Die Donau und ihre Hydrologie

Autor(en): **Kresser, Werner**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie**

Band (Jahr): **65 (1973)**

Heft 3-4

PDF erstellt am: **03.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-921130

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

wässerungsvorhaben bestehen für die pannonische Tiefebene und für die Walachei. In der Sowjetunion wird sogar ein Plan gehegt, einen Kanal von der unteren Donau parallel zur Schwarzmeerküste anzulegen, um nahezu 3000 km² Land zwischen dem Delta und dem unteren Dniestr (Süd-Bessarabien) zu bewässern. Da die Donau seit 1856 internationalisiert ist, müsste hiezu zunächst die seit 1948 in Budapest arbeitende grosse Donau-Kommission (nur aus Vertretern der Donaustaaten bestehend) Stellung beziehen. Phantasievolle Planer könnten sich vorstellen, dass einmal der grosse ausserkarpatische Raum rund um das Donau-Delta ein einziges, riesiges, zusammenhängendes Bewässerungsfeld darstellen würde, das sehr hohe ha-Erträge für Weizen und Mais, für Baumwolle und Obst zu liefern und damit eine dichte Bevölkerung zu versorgen vermöchte.

Adresse des Verfassers:
Dr. phil. W. Kündig-Steiner, a. Prof. d. Geographie
Lachenacker 2, CH-8049 Zürich

Bildernachweis:
Bildarchiv der Oesterreichischen Nationalbibliothek Nr. 1
G. A. Töndury Nr. 6 W. Kündig-Steiner Nrn. 7/11

DIE DONAU UND IHRE HYDROLOGIE

DK 556.53 (628.243.7)

Werner Kresser

1. Einleitung

Kein anderer europäischer Fluss kommt der Donau an geschichtlicher, internationaler und wasserwirtschaftlicher Bedeutung gleich. Sie überquert von den Höhen des Schwarzwaldes bis zu ihrer fächerartigen Mündung im Schwarzen Meer an die zweiundzwanzig Längengrade und verbindet wahrhaft West und Ost. Daher kennt dieser Strom auch keine Grenzen und ist kulturell und wirtschaftlich vielleicht nur mit dem Nil vergleichbar.

In der indogermanischen Ursprache bezeichnet man mit «danu» den Fluss schlechthin, und als Urbild eines unzähmbaren Stromes mag die Donau den frühgeschichtlichen Völkern erschienen sein. Ebenso dürfte es späteren Völkerschaften ergangen sein, die an ihrem Ufer wohnten oder entlang ihres Laufes zogen, was zu den Namen Donau, Duna, Dunav, Dunarea und Dunaj geführt hat. Die Phönizier und die Griechen entdeckten den Fluss vom Meer her, kannten nur seinen Unterlauf und nannten ihn Istros oder Ister, dessen «schattenverhüllten Ursprung» sie am Kazanpass wähnten. Erst die Römer lernten den als Gottheit DANUBIUS verehrten Strom ganz kennen und gaben ihm erstmals politische Bedeutung, die er niemals mehr verlor. So zogen an seinem Ufer die grossen Trecks der Völkerwanderung entlang, den Kreuzzügen diente er als Wegweiser, und später wurde die Donau zur Hauptschlagader der europäischen Machtgeschichte und gleichzeitig zur Wirtschaftsgrundlage der an ihren Ufern entstehenden Städte.

Im Laufe der Geschichte hat es daher nicht an Bemühungen gefehlt, den Donauraum auch politisch zu einigen, angefangen von der Türkenherrschaft über die österreichisch-ungarische Monarchie bis in unsere Zeit herauf. Unter Josef II. erzielte die kulturelle Erschliessung des gesamten Raumes ihren Höhepunkt, wovon zahllose Bauten entlang des Stromlaufes künden. Der anhaltende wirtschaftliche Aufschwung, ersichtlich am wachsenden Schiffsverkehr, erlitt dann durch die beiden Weltkriege einen Rückschlag, doch zeichnet sich mit der Fertigstellung der Grossschiffahrtsstrasse Rhein-Main-Donau eine neue und verheissungsvolle Zukunft ab.

Der Strom war den Menschen jedoch nicht nur nützlich, sondern konnte mit seinen Ueberschwemmungen den Uferbewohnern zum Feind und Vernichter ihrer Existenz werden. Aus diesem Grund begannen schon frühzeitig die ersten Hochwasserschutz-Massnahmen und führten im 19. Jahrhundert zur systematischen Regulierung des Stromes, die in unserem Jahrhundert mit dem Bau von Staustufen zur Kraftgewinnung und zur Ueberwindung der Schiffahrtshindernisse verbunden und zum Abschluss gebracht wird.

Die Welt, sagt man, sei kleiner geworden, was wohl auch auf die Donau zutrifft. Ihr Einzugsgebiet und ihr Lauf bilden daher unbeachtet einer hydrographischen Unterteilung eine Einheit und sind genauso wie die wasserwirtschaftlichen Aufgaben am Strom als Einheit zu betrachten. Das gilt für jeden Fluss, ob Rhein, Wolga, Missouri oder Jangtsekiang, der jeder seine Erscheinungen und seine Eigenart hat. Die wasserwirtschaftliche Eigenart der Donau findet aber vor allem in der Hydrologie ihren Ausdruck, worüber im folgenden ein Ueberblick gegeben werden soll.

Da sich der Einfluss der Flusskraft- und Regulierungsbauwerke — mit Ausnahme des Objektes am Eisernen Tor — im wesentlichen auf wenige, verhältnismässig kurze Stromstrecken beschränkt, geben die folgenden Tabellen und Diagramme aus Gründen der Einheitlichkeit im grossen und ganzen die natürlichen, bis «gestern» geltenden Verhältnisse wieder. Dies erscheint um so mehr gerechtfertigt, als den Wasserkraftwerken an der Donau und hier wiederum dem grössten dieser Ingenieurwerke am Eisernen Tor eigene Artikel gewidmet sind. Inwieweit die angeführten Abflussdaten durch die im Einzugsgebiet errichteten Speicherbauten und Ueberleitungen eine Aenderung erfahren, wird im betreffenden Abschnitt 5 kurz erläutert.

2. Das Einzugsgebiet

Die Donau, nach der Wolga der zweitgrösste Strom Europas, entwässert ein Einzugsgebiet von 817 000 km² mit höchst verschiedenem Charakter hinsichtlich seiner geologischen Entwicklung, der Oberflächengestaltung, des Klimas und nicht zuletzt seiner Bewohner. Während die anderen grossen europäischen Flüsse ausserhalb der russischen Ebenen, wie die Rhone, der Rhein oder die Weichsel direkt aus den jungen Kettengebirgen kommen und auf kürzestem Wege dem Meere zustreben, entspringt die Donau ausserhalb der Alpen und durchquert den mächtigen, von den Alpen, den Karpaten und dem Balkan gebildeten Ring, um östlich davon ins Schwarze Meer zu münden. Dieser eigentümliche Lauf durch altes

und junges Gebirge, Hochland und Tiefebene ist ein Beweis für die lange und verwickelte geologische Geschichte des Stromes, die in der wechselvollen Geschichte seiner Völker ihr Gegenstück findet. Wenn auch bis heute eine paläogeographische Synthese der Donau fehlt, so steht doch eindeutig fest, dass deren Entwicklung vom untersten Pliozän bis ins Alluvium reicht. So geht der Oberlauf mit dem Durchbruch durch die Alpen und Karpaten sowie der Austritt aus dem Karpaten-Balkangebirge in das Altpliozän zurück, während die Grosse Ungarische, aber auch die Walachische Tiefebene vorwiegend im Diluvium und der Mündungsbereich im Alluvium entstanden. Einige Teile ihres ursprünglichen Einzugsgebietes, wie zum Beispiel die Aare, hat die Donau im Laufe der Zeit überhaupt verloren, und selbst heute ist ihre geologische Entwicklung noch nicht ganz abgeschlossen. Auch in dieser Beziehung weist das Donaubecken somit eine Mannigfaltigkeit auf, die ihresgleichen sucht.

Entsprechend seiner geologischen und geographischen Gliederung kann das Donaugebiet in drei grosse Teile zerlegt werden, was bei Betrachtung einer physischen Karte überaus deutlich hervortritt. Der obere Teil umfasst die grosse schwäbisch-bayerische Ebene zwischen dem Jura und dem Böhmerwald sowie die Flussgebiete der Alpennordseite vom Inn im schweizerischen Graubünden bis zu den Bächen aus dem österreichischen Voralpenland und aus dem österreichisch-mährischen Raum. Der mittlere Teil des Donaugebietes von der Granitschwelle zwischen Alpen und Karpaten unterhalb der Marchmündung bis zum Eisernen Tor, der gewaltigen Durchbruchstrecke durch das Balkangebirge und die Transsylvanischen Alpen, bildet eine grossartige und einzig dastehende geographische Einheit. Das untere Donaugebiet wird endlich von der Walachischen Tiefebene und von den Flussgebieten von Sereth und Pruth gebildet.

Das weitverzweigte Gewässernetz der Donau reicht somit vom Schwarzen Meer bis hart an die französische Grenze und ist auf nicht weniger als elf Staaten aufgeteilt (Bild 1). Es sind dies die Länder Deutschland, Schweiz, Oesterreich, Tschechoslowakei, Polen, Ungarn, Jugoslawien, Albanien, Rumänien, Bulgarien und die Sowjetunion, wobei auf Polen und Albanien verschwindend kleine Gebietsanteile in den Beskiden bzw. im Nordalbanischen Gebirge und auf Rumänien der grösste Anteil entfallen. Der höchste Punkt des Niederschlagsgebietes ist der Piz Bernina in der Schweiz, der 4049 m über dem Schwarzen Meer liegt. Es vereinigen sich also in der Donau die Wässer aus dem Schwarzwald und dem Jura, aus dem Böhmerwald und den Karpaten, aus den schweizerischen und österreichischen Hochalpen, aus dem Dinarischen Gebirge und dem Balkan mit jenen aus den grossen Beckenlandschaften und Tiefebenen und prägen ihr ein wechselndes Regime auf, das vom Gebirgsfluss bis zum Flachlandstrom alle Variationen zeigt.

Infolge seiner grossen Ausdehnung und seiner erdgeschichtlichen Entwicklung weist das Gebiet der Donau die verschiedensten Gesteinsarten auf. Den bedeutendsten Anteil besitzen neben den gewaltigen alluvialen Ablagerungen in der Grossen Ungarischen und Walachischen Tiefebene wohl die meist tertiären Schotter und Sande in der Bayerischen Hochebene, in der Kleinen Ungarischen Tiefebene, im Kroatischen Bergland zwischen Drau und Save sowie im Norden und Süden der Transsylvanischen Alpen. Als nächstwichtige Gesteine müssen die Granite, Gneise und kristallinen Schiefer genannt werden, die den Grundstock der Böhmischen Masse von Regensburg bis ca. 60 km oberhalb von Wien bilden und in grösserem Ausmasse noch im Quellgebiet des Schwarzwaldes, in den schweizerischen und österreichischen Alpen, im Slowakischen Erzgebirge sowie in den Transsylvanischen Alpen vorkommen. Sehr verbreitet sind auch die Kalk-Dolomit-Gesteine, die als Jura-Kalke vor allem im Oberlauf der Donau und als Trias-Kalke noch in den österreichischen Alpen nördlich des Hauptkammes, im Oberlauf der Save und ihrer südlichen Zubringer auftreten. Im Gebiet der Unteren Donau kommen sie neben den Sandsteinen und Neogentonen sehr häufig auch als Kreidekalke vor. Daneben scheinen aber noch viele andere Gesteine auf, so dass sich ein ungemein buntes Bild ergibt. Als Folge des so verschieden gestalteten geologischen Aufbaues weisen die einzelnen Teile der Donau ausserordentlich grosse Unterschiede in der Durchlässigkeit auf, und der Bogen spannt sich von der totalen Versickerung der Niederschläge in den Gebieten des Karstes bis zum beinahe verlustlosen Abfluss in den Urgesteinen des Böhmischen Massivs.

Was das Klima des Donauraumes anbelangt, so kann hier nur auf den Niederschlag und auf die Lufttemperatur als den zwei wichtigsten hydrometeorologischen Elementen eingegangen werden, obwohl der Luftdruck, die Luftfeuchtigkeit, die Windverhältnisse, die Bewölkung und die Strahlung in ihrer Gesamtheit gleichfalls eine wichtige Rolle spielen. Als Einheit betrachtet, unterliegt das Gebiet der Donau vorwiegend dem atlantisch-kontinentalen Einfluss, insbesondere gehören der westliche Raum bis über die österreichische Grenze hinaus und der südöstliche Bereich dem feuchttemperierten, warmgemässigten Regenklima an. Vereinzelt treten allerdings grössere Unterschiede auf, wie zum Beispiel im Einzugsgebiet der Save, wo sich ein ausgeprägter Mittelmeer-Einfluss nachweisen lässt, sowie im Mündungsgebiet, das bereits alle Kennzeichen des Steppenklimas besitzt.

Als Folge des vorherrschenden Meereseinflusses ist besonders im Sommer eine starke Ueberflutung mit ozeanischer Luft zu beobachten, so dass im gesamten Einzugsgebiet der Donau die höchsten Niederschläge im allgemeinen in den Monaten Mai bis August auftreten. Im Winter dagegen erfolgen die vorherrschenden Luftströmungen vorwiegend aus dem Landesinneren nach dem Meere, was mit einer kalten Witterung im gesamten Donauraum verbunden ist. Es darf somit für das ganze Donaubecken ein ähnlicher Jahresgang des Niederschlages und der Lufttemperatur festgestellt werden, wenn auch, wie angedeutet, gewisse Abweichungen davon vorkommen.

Die absolute Höhe der Niederschläge im Donauraum weist gebietsweise bedeutend grössere Unterschiede als ihr jährlicher Gang auf. Aus der beigegebenen Isohyetenkarte (Bild 2) tritt auf den ersten Blick der enorme Niederschlagsreichtum der österreichischen Alpen hervor und als Gegenstück dazu die einheitliche Niederschlagsarmut der Grossen Ungarischen Tiefebene und der Einzugsgebiete an der Unteren Donau. Zur Illustration dieses Unterschiedes sei lediglich festgestellt, dass allein in den österreichischen Alpen eine Fläche von mehr als 500 km² im Jahresdurchschnitt über 2500 mm Niederschlag aufweist und ein beachtlicher Teil davon sogar über 3000 mm. Demgegenüber beträgt der mittlere Jahresniederschlag in der tiefer gelegenen Hälfte des Marchgebietes und im Grossteil der Ungarischen Tiefebene, vor allem aber im gesamten Walachischen Tiefland sowie im Raume östlich des Sereth nicht einmal 600 mm und in extremen Trockenjahren kaum die Hälfte davon. Im Deltabereich sind sogar weniger als 400 mm im Durchschnitt zu verzeichnen.

Hinsichtlich der Temperatur weichen einzelne Teile des Donaubeckens ebenfalls stark voneinander ab, und das unterschiedliche Verhalten bewirkt im allgemeinen einen Ausgleich in der Wasserführung des Hauptstromes. Im Winter birgt das einheitliche Absinken der Lufttemperatur unter den Gefrierpunkt allerdings mannigfaltige Gefahren in sich, und die mit den Eisversetzungen verbundenen Winterhochwässer bilden eine dauernde Bedrohung der an den Ufern des Stromes gelegenen Städte und Siedlungen, obwohl seit den durchgeführten Regulierungen eine wesentliche Besserung eingetreten ist. In besonders kalten Wintern kommt es infolge Einströmens von Kaltluft aus dem Nordosten jedoch immer wieder zu langanhaltenden extrem tiefen Temperaturen und damit auch heute noch zu Eisstössen in den Engstellen des Stromes mit Katastrophen, wie zum Beispiel im Winter 1955/56 an der Oberen Donau.

3. Der Strom und seine Nebenflüsse

Den Ursprung der insgesamt fast 2900 km langen Donau bilden die zwei Quellbäche Breg und Brigach, die aus dem Schwarzwald kommen und sich unterhalb von Donaueschingen vereinigen. Als reiner Mittelgebirgsfluss mit einem Einzugsgebiet von einigen hundert km² durchbricht nun die junge Donau in einem vielgewundenen Tale das ganze Schichtengebäude des Schwäbischen Jura, wobei sie im karstartigen Untergrund mehr als die Hälfte ihrer Wasserfracht verliert. Auf ihrem weiteren, ca. 200 km langen Lauf durch Württemberg erhält sie keine nennenswerten Zuflüsse, so dass sie dort ihren Abflusscharakter im wesentlichen bewahrt.

