

**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 60 (1968)  
**Heft:** 4-5

**Artikel:** Biochemische und technische Probleme am gestauten Fluss  
**Autor:** Töndury, G.A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-921090>

#### **Nutzungsbedingungen**

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

#### **Conditions d'utilisation**

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

#### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 19.02.2026

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

den und künftig zu gewinnenden wissenschaftlichen Erkenntnisse und Erfahrungen überprüft und erforderlichenfalls ergänzt werden. Soweit solche Vorschriften und Vereinbarungen noch nicht vorhanden sind, müssen sie geschaffen werden.

10. Nationale Regelungen müssen aufeinander abgestimmt und in dem erforderlichen Ausmass zu internationalen Regelungen ausgebaut werden.

11. Die Grösse der Gefahren macht rasches Handeln notwendig. Deshalb sind internationale Vereinbarungen für begrenzte Gebiete (zum Beispiel die Nordsee) möglichst schnell abzuschliessen. Sie können wertvolle Vorarbeiten für generelle Regelungen sein.

12. Der Ausbau und die Förderung der Forschung auf allen Gebieten des Schutzes der Meere, einschliesslich der Küstengewässer, vor Verunreinigung und der dazu erforderlichen wissenschaftlichen Institutionen ist dringend notwendig, damit sie mit der industriellen Entwicklung Schritt halten kann. Diese Forschung soll in enger Verbindung mit den beteiligten Wirtschaftszweigen durchgeführt werden. Eine internationale Zusammenarbeit kann diese Arbeiten koordinieren und beschleunigen.

IV. Die Bevölkerung soll über die Notwendigkeit und die Bedeutung der Reinhaltung der Gewässer, die in ihrem Interesse erfolgt, laufend unterrichtet werden.

## BIOCHEMISCHE UND TECHNISCHE PROBLEME AM GESTAUTEN FLUSS

### Vortragstagung des Bayerischen Wasserwirtschaftsverbandes in Würzburg

Im Zusammenhang mit der Mitgliederversammlung 1967 des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft; e. V. (DVWW) führte der Bayerische Wasserwirtschaftsverband am 6./7. November 1967 in Würzburg eine interessante Vortagsveranstaltung durch, verbunden mit verschiedenen Anlässen.

In der unter dem Vorsitz von Prof. Dr. h. c. H. Press (Berlin) stehenden Mitgliederversammlung 1967 des DVWW wurden die statutarischen Traktanden rasch und einstimmig verabschiedet, ebenso einige Änderungen der Verbandssatzungen und eine Ergänzungswahl in den Vorstand; als Vorsitzender wurde für die Amtsperiode 1967/71 Prof. Dr. h. c. H. Press in seinem Amte bestätigt, als sein Stellvertreter Baudirektor Dr.-Ing. E. h. Knoop (Essen). In Dankbarkeit für die dem Verband geleisteten Dienste wurden Min. Dirig. i. R. Dr.-Ing. Schweicher (München) und Baudirektor i. R. Dr.-Ing. E. h. A. Ramshorn (Essen) zu Ehrenmitgliedern ernannt.

Die nachfolgende Berichterstattung stützt sich auf die den Tagungsteilnehmern zur Verfügung gestellten Kurzfassungen der Vorträge, vor allem aber auf die in der deutschen Zeitschrift «Die Wasserwirtschaft»<sup>1</sup> erschienenen ausführlichen Vortragstexte und auf persönliche Notizen.

Die vom Bayerischen Wasserwirtschaftsverband (BWWV) veranstaltete, unter dem Vorsitz von Dipl. Ing. W. Pietzsch stehende

#### Vortagsveranstaltung

begann mit einem Vortrag von Professor Dr. H. Liebmann der Bayerischen Biologischen Versuchsanstalt München (Demoll-Hofer-Institut) zum Thema

<sup>1</sup> Vier der fünf Vorträge wurden veröffentlicht in der deutschen Zeitschrift «Die Wasserwirtschaft» 1968 S. 1/22; der Vortrag von Prof. Dr.-Ing. Hartung erscheint später.

