

PHYSIKALISCHE KRITERIEN DER GEWÄSSERREGULIERUNG (II)

Viktor Schaubberger †; Bearbeitet von Uwe Fischer

Im ersten Teil dieses Beitrages, der im vorangegangenen Heft 4/73 erschien, wurde neben der Definition des positiven und negativen Temperaturgefälles die Bedeutung und Auswirkung des vollen und halben Wasserkreislaufes für die Grundwasserbildung herausgestellt. Die regulierende Rolle, die der Mischwald bei der Grundwasserbildung und der Erzeugung des richtigen Temperaturgefälles spielt, wurde aufgezeigt.

In diesem zweiten Teil werden in kurzem Umriß die wichtigsten, einen Flußlauf beeinflussenden Faktoren besprochen, wobei speziell auf die Bedeutung des Temperaturgefälles für das Sohlengefälle und die Kurvenbildung eines Flußlaufes eingegangen wird.

Der Originalbeitrag von Viktor Schaubberger ist 1930 und 1931 mit dem Titel 'Temperatur und Wasserbewegung' in sieben Folgen der österreichischen Fachzeitschrift 'Die Wasserwirtschaft' veröffentlicht worden.

1. Temperaturabhängige Turbulenzerscheinungen im fließenden Wasser

Bei einer im Gefälle reibungslos abströmenden idealen Flüssigkeit müßten sich die einzelnen Stromfäden parallel zueinander fortbewegen. Die Bewegung selbst müßte eine gleichförmig beschleunigte sein. Diese tritt aber in der Natur nicht auf, da Reibungserscheinungen zwischen Flüssigkeit und Gerinnewandung einerseits und zwischen den Flüssigkeitsteilchen untereinander andererseits eine gleichförmig beschleunigte Bewegung verhindern. Bei einer bestimmten Geschwindigkeit, die je nach der Temperatur des Wassers verschieden ist, geht die laminare Bewegung in eine wirbelnde, turbulente über. Durch die Reibungserscheinungen und den Übergang von laminarer zu turbulenter Strömung bildet sich eine gleichförmige Fließgeschwindigkeit aus.

Aus den Beobachtungen V. Schaubergers geht hervor:

- a) Die Turbulenz ist bei Wasser von 4°C Temperatur - unter gleichen Verhältnissen in ein und demselben Profil - am kleinsten.
- b) Die Turbulenz und damit im Zusammenhang die Geschwindigkeitsverminderung wird größer, je mehr sich das Wasser in seiner Temperatur von 4°C entfernt.
- c) Es ist möglich, eine Beschleunigung der mittleren Bewegung zu erreichen durch Annäherung der Wassertemperatur an 4°C.

Folgende Beobachtungen mögen den Sachverhalt verdeutlichen:
Bei Karlsbad mündet eine heiße Quelle in die Tepl ein und bewirkt starke Turbulenz- und Wirbelerscheinungen. Während bei der Sperrung der heißen Quelle das Wasser der Tepl an dieser Stelle infolge des dort vorhandenen großen Sohlengefälles mit beträchtlicher Geschwindigkeit abfließt, verringert sich dieselbe nach Zuleiten des heißen Wassers sofort in außerordentlichem Maße.

Der große Einfluß der Temperatur des Wassers auf die Turbulenz und Geschwindigkeit zeigte sich auch beim Betrieb einer 2 km langen Holzschwemmanlage in Neuberg (Steiermark). Temperatur- und Geschwindigkeitsmessungen ergaben: Am Morgen bei einer Wassertemperatur von 9 bis 10°C benötigte ein Holzblock ca. 29 Minuten, zu Mittag bei einer Temperatur von 13 bis 15°C jedoch ca. 40 Minuten zur Zurücklegung dieser 2 km langen Strecke unter sonst gleichen Verhältnissen.

Als drittes Beispiel soll die Wasserzuführung zu den Turbinen der Pappenfabrik Neuwald in Niederösterreich angeführt werden. Sie erfolgt durch zwei je ca. 2 km lange Betonkanäle. Der eine bezieht sein Wasser aus der wärmeren 'Stillen Mürz', der andere aus der 'Kalten Mürz'. Die normale, bei voller Ausnutzung des Kanalprofils aus der Stillen Mürz entnommene Wassermenge beträgt ca. 860 l/sec. Wenn sich die Wassertemperatur der Stillen Mürz der der Kalten Mürz nähert (positives Temperaturgefälle) steigert sich laut Beobachtungen des Leiters der Fabrik, Herrn Brückner und des Betriebsleiters, Herrn Patta, die Wassermenge der Stillen Mürz auf 1800 l/sec. Trotz Drosselung der Einlauföffnungen vor der Turbine steigt die Leistung der Turbine, was sich in einer Mehrerzeugung von 1 Waggon pro Nacht auswirkt.