Bei Ulm empfängt die Donau mit der Iller den ersten Zubringer aus den Alpen und wird dadurch zu einem ansehnlichen Fluss, der in früheren Jahrhunderten von hier ab bis Wien mit kleineren Schiffseinheiten befahren wurde. Bevor sie dann Regensburg und damit ihren nördlichsten Punkt erreicht, nimmt sie noch den im Hochgebirge Vorarlbergs entspringenden, geschiebereichen Lech und von links aus dem Fränkischen Jura die Altmühl, die Naab und nach einer romantischen Durchbruchsstrecke den Regen auf.

Unterhalb von Regensburg erhält die Donau als erwähnenswerten Zufluss lediglich die Isar, die ein grosses Gebiet entwässert, aber dennoch den Charakter der Donau nicht wesentlich zu beeinflussen vermag; eine solche grundlegende Aenderung des gesamten Donauregimes erfolgt erst durch den bei Passau mündenden Inn. Als wilder Bergstrom aus den Schweizer Bergen kommend, nimmt dieser wichtigste Zubringer vor seiner Mündung noch die überaus wasserreiche Salzach auf. Die jährliche Wasserfracht des Inn wird nur noch von jener der Theiss und der Save übertroffen und beträgt beispielsweise mehr als das Siebenfache der March, obwohl deren Einzugsgebiete gleich gross sind. An relativer Bedeutung reicht jedoch kein anderer Zubringer, selbst nicht die Save, an den Inn heran.

Die Donau bekommt durch den Inn somit den ausgeprägten Charakter eines Alpenflusses, den sie bis nach Jugoslawien beibehält. Auf ihrem Lauf durch Oesterreich nimmt sie von rechts eine Reihe von Zuflüssen aus den niederschlagsreichsten Regionen der Alpen auf, während die Zubringer von links, auch der Kamp, nur unbedeutend sind. Insbesondere die Traun und die Enns, die beide unterhalb von Linz einmünden, beeinflussen trotz ihrer verhältnismässig kleinen Einzugsgebiete vor allem den Hochwasserabfluss der Donau und verstärken noch deren Gebirgscharakter. Zum Vorteil vieler Uferbewohner durchquert sie zwischen Passau und Komorn einige ausgedehnte Becken und Ebenen, die bei grossen Hochwässern überflutet werden und eine willkommene Verflachung der Flutwellen bewirken. In erster Linie ist es die weite Ebene des Tullner Feldes, in der eine starke Retention erfolgt und die Hochwassergefahr für Wien herabgesetzt wird. Unterhalb der österreichischen Hauptstadt durchfliesst die Donau in einem breiten Auengürtel das sogenannte Wiener Becken und nimmt, bevor sie den von den Kleinen Karpaten und dem Leithagebirge gebildeten Riegel durchbricht und durch die Porta Hungarica in die Kleine Ungarische Tiefebene eintritt, linksseitig noch die March auf, die auch die Staatsgrenze zwischen Oesterreich und der Tschechoslowakei bildet. Zufolge ihrer geringen Abflussspende hat die aus Mähren heranfliessende March aber unbeschadet ihres grossen Niederschlagsgebietes keinen merklichen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Donau.

Als ein ansehnlicher Strom von 300 m Breite und mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1,80 m/s bei Mittelwasser erreicht die Donau das Karpatenbecken und teilt sich im Geschiebefächer des selbstgebauten Schuttkegels alsbald in mehrere Arme auf. Vor allem sind es zwei Arme, die unterhalb von Bratislava links und rechts vom Strom abzweigen und zwei ausgedehnte Schotterinseln bilden. Der links abzweigende Arm, die sogenannte Kleine Donau, nimmt die aus der Tatra kommende Váh (Waag) und die kleinere Nitra (Neutra) auf und mündet erst 100 km flussabwärts bei Komorn wieder in den Hauptstrom. Der rechte Nebenarm, die sogenannte Mosoner Donau, vereinigt sich schon früher, nach einem Lauf von 60 km und nach Aufnahme der noch in den Alpen entspringenden Leitha, der Rabnitz und der Raab bei Gönyü wiederum mit dem Donaustrom. Am Fusse des weiterhin anwachsenden Schuttkegels, bei km 1810, oberhalb von Gönyü, erfolgt ein plötzlicher Gefällsbruch, und es beginnt dort nach einem kurzen Uebergangsstück der bis zur Kataraktenstrecke reichende Mittellauf der Donau mit einem auf den siebenten Teil reduzierten Gefälle.

Bevor die Donau die ungarische Hauptstadt Budapest erreicht, muss sie nach erfolgter Einmündung der aus dem Slowakischen Erzgebirge herabfliessenden Hron (Gran) und Ipoly (Eipel) noch eine sekundäre Querverbindung zwischen Alpen und Karpaten bei Visegrád durchbrechen, die im gewaltigen Senkungsfeld des Pannonischen Bekkens stehengeblieben ist. Durch diesen Höhenzug des Ungarischen Mittelgebirges wird das riesige von den Karpaten kreisförmig an drei Seiten umschlossene Becken in zwei ungleiche Teile, in die Kleine und in die Grosse Ungarische Tiefebene zerschnitten. Somit strömt die Donau nach dem Visegráder Durchbruch und nach einer scharfen Richtungsänderung nach Süden in ein weites Tiefland, das sie erst oberhalb der Kataraktenstrecke, ihres letzten und gewaltigsten Gebirgsdurchbruches, wieder verlässt.

Auf ihrem mehr als 600 km langen Lauf durch das mächtige pannonische Hauptbecken erhält die Donau ihre grössten und wasserreichsten Zubringer, allerdings erst in ihrem unteren, in Jugoslawien liegenden Abschnitt. In Ungarn selbst fliesst ihr dagegen lediglich von rechts der wasserarme Sió zu, der den kanalisierten Abfluss des Plattensees, des grössten Sees Mitteleuropas (596 km²), bildet. Dadurch wird der Mittellauf der Donau in hydrologischer Hinsicht in eine obere und in eine untere Strecke unterteilt, wobei in letzterer eine massgebende Umprägung ihres bisherigen Abflussregimes stattfindet.

Als ersten Zufluss ausserhalb von Ungarn empfängt die Donau nach einem mäanderreichen Weg in einer unberührten, breiten Aulandschaft die Drau (Drave), die, aus den österreichischen Alpen kommend, Slowenien durchfliesst und dann über eine lange Strecke Grenze zwischen Ungarn und Jugoslawien ist. Im Mündungsbereich der Drau wird die Donau durch die Ausläufer des Kroatischen Berglandes, die Fruška Gora, zu einer neuerlichen Aenderung ihrer Laufrichtung gezwungen und durchzieht jetzt in südöstlicher Richtung die fruchtbare Wojwodina. Bevor sie dieselbe verlässt, strömt ihr aus dem Norden, aus der Grossen Ungarischen Tiefebene, der flächenmässig grösste Nebenfluss, die Theiss (Tisa) zu und schon nach 45 weiteren Kilometern, bei Beograd, der wasserreichste Zubringer aus den Karawanken und den Dinarischen Alpen, die Save. Vor ihrem Eintritt in die Kataraktenstrecke nimmt die Donau noch von links die Tamiš (Temes) sowie von rechts den letzten grossen Zufluss aus dem Süden, die Velika Morava, auf und erreicht damit bei einer durchschnittlichen Mittelwasserführung von 5600 m³/s bereits 87 % der Wasserfracht an der Mündung, obwohl ihr Einzugsgebiet erst zwei Drittel der Gesamtfläche ausmacht. Die Grösse und die hydrologische Bedeutung der vier Zuflüsse Drau, Theiss, Save und Velika Morava kann übrigens aus der Tabelle 1, in der die kennzeichnenden Daten der wichtigsten Donauzubringer enthalten sind, und teilweise auch aus den Bildern 3 und 4 ersehen werden.

Mit ihrem Eintritt in die Kataraktenstrecke bei Baziaş vollführt die Donau den entscheidenden Gebirgsdurchbruch durch den Ring der Karpaten. Eingeengt zwischen steilen Wänden, erfährt sie hier stellenweise eine Einschnürung bis auf 150 m, wodurch bei grossen Hochwässern ein Rückstau und eine Verzögerung ihres Abflusses erfolgt. Der gesamte 140 km lange Kataraktenabschnitt besteht eigentlich aus vier Engstellen und drei dazwischen liegenden Becken. Am bekanntesten sind die zwei letzten Engstellen, der Kazanpass und das sogenannte «Eiserne Tor». Die Klippenstrecke des Eisernen Tores konnte vor Errichtung des eben in Betrieb genommenen Kraftwerkes nur durch Aussprengungen eines eigenen Schiffahrtskanales fahrbar gemacht werden, denn das Gefälle betrug hier auf einer Länge von 1,5 km beinahe 3 %, in einigen Stromschnellen sogar noch weit mehr.

Unterhalb des Eisernen Tores, bei Turnu-Severin, beginnt der dritte, rund 930 km lange Abschnitt der Donau. Als ein imposanter Strom von durchschnittlich mehr als 1000 m Breite betritt sie das Walachische Tiefland und wird auf eine Länge von 470 km zur Grenze zwischen Bulgarien und Rumänien. Während das rechte, bulgarische Ufer, als sanfter, stellenweise bis zu 200 m ansteigender Höhenzug eine Leitlinie darstellt, verläuft das linke, rumänische Ufer ganz flach, begleitet von einer ca. 10 bis 15 km breiten Aulandschaft mit zahlreichen Seitenarmen, Seen und Sümpfen. An Zubringern wären auf dieser Strekke von rechts die Balkanflüsse Timok, Isker und Jantra und von links die aus den Südkarpaten kommenden Gewässer Jiul, Olt, Argeş und Jalomiţa zu nennen. Infolge der mässigen Abflussspenden haben diese Zubringer aber trotz beachtlicher Einzugsgebietsgrössen keinen nennenswerten Einfluss auf das Regime der Donau.

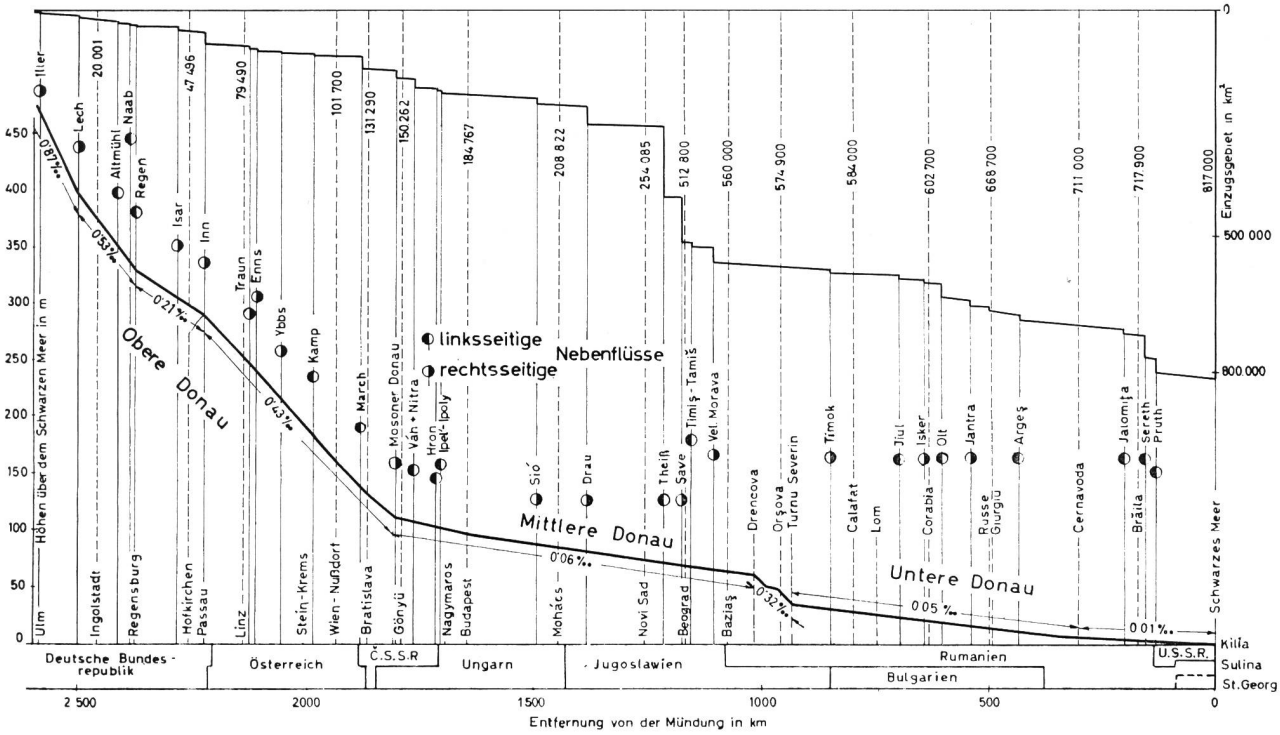
Bei Silistra, auf dem halben Wege zwischen Turnu-Severin und ihrer Mündung wird auch das rechte Ufer der

Die wichtigsten Nebenflüsse der Donau — Tabelle 1

Fluss	Mündung bei Donau-km	Uferseite der Einmündung	Einzugsgebiet in km²	mittlerer Abfluss in m³/s	mittlere Abflussspende in l/s·km²
Iller	2589	rechts	2 152	68	31,7
Lech	2497	rechts	4 126	118	28,6
Altmühl	2411	links	3 257	22	6,8
Naab	2385	links	5 508	49	8,8
Regen	2379	links	2 874	40	13,9
Isar	2281	rechts	8 964	176	19,6
Inn	2225	rechts	26 131	760	29,2
Traun	2125	rechts	4 277	150	35,1
Enns	2112	rechts	6 080	205	33,8
Ybbs	2057	rechts	1 293	42	32,5
Kamp	1985	links	1 753	13	7,4
March	1880	links	26 658	105	3,9
Mosoner Donau (Leitha+Rabnitz+Raab)	1794	rechts	18 061	80	4,4
Kleine Donau (Váh+Nitra)	1766	links	20 080	190	9,4
Hron	1716	links	5 464	58	10,6
Ipoly	1708	links	5 151	25,5	4,9
Sió	1497	rechts	14 728	31	2,1
Drau	1383	rechts	40 150	622	15,4
Theiss	1215	links	157 220	995	6,3
Save	1170	rechts	95 719	1800	18,8
Tamiš	1154	links	16 224	104	6,4
Vel. Morava	1103	rechts	37 444	244	6,5
Timok	846	rechts	4 630	41	8,8
Jiul	692	links	10 469	90	8,6
Isker	637	rechts	8 646	55	6,4
Olt	604	links	24 300	163	6,7
Jantra	537	rechts	7 862	40	5,1
Argeş	432	links	12 681	61	4,8
Jalomita	244	links	8 873	41	4,6
Sereth	155	links	44 014	225	5,1
Pruth	72	links	28 395	76	2,7

Bild 2 Niederschlagskarte des Donaugebietes.

Bild 3 Schematisches Längsprofil und Entwicklung des Einzugsgebietes der Donau.