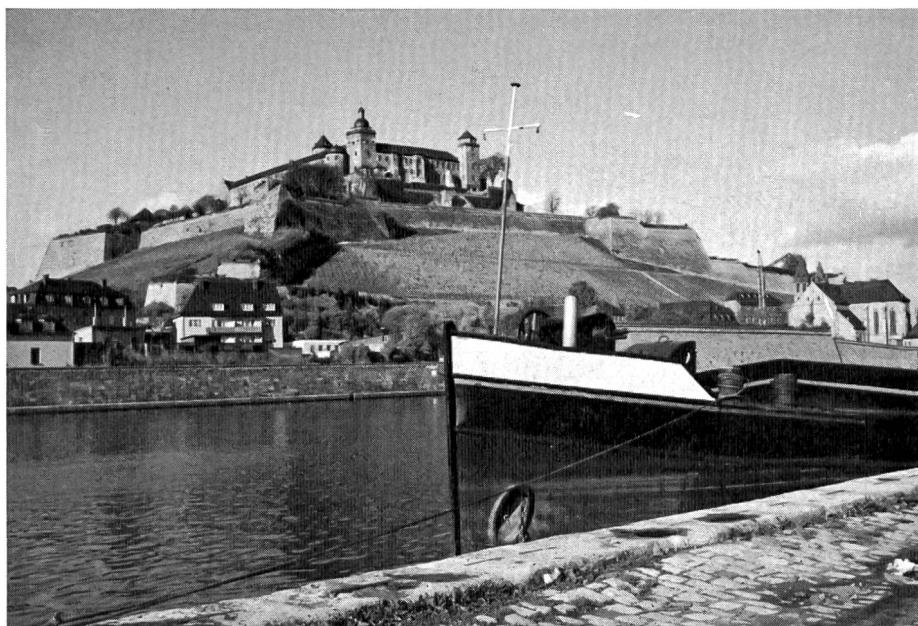


Bild 1 Blick auf den schiffbaren Main und die die alte Stadt Würzburg beherrschende Festung Marienberg

Bei der natürlichen Selbstreinigung eines Gewässers arbeiten chemische, physikalische und biologische Vorgänge eng zusammen. In der Stoffwechselkette der Organismen, die diese Selbstreinigung und Umsetzung vornehmen, bildet der Fisch das Endglied. In ihm werden die schliesslich gebildeten Stoffwechselprodukte zu Fischfleisch umgesetzt, das dem Verbraucher Mensch zugeführt werden kann. Die Erhaltung des Fisches als Endergebnis dieser natürlichen Wasserverbesserung ist deshalb aus wasserwirtschaftlichen Gründen unerlässlich.

Die Selbstreinigung eines Fließgewässers ist dabei von der jeweiligen Beschaffenheit, das heißt Strömung, Wassergüte, Erwärmung usw. abhängig. Besondere Probleme entstehen bei der Verbauung von Fließgewässern. Gerade die Zerschneidung eines Flusses durch Staustufen schafft völlig veränderte Verhältnisse, welche die Selbstreinigung im Stau-Unterwasser positiv, im Stau-Oberwasser aber negativ beeinflussen.

Diese Veränderungen wurden am gestauten Main besonders eingehend studiert, und zwar durch mehrmalige Bereisungen mit genauer Analyse der Mikrofauna, diese Verhältnisse dann durch mehrere Jahre verfolgt und danach eine Gütekarte des Mains aufgestellt. Die Ermittlung der Wassergüteklaasse steht dabei in engem Zusammenhang mit der Produktionskraft eines Flusses, die wiederum im Fisch-ertrag ihren Niederschlag findet.

Wenn wir uns die Frage vorlegen, was ein Gewässer in Mitteleuropa produziert, so begegnen uns dabei recht unterschiedliche Werte. In Bergbächen können 6–10 kg/ha, in guten Bächen des Mittelgebirges 20–30 kg, in sehr guten Bächen und in Niederungsbächen 20–50 kg, in reichen Niederungsbächen bis 80 kg Fische gefangen werden. Diese Zahlen können örtlich erheblich überschritten werden, insbesondere, wenn fließende Gewässer gut besetzt und bewirtschaftet werden. So können manche oberschwäbische Forellenbäche 100 und mehr kg/ha erbringen. Bei stehenden Gewässern schwankt der Ertrag ebenfalls, von 10 kg/ha bei kälteren, nahrungsarmen Seen in Gebirgsnähe, bis 600 kg bei Abwasserfischteichen. Auch die Tiefe spielt eine