2. Temperaturgefälle, Sohlengefälle und Kurvenbildung

Das Temperaturgefälle ist im nachfolgenden als positiv bezeichnet, wenn sich die Temperatur des Wassers in der Richtung des Abfließens der Temperatur von 4°C nähert, im anderen Falle als negativ.

Ist z.B. die Temperatur im Punkte A eines Gerinnes t_1 , in einem unterhalb liegenden Punkte B t_2 , und ist $t_1 > t_2$ (positives Temperaturgefälle) so tritt auf dieser Strecke eine Vergrößerung der Geschwindigkeit infolge Verminderung der Turbulenz ein. Walzen- und Wirbelbildungen werden kleiner. Im umgekehrten Falle $t_1 < t_2$ (negatives Temperaturgefälle)

verstärken sich infolge der Temperaturerhöhung die Turbulenzerscheinungen und der daraus resultierende Geschwindigkeitsverlust des Wassers führt zur Verminderung der Schleppkraft. Es kommt zur Ablagerung der mitgeführten Sinkstoffe. Diese Erscheinung wird wichtig bei Betrachtung der Veränderungen der Flußsohle. Bei positivem Temperaturgefälle bleibt - gleichmäßige Wasserführung vorausgesetzt - das Sohlengefälle erhalten oder wird größer, bei negativem Temperaturgefälle wegen der Ablagerungen kleiner.

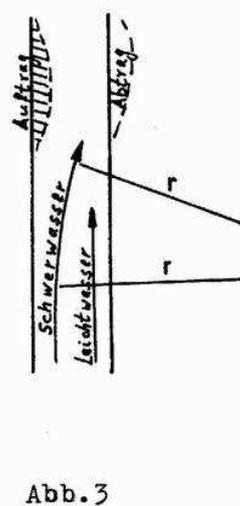
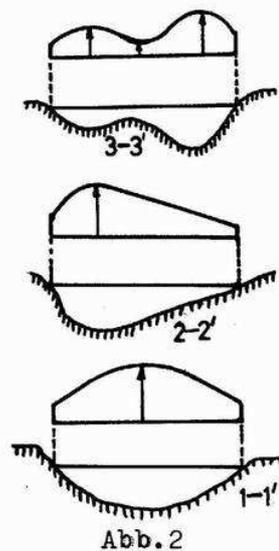
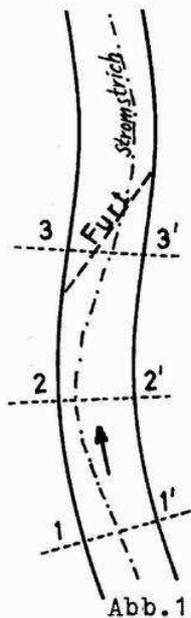
Bei Vergrößerung der Wassermenge und negativem Temperaturgefälle verändert sich das Sohlenbild nur unwesentlich, dagegen treten durch Schwankungen des Stromstriches der Seite nach Uferanrisse auf. Bei Vergrößerung der Wassermassen und positivem Temperaturgefälle wird die Flußsohle angegriffen und vertieft. Der Wasserlauf streckt sich in die Gerade; frühere Geschiebekurven werden ausgeglichen. Das sich mit der Zeit einstellende mittlere Sohlengefälle entspricht dem der Jahresmitteltemperatur entsprechenden Temperaturgefälle und der mittleren Wasserführung im Jahre.

Temperaturmessungen an verschiedenen Stellen innerhalb eines Flußquerschnittes zeigen, daß auch hier die Temperaturen verschieden sind. Die tiefste Temperatur und damit verbunden die größte Wassergeschwindigkeit zeigt sich stets im Stromstrich, während die Temperatur gegen die Ränder hin mehr oder weniger zunimmt und die Geschwindigkeit abnimmt. Im Verlaufe eines Tages ändert sich die Lage der größten Geschwindigkeit im Profil (Stromstrich, Flußachse) sowohl der Seite als auch der Höhe nach. Tagsüber liegt der Stromstrich näher dem beschatteten Ufer, nachts wandert er gegen die Gerinnemitte. Bei negativem Temperaturgefälle liegt der Stromstrich nahe der Wasseroberfläche, bei positivem Temperaturgefälle tiefer.

In Abb. 1 ist ein Teil einer Flußstrecke dargestellt. Im Querschnitt 1 - 1' liegt der Stromstrich noch in Flußmitte. Bildet man in allen Lotrechten eines Querschnittes die mittlere Geschwindigkeit, so ergeben sich die in Abb. 2 gezeigten Geschwindigkeitsverteilungen für drei ausgewählte Querschnitte. Ursache für das Auswandern des Stromstriches kann eine rein mechanische sein, z.B. wenn eine Uferseite glatt und die andere rauh ist. Hier soll aber der Einfluß der Temperatur herausgestellt werden, weil dieser bislang in der Flußregulierungspraxis vernachlässigt wird.

Ist beispielsweise das Ufer bei 1 beschattet, das Ufer bei 1' der Sonnenbestrahlung (Erwärmung) ausgesetzt, so wird es bei 1' spezifisch leichter und infolge verstärkter Turbulenz langsamer fließen als bei 1. Die Folge davon ist, daß das linksufrig fließende Schwerwasser voreilen wird, wodurch der Ansatz zu der in Abb. 3 angedeuteten kreisförmigen Bewegung geschaffen ist. Diese Kreisbewegung dauert solange, bis sich Schwer- und Leichtwasser in ihrer Temperatur und Geschwindigkeit ausgeglichen haben. Das Temperaturgefälle, das im Querschnitt 2 - 2' vom linken zum rechten Ufer negativ war, kehrt sich um und wird hinter dem Querschnitt 3 - 3' vom rechten zum linken Ufer negativ. An der Stelle der Umkehr des Temperaturgefälles entsteht durch Erlahmen der Schleppkraft des Schwerwassers die Furt (Querschnitt 3 - 3').

Kurvenbildung im Flußlauf tritt meist dort ein, wo, durch klimatische Lage begünstigt, größere Temperaturschwankungen innerhalb kurzer Zeitperioden auftreten. Eine gerade Strecke mit regelmäßiger, beiderseitiger Ablagerung der Sinkstoffe bildet sich dagegen dort, wo das Temperaturgefälle auf längeren Strecken während des größten Teils des Jahres positiv bleibt. So ist z.B. hinter der Einmündung der Heißquelle in die Tepl das Temperaturgefälle immer positiv, da sich das warme Wasser unterwegs langsam abkühlt. Auf dieser Strecke zeigt die Tepl durchwegs geraden Lauf mit beidseitiger, regelmäßiger Uferbildung.



3. Einfluß der geographischen Lage und der Erddrehung auf den Flußlauf

Die Einflüsse der geographischen Lage kommen im großen und ganzen in der Entwicklung des Temperaturgefälles eines Flußlaufes zum Ausdruck. In Schweden z.B. begünstigt das gleichmäßige Klima die Entwicklung eines positiven oder nur schwach ausgebildeten negativen Temperaturgefälles. Die Wasserführung der Flüsse ist gleichmäßig, desgleichen die Geschiebeführung. Das Flußbett ist regelmäßig, meist muldenförmig (Abb. 4). Die Anpassung der Schwerwassermassen an die klimatischen Verhältnisse der Talniederungen vollzieht sich nur langsam, die Temperaturen des Wassers bleiben lange erhalten, d.h. ändern sich nur wenig. Unter diesen Bedingungen setzt sich trotz verschiedenster Wassermengen und oft großem Gefälle Moos an den Steinen an. Mit der Freistellung solcher Gerinne (z.B. durch Kahlschläge) verschwindet die Moosbedeckung der Steine. Je plötzlicher der Wasserlauf der freien Sonnenbestrahlung ausgesetzt wird, desto rascher und auf kürzerem Wege vollzieht sich die Erwärmung des Wassers. Die dadurch bedingte Abbremsung der Wassermassen erfolgt stoßartig in scharfen Bremskurven, so daß es zur frühzeitigen Ablagerung des mitgeführten Geschiebes kommt. Solche Verhältnisse findet man z.B. im östlichen Oberitalien, wo die das Gebirge verlassenden kühlen Wassermassen in der Ebene durch die dort herrschenden Temperaturen sich sehr schnell erwärmen. Dieses auf kürzester Strecke extrem negative Temperaturgefälle verursacht durch große Schotterablagerungen Verwerfungen im Flußbett, und wo letzteres nicht ausreichend breit ist, beträchtliche Überschwemmungen. Das charakteristische Durchflußprofil solcher Flüsse, die zudem noch großen täglichen Temperaturschwankungen unterliegen, zeigt die Abb. 5: ein sehr flaches Bett mit tief eingeschnittenem Graben (bei sehr großen Breiten des Bettes auch zwei oder mehrere Gräben), ein ausgeprägtes Doppelprofil.