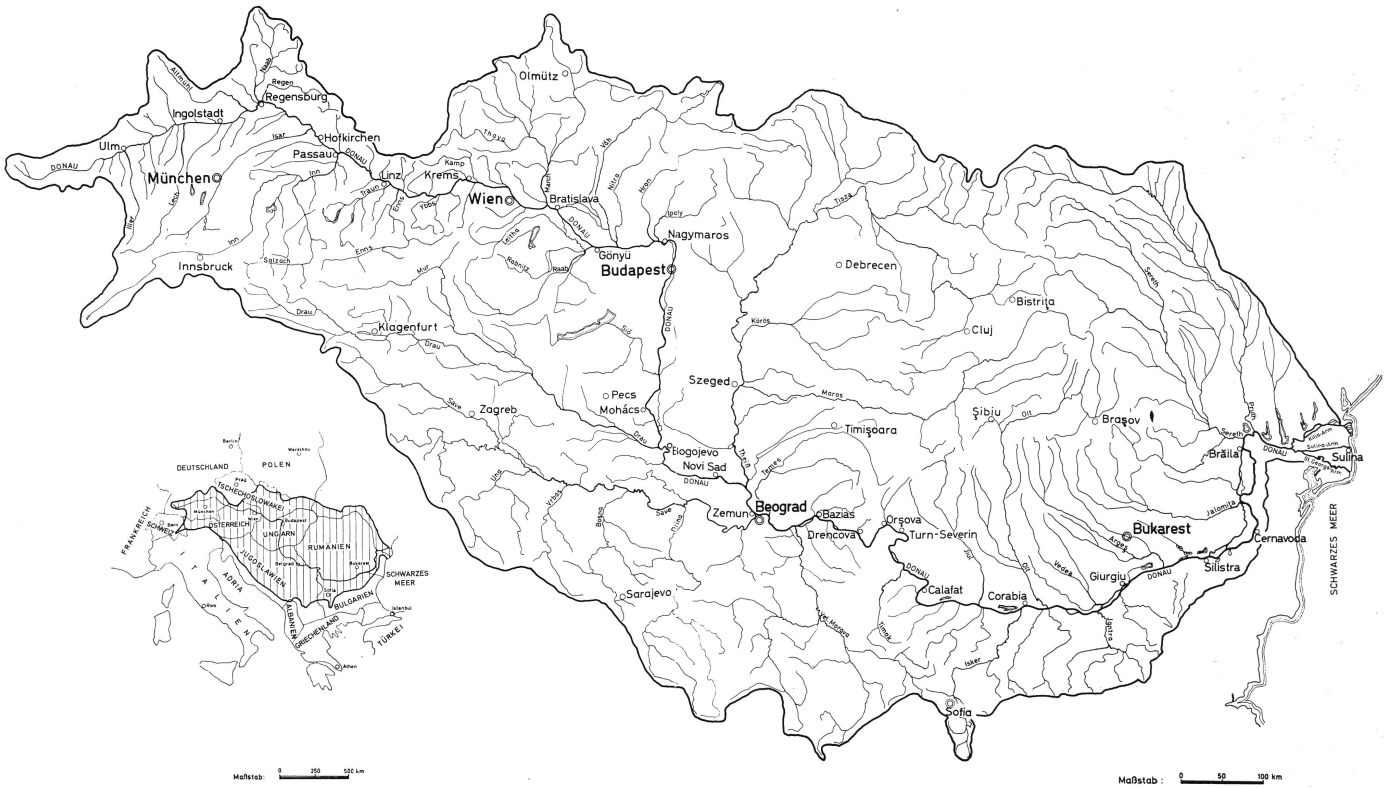


Bild 1 Das Einzugsgebiet der Donau.

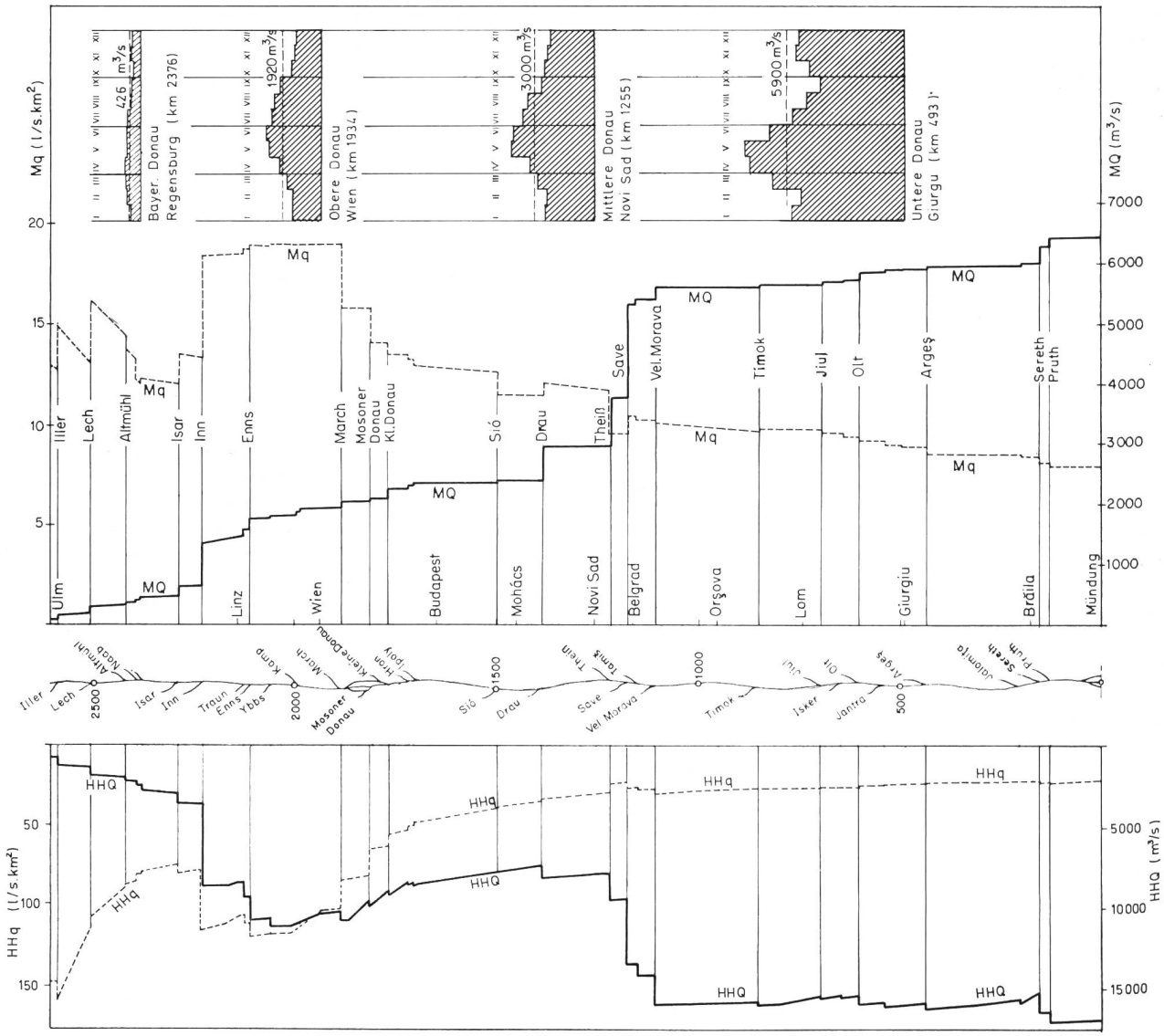


Bild 4 Die mittleren und grössten Abflüsse der Donau.

Das Flussbett und die Wasserstände der Donau

Tabelle 2

Stromstrecke	Strom-km	Mittleres Gefälle in ‰	Oberflächengeschwindigkeit im Stromstrich in m/s	Spiegelbreite in m bei NW	Spiegelbreite in m bei HHW	Wassertiefe im Stromstrich bei NW in m	Grösste Spiegelschwankung in m
1	2	3	4	5	6	7	8
Ulm—Regensburg	2586—2376	0,65	1,90—2,05	50— 95	83— 640	0,8— 5,5	3,2— 6,1
Regensburg—Passau	2376—2225	0,21	1,0 —1,7	118— 172	138— 527	1,4— 6,5	5,3—10,6
Passau—Linz	2225—2135	0,45	2,45—2,65	120— 150	170— 7 000	1,6—17,0	8,9—10,8
Linz—Wien	2135—1934	0,46	2,4 —2,6	110— 300	130— 8 000	1,8—24,0	8,0—14,9*
Wien—Bratislava	1934—1869	0,41	2,4 —2,5	180— 360	750— 2 500	1,9— 8,5	8,0— 9,0
Bratislava—Komárom	1869—1768	0,35→0,10	2,0 —2,4	125— 525	500— 5 800	1,6—10,0	7,8— 8,8
Komárom—Budapest	1768—1647	0,07	1,0 —1,2	200— 300	350— 2 300	1,8— 7,4	7,3— 8,8
Budapest—Mohács	1647—1447	0,075	1,0 —1,3	230— 730	700— 7 700	1,7—11,8	8,8— 9,8
Mohács—Novi Sad	1447—1255	0,051	0,9	150— 820	400— 9 120	2,0—14,3	9,0— 9,8
Novi Sad—Beograd (Zemun)	1255—1173	0,054	0,9 —1,1	250— 920	400— 2 870	1,8—16,0	8,6— 9,1
Beograd—Moldova Veche	1173—1048	0,039	0,8 —1,0	400—1100	550— 2 500	2,4—17,2	7,7— 8,6
Moldova Veche—Turnu Severin	1048—931	0,245 0,039—1,994	2,4 —4,9	150—1550	300— 1 850	1,3—46,5	7,5— 9,6**
Turnu Severin—Lom	931—743	0,050	1,0	300— 930	1130— 6 000	2,7—12,8	9,0—10,2
Lom—Giurgiu	743—493	0,047	0,8 —1,2	250—1100	1200—20 000	1,6—12,8	8,8—10,2
Giurgiu—Braila	493—170	0,037	0,9 —1,0	200—1400	2000—19 000	1,7—28,0	7,5—10,0
Braila—Sulina	170—0	0,01—0,004	0,6 —0,9	100—1200	1400—28 000	4,2—32,0	< 7,5

* Vor dem Einstau durch das Kraftwerk Ybbs-Persenbeug

** Vor dem Einstau durch das Kraftwerk am Eisernen Tor

Donau rumänisch, und das Hügelland der Dobrudscha zwingt sie in einem weiten Bogen zu einer neuerlichen Ablenkung aus ihrer östlichen Fliessrichtung nach Norden. Gegen die Tiefebene zu, an ihrem linken Ufer, breitet sie sich jetzt infolge des immer geringer werdenden Gefälles mehr und mehr aus, und es bietet sich bis nach Brăila ein verwirrendes Bild von zahlreichen Wasserarmen, stehenden Altwässern, Inseln und Seen, von Sümpfen und Kanälen. Die Schiffahrt benützt daher von Silistra bis Brăila ein eigenes Gerinne, das die linke Begrenzung dieser einzigartigen, bei Hochwasser überschwemmten Stromlandschaft bildet, die ob ihrer Unberührtheit wohl nicht ihresgleichen in Europa hat.

Unterhalb von Brăila wendet sich die Donau jäh nach Osten und folgt dem Nordrand der Dobrudscha, um schliesslich unter Bildung eines ungeheuren Deltas in das Schwarze Meer zu münden. Als die zwei letzten grossen Zubringer fliessen ihr von links der Sereth und der Pruth zu, die beide in den Waldkarpaten ihren Ursprung haben und mit ihrer bescheidenen Wasserführung den Abflussgang der Donau nur ganz unbedeutend zu beeinflussen vermögen. Diese teilt sich bereits 60 km unterhalb der Pruthmündung, wo Sowjetrussland als neuer Uferstaat hinzukommt, in zwei Arme, und zwar in den Kiliaarm und in den Tulceaarm. Der letztere erfährt nach einigen Kilometern eine neuerliche Aufspaltung in den St. Georgsarm und in den seit hundert Jahren von der Schiffahrt benützten Sulinaarm. Der Kiliaarm spaltet sich 18 km vor der Mündung ebenfalls in zahlreiche Arme und bildet ein eigenes sekundäres Delta, das von den rumänischen Hydrologen oft mit dem Mississippidelta verglichen wird.

Das Donaudelta ist ein wahrhaft amphibisches Land mit einer Grösse von mehr als 5000 km², wovon sich 2000 km² unter dem Spiegel des Schwarzen Meeres und weitere 1500 km² nur wenig darüber befinden. Daher sind rund 80 % der Deltafläche fast ständig vom Wasser bedeckt, und es konnte sich dort eine Flora und Fauna entwickeln, die seit Jahrtausenden unverändert blieb. Infolge der grossen Schwebstofführung der Donau schiebt sich der Mündungstrichter mit den drei Hauptarmen immer mehr in das Schwarze Meer hinaus und erfährt unter der Einwirkung verschiedener Faktoren eine dauernde Umbildung. (Siehe Karte Bild S. 155.)

Was schliesslich die vertikale Entwicklung des Donaustromes anbelangt, so springt die hydrologische und geographische Aufteilung in drei charakteristische Abschnitte im Längenprofil deutlich ins Auge (Bild 3). Man sieht auf den ersten Blick die beiden Gefällsbrüche bei Gönyü und in der Kataraktenstrecke, insbesondere die scharfe Trennung des Oberlaufes vom Mittellauf.

Oberhalb von Ulm besitzt die Donau ein Gefälle von mehr als 1 Promille, das sich aber rasch verringert und bis auf ca. 0,2 Promille unterhalb von Regensburg absinkt. Nach der Einmündung des Inn vergrössert sich wiederum das Gefälle und erreicht einen Durchschnittswert von 0,43 Promille zwischen Passau und Gönyü, mit stärkeren Abweichungen in den wechselnden Engstellen und Niederungen. Im mittleren Abschnitt der Donau beträgt ihr Gefälle rund 0,06 Promille, bei einem grösseren Wert oberhalb der Draumündung und einem geringeren unterhalb davon.

Für die gesamte Kataraktenstrecke errechnet sich ein durchschnittliches Gefälle von 0,32 Promille, doch wurde dieser Mittelwert vor der Errichtung des Kraftwerkes am Eisernen Tor an einigen Stellen um mehr als das Zehnfache übertroffen. In ihrem Unterlauf weist die Donau ein ziemlich ausgeglichenes Gefälle von rund 0,05 Promille auf, das 300 km vor ihrer Mündung auf ca. 0,01 Promille herabsinkt und den Strom mit der geringen Profilgeschwindigkeit von durchschnittlich 0,2 m/s träge dahinschleichen lässt.

Nähere Angaben über die für die Schiffahrt wichtigen Geschwindigkeiten und die allgemeinen Strombettverhältnisse sind aus Tabelle 2 zu entnehmen.

4. Die Wasserstandsverhältnisse

In den Wasserstandsverhältnissen eines Gewässers spiegelt sich ein wesentlicher Teil seines Charakters wider und es ist daher nicht zu verwundern, dass die Donau gerade in dieser Hinsicht ein ungemein interessantes Bild vielseitiger Erscheinungen bietet. Um Platz zu sparen wurde versucht, die kennzeichnenden Merkmale wie grösste Spiegelschwankung, Wassertiefe und Spiegelbreite bei Nieder- und Hochwasser übersichtlich zusammenzustellen. Wie ein Blick auf Tabelle 2 zeigt, sind vor allem die ausserordentlich grossen Unterschiede bei den Wassertiefen und Spiegelbreiten innerhalb einzelner Stromstrecken auffallend und für die Donaulandschaft charakteristisch. Abgesehen von den ungewöhnlichen Verhältnissen in der nunmehr eingestauten Kataraktenstrecke, betragen die grössten Unterschiede in der Spiegelbreite bei Hochwasser allein in der kurzen Strecke zwischen Linz und Wien 1:62, während die grössten Differenzen in den Wassertiefen mit 1:16 im unteren Stromabschnitt auftreten. Bei den Durchschnittswerten in Tabelle 2 wurden nur die Beobachtungen der letzten drei Jahrzehnte berücksichtigt, um grössere Bettveränderungen infolge der früheren Regulierungen auszuschalten und vergleichbare Zahlen zu erhalten.

Bis Ulm weist die Donau keine sehr grossen Wasserstandsschwankungen auf, und die Ganglinie der Pegelstände zeigt einen ausgeglichenen Verlauf mit kurzen Hochwasserspitzen. In der anschliessenden Strecke lassen dann die Zubringer aus den Alpen die Amplitude zwischen tiefstem und höchstem Wasserstand auf den doppelten Wert anwachsen. Unterhalb von Regensburg wird das Regime wieder etwas gemässigter, und es beginnt hier die Schiffbarkeit der Donau, bei einer Fahrwassertiefe von ca. 2 m während fast des ganzen Jahres. In einigen Stromstrecken im Bereich von Ulm und unmittelbar oberhalb von Passau sind die natürlichen Wasserstandsverhältnisse durch einige Flusskraftwerke allerdings stark verändert worden, und in den entstandenen Flussstauen beharrt der Wasserspiegel bis auf wenige Ausnahmstage auf konstanter Höhe. Dasselbe gilt für die oberösterreichische Stromstrecke, wo die Donau unter dem Einfluss der grossen Alpenflüsse und infolge des Wechsels von Durchbruchstrecken und Beckenlandschaften früher die grössten Spiegelschwankungen aufwies.

Der zeitliche Gang der Donauwasserstände von Passau bis weit nach Ungarn ist gekennzeichnet durch mächtige Hochwasserspitzen in den Sommermonaten und durch eine winterliche Niederwasserperiode mit sehr tiefen Pegelständen. Einzelne Becken, wie das Tullner Feld oberhalb von Wien, vermitteln bei Hochwasser den Eindruck von Seen.