Rolle. So bringt zum Beispiel die Flachwasserfläche des Bodensees 32 kg/ha, die Freiwasserfläche aber nur 4 kg. Der Ertrag norddeutscher Seen schwankt zwischen 20 und 40 kg/ha, in Oberbayern zwischen 10 und 30 kg/ha. Den höchsten Ertrag liefern Forellenteiche mit intensiver künstlicher Fütterung, nämlich bis zu 2500 kg/ha. Im Rahmen dieser Produktivität des Wassers ist die Ermittlung der Fischproduktion grösserer Flüsse besonders schwierig, weil die Verhältnisse sehr unterschiedlich liegen, die Fangmethoden verschieden sind und viele andere Faktoren einwirken. Bei den uns hier interessierenden Flüssen Main und Mosel handelt es sich um zwei Mittelgebirgsflüsse, von denen der Main eine grössere Sonnenstrahlung und, durch die günstige, nach Westen und Süden offene Tallage bedingt, ein wärmeres Klima besitzt. Seit jeher war dieser Fluss reich an Fischnährerien. Für die Mosel liegen die klimatischen Verhältnisse ungünstiger, da hier die Hauptfliessrichtung Süd-Nord bzw. Südwest-Nordost ist. Aufgrund der Fanglisten der Moselfischer, die in dankenswerterweise die Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz zur Verfügung gestellt hat, kommt man nach sorgfältiger Auswertung des Zahlenmaterials für den Ursprungsertrag der ungestauten Mosel auf höchstens 30 kg/ha. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, kommt bei ihren Auswertungen der gleichen Fanglisten ebenfalls zu der Zahl von 30 kg/ha.

Die ökologisch-physiologischen Bedingungen der Main-Fischerei werden dadurch gekennzeichnet, dass die ursprüngliche Barbenregion eines freien Flusses durch die Errichtung von Staustufen und den Ausbau des Flusses zu einer Gross-Schiffahrtsstrasse sich in eine Kette von Stauabschnitten verwandelt hat, die, zumindest jeweils im Stau-Oberwasser, den Charakter von Brachsenregionen angenommen haben.

Die Veränderungen des Mains von Bamberg bis Stockstadt sind in ihrer Auswirkung auf die Fischerei seit den zwanziger Jahren von der Anstalt untersucht, und die diesbezüglichen Beobachtungen, Schlussfolgerungen und Empfehlungen in umfangreichen Gutachten für die Regierung von Unterfranken niedergelegt worden.

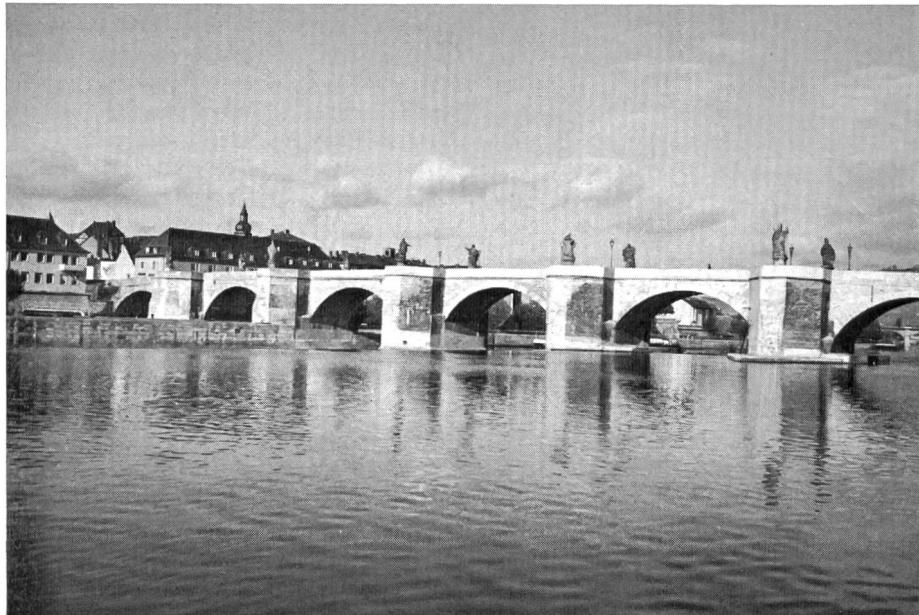


Bild 2 Alte mit Skulpturen geschmückte Strassenbrücke über den Main bei Würzburg

Bei Beginn des Ausbaus des Flusses zu einer Grossschiffahrtsstrasse vor rund 80 Jahren wurde ein stetiger Rückgang des Fischertrages beobachtet. Strömungsverhältnisse und Flussboden veränderten sich nachteilig für die fischereilichen Verhältnisse, wozu dann weiter die zunehmende Abwasserbelastung erschwerend kam. Die Gutachter hatten sich deshalb schon frühzeitig die Frage gestellt, wie diesem Rückgang des Ertrages am zweckmässigsten zu begegnen sei. Dabei musste zunächst der ursprüngliche Ertrag rekonstruiert werden, was um so schwerer war, als keinerlei Unterlagen vorhanden waren.

Die vergleichenden Angaben von der Mosel haben erwiesen, dass der Ursprungsertrag im mittleren Main keinesfalls 100 kg/ha überstiegen hat.