Ein ganz anderes Aussehen haben die Flüsse im Westen der oberitalienischen Ebene, obwohl die Geländebeziehungen die gleichen wie in Venetien sind. Diese Flüsse fließen im regelmäßigen Profil mit gleichmäßiger Geschwindigkeit dem Po zu. Diese Regelmäßigkeit wird durch die großen Wasserreservoirs der oberitalienischen Seen bewirkt, welche das Wasser aus der Schneeschmelze zurückhalten und in einer solchen Temperatur in die Ebene entlassen, die dieser bereits mehr angepaßt ist, so daß es nicht mehr zur Bildung von so krassen negativen Temperaturgefällen kommen kann.

Bei den nach Norden fließenden Alpenflüssen sind die Verhältnisse nicht so kraß wie bei den ital. Wildbächen, weil der Abfall der Alpen nach Norden ein sanfterer ist und die Temperaturunterschiede nicht so groß sind. Hier weisen die Flußbetten nach Verlassen des Gebirges einseitige Vertiefung mit aufgeworfenem Schotterbett an der Innenkurve auf, was auch eine Folgeerscheinung des sich im größten Teil des Jahres einstellenden negativen Temperaturgefälles in Längs- und Querschnitt ist (Abb. 6).



Abb. 4



Abb. 5



Abb. 6



Abb. 7

Flüsse, die mit positivem Temperaturgefälle ins Meer münden (z.B. ins Eismeer mündende Flüsse), tragen ihr Geschiebe weit ins Meer hinaus (Bildung von Landzungen); Flüsse, die mit negativem Temperaturgefälle ins Meer münden, lagern ihr Geschiebe vor der Einmündung ab (Delta-bildung).

Nicht zuletzt wird der Charakter eines Flußlaufes auch durch die Erdrotation beeinflusst. So verteilt sich die Geschiebeführung in einem West-Ost-Gerinne gleichmäßig über den ganzen Querschnitt. Im allgemeinen sind beide Ufer besamt. Bei Ost-West-Gerinnen kommt es auch vor, daß beide Ufer kahl sind. Süd-Nord- und Nord-Süd-Gerinne führen ihr Geschiebe meist einseitig, was zu einseitiger Besamung und einseitiger Vertiefung des Flußbettes führt.

4. Die allgemeinen Aufgaben der Flußregulierung

Für die Gestaltung eines Flußlaufes in der Landschaft wurden gemäß den vorstehenden Ausführungen als maßgebende Faktoren erkannt:

- a) die Terraingestaltung, b) das Temperaturgefälle
- c) die geographische Lage, d) die Erdrotation.

Die Erdrotation, die geographische Lage und die Terraingestaltung sind naturgegeben. Man kann durch kleinere geeignete Einbauten dort, wo sie zum Schutz von Kulturgütern unvermeidlich werden, gewisse Verbesserungen schaffen; doch wäre es falsch, eine Regulierung des Flusses von den Ufern aus durchführen zu wollen. Das hieße nur die Auswirkungen, nicht aber die Ursachen zu bekämpfen. ~~Dauerhaften Erfolg~~ bietet bei Durchführung einer Flußregulierung nur die Regulierung des Temperaturgefälles, da damit auch der geographischen Lage in gewissen Grenzen Rechnung getragen werden kann.

Ziel einer Flußregulierung ist in erster Linie die schadlose Abführung der Wassermassen. Menschenleben und Kulturgüter sollen mit Sicherheit vor den Auswirkungen von Überschwemmungen geschützt werden. Folgende Momente müssen bei jeder Regulierung berücksichtigt werden:

- 4.1. Längenprofil und horizontaler Lauf müssen in Einklang gebracht werden.
- 4.2. Das Querschnittprofil muß so gestaltet werden, daß es in der Lage ist, je nach Örtlichkeit eine gewisse max. Wassermenge zu führen.
- 4.3. Es muß dafür gesorgt werden, daß das Wasser aus katastrophalen Niederschlägen im Einzugsgebiet nicht sofort zum Oberflächenabfluß gelangen kann.
- 4.4. Es muß getrachtet werden, die Geschiebeführung so zu regulieren, daß Anlandung oder Abtrag dort erfolgen, wo sie gewünscht werden.

Zu 4.1.: Wie schon erwähnt, stellt sich in einem Flusse im Laufe der Zeit jenes Sohlengefälle ein, welches dem der mittleren Jahrestemperatur entsprechenden Temperaturgefälle sowie der mittleren Jahreswasserführung entspricht. Die Herbeiführung und Bewahrung eines dauerhaften Sohlengefalles kann durch Regulierung des den jeweils herrschenden Temperaturen angepaßten Temperaturgefälles erzielt werden.

Zu 4.2.: Das Gerinneprofil muß den örtlichen Verhältnissen angepaßt und befähigt sein, sowohl Kleinwasser als auch Hochwasser geregelt abzuführen. 'Den örtlichen Verhältnissen angepaßt' heißt, in jenen Flußstrecken, die von Natur aus den größten Teil des Jahres ein positives Temperaturgefälle aufweisen, wird ein einfaches, muldenförmiges Profil am Platze sein; dort aber, wo starke Temperaturschwankungen auftreten, wird man zu einem Profil greifen, welches durch seine Form die möglichst lange Tiefhaltung der Temperatur im fließenden Wasser begünstigt. Ein Profil, das diese Eigenschaft besitzt, ist das Doppelprofil (Abb. 7). In diesem erfolgt eine natürliche Trennung von Schwer- und Leichtwasser. Das über dem Schwerwasser fließende Leichtwasser schützt ersteres vor zu starker Erwärmung durch direkte Sonneneinwirkung. Dadurch bleibt ein positives Temperaturgefälle möglichst lange erhalten. Durch die Verlegung des Schwerwassers in die Tiefe werden die Schwankungen des Stromstriches auf ein Minimum reduziert. Auch die Kurvenführung wird dadurch der eines gesunden Gerinnes angepaßt, da innerhalb des Querschnittes kein Wechsel des Temperaturgefälles mehr stattfindet (keine Furtbildung),

Zwischen dem schneller fließenden Schwer- und dem langsamer fließenden Leichtwasser bildet sich eine entgegengesetzt zur Flußrichtung laufende, horizontal liegende Walze. Diese Walze gleicht rechts und links des Schwerwasserkerns das mitgeführte Geschiebe aus. Mit zunehmender Geschwindigkeit des Schwerwasserkernes vergrößert sich die Wasserwalze und verkleinert den Kaltwasserkern, damit unterliegt die Geschwindigkeitszunahme einer natürlichen Regelung. Bei abnehmendem Sohlgefälle verringert sich mit der dadurch bedingten Geschwindigkeitsabnahme auch die Größe der Walze und ihre bremsende Wirkung.

Ist die Ausführung des Doppelprofils aus Kosten- oder auch anderen Gründen nicht möglich, so kann man durch richtig arbeitende Wasserspeicher (wie sie im Teil I beschrieben wurden) die Wasserbeschickung des Gerinnes so gestalten, daß sich auf den in Frage kommenden Flußstrecken das Temperaturgefälle positiv oder nur schwach negativ einstellt. In diesem Fall geht das Schwerwasser stets in der Flußmitte und die Geschiebe- und Sinkstoffablagerung erfolgt wie im früher beschriebenen Fall der Tepl gleichmäßig uferbildend nach beiden Seiten. Das Wasser arbeitet sich in diesem Falle selbst das entsprechende Profil heraus, d.h. selbst das für die Wasserführung richtig liegende Doppelprofil wird sich mit der Zeit einstellen.

Zu 4.3.: Über Maßnahmen zur Verhinderung des raschen Oberflächenabflusses von starken Niederschlägen wurde im Teil I ausführlich berichtet.

Zu 4.4.: Die Forderung dieses Punktes fällt im Prinzip mit der des Punktes 4.1. zusammen. Immer wieder handelt es sich um die Aufgabe, über größere Strecken ein positives Temperaturgefälle oder eine gleichbleibende Temperatur des Wassers zu realisieren, um die Schleppkraft zu erhalten. Diese Forderung wird in der Natur erfüllt, wenn tiefer temperierte Nebenflüsse in den Hauptfluß einmünden. Auch Auenwälder sind in diesem Zusammenhang als natürliche Kühlstationen auf dem Wege eines Flusses zu betrachten. Wenn diese Fälle nicht gegeben sind, kann der gewünschte Zustand durch Nachschub von tief temperiertem Sohlwasser aus einer Stauung erreicht werden, wie er im Teil I beschrieben wurde.