Auf der Mittleren Donau hat das ursprüngliche Wasserstandsregime durch die grossartige Regulierungstätigkeit Ungarns vor und nach der Jahrhundertwende eine grundlegende Aenderung erfahren. Vor allem wurde die Häufigkeit der gefürchteten Eishochwässer bedeutend

verringert. Dennoch sind — wie Tabelle 2 zeigt — die Unterschiede in den Spiegelbreiten und Wassertiefen streckenweise noch sehr gross, und auch die Spiegelschwankungen weisen infolge der wohl seltener auftretenden Eisversetzungen einen hohen Wert auf. Die ungewöhnlichsten Gegebenheiten herrschten früher natürlich in der Kataraktenstrecke, wo erst durch den eben erfolgten Einstau durch das Kraftwerk am Eisernen Tor geregelte Wasserstandsverhältnisse geschaffen wurden.

In der Unteren Donau zeigen die Strombreiten und -tiefen und daher auch die Wasserstandsschwankungen wieder erhebliche Aenderungen, die aber nirgends sprunghaft, sondern mit stetigen Uebergängen auftreten. Das hängt damit zusammen, dass sich die Donau in diesem ihrem letzten Abschnitt ihr ursprüngliches Regime mit jährlich zwei deutlich ausgeprägten Hochwasser- und Niederwasserabschnitten weitgehend bewahrt hat.

Was schliesslich die Wasserstände im Deltabereich anbelangt, so sind dieselben in den drei Hauptarmen durchaus nicht gleichartig und werden gegen die Mündung zu bereits vom Schwarzen Meer beeinflusst. Die grössten Spiegelschwankungen weist der Kiliaarm, in dem der Hauptabfluss erfolgt, mit einem Wert bis zu 5 m auf, während die beiden anderen Arme kleinere Amplituden zu verzeichnen haben.

5. Das Abflussregime

Das Abflussregime eines Flusses wird einerseits durch das mittlere Verhalten, andererseits durch die extremen Abflusserscheinungen bei Hoch- und Niederwasser gekennzeichnet. Obwohl diese Charakteristika eine Einheit bilden, werden sie im folgenden getrennt beschrieben, um die Uebersicht zu wahren.

5.1 DIE DURCHSCHNITTLICHEN ABFLÜSSE

Wegen der grossen hydrometeorologischen Verschiedenheit ihres Einzugsgebietes ändert sich die Wasserführung der Donau entlang ihres Laufes nicht nur in ihrer Grösse, sondern auch in ihrer zeitlichen Verteilung sehr stark. Diese Aenderungen erfolgen jedoch meistens allmählich, oft durch Rückbildungen unterbrochen, und — genau genommen — sind nur drei Nebenflüsse, der Inn, die Theiss und die Save, imstande, den Abflusscharakter des Hauptstromes grundlegend umzugestalten. Auch hier nimmt die Donau eine gesonderte Stellung innerhalb der grossen Flüsse Europas ein, denn keiner von ihnen weist eine derartige Mannigfaltigkeit in seinem Abflussregime auf. Vom ungestümen, aber bereits schiffbaren Gebirgsfluss bis zum trägen Flachlandstrom zeigt sie ein variationsreiches Verhalten, und es würde zu weit führen, auf alle ihre Wesenszüge einzugehen. Aus diesem Grunde können nur ihre durchschnittlichen Abflussmerkmale einzelner Flussstrecken Erwähnung finden, wobei Tabelle 3 und Bild 4 als zusammenfassende Uebersicht dienen sollen.

Im Vergleich zu ihrem Durchfluss unterhalb der Einmündung des Inn ist die Wasserführung der Donau in ihrem obersten Teil und auch weiter bis Ulm äusserst gering, mit kleinen Abflüssen von August bis Oktober und hohen Monatsmitteln im Frühling.

Die erste Aenderung ihres Abflussbildes erfährt die Donau durch die Iller, die mit ihrer hohen Sommerwasserführung eine Verschiebung des Maximums herbeiführt. Durch die Einmündung weiterer Gebirgsflüsse, insbesondere des Lechs und der Isar, erfolgt zwar eine fortschreitende Erhöhung der sommerlichen Wasserführung, doch bewirken die aus dem Mittelgebirge linksufrig zufliessenden Gewässer mit ihren häufigen winterlichen Anschwellungen und ihrer frühen Schneeschmelze wiederum einen

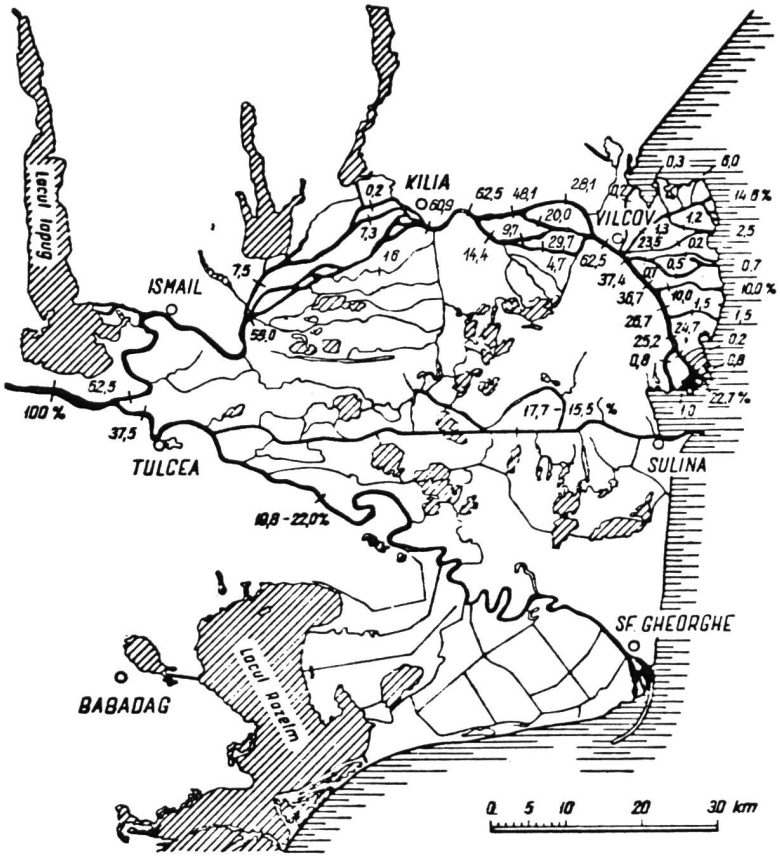


Bild 5
Das Donaudelta. Die Zahlen geben den mittleren Abfluss der einzelnen Nebenarme in Prozenten des Gesamtabflusses an.

Bilder 1 bis 4 + Tabelle 2 auf Faltblatt (nach Seite 86)

weitgehenden Ausgleich des Regimes. Der mittlere Jahresdurchfluss steigt von 114 m³/s bei Ulm beinahe auf das Sechsfache bis oberhalb Passau an, wobei die kleinste Monatsfracht (im Dezember) mehr als zwei Drittel der grössten (im April) beträgt. Allein in diesem Verhältnis spiegelt sich die ausserordentliche Ausgeglichenheit des mittleren Abflussregimes der bayerischen Donau.

Der Inn prägt dann so grundlegend und schroff wie kein anderer Nebenfluss vor und nach ihm den Abflusscharakter der Donau um und macht sie zum typischen Gebirgsfluss mit einer hohen Sommerwasserführung und niedrigen Wasserständen in den Wintermonaten. Das Verhältnis zwischen der geringsten durchschnittlichen Monatswasserfracht im November oder Dezember und der höchsten im Juli beträgt bei Linz 1:2,2, gegenüber einem solchen von 1:3,4 am Inn bei Schärding. Längs ihres gesamten Laufes durch Oesterreich bewahrt die Donau ziemlich streng den alpinen Abflusscharakter, der durch die beiden Gebirgsflüsse Traun und Enns, die sogar höhere Abflussspenden als der Inn aufweisen, noch verstärkt wird. Unterhalb der Ennsmündung erreicht das Verhältnis zwischen kleinster und grösster Tageswasserführung der Donau mit 1:31 den höchsten Wert. Die kleinste Monatswasserfracht verhält sich zur grössten im 50jährigen Durchschnitt wie 1:2,1, im extremen Einzeljahr sogar wie 1:5,3 (1897), und selbst das Verhältnis zwischen der kleinsten Jahreswasserfracht 1947 und der grössten im Jahre 1910 beträgt 1:1,9.

Durch die March sowie durch die slowakischen und ungarischen Zubringer wird der alpine Abflusscharakter der Donau keineswegs geändert, sondern lediglich etwas gemildert, wie Bild 4 zeigt. Bei allen Zubringern aus dem Karpatenbecken summieren sich die Komponenten für minimale Abflüsse, nämlich geringe Niederschläge mit kleinem Hang- und Flussgefälle, grosse Verdunstung und Versickerung. Wie aus Tabelle 1 zu entnehmen ist, beträgt die Abflussspende beim Inn 29,2 l/s·km², bei der Traun sogar 35,1 l/s·km², bei der March aber nur 3,9 l/s·km², um beim Sió infolge der grossen Verdunstungsverluste auf der ausgedehnten Wasserfläche des Plattensees sogar bis auf 2,1 l/s·km² zu sinken. Dementsprechend nimmt auch die Wasserführung der Donau in Ungarn keineswegs mehr proportional zu ihrem Einzugsgebiet zu.

In Jugoslawien erfährt das Abflussregime der Donau die zweite grundsätzliche Umbildung nach dem Inn, und sie nimmt schliesslich jenen Charakter an, den sie dann bis zur Mündung beibehält. Sie empfängt in dieser Strecke die Nebenflüsse Drau, Theiss, Save und Velika Morava, die bei einer Niederschlagsfläche von 335 000 km² den Grossteil des ungarischen und jugoslawischen Staatsgebietes entwässern und gänzlich verschiedene Abflussmerkmale besitzen. Die Drau weist eine sehr ausgeglichene Wasserführung auf und erhöht die winterlichen Tiefstände der Donau, allerdings auch den Scheitel ihrer Abflussganglinie im Mai und Juni. Eine entscheidende Aenderung des Donauregimes erfolgt dann durch die Theiss und durch die mächtige Save. Die Theiss ist der Prototyp eines Tieflandflusses und weist eine von den anderen grossen Donauzubringern völlig abweichende zeitliche Verteilung der Abflüsse auf, mit dem Maximum im Frühjahr und dem Minimum im Herbst. Bei der Save sind dagegen die mediterranen Einflüsse, gekennzeichnet durch eine äusserst geringe Wasserführung von Juli bis Oktober und eine hohe von November bis Mai, dominierend. Als Folge davon weist die Abflussganglinie der Donau unterhalb der Savemündung einen völlig anderen Verlauf als in Oesterreich und in Ungarn auf. Die Niederwasserzeit fällt nunmehr in die Monate August bis Oktober, während die höchsten Abflüsse im April und im Mai zu verzeichnen sind.

Am Beginn ihres unteren Abschnittes, beim Verlassen des Eisernen Tores, beträgt der mittlere Abfluss der Donau im langjährigen Durchschnitt rund 5600 m³/s; er kann sich im Extremfall aber bis auf 10 000 m³/s erhöhen und im trockensten Jahr (1921) bis auf 2600 m³/s absinken, wie die hydrologische Statistik seit 1838 beweist. Diese enormen Unterschiede sind bei einem Einzugsgebiet von 580 000 km² erstaunlich und zeugen von einem ungestümen Charakter. Zwischen dem Eisernen Tor und ihrer Mündung fliessen der Donau einige Nebenflüsse mit grösserem Einzugsgebiet aus den Karpaten und aus dem Balkangebirge zu, doch haben sie infolge ihrer verhältnismässig geringen Abflüsse keinen gravierenden Einfluss mehr auf das Donauregime.

Im Deltagebiet erfolgt dann zuerst eine Aufteilung der Wasserfracht in die beiden Hauptarme und zwar fliessen im Mittel 62,5 % durch den Kiliaarm und 37,5 % durch den Tulceaarm. Schon nach kurzem Lauf teilt sich der Tulceaarm selbst auf, und es gelangt im Sulineaarm eine fast konstante Wassermenge von 16,5 % und im St. Georgsarm je nach dem Wasserstand eine etwas veränderliche von 19,8 bis 22 %, bezogen auf die Gesamtwasserfracht, zum Abfluss. Ueber die weitere Aufteilung der Wasserfracht auf die vielen Nebenarme im Donaudelta gibt Bild 5 Auskunft.

Die Schwankungen der mittleren Monatswasserführungen innerhalb eines Jahres sind im Mündungsbereich bedeutend geringer als am Eisernen Tor, was auf die starke Retentionswirkung der ausgedehnten Inundationsgebiete, vor allem unterhalb von Silistra zurückzuführen ist.

5.2 DIE HOCHWÄSSER

An jedem grossen Fluss ist für das Zustandekommen eines Hochwassers die Zeitfolge zwischen der Kulmination im Hauptgerinne und dem Eintreffen der Flutwelle aus den Nebenflüssen entscheidend. Daher ist es einleuchtend, dass sich an der Donau bei der ansehnlichen Zahl ihrer Nebenflüsse mit so verschiedenem Regime ein äusserst mannigfaltiger Aufbau ihrer Hochwässer ergibt. Dazu kommen noch die durch Eisstauungen verursachten Ueberschwemmungen im Winter bzw. bei Frühjahrsbeginn, die jedoch hauptsächlich eine Folge des gehemmten Abflusses und weniger eine solche von übermässig hohen Durchflüssen sind.

Aus den erwähnten hydrologischen Erfahrungstatsachen resultieren jedenfalls zwei Erkenntnisse für die Donau, nämlich:

a) dass sich ein ausserordentliches Hochwasser nur selten auf den gesamten Lauf erstreckt, sondern sich meistens auf bestimmte Flussstrecken beschränkt, und
b) dass in jedem der drei Hauptabschnitte des Stromes das Auftreten eines grossen Hochwassers mit eigenem Gepräge zu jeder Jahreszeit möglich, wenn auch ungleich wahrscheinlich ist.

Die Hochwasserstatistik, die im Oberlauf der Donau bis 1821 lückenlos zurückreicht, bestätigt vollkommen diese beiden Folgerungen und bietet ein buntes Bild aller bekannten Hochwasserarten mit zahlreichen Uebergangsformen.

In der bayerischen Donaustrecke ist für das Entstehen eines grossen Hochwassers meistens die in der Meteorolo-

gie mit V_b bezeichnete Wetterlage massgebend. Dabei kommt es fast stets zu einer intensiven Niederschlagstätigkeit über dem ganzen Donau-Inngebiet, und oft treten zu einer derartigen Wetterlage noch örtliche, die Erzeugung von Starkregen besonders begünstigende Umstände hinzu, wie zum Beispiel im Mai 1940. Durch Summierung der hochwasserfördernden Faktoren, insbesondere durch Ueberlagerung der Flutwellen aus den Hauptzubringern Iller, Lech und Isar, können somit an der bayerischen Donau sehr grosse Hochwässer zustandekommen, wenn auch die Abflussspenden wesentlich geringer sind als in der Strecke unterhalb des Inn.

Für die Hochwasserverhältnisse der Donau in Oesterreich und zum Teil auch in Ungarn ist in der Regel die Flutwelle des Inn bestimmend, die meistens einige Tage vor der aus Bayern kommenden Donauwelle abläuft. Starken Einfluss haben auch die Traun und die Enns, obwohl ihre Höchstabflüsse meistens ca. zwei Tage vor dem Eintreffen der Innwelle erfolgen. Dennoch vermögen sie in der Donau eine gefährliche Spitze zu erzeugen, die oft das Maximum bedeutet und von der nachfolgenden Innwelle nicht mehr erreicht wird. Wenn die Traun und die Enns dagegen nur kleine Flutwellen bringen, tritt eine wesentliche Verbesserung der Hochwassersituation in der anschliessenden Donaustrecke ein, wie zum Beispiel im Juli 1954.

Im Gegensatz zur bayerischen Strecke, mit den häufigsten Spitzenabflüssen im Frühling und Frühsommer, weist die zeitliche Verteilung der Donauhochwässer unterhalb des Inn einen deutlichen Gipfel in den Sommermonaten Juni bis August auf. Die Häufigkeitskurve besitzt beinahe die Form die Gauss'schen Glockenkurve mit ihrem Scheitel im Juli, sofern man nur die tatsächlichen Durchflüsse betrachtet, also die Hochwasserstände infolge von Eisstau nicht berücksichtigt.

Was die Eintrittswahrscheinlichkeit der verschiedenen Höchstabflüsse der Donau anbelangt, so ergibt sich bei einer statistischen Bearbeitung der langjährigen Beobachtungen das in Tabelle 4 aufscheinende Bild.

Auch unterhalb von Bratislava bis zur Draumündung dominiert der Einfluss der Oberen Donau, so dass in diesem Abschnitt ein ähnliches Hochwasserregime wie in der österreichischen Strecke herrscht. Wenn jedoch mehrere Flutwellen von oben kommen, können sie in der Mittleren Donau eine Ueberlagerung erfahren und dort eine breite und verstärkte Welle hervorrufen. So überlagerten sich im Frühjahr 1965 nicht weniger als sieben Hochwasserwellen und führten zu dem am längsten dauernden, über zwei Monate währenden Hochwasser mit den höchsten eisfreien Wasserständen in der ungarischen Donaustrecke.

Neben den sommerlichen Hochfluten treten im tschechoslowakischen und im ungarischen Donauabschnitt öfters auch in den Wintermonaten, vorwiegend im Februar bis März, grosse, die sommerlichen Extremwerte sogar überschreitende Wasserstandshebungen infolge Eisversetzungen auf. Die Folgen derartiger Eishochwässer sind jedoch nicht weniger verheerend als jene sommerlichen Flutwellen, wie sich besonders im Frühjahr 1838 zeigte, als mehr als 100 Orte in Ungarn, darunter Budapest, schwerste Schäden erlitten.

Durch die drei grossen Nebenflüsse Drau, Theiss und Save erfolgt im letzten Drittel ihres mittleren Abschnittes eine ähnliche einschneidende Umgestaltung der Hochwasserverhältnisse der Donau wie in ihrem Oberlauf durch den Inn. In allen drei Zubringern treten die höchsten Abflüsse fast gleichzeitig im Frühjahr auf und überlagern sich mit einer hohen Wasserführung im Hauptstrom. Aus diesem Grunde nehmen in der Donau zumindest ab der Theissmündung die Frühjahrshochwässer den ersten Rang ein. Wohl kann es infolge der spätherbstlichen Flutwellen von Drau und Save im Verein mit den Balkanzuflüssen donauabwärts von Beograd zu einem sekundären Hochwasser in den Monaten November und Dezember kommen, doch erreicht dasselbe nur selten ein gefährliches Ausmass.

Unterhalb des Eisernen Tores macht sich der Einfluss der riesigen Inundationsgebiete immer stärker geltend, und die Hochwasserwellen der Donau erfahren eine bedeutende Verflachung. Von der Ausdehnung dieser Ueberschwemmungsgebiete und von ihrer Retentionswirkung kann man sich eine Vorstellung machen, wenn man vernimmt, dass allein die im Hochwasser ganz versinkende Insel von Brăila an die 88 000 ha umfasst. Auch an den Mündungen der rumänischen Zuflüsse Jiul, Olt und Argeş befinden sich Inundationsräume von derselben Grössenordnung, und der Strom selbst fliesst über Hunderte von Kilometern in einem 10 bis 15 km breiten, bei Hochwasser überfluteten Auland.

Vor der Deltaverzweigung dürfte somit der dem säkularen Hochwasser entsprechende Durchfluss der Donau ca. 17 000 m³/s betragen. Ein grösserer Durchfluss ist wegen der geschilderten wirkungsvollen Retentionswirkung in der Walachischen Tiefebene sehr unwahrscheinlich und müsste erst durch entsprechende Erhebungen nachgewiesen werden. Der Ablauf der Flutwellen erstreckt sich oft über mehrere Wochen, und nur bei Eisstauungen kann ein rascher Anstieg des Wasserstandes vorkommen. Im Delta selbst verflacht sich die Hochwasserwelle schliesslich vollkommen, denn sobald der Durchfluss 6000 m³/s übersteigt, tritt das Wasser über die Ufer der drei Hauptarme und bildet einen einzigen riesigen See.

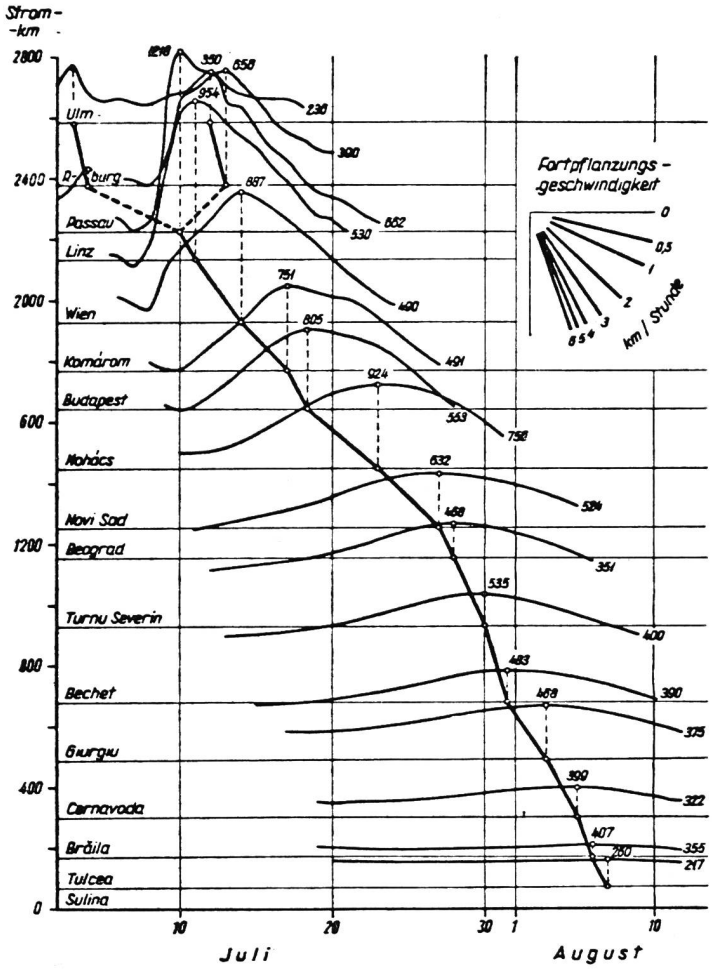
Die Grösse des dem 100jährlichen Hochwasser entsprechenden Durchflusses der Donau von Ulm bis zu ihrer Mündung sowie die zugehörigen Abflussspenden sind der Tabelle 3 zu entnehmen und in Bild 4 graphisch dargestellt.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenscheitel hängt natürlich von deren Höhe sowie von den hydraulischen Gegebenheiten ab und ist daher entlang des Flusslaufes sehr verschieden. Für das 100jährliche Hochwasser beträgt die Schnelligkeit der Scheitelwelle oberhalb von Regensburg ca. 6 bis 7 km/h, um unterhalb davon auf rund 3 bis 4 km/h abzusinken. Abwärts von Gönyü macht sich dann der Gefällsbruch stark bemerkbar, und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Hochwasserwellen vermindert sich bis auf rund 2 km/h im Mittelabschnitt der Donau und mit Ausnahme der Kataraktenstrecke auch unterhalb von Turnu-Severin. Von Cernavoda an, vor allem aber im Mündungsbereich, kann von einem Wellenscheitel und daher von dessen Schnelligkeit kaum mehr gesprochen werden, eher vom langsamen Steigen und Fallen des Wasserspiegels eines in der Längsrichtung weit ausgedehnten Sees. Wie Bild 6 zeigt, können einzelne Hochwässer jedoch einen anderen, vom 100jährlichen Ereignis stark abweichenden Verlauf nehmen.

5.3 DIE NIEDERWÄSSER

Bedingt durch die Verschiedenartigkeit und die Ausdehnung des Einzugsgebietes kommen auch die Niederwasserführungen der Donau nicht gleichzeitig in allen Stromabschnitten vor. Vielmehr verschiebt sich der Zeitpunkt ihres durchschnittlichen Auftretens längs des Stromes von Passau bis zur Mündung immer mehr nach vorne, so dass in der österreichischen Strecke die tiefsten Wasserstände

Bild 6
Verlauf der Donau-Flutwelle im Juli-August 1954. Ganglinien der Wasserstände an den wichtigsten Pegelstationen mit Angabe der Scheitelhöhe in cm. Die fette Verbindungslinie der Zeitpunkte höchster Wasserstände gibt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Flutwelle an.



im Winter, im untersten Bereich dagegen im Herbst zu verzeichnen sind. Lediglich die absoluten Minima des Abflusses fallen von der Quelle bis zur Mündung zeitlich zusammen, da es sich dabei um ein Ereignis handelt, das an eine langdauernde Grosswetterlage gebunden ist.

Neben den zum Normalfall gehörenden Perioden geringer Abflüsse würden noch einige aussergewöhnliche Niederwasserführungen, deren lange Dauer oder Intensität auf besondere Wetterverhältnisse zurückzuführen ist, Erwähnung verdienen. Wegen Platzmangels sei jedoch lediglich auf jene Niederwasserzeit im Herbst 1947 hingewiesen, in der auf der ganzen Donau von Bayern bis fast zur Mündung die absoluten Minima des Durchflusses registriert wurden. Vom 30. August bis 2. November fiel über einem Grossteil des Einzugsgebietes nur an sechs Tagen geringer Niederschlag, der im Raum von Wien nicht einmal 13 % des langjährigen Mittelwertes ausmachte. Infolge der ausserordentlichen Trockenheit sanken die Wasserstände fast sämtlicher Gewässer auf einen Tiefstwert, der mit grossen Schäden für viele Zweige der Volkswirtschaft, vor allem mit der Einstellung der Schiffahrt im oberen Abschnitt und einer wesentlichen Einschränkung derselben im mittleren und unteren Bereich verbunden war. Die am Ende der wochenlangen Trockenzeit schliesslich aufgetretenen Kleinstabflüsse entsprachen ungefähr den in Tabelle 3 angegebenen Werten für NNQ.

Dieser Abschnitt kann nicht abgeschlossen werden, ohne noch auf die tief eingreifende Auswirkung der Speicherkraftwerke auf das Abflussregime der Donau zu verweisen. Wie aus einer Studie der Tiroler Wasserkraftwerke AG hervorgeht, erfolgt allein durch den Betrieb der im Einzugsgebiet oberhalb von Wien bestehenden Speicher eine erhebliche Erhöhung der Niederwasserführung der Donau, und zwar im Winterdurchschnitt um 81 m³/s, bei einer Erhöhung des kritischen Niederwasserabflusses im Monat Februar um nicht weniger als 121 m³/s im Mittel. Nach Ausführung der als realisierbar zu betrachtenden Projekte würde diese Aufhöhung im Winter auf 144 m³/s und im Februar sogar auf 215 m³/s ansteigen. Was eine derartige Verbesserung in der gefürchteten Niederwasserzeit allein für die Schiffahrt und den Gewässerschutz bedeutet, kann wohl jeder abschätzen.

Durch die Speicher erfolgt jedoch auch eine Herabsetzung der Spitzenabflüsse und damit eine wesentliche Verbesserung der Hochwassersituation für die grossen Städte an der oberen Donau bis einschliesslich Bratislava. Derzeit beträgt diese Reduktion beim 100jährlichen Hochwasserabfluss ca. 230 m³/s im Stromprofil Wien. Wie eine Studie des Verfassers ergab, könnte durch die Ausnützung aller verfügbaren Rückhaltemöglichkeiten in den Kerngebieten der Alpen sogar eine Verminderung des Höchstabflusses der Donau bei Wien um rund 1000 m³/s herbeigeführt werden.

6. Die Geschiebe- und Schwebstofführung

An der Donau wurde bereits um die Jahrhundertwende mit systematischen Schwebstoffmessungen und schon zwei Jahrzehnte danach mit Geschiebemessungen begonnen, während man dem Transport an gelösten Stoffen erst in letzter Zeit streckenweise nähere Aufmerksamkeit schenkte. Somit liegen nur über die zwei erstgenannten Komponenten der Schwerstofführung verlässliche Unterlagen

Die Wasserführung der Donau — Tabelle 3

Stromprofil	Entfernung von der Mündung km	Einzugsgebiet km²	MQ m³/s	Mq l/s·km²	Durchschnittliche Jahreswasserfracht Mrd. m³	HHQ (HQ_{100}) m³/s	HHq l/s·km²	NNQ m³/s	NNq l/s·km²	HHQ/NNQ
Ulm	2586	7 578	114	15,0	3,60	1 200	158	19,6	2,6	61
Ingolstadt	2458	20 001	301	15,0	9,49	1 860	93	62,0	3,1	30
Regensburg/Schw.	2376	35 399	426	12,0	13,4	2 800	79	107	3,1	26
Hofkirchen	2257	47 496	627	13,2	19,8	3 500	78	165	3,5	21
Passau/Illzst.	2225	76 597	1410	18,3	44,5	8 800	115	280	3,7	31
Linz	2135	79 490	1470	18,5	46,4	8 500	107	291	3,7	29
Stein-Krems	2004	96 029	1850	19,3	58,3	11 200	116	357	3,7	31
Wien-Nussdorf	1934	101 700	1920	18,9	60,5	10 400	103	392	3,9	27
Bratislava	1869	131 290	2050	15,7	64,6	10 900	83	560	4,3	20
Gönyü	1791	150 262	2100	14,0	66,2	9 500	63	570	3,8	18
Nagymaros	1695	183 262	2360	12,9	74,4	8 600	47	590	3,2	15
Budapest	1647	184 767	2360	12,8	74,4	8 400	45	590	3,2	14
Mohács	1447	208 822	2400	11,5	75,7	7 700	37	620	3,0	12,4
Bogojevo	1367	251 593	3000	12,0	94,6	8 200	33	820	3,3	10,0
Novi Sad	1255	254 085	3000	11,8	94,6	8 000	31	820	3,2	9,8
Zemun	1173	412 762	3900	9,5	123	9 500	23	940	2,3	10,0
Beograd	1171	512 800	5320	10,4	168	13 500	26	1400	3,1	9,7
Baziaş	1072	560 000	5600	10,0	177	16 000	29	1480	2,6	10,8
Drencova	1015	573 000	5610	9,8	177	16 000	28	1500	2,6	10,6
Orşova	955	574 900	5610	9,8	177	16 000	28	1500	2,6	10,6
Calafat	795	584 000	5620	9,7	177	16 000	27	1510	2,6	10,6
Corabia	630	602 700	5680	9,4	179	15 500	26	1530	2,5	10,2
Giurgiu	493	668 700	5900	8,9	186	16 000	24	1610	2,4	10,0
Cernavoda	300	701 000	5950	8,5	188	16 000	23	1650	2,4	9,7
Braila	170	717 900	5980	8,4	189	15 500	22	1660	2,3	9,4
Mündung	0	817 000	6430	7,9	203	17 000	21	1700	2,1	10,0

vor, so dass sich dieser Abschnitt im wesentlichen auf diese beiden beschränkt.

Gesamthaft betrachtet, spielt die Geschiebeführung nur an der Oberen Donau eine Rolle, denn durch den Abrieb wird der Schotter sehr rasch verkleinert, und überdies erfolgt unterhalb von Bratislava eine massenhafte Geschiebeablagerung infolge des Gefällsbruches. Während daher die Geschiebefracht in der tschechoslowakisch-ungarischen Grenzstrecke bis auf ein geringes Mass absinkt, steigt die Schwebstofführung zwischen Wien und dem Eisernen Tor fast genau auf das Zehnfache an und ist im unteren Donauabschnitt ausschliesslich noch von Bedeutung.

6.1 DIE GESCHIEBEFÜHRUNG

Die Geschiebemessungen an der Donau erfolgen seit jeher mit einem eigens entwickelten Geschiebe-Auffanggerät, das einer sorgfältigen Eichung bedarf. In der Oberen Donau, wo das grobe Material dominiert, haben sich die Geschiebefangkörbe aus Drahtgeflecht gut bewährt, wogegen die slowakischen und ungarischen Hydrologen in Anbetracht des unterhalb von Bratislava vorherrschenden feinen Kornes vollwandige Gerätetypen entwickelten. Auf Grund der bisherigen Erhebungen können nicht nur die durchschnittlichen Geschiebefrachten in den einzelnen Jahren für die meisten Flussstrecken der Donau ziemlich genau angegeben, sondern auch wertvolle Erkenntnisse über die Gesetzmässigkeiten der Geschiebebewegungen gewonnen werden. Letztere betreffen insbesondere den Vorgang des Geschiebetransportes in zeitlicher und räumlicher Hinsicht sowie den Zusammenhang zwischen Geschiebefluss Q_g und Wasserdurchfluss Q. Leider ist es aus Platzgründen nicht möglich, auf diese Fragen näher einzugehen.