Bei der Berechnung der Schädigung der Mainfischerei wird von drei Schadensgruppen ausgegangen:

1. Schäden durch den Ausbau von Staustufen (Dauerschäden; Ausbauschäden sind schon abgegolten), einschliesslich der Beschädigung der Fische durch Turbinen.
2. Schäden durch Abwassereinleitungen.
3. Schäden durch den Schiffsverkehr.

Diese drei Schadensarten wirken unterschiedlich auf den Fischbestand ein. Im einzelnen ergibt sich folgendes:

1. Durch den Ausbau der Staustufen wird die ökologisch-physiologische Konstellation für den Flussfisch durch eine ganze Reihe von Faktoren beeinflusst. Diese sind:
  - a) Verringerung der Fließgeschwindigkeit, dadurch zunehmende Verschlammung und zunehmende Sauerstoffzehrung in den unteren Wasserregionen, im Sommer Temperaturerhöhung im Oberwasser, im Winter Erniedrigung.
  - b) Wesentliche Verminderung der Altwässer und Buhnenfelder, hierdurch bedingt verringerte Laichmöglichkeit für Krautlaicher, verringerte Fischnahrung.
  - c) Vertiefung des Flussbettes, dadurch Verlust von Laichmöglichkeiten für Kieslaicher und Absinken der Temperaturen in den unteren Wasserschichten.
  - d) Behinderung der Fischwanderung durch die Stauwehre.
  - e) Schädigung von Laich und Jungfisch durch gelegentliche Stauschwankungen und Staulegungen.
  - f) Beschädigung von Fischen, insbesondere Aalen, durch Turbinen.
2. Durch die Abwassereinleitungen wird gleichfalls
  - a) die Fischnahrung gemindert,
  - b) die Verschlammung gefördert,
  - c) der Laich stark geschädigt.
3. Durch den Schiffsverkehr entstehen Verluste
  - a) bei der am Ufer befindlichen Jungbrut durch Wellenschlag,
  - b) durch die Wirkung der Schiffsschrauben für die Bodentierwelt,
  - c) durch Auslaufen von Öl aus den Schiffen und bei deren Versorgung.

Der Rückgang der Fangerträge wird also durch drei Faktorengruppen verursacht, die in ihrer Gesamtheit zur Ver-

änderung der Produktion führen. Die veränderten ökologischen Bedingungen wirken dabei unterschiedlich auf die einzelnen Fischarten ein.

Der ursprüngliche Ertrag an Nutzfischen im Main dürfte bis zu 100 kg/ha betragen haben. Dies ergibt sich aus umfangreichen sorgfältigen Berechnungen; heute liegt der Ertrag bei 22 bis 27 kg/ha.

Vergleiche mit anderen Flussläufen sind verschiedentlich angestellt worden. Die bayerische Donau — ein im Durchschnitt kälterer Fluss — bringt 35 bis 45 kg/ha, die Mosel, wie bereits erwähnt, maximal 30 kg/ha. Der ursprüngliche Ertrag von 100 kg/ha für den Main stellt also schon die oberste Grenze dessen dar, was man als Ursprungsertrag ansetzen kann.

Der Ausgleich des Minderertrages wurde nach einer Vereinbarung zwischen den Fischern und dem Bayerischen Staatsministerium des Innern in Form von Besatz vorgenommen. Da dieser Besatz nur den Ausbauschaden, also 25 bis 30 Prozent des Gesamtschadens betraf, blieb ein nachhaltiger Erfolg aus. Es wurde deshalb nach anderen Möglichkeiten gesucht. In den Versuchen wurde geprüft, ob durch die Bewirtschaftung von Buhnenteichen — zu ablassbaren Teichen ausgebauten Buhnenfelder — ein Ersatz erfolgen könnte. Dies scheiterte daran, dass bei dem Ertrag 40 Prozent Fischunkraut war, das durch den Zulauf hineingelangte, überdies die gesamte Main-Schiffahrt für 48 Stunden stillgelegt werden musste, was einen untragbaren Verlust bedeutete.

Durch Einsatz von Fischarten, die ursprünglich dem Main und seinen Nebenflüssen fremd sind, ist eine Ertragssteigerung nicht zu erwarten. Das gilt insbesondere für den sogenannten «Graskarpfen», der in seinem Heimatgebiet — dem Amur — zwar günstige Lebensbedingungen findet und auch während der hochsommerlichen Wassertemperatur als Reduzierer von Wasserpflanzen in Frage kommt, nicht aber für seine ganz anders gearteten Lebensbedingungen in mitteleuropäischen Flüssen.

So wie ein Einsatz ortsfremder Fischarten als wenig günