter Flüsse wie gepflästert. Als Beispiel sei der Hinterrhein im Domleschg angeführt, wo die Querschnittseinengung nach der Korrektion vorerst die Sohle erodierte. Nach 1950, nach der Stabilisierung der Sohle durch eine Deckschicht, hörte die Erosion weitgehend auf. Diese natürliche Sohlenpflästerung verhinderte auch die Entwicklung von alternierenden Bänken, die gemäss Kriterium (1) hätten auftreten müssen.

Folgen von Hinterwassern und Schnellen können auch künstlich verursacht werden, so durch Verbauungen mit Schwellen in regelmässigen Abständen [18].

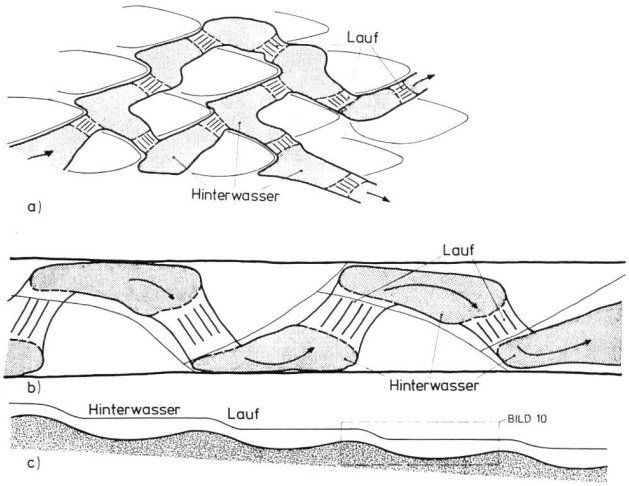


Bild 9. Lauf-Hinterwasser-Folgen im verzweigten Fluss (a) und im korrigierten Fluss mit alternierenden Bänken (b); in beiden Fällen identisches Längenprofil (c) in der Abwicklung längs der Fliessrichtung.

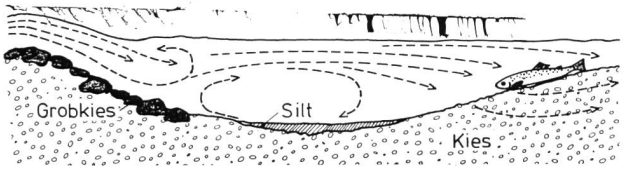


Bild 10. Bevorzugter Laichplatz einer Forelle in einer Lauf-Hinterwasser-Folge, nach *Stuart* [16].

Die Bedeutung von Lauf-Hinterwasser-Folgen («Pool-Riffle»-Systeme) für das Leben im Fluss

Folgen von Ruhigwassern und Beschleunigungsstrecken, wie in den beschriebenen Läufen und Hinterwassern, sind für das Leben im Fluss wichtig. In den Ruhigwassern können sich Fische und andere Lebewesen aufhalten, ohne ständig grossen Strömungsgeschwindigkeiten ausgesetzt zu sein. In den Schnellen wird das Wasser mit dem lebensnotwendigen Sauerstoff angereichert. Sie sind aber für Fische auf ihrer Wanderung keine unüberwindlichen Hindernisse, sofern sie nicht zu lang sind. Unterschiedliche Strömungsverhältnisse fördern auch die Vielfalt der Fauna.

Während kurzer Hochwasser, bei denen sich das Gefälle ausgleicht, vermögen sich die Fische an die Ufer anzulehnen; sie halten kurzfristig die höhere Strömungsgeschwindigkeit aus.

Die Bedeutung von Lauf-Hinterwasser-Folgen wurde von *Stuart* [16] für die natürliche Fortpflanzung von Forellen beschrieben. Bild 10 zeigt den bevorzugten Laichplatz von Forellen im unteren Teil eines Hinterwassers. Wasser, das sich im Lauf mit Sauerstoff angereichert hat, infiltriert an dieser Stelle in den kiesigen Untergrund. So bleibt der Laich, der hier vergraben wird, ständig in Kontakt mit Frischwasser. Hier lagert sich auch kein Silt ab, in dem kaum Überleben möglich wäre. Dieser setzt sich eher in der Mitte des Hinterwassers, im Bereich einer sohlennahen Rückströmung, ab. Falls die Forelle keine so günstige Stelle wie auf Bild 10 findet, lässt sie den Laich an einer Stelle zurück, wo die Überlebenschancen unter den gegebenen Umständen am grössten sind, etwa kleinere Ruhigwasser im Strömungsschatten von grossen Uferblöcken. Ein grober Uferblockwurf ist bis zu einem gewissen Grad Ersatz für fehlende Läufe und Hinterwasser (z. B. im Hinterrhein im Domleschg). Eine ebene Sohle kombiniert mit glatten Ufern schränkt die Möglichkeiten natürlicher Fortpflanzung der Forellen drastisch ein.

Bemerkenswert ist das Experiment *Stuarts,* bei dem er die Entstehung von Läufen und Hinterwassern künstlich provozierte [10]. Bei einer Flusskorrektion, bei der die Sohle ausgeebnet worden war, ordnete er die Anhäufung von Sohlenmaterial in einem Abstand von etwa fünfmal der Flussbreite an. Dieser Abstand entsprach den Abständen zwischen den Läufen im früheren, natürlichen Fluss. Nach einiger Zeit hatten sich wieder Lauf-Hinterwasser-Folgen gebildet, so dass die Korrektion die Fortpflanzung der Forellen nicht mehr beeinträchtigte, wie ursprünglich befürchtet worden war.

Folgerungen

Der Hauptunterschied zwischen den besprochenen alpinen Flüssen Neuseelands und entsprechenden Schweizer Flüssen liegt in der Grösse der dem Fluss überlassenen Fläche. Es ergibt sich dadurch unterschiedliches Hochwasserabflussverhalten, eine andere Evolution des Gerinnes sowie ein unterschiedlicher Geschiebehaushalt. Gemeinsamkeiten finden sich aber in den Sohlenformen: Es bilden sich in beiden Fällen ähnliche Kiesbänke. Daraus resultiert in beiden Fällen praktisch das gleiche Verhalten der kleinen Abflüsse, es entstehen sogenannte Läufe und Hinterwasser, die für das Leben im Fluss wichtig sind. Wenn sich also in einem begradigten Fluss alternierende Bänke bilden, was nach Kriterium (1) einigermassen vorausgesagt werden kann, so hat er wesentliche Eigenschaften eines natürlichen Flusses zurückgewonnen. Die Qualität von Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen sind dann praktisch so gut wie im natürlichen Fluss.

Literaturhinweise

[1] *A.G. Anderson, G. Parker, A. Wood,* 1975: The Flow and Stability Characteristics of Alluvial River Channels, St. Anthony Falls. Hydr. Lab., Proj. Rep. 161
[2] *R. A. Callander,*1969: Instability of River Channels. «J. of Fluid Mech.» vol. *36,* pp. 465–80
[3] *R. A. Callander,* 1978: River Meandering. «Ann. Rev. Fluid. Mech.» oct.
[4] *F. Engelund, O. Skoovgaard,* 1973: On the Origin of meandering and Braiding in Alluvial Streams, «J. of Fluid Mech.» vol. *57,* part 2, pp. 289–302
[5] *J. Fredsoe,* 1978: Meandering and Braiding of Rivers. «J. of Fluid Mech.» vol. *84,* part 4
[6] *J. Gessler,* 1973: Behaviour of Sediment Mixtures in Rivers. IAHR, Proc. Int. Symp. River Mech., Bangkok, vol. 1
[7] *A. Günter,* 1971: Die kritische mittlere Sohlenschubspannung bei Geschiebemischungen unter Berücksichtigung der Deckschichtbildung und der turbulenzbedingten Sohlenschubspannungsschwankungen. «Mitt. d. Vers.anst. f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich» Nr. 3
[8] *M. Jäggi,* 1979: Die Bildung von alternierenden Kiesbänken in geraden Flussläufen. «Mitt. Vers.anst. f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich» Nr. 36
[9] *E. A. Keller,* 1972: Development of Alluvial Stream Channels. «Bull. Geol. Soc. of America,» vol. *83,* pp. 1531–36, May
[10] *L. B. Leopold, M. G. Wolman, J. P. Miller,* 1964: Fluvial Processes in Geomorphology. Freeman, San Francisco/London
[11] *J. Lewin,*1976: Initiation of Bedforms and Meanders in Coarse-Grained Sediment. «Bull. Geol. Soc. of America» vol. *87,* pp. 281–285, Feb.
[12] *E. Meyer-Peter, C. Lichtenhahn,* 1963: Altes und Neues aus dem Flussbau unter besonderer Berücksichtigung des St. Galler Rheintales. Eidg. Dept. des Innern, Veröff. d. Eidg. Amtes f. Strassen- und Flussbau
[13] North Canterbury Catchment Board, Christchurch NZ, 1960, Waimakariri River Improvement Scheme
[14] *G. Parker,* 1976: On the Cause and the characteristic Scales of Meandering and Braiding in Rivers. «J. of Fluid Mech.» vol. *36,* part 3, Aug., pp. 457–80
[15] *G. Parker,* 1978: Self Formed Straight Rivers with Equilibrium Banks and Mobile Bed, part. 2. «J. of Fluid Mech.» vol. *89,* part 1
[16] *T. A. Stuart,* 1953: Spawning Migration with Reproduction and Young Stages of Loch Trout. Freshwater and Salmon Fisheries Research Station, Edinborough
[17] *N. Sukegawa,* 1972: Criterion for Alternate Bar Formation. «Memoirs of the School of Engrg. Waseda Univ., Tokyo» No. 36
[18] *P. Volkart,* 1972: Stabilisierung von Flussläufen mittels einer Folge von Querschwellen. «Mitt. Vers.anst. f. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich» Nr. 5
[19]*J. Wood,* 1932/33. Waimakariri River Control. «Proc. NZSCE»

Adresse des Verfassers: *Martin Jaeggi,* Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, 8092 Zürich.