In der bayerischen und auch in der österreichischen Strecke zeigt die Geschiebeführung der Donau einen sehr unruhigen Verlauf. Durch die zahlreichen Zubringer aus den Alpen erhält der Fluss immer wieder neue Geschiebemengen, wodurch sein Geschiebetransport an den Einmündungen dieser Gewässer sprunghaft ansteigt. Dazwischen erfolgt eine stetige Abnahme der Geschiebefracht infolge des Abriebes, oder fallweise sogar eine plötzliche Abnahme infolge von Ablagerungen, vor allem in den Durchbruchstrecken, oder durch Kiesentnahmen. Auch in den Becken ändert sich die Geschiebeführung der Donau oft ziemlich plötzlich, sei es durch die spontane Aufnahme von Schotter oder durch Ablagerungen infolge Abnahme des Gefälles oder Verbreiterung des Flussbettes. Dieser Prozess verlangsamte sich in der Vergangenheit mit dem Erreichen eines ausgeglichenen Längenprofiles, das später wiederum durch die Regulierungsmassnahmen gestört wurde und heute durch die Kraftwerkbauten eine letzte gewaltsame Umbildung erfährt. Die in der Tabelle 5 enthaltenen Geschiebefrachten der Donau entsprechen daher keineswegs in allen Strecken dem natürlichen Re-

n-jährliche Hochwasserabflüsse für die österreichische und ungarische Donaustrecke — Tabelle 4

HQ_n	Hochwasserabfluss in m³/s		
	Linz (79 490 km²)	Wien (101 700 km²)	Budapest (184 767 km²)
HQ_{min}	1 800	3 100	2 840
HQ_2	3 590	5 500	5 020
HQ_5	4 360	6 200	6 240
HQ_{10}	4 890	6 820	6 870
HQ_{20}	6 250	8 800	7 360
HQ_{30}	7 330	9 350	7 720
HQ_{50}	7 950	9 800	8 000
HQ_{100}	8 530	10 400	8 400
RHHQ	11 000— —11 500	13 000— —13 500	9 500— —10 000

Die Geschiebe- und Schwebstofführung der Donau — Tabelle 5

Stromprofil	Entfernung von der Mündung km	Einzugsgebiet km²	Durchschnittliche jährliche Geschiebefracht Mio t	Mittlerer Korndurchmesser mm	Grösster Korndurchmesser mm	Durchschnittliche jährliche Schwebstofffracht Mio t	Mittlerer Schwebstoffgehalt mg/l	Durchschnittliche jährl. Feststofffracht Mio t	Mittlerer jährlicher Abtrag t/km²
Ulm	2586	7 578	0,03	13	65	0,26	72	0,29	38
Ingolstadt	2458	20 001	0,15	17	65	0,96	100	1,1	55
Regensburg	2376	35 399	0,11	7	120	1,0	74	1,1	29
Hofkirchen	2257	47 496	0,06[1]	10	100	1,1	55	1,2	24
Passau	2225	76 473	0,70	30	150	3,9	88	4,6	60
Linz	2135	79 490	0,54	20	100	4,0	87	4,5	57
Stein-Krems	2004	96 029	0,72	18	110	4,5	87	5,2	54
Wien-Nussdorf	1934	101 700	1,07	11	80	4,7	79	5,8	57
Bratislava	1869	131 290	0,83	10	70	7,3	113	8,1	62
Gönyü	1791	150 262	0,10	3	35	6,5	99	6,6	44
Nagymaros	1695	183 262	0,03	2	30	10	135	10	55
Budapest	1647	134 767	0,03	2	30	11	149	11	59
Mohács	1447	208 822	0,04	<1	2	15	199	15	72
Bogojevo	1367	251 593	0,05	<1	2	18	191	18	72
Novisad	1255	254 085	0,01	<1	1	18	191	18	71
Zemun	1173	412 762	—	—	—	33	271	33	80
Beograd	1171	512 800	0,05	<1	2	40	239	40	78
Baziaş	1072	560 000	0,10	5	60	44	250	44	78
Drencova	1015	573 000	0,03	2	30	45	255	45	78
Orşova	955	574 900	—	—	—	45	255	45	78
Calafat	795	584 000	—	—	—	46	261	46	79
Corabia	630	602 700	—	—	—	50	281	50	83
Giurgiu	493	668 700	—	—	—	60	324	60	90
Cernavoda	300	701 000	—	—	—	63	337	63	90
Braila	170	717 900	—	—	—	64	340	64	99
Mündung	0	817 000	—	—	—	68	340	68	83

[1] Durch ständige Kiesentnahmen gestört

gime des Flusses, sondern geben im allgemeinen die zum Teil stark veränderten Verhältnisse unmittelbar vor den Auswirkungen der Kraftwerkbauten wieder. Für die Zukunft sind daher einschneidende Aenderungen zu erwarten, und die angegebenen Werte müssen laufend korrigiert werden. So bringen die Iller und der Lech heute kaum mehr nennenswerte Geschiebemengen, und auch vom Inn her hat der Geschiebeeinstoss nach dem Ausbau der untersten Stufe oberhalb von Passau praktisch aufgehört.

Die grösste durchschnittliche Geschiebefracht pro Jahr dürfte mit rund 1 Mio t bei Wien zu verzeichnen sein. Das entspricht einem mittleren jährlichen Geschiebeabtrag von rund 10,5 t/km². Der tatsächliche Abtrag ist natürlich sehr viel grösser, denn infolge des Abriebes tragen die weit oberhalb einmündenden Zubringer zur Geschiebefracht bei Wien nur wenig bei. Das geht am besten aus der Feststellung hervor, dass von dem gesamten, oberhalb von Passau in die Gewässer des Inn und der Donau gelangenden Geschiebe lediglich ca. 3 % das Profil Wien noch als solches durchlaufen.

Stromabwärts von Bratislava findet dann die Ablagerung des weitaus grössten Teiles des Donaugeschiebes auf dem gewaltigen, bis weit in die Kleine Ungarische Tiefebene hinabreichenden Schuttkegel statt. Bei Gönyü, ca. 20 km unterhalb des grossen Gefällsbruches, hört die Geschiebeführung fast vollkommen auf, und selbst bei Hochwasser bewegt sich nur ein Geschiebe, dessen mittlere Korngrösse kleiner als 2 mm ist. Somit verringert sich die Geschiebeführung der Donau in Ungarn sehr rasch, und bei Budapest beträgt die durchschnittliche Geschiebefracht pro Jahr kaum mehr als 3 % von jener bei Wien. Unterhalb der ungarischen Hauptstadt wird der Geschiebestrom allerdings wieder grösser und erreicht beinahe den doppelten Wert gegenüber dem Budapester Profil, doch ist diese Zunahme mehr der Erosion des Flussbettes als der mässigen Geschiebezufuhr durch die Hauptzubringer Drau und Save zuzuschreiben. Lediglich die Velika Morava bewirkt noch ein letztes Mal einen merklichen Anstieg der Geschiebeführung in der Donau, die aber am Ausgang der Kataraktenstrecke praktisch wieder auf Null absinkt.

Was die Kornverteilung des Donaugeschiebes betrifft, so ist der Anteil an grobem Geschiebe in der bayerischen Strecke ziemlich gross und wird bis Passau entsprechend dem Abrieb langsam niedriger. Durch den Inn wurde der Donau in früheren Jahren schliesslich das gröbste Geschiebe mit einem maximalen Korndurchmesser von 150 mm zugeführt. Wie aus Bild 7 bzw. aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, beträgt der maximale Korndurchmesser bei Wien 80 mm, bei Budapest noch 30 mm, um bei Mohács bis auf 2 mm abzusinken. Lediglich am Eingang der Kataraktenstrecke kommt noch einmal gröberes Geschiebe mit einem grössten Korndurchmesser von 60 mm vor, das hauptsächlich von der Velika Morava herrührt.

Hinsichtlich der petrographischen Zusammensetzung des Geschiebes überwiegt bis Regensburg stark das Kalkgestein. Weiter unterhalb erfolgt eine Anreicherung von Urgestein bei gleichzeitiger Abnahme der Kalk- und Dolomitmengen. Infolge des stärkeren Abriebes von Kalk und Dolomit sinkt ihr Anteil am Geschiebe der Donau bei Linz schliesslich bis auf 14 % herab. Die Traun und die Enns bringen aber neuerlich Kalk und Dolomit, wodurch deren Gewichtsanteil wiederum bis auf 47 % ansteigt. Dann dominieren abermals die Urgesteine, Quarze und Kristalline, die bei Wien ungefähr zwei Drittel des gesamten Geschiebes ausmachen. An dieser Zusammensetzung ändert sich auch unterhalb von Bratislava nicht viel, wenn auch die Kalkanteile streckenweise etwas grösser sind.

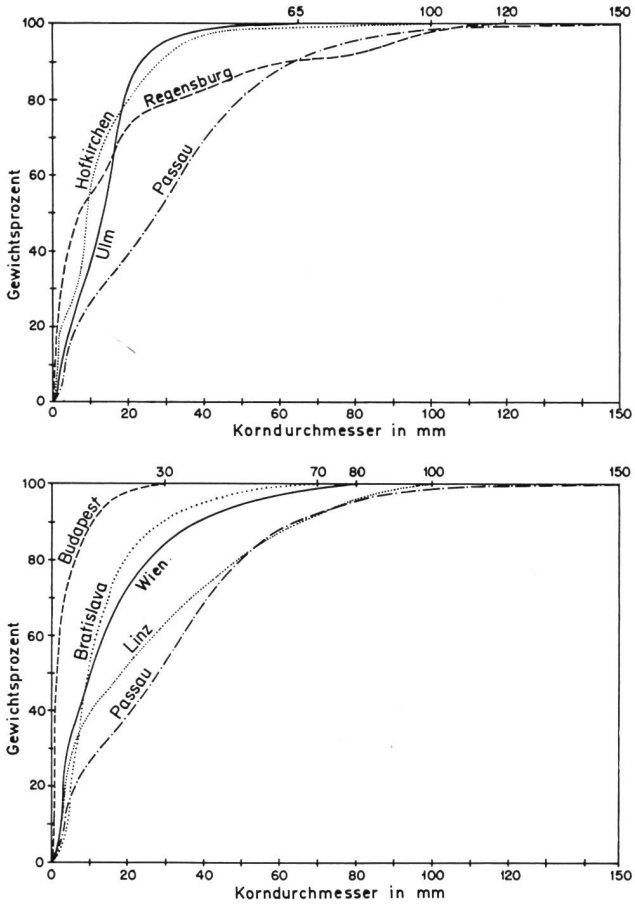


Bild 7 Geschiebmischungslinien der Donau.

6.2 Die SCHWEBSTOFFÜHRUNG

Vom wasserwirtschaftlichen Standpunkt aus kommt der Schwebstofführung der meisten Gewässer eine weit höhere Bedeutung zu als ihrer Geschiebeführung. Diese Feststellung hat nicht nur für den mittleren und den unteren Abschnitt der Donau volle Gültigkeit, sondern vielfach auch für ihren oberen Teil. Vor allem spielt die Schwebstofführung für die verschiedenen Kraftwerke im Hinblick auf die Verlandung ihrer Stauräume eine grosse Rolle. Man bedenke nur, dass selbst in jener Stromstrecke, die den stärksten Geschiebetrieb aufweist, die durchschnittliche Geschiebefracht nicht einmal den vierten Teil der Schwebstofffracht ausmacht. Gegen die Mündung zu wird das Verhältnis von Geschiebefluss zu Schwebstofffluss immer kleiner, um schliesslich überhaupt auf einen belanglosen Wert abzusinken, wie aus der Tabelle 5 deutlich hervorgeht.

Aus den langjährigen Messungen und den zahlreichen zusätzlichen Untersuchungen über die zeitliche und räumliche Verteilung des Schwebstoffgehaltes resultieren wertvolle Erkenntnisse, vor allem hinsichtlich der Abhängigkeit der Schwebstoffdichte vom Wasserdurchfluss sowie von anderen Faktoren. Wie gross die Unterschiede des Schwebstoffgehaltes sein können, zeigen die intensiven Erhebungen der vergangenen Jahre, bei denen Werte zwischen 3 und 1300 mg/l registriert wurden. Eine vollkommen befriedigende, exakte Erklärung für die enormen, donauabwärts zunehmenden Unterschiede in der Schwebstoffdichte fehlt genau genommen immer noch, denn es wirken hier eine Reihe von Einflussgrössen in verschiedener Abhängigkeit von Raum und Zeit. Jedenfalls darf gesagt werden, dass weder für längere noch für kürzere Zeitabschnitte eine einfache gesetzliche Beziehung zwischen Schwebstofführung und Wasserdurchfluss besteht und es noch vieler Forschungen bis zur Aufdeckung der grundlegenden Zusammenhänge bedarf. Manche Probleme lassen sich nur auf dem Wege der Grosszahlforschung mit Hilfe moderner Methoden der Statistik lösen, wofür aber die meisten Messreihen noch zu kurz sind.

In ihrem oberen und mittleren Abschnitt bis Beograd weist die Donau eine stetig zunehmende Schwebstofffracht auf, die erst durch die Save eine sprunghafte Erhöhung erfährt. Stromabwärts vergrössert sich besonders die Schwebstoffdichte sehr stark bis auf den hohen Mittelwert von 340 mg/l im Mündungsbereich. Die schliesslich ins Schwarze Meer beförderte durchschnittliche jährliche Schwebstoffmenge beträgt nach den neuesten Untersuchungen der rumänischen Hydrologen 67,5 Mio t, wovon 66 % auf den Kiliaarm, 14,5 % auf den Sulinaarm und 19,5 % auf den St. Georgsarm entfallen.

Was die Schwebstoffe selbst anbelangt, so sind sie im Oberlauf der Donau hauptsächlich mineralischer Natur, doch wird gegen die Mündung zu der Lehmanteil immer höher.

Der Abfluss an gelösten Stoffen, insbesondere jener, welche die Härte des Wassers bedingen, beträgt in der Donau bei Wien im Jahresdurchschnitt rund 10 Mio t und wächst bis zur Mündung bis auf 58 Mio t an, wovon ca. 2 Mio t organischer Art sind. Genauere Angaben über die Menge und die Zusammensetzung der in den einzelnen Stromstrecken verfrachteten gelösten Stoffe können derzeit leider noch nicht gemacht werden.

7. Eisverhältnisse und Wassertemperaturen

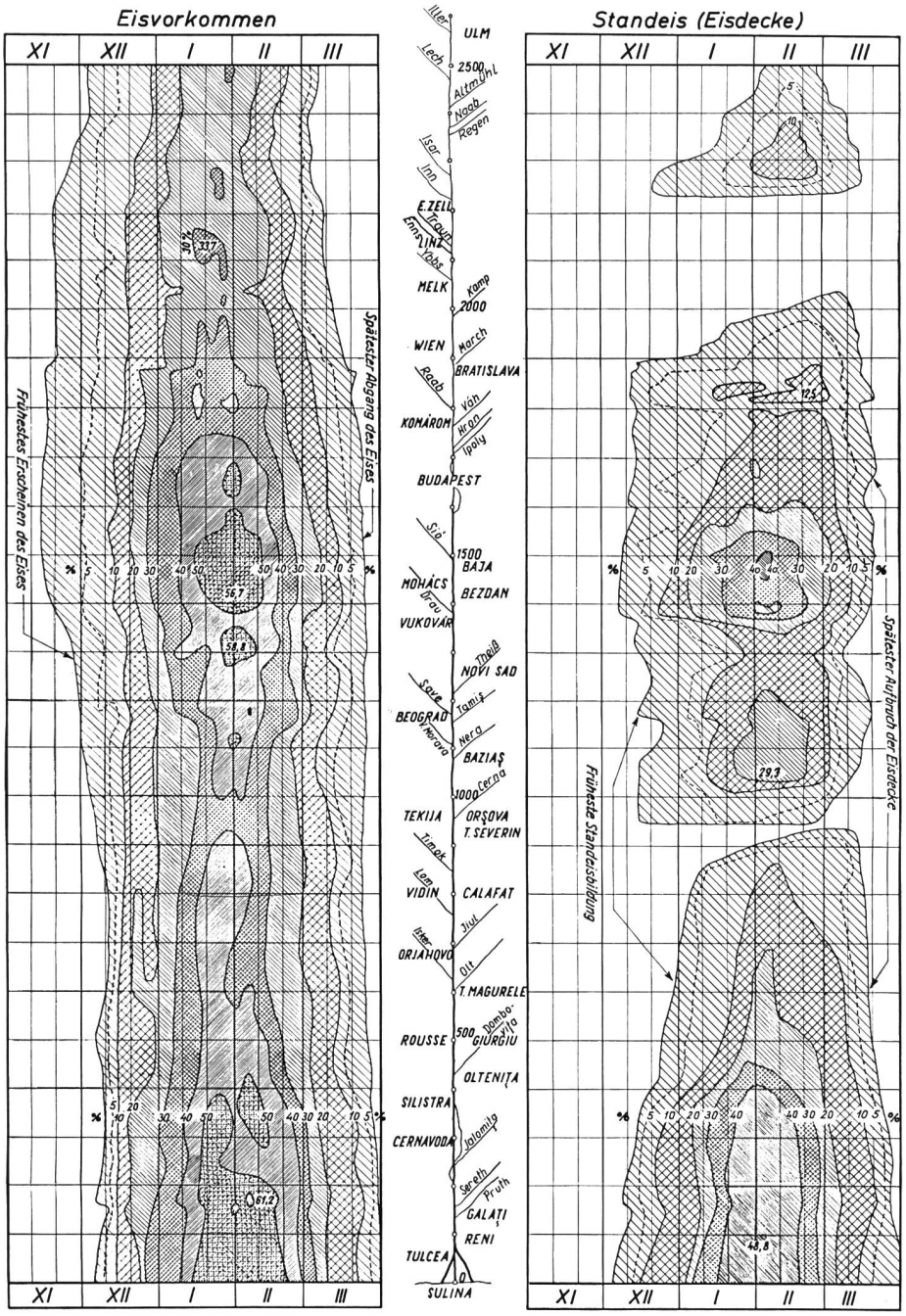
Nur über wenige hydrologische Erscheinungen liegen derart zahlreiche und weit zurückreichende Beobachtungen vor wie über die Eisverhältnisse der Flüsse und Ströme. Der Grund dafür ist wohl darin zu suchen, dass die mit den Eisbildungen zusammenhängenden Wasseraufstauungen, insbesondere die beim Abgang von Eisversetzungen öfters auftretenden Eishochwässer von den Uferbewohnern seit jeher sehr gefürchtet waren und daher sorgfältig registriert wurden. Somit verfügen wir auch an der Donau in manchen Strecken über rund 150jährige, fast lückenlose Aufzeichnungen der Eisverhältnisse, die für einige Profile noch weiter zurückreichen und sehr genaue Aussagen über alle mit dem Eis zusammenhängenden Fragen, beispielsweise über die Art und die Entstehung des Eises, über die Häufigkeit und Dauer der verschiedenen Eiserscheinungen in den einzelnen Stromstrecken, über den Einfluss der Regulierungsmassnahmen auf das Eisregime usw. erlauben.

Aus verständlichen Gründen kann auf diese Probleme hier nicht näher eingegangen, sondern lediglich auf die wesentlichen Ergebnisse der Forschungen hingewiesen werden. Die engste Verbindung besteht natürlicherweise zwischen dem Eisregime und den Wassertemperaturen der Donau und ihrer wichtigsten Zubringer, so dass die vorgenommene Zusammenfassung der beiden Themen sinnvoll erscheint.

7.1 DIE EISERSCHEINUNGEN

Für das Auftreten des Eises sind mehrere Faktoren massgebend, deren wichtigster die sogenannte Kältesumme ist, worunter die Summe der mittleren Lufttemperatur einer bestimmten Mindestanzahl aufeinanderfolgender Frosttage

Bild 8
Häufigkeit des Auftretens von Eiserscheinungen.



verstanden wird. Diese Kältesumme ist an der Donau je nach den örtlichen Gegebenheiten und den Witterungsumständen sehr verschieden und schwankt zwischen —13,4 °C Tag und —59,8 °C Tag für das Auftreten von Eis, bzw. zwischen —76 °C Tag und —430 °C Tag für die Bildung einer Eisdecke. So ist zum Beispiel für das Vorkommen von Treibeis bei Wien eine durchschnittliche Frostdauer von 6,2 Tagen mit einer mittleren Lufttemperatur von mindestens —3,9 °C, also eine Kältesumme von —3,9 x 6,2 = —24,2 °C Tag notwendig.

Bei längerer Frostdauer wird die zum Treibeis zusammengeschlossene Eismenge immer grösser, und es bilden sich besonders in Engstellen und scharfen Krümmungen, aber auch an Brückenpfeilern und dergleichen Eisversetzungen, an denen die nachkommenden Schollen aufgehalten werden und zu einer flussaufwärts rasch wachsenden Eisdecke führen. Die Schnelligkeit, mit der eine solche Eisdecke nach oben aufbaut, schwankt je nach den örtlichen Verhältnissen sehr stark und beträgt an der Oberen und Mittleren Donau bis Paks (km 1531) ca. 0,7 km/h (15 bis 20 km/Tag) im Durchschnitt und für die Strecke unterhalb davon bis zur Draumündung rund 1,5 km/h (35 bis 40 km/Tag).

Die Eisdecke beeinträchtigt nicht nur die Schiffahrt und den Betrieb der Flusskraftwerke, sondern birgt auch grosse Gefahren in sich, da nach dem Eisaufbruch das Eis nicht immer ruhig und stückweise abgeht. Insbesondere wenn nach einer langanhaltenden Frostzeit plötzlich Tauwetter, verbunden mit Regenfällen einbricht, kann der Eisabgang zu verheerenden Katastrophen führen. Die von oben kommenden, rasch anwachsenden Wassermengen werden an den Eisversetzungen gestaut, und es treten innerhalb ganz kurzer Zeit gewaltige Wasserspiegelhebungen auf, die im ungarischen Donauabschnitt bis zu 2,5 m über den gewöhnlichen, vom Eis unbeeinflussten Werten liegen können.

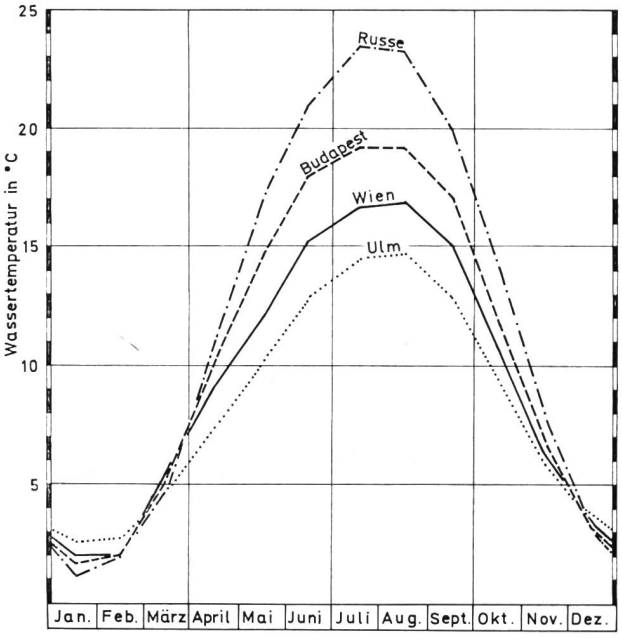


Bild 9 Mittlerer Jahresgang der Wassertemperatur der Donau.

Einen Ueberblick über die Eisverhältnisse an der gesamten Donau gibt Bild 8. Es kann daraus für jede Stelle des Flusslaufes und für jeden beliebigen Zeitpunkt die prozentuelle Häufigkeit von Eiserscheinungen überhaupt (Eistreiben, Eisstand) oder aber die Häufigkeit des Eisstandes allein entnommen werden. Als Unterlage dienten die von S. Horváth zusammengestellten Aufzeichnungen des Zeitraumes 1900/01 bis 1955/56, das heisst eines Zeitabschnittes, in dem neben zahlreichen örtlichen Regulierungsmassnahmen längs der ganzen Donau in der oberen Strecke mehrere Flusskraftwerke entstanden sind und die Regulierung des mittleren Abschnittes unterhalb von Budapest erfolgte. Aus diesem Grunde handelt es sich beim Bild 8 um Durchschnittsangaben, die für die heutigen Verhältnisse stellenweise nicht mehr genau zutreffen und einer sukzessiven Korrektur bedürfen. Insbesondere an der Oberen Donau wurden die Eisverhältnisse durch Kraftwerkbauten und verschiedene Regulierungsmassnahmen in den letzten zwei Jahrzehnten merklich verändert. So ist in den Flussstauen ober- und unterhalb von Ulm, oberhalb von Passau sowie in den österreichischen Staustrecken die Zahl der Tage mit Eisdecke vermutlich auf das Dreifache angestiegen. Trotzdem kann von einer Verbesserung der Gesamtverhältnisse gesprochen werden, denn es haben sich wohl die Häufigkeiten der Eisbildung, nicht aber die damit verbundenen Gefahren erhöht.

Wie Bild 8 zeigt, herrschen längs des Donaulaufes streckenweise sehr unterschiedliche Eisverhältnisse und es sind an mehreren Stellen sprunghafte Aenderungen zu verzeichnen. Während im oberösterreichischen Stromabschnitt seit 1871/72 überhaupt keine Eisstösse mehr beobachtet wurden, verschlechtern sich die Eisverhältnisse stromabwärts davon allmählich und weisen einige kritische Gefahrenzonen oberhalb der Draumündung, unterhalb der Theiss sowie im Mündungsbereich auf. Die Verschlechterung im mittleren Flussabschnitt ist neben den klimatischen Einflüssen hauptsächlich auf die dortigen morphologischen Gegebenheiten, insbesondere auf die scharfen Flusskrümmungen und die Stromverzweigungen zurückzuführen. Dabei hat sich die Lage durch die intensive Regulierungstätigkeit gegenüber früher wesentlich gebessert, denn noch vor 100 Jahren traten auf der ganzen Mittleren Donau beinahe in jedem Winter gefährliche Eisversetzungen mit all ihren Folgeerscheinungen wie Stauhochwässer usw. auf. Im Stromabschnitt unterhalb von Cernavoda tragen auch die flussaufwärts gerichteten, kalten Nordwinde dazu bei, dass dort die absolut schlechtesten Eisverhältnisse herrschen. Zwischen Brăila und dem Schwarzen Meer ist die Donau durchschnittlich während vier Wochen des Jahres auf ihrer ganzen Breite vollkommen vereist, und die Schiffahrt muss oft den halben Winter hindurch eingestellt werden.

Die zeitliche Verteilung der Eisbildungen im Spiegel der jahrzehntelangen Beobachtungen ist an der Donau naturgemäss sehr verschieden. Besonders stark schwanken die durchschnittlichen Zeitpunkte für die ersten Eiserscheinungen, die bisher frühestens am 15. November unterhalb von Budapest auftraten, an der Unteren Donau jedoch fast einen Monat später. Eine geschlossene Eisdecke gab es bisher frühestens am 8. Dezember, und sie brach spätestens am 29. März auf. Die längste Zeitspanne mit Standeis wurde bei Dunaremete (km 1825) und bei Hirşova (km 252) mit 85 Tagen registriert; die längste geschlossene Eisdecke entwickelte sich im Winter 1928/29 und reichte von Stromkilometer 0 bis 935 und von km 1039 bis 2043.

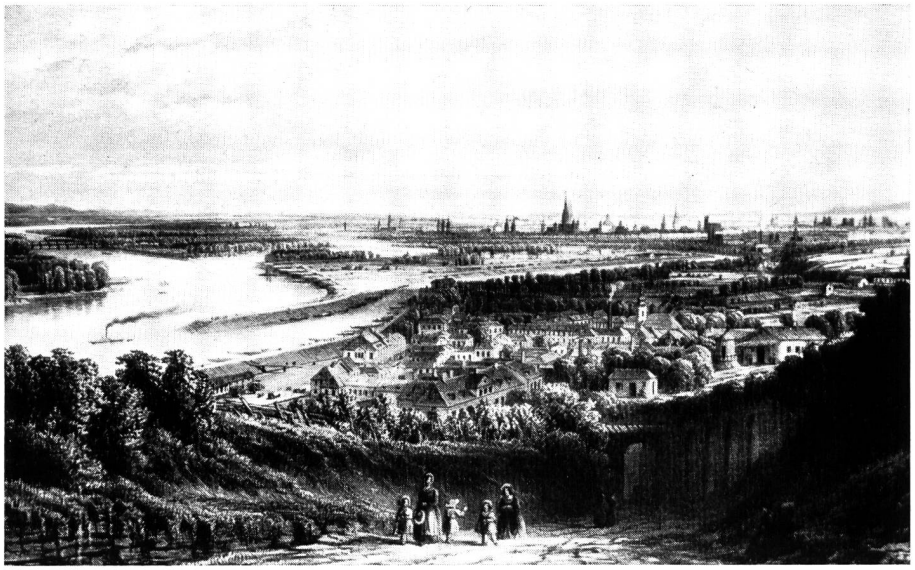
7.2 DIE WASSERTEMPERATUREN

Bei den Wassertemperaturen eines Flusses hat man zwischen der zeitlichen Verteilung innerhalb des Jahres und der räumlichen Verteilung längs seines Laufes sowie innerhalb der einzelnen Querschnitte zu unterscheiden. Erfreulicherweise sind unsere Kenntnisse über die Gesetzmässigkeiten dieser Erscheinungen an der Donau ziemlich umfangreich, denn es liegt ein sehr grosses und zum Teil bis 1876 zurückreichendes Unterlagenmaterial vor. Heute erfolgen in ca. 40 Profilen von der Quelle bis zur Mündung regelmässige Messungen und vermitteln einen guten Einblick in das Temperaturregime des Stromes.

Am bedeutungsvollsten in jeder Hinsicht ist der jährliche Gang der Temperatur, der an der gesamten Donau praktisch überall ein ähnliches Bild aufweist, wie aus Bild 9 hervorgeht. Mit einer gewissen, naturbedingten Verzögerung gegenüber der Lufttemperatur treten in allen Donauabschnitten die tiefsten Wassertemperaturen gewöhnlich im Januar auf, während die höchsten Werte im Juli oder im August zu verzeichnen sind. Die grössten Unterschiede zwischen den monatlichen Mittelwerten der Luft- und Wassertemperatur treten im Sommer bei Wien und im Winter bei Beograd auf. Und zwar liegen im Wiener Becken die sommerlichen Monatswerte der Wassertemperatur infolge der kalten Zubringer aus den österreichischen Alpen mehrere Grade unter jenen der Lufttemperatur; in der Beograder Strecke sind die umgekehrten grossen Differenzen im Winter dagegen auf die kalten Fröste zurückzuführen, welche die Lufttemperatur oft wochenlang weit unter den Nullpunkt und somit unter die tiefsten Wassertemperaturen sinken lassen.

Was die Jahresamplitude der Wassertemperatur betrifft, so nimmt sie stromabwärts wohl zu, doch erfolgen immer wieder Reduktionen durch verschiedene kalte Zubringer. Die grösste Zäsur bedeutet auch in dieser Beziehung wiederum der Inn, denn seine kalten Wassermassen haben eine Verringerung der Jahresamplitude der Donau um 4 bis 5 °C zur Folge. In der österreichischen Strecke ändern sich die Maxima nur wenig, und erst ab dem Wiener Bek-

Bild 10
Alter Stich der Donau bei Wien vor der Regulierung.



ken ist eine fortschreitende Erhöhung der Amplitude zu verzeichnen, die im Mündungsbereich mit durchschnittlich 28 °C ihren Höchstwert erreicht. Hier im Delta liegt sogar das höchste Monatsmittel der Wassertemperatur noch 22 bis 23 °C über dem tiefsten monatlichen Durchschnittswert. In Jahren mit abnormaler Witterung sind die Differenzen zwischen den Extremwerten wahrscheinlich noch um 1 bis 2 °C grösser.

Selbstverständlich treten auch in den einzelnen Monaten grössere Schwankungen auf, und im Frühling können beim Ablauf einer Hochwasserwelle innerhalb weniger Tage Temperaturunterschiede von 5 bis 6 °C vorkommen. Dagegen ist der tägliche Temperaturgang — im Gegensatz zu den Gletscherbächen — an der Donau nur sehr schwach ausgeprägt, und die maximalen Tagesschwankungen betragen höchstens 1 bis 2 °C; wohl aber sind bei starken Wasserstandsänderungen von einem Tag zum anderen Unterschiede bis zu 3 °C und sogar etwas darüber zu verzeichnen, was in Anbetracht des grossen Durchflusses bemerkenswert ist.

Betrachtet man nun die langjährigen Mittelwerte der Wassertemperaturen längs des Flusslaufes, so zeigt sich wiederum eine Zunahme bis Passau und dann ein plötzlicher Abfall durch die Gletscherwässer des Inn. Zwischen Passau und Wien fliessen der Donau weitere Zubringer aus den Alpen zu, so dass auf der 350 km langen österreichischen Strecke nur ein schwacher Temperaturanstieg erfolgt. Erst unterhalb der March ändern sich dann die Verhältnisse, und die Donau strebt bei zunehmender Erwärmung ihrem thermischen Gleichgewicht zu, das sie zwischen Drau- und Theissmündung erreichen dürfte. Unterhalb des Eisernen Tores stören die hinzukommenden Nebenflüsse kaum mehr das thermische Gleichgewicht, und es erfolgt nur noch eine schwache Erwärmung des Wassers um höchstens 1 °C bezogen auf das Jahresmittel. Als Ganzes gesehen beträgt auf der fast 2600 km langen Stromstrecke von Ulm bis zur Mündung die Zunahme der Wassertemperatur im Jahresdurchschnitt ca. 3 bis 4 °C.

Ein Vergleich der höchsten Monatswerte des Jahres zeigt ungefähr den gleichen Anstieg entlang des Flusslaufes wie bei den Jahresmitteln. Allerdings tritt der Temperaturabfall an der Innmündung und die rasche Erwärmung des Donauwassers unterhalb von Wien viel deutlicher hervor, was übrigens auch für die bisher registrierten Maxima zutrifft. Die kleinsten Monatswerte im Winter weichen dagegen nur wenig voneinander ab und ebenso die absoluten Minima, da ihnen mit 0 °C ja eine natürliche Grenze gesetzt ist.

Ueber die Auswirkungen der Flusskraftwerke auf das Temperaturregime der Donau wäre zu sagen, dass eigentlich nur im unmittelbaren Oberwasserbereich der Anlagen eine kleine Erhöhung der Temperatur festzustellen ist, da sich die Aufwärmung der oberen Wasserschichten der ganzen Wassermasse mitteilt. Daher treten auch im Staubereich trotz der verlangsamten Durchflutung nur geringe vertikale Temperaturunterschiede auf, wie durch die Beobachtungen bestätigt wurde. Unterhalb der bestehenden Laufkraftwerke konnte bisher kaum eine Aenderung des Temperaturregimes registriert werden, weil das Speichervermögen der Staustufen im Verhältnis zum Durchfluss unbedeutend ist. Erst wenn einmal eine geschlossene Kraftwerkkette an der Oberen Donau bestehen wird, sind gewisse thermische Veränderungen zu erwarten, die sich aber kaum auf den mittleren und unteren Stromabschnitt auswirken dürften.

8. Der Hochwasserschutz an der Donau

Bis vor hundert Jahren floss die Donau in einem Gewirr von Haupt- und Nebenarmen durch die weiten Becken ihres Einzugsgebietes und bot lediglich in den Gebirgsstrecken das Bild eines geschlossenen Gerinnes mit eindeutigen Wasserstandsverhältnissen. Wohl wurden schon früher kürzere Dammsysteme zum Schutze der menschlichen Siedlungen geschaffen und die grössten Schiffahrtshindernisse durch örtliche Massnahmen beseitigt, doch eine planmässige Regulierungstätigkeit entlang der ganzen Donau setzte erst mit dem wirtschaftlichen Aufschwung um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ein, als der rasch ansteigende internationale Handelsverkehr dringend nach einer beständigen Schiffahrtsstrasse verlangte und die modernen Staatsverwaltungen erstmalig imstande waren, diese grundlegende Forderung zu erfüllen. So kam es zuerst in Bayern und Oesterreich, dann in Ungarn und in den anderen Uferstaaten allmählich zur Regulierung ganzer Stromstrecken und zur Sicherung der wichtigsten Siedlungen gegen die Zerstörungen durch Hochfluten oder Eisgang.

Heute sind im bayerischen, österreichischen und ungarisch-tschechoslowakischen Abschnitt der Donau die

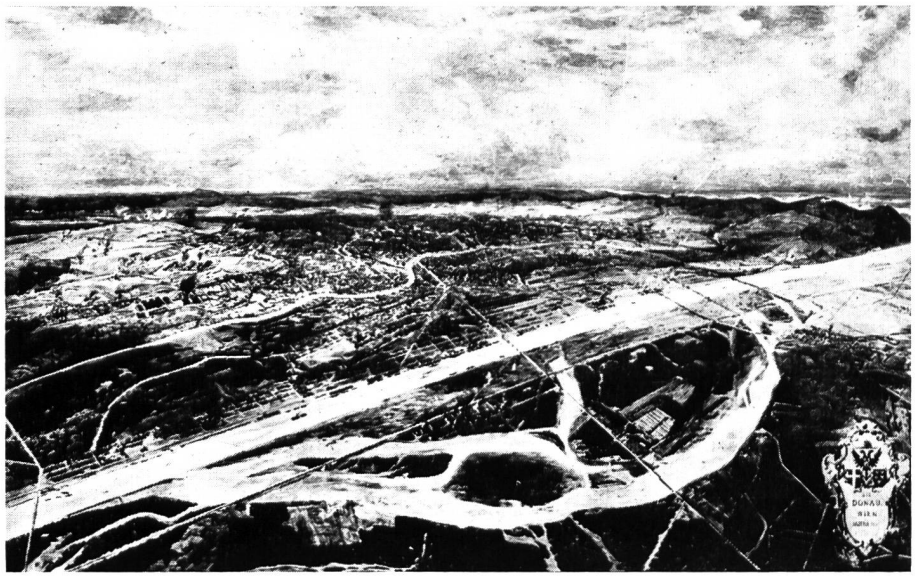


Bild 11
Blick auf die regulierte Donau bei Wien 1875.

Hochwasserregulierungen zum grossen Teil vollendet, doch wurden sie auf recht unterschiedliche Hochwasserdurchflüsse ausgelegt und bieten durchaus kein einheitliches Bild. Nach den Hochwässern der letzten zwei Jahrzehnte kam es daher zu einer streckenweisen Verbesserung der Dammsysteme, und für einige Städte wie Regensburg, Passau, Linz und Wien liegen sogar Projekte für einen «totalen» Hochwasserschutz vor. Alle derartigen Pläne sollten jedoch nicht mehr als Einzelmassnahmen, sondern im grossen Rahmen des Ausbaues der Donau zur europäischen Grossschiffahrtsstrasse betrachtet werden. Es besteht somit kein Zweifel, dass auf der Oberen und Mittleren Donau erst nach Vollendung dieses Vorhabens endgültig befriedigende Verhältnisse geschaffen werden.

Die oben skizzierte systematische Verbesserung des Hochwasserschutzes für die meisten Donaustädte im Laufe des 19. und 20. Jahrhunderts kann besonders anschaulich am Beispiel von Wien erläutert werden.

Durch Jahrhunderte hindurch waren die Metropole Wien sowie weite Gebiete des fruchtbaren Marchfeldes bis zur Staatsgrenze den Hochfluten der Donau mehr oder weniger schutzlos ausgesetzt. So ist es nicht zu verwundern, dass die grossen historischen Hochwässer von 1787, 1830 und 1862 katastrophale Auswirkungen hatten und nach ihrem Ablauf ein total verwildertes Flusssystem zurückliessen, was u. a. die Neuerrichtung sämtlicher Brükken erforderte (Bild 10). Insbesondere die riesige Tauflut vom Februar 1862 hatte für die inzwischen gewaltig angewachsene Reichshauptstadt verheerende Folgen und führte zum Beschluss einer grosszügigen Hochwasserregulierung der Donau im Wiener Bereich. In den Jahren 1869/75 wurde dann das Vorhaben in die Tat umgesetzt, wobei es zur Errichtung eines Doppelprofiles mit einem Ueberschwemmungsstreifen für den Hochwasserabfluss kam (Bild 11).

In den nachfolgenden Jahrzehnten fand die Stromregulierung bei Wien durch die Schaffung eines geschlossenen Hochwasserschutzsystems von der Wiener Pforte bis zur Marchmündung ihre sinnvolle Fortsetzung und ihren vorläufigen Abschluss. Die Höhenlage des gesamten Schutzsystems ermöglicht die Abfuhr von ca. 12 000 m³/s, was ungefähr einem HQ_{1000} entspricht. Streckenweise liegt die Dammkrone aber wesentlich höher und genügt einem rechnungsmässigen Höchstabfluss von 14 000 m³/s.

Bild 12
Projekt der Stadt Wien für den Total-Hochwasserschutz.

Die Hoffnung, Wien vor den Hochfluten der Donau endgültig geschützt zu haben, erwies sich jedoch schon nach dem säkularen Hochwasser von 1899 als irrig, und seither wurden nicht weniger als 14 Projekte für einen verbesserten Hochwasserschutz ausgearbeitet. Im Juli 1954 floss neuerdings ein grosses Hochwasser der Donau ab und veranlasste die Gemeinde Wien, im Hinblick auf eine vorausschauende Raumplanung einen eigenen, ausserordentlich grosszügigen Entwurf auszuarbeiten, der den totalen Hochwasserschutz der Stadt garantieren soll.

Nach dem Projektgedanken ist vorgesehen, für die Hochwasserabfuhr ein Entlastungsgerinne im derzeitigen Ueberschwemmungsstreifen zu bauen, das oberhalb der Stadt beginnt und im Bereich der stadtabwärts liegenden Hafenanlage endet. Damit wird das Abflussvermögen bei Hochwasser wesentlich vergrössert und eine Absenkung des Wasserspiegels gegenüber der heutigen Höchstlage um ca. 90 cm erreicht. Auf diese Weise sollen vom Projekthochwasser PHQ = 14 000 m³/s im Entlastungsgerinne 5200 m³/s und im bestehenden Strombett 8800 m³/s zum Abfluss gelangen. Mit dem anfallenden Aushubmaterial wird zwischen Stromlauf und Lateralkanal eine hochwasserfreie, 17 km lange und 200 m breite Insel für Erholungszwecke aufgeschüttet. Am rechten, dem Stadtkern zugewandten Ufer erfolgt eine als Parkanlage ausgestaltete Dammaufschüttung, wodurch sich die Donau nicht mehr als trennendes, sondern ähnlich wie in Budapest vielmehr als zusammenfassendes Element der links- und rechtsufrig gelegenen Stadtteile in ein geschlossenes Bild fügt (Bild 12).

Das eben beschriebene Projekt umfasst jedoch nicht nur den totalen Hochwasserschutz der Bundeshauptstadt, sondern bringt nach der zuletzt beschlossenen Ausführungsvariante auch für den flussabwärts liegenden Teil Niederösterreichs bis zur Staatsgrenze erhebliche Vorteile. Durch Aufhöhung des bestehenden Dammsystems wird nämlich auch dieses Gebiet inskünftig vor grossen Hochwässern bis zu einem Abfluss von 13 200 m³/s geschützt sein. Nur beim rechnungsmässigen Höchsthochwasser, wie es in unserer Zeitrechnung wahrscheinlich erst einmal, nämlich im August 1501 auftrat, soll eine gezielte Ausleitung in das Marchfeld erfolgen, nachdem in diesem Extremfall auf dessen Retentionswirkung im Interesse der stromabwärts gelegenen Staaten nicht mehr verzichtet werden kann.

Eine solche Rücksichtnahme auf die Unterlieger ist schon deshalb notwendig, weil die geregelte Hochwasserabfuhr im Geschiebefächer unterhalb von Bratislava seit jeher besonders grosse Schwierigkeiten bereitete. Trotz jahrzehntelanger Bemühungen konnte auf dieser kritischen Flussstrecke noch kein endgültiger Beharrungszustand erreicht werden. Es war daher naheliegend, die künftigen Massnahmen so wie in Oesterreich auf die geplante Wasserkraftnutzung im tschechoslowakisch-ungarischen Grenzabschnitt abzustimmen und die Durchführung einer gemeinsamen Kommission zu übertragen. Dieselbe wurde vor ca. zehn Jahren schliesslich auch gebildet und erstellte einen neuen Korrektionsplan, nach dessen Grundsätzen seit dem Jahre 1966 die Regulierungsarbeiten laufen.

Unterhalb des Gefällsbruches der Donau bei Gönyü hat die ungarische Wasserbauverwaltung bereits vor dem Ersten Weltkrieg zum Schutz der Ufersiedlungen und 400 000 ha landwirtschaftlich genutzten Gebietes ein ausgedehntes Deichsystem von über 400 km Länge errichtet, das aber bis auf einige Strecken keine ausreichende Sicherheit gegen ein zehnjährliches oder selteneres Hochwasser bildet. Die Unzulänglichkeit der alten Dammbautechnologie und die ungünstige Beschaffenheit des Deichmaterials sowie die zu geringe Kronenhöhe führen im Verein mit den Korrosionserscheinungen im Dammkörper vor allem bei den gefürchteten Eishochwässern immer wieder zur Ueberströmung und zum Durchreissen der Schutzdeiche. So kam es beim letzten grossen Hochwasser des Jahres 1965 trotz des Einsatzes von 40 000 Mann zu mehreren Dammbrüchen, die ca. 650 Millionen Forint an Schäden verursachten. Es ist daher ein genereller Ausbau des Dammsystems auf das hundertjährliche Hochwasserereignis vorgesehen, was allein ca. 50 Mio m³ Schüttmaterial erfordert.

Auch die Hochwasserdeiche entlang der jugoslawischen Donaustrecke gewähren in ihrem gegenwärtigen Zustand selbst gegen mittlere Hochwässer bei weitem keine ausreichende Sicherheit. Hier sollen deshalb ebenso neue Regulierungswerke, unter Berücksichtigung der modernen Erkenntnisse der Dammbaukunst, also mit tiefreichenden Tonkernen, wasserdichten Belägen, luftseitiger Drainage und entsprechendem Querschnitt entstehen. In der Kataraktenstrecke, wo früher geradezu irreguläre Wasserstandsverhältnisse herrschten, hat sich durch die Errichtung des Kraftwerkes am Eisernen Tor eine vollkommen neue Lage ergeben. Hier wurde den Forderungen des Hochwasserschutzes, der Schiffahrt und Energiegewinnung sowie der Bewässerung ausgedehnter Gebiete im Zuge der Sanierungsmassnahmen im ausgedehnten Rückstauraum in sinnvoller Weise gemeinsam entsprochen.

In der Unteren Donau fehlt ein zusammenhängendes Regulierungssystem und war bei den dort herrschenden Verhältnissen bisher auch nicht notwendig. Der Ausbau des Stromes zur Grossschiffahrtsstrasse wird aber auch in der Walachischen Tiefebene noch umfangreiche Arbeiten, vor allem hinsichtlich einer besseren Eisabfuhr verlangen.

Was schliesslich die sogenannte See-Donau zwischen Brăila und dem Schwarzen Meer anbelangt, so wurde der wichtige Sulinaarm schon im letzten Jahrhundert für die Belange der Schiffahrt auf eine Breite von 100 bis 130 m und eine Wassertiefe von rund 7,0 m reguliert. Gegen die Flutwellen der Donau bestehen lediglich im Bereich von Brăila und Tulcea einige Schutzbauten, nachdem das eigentliche Delta bei grösseren Hochwässern fast zur Gänze überschwemmt ist und den Anblick einer Seenlandschaft bietet.

LITERATURHINWEISE:

Bayer. Landesstelle für Gewässerkunde, München: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Donaugebiet.

Bitterer, F.: Der Hochwasserschutz im Donauabschnitt zwischen den Mündungen der Isper und der March — Oesterr. Wasserwirtsch., 21, H. 1/2

Commission du Danube, Budapest: Annuaire Hydrologique du Danube

Horváth, S.: Der Zusammenhang zwischen der Morphologie der Flüsse und deren Eisverhältnissen. Mitt. des Hydrogr. Dienstes in Oesterreich, Nr. 43, Wien 1966.

Hydrographisches Zentralbüro, Wien: Hydrographisches Jahrbuch von Oesterreich

Kresser, W. und Lászlóffy, W.: L'hydrologie du Danube. — La Houille Blanche, 1964/3.

Lászlóffy, W.: Die Wasserführung der Donau. — Hidrológiai Közlöny, Jg. 1964.

Lászlóffy, W.: Limnologie der Donau — Stuttgart 1967.

Adresse des Verfassers:

Dr.-Ing. Dr. techn. h. c. W. Kresser
o. Professor an der Techn. Hochschule Wien
A-1040 Wien, Karlsplatz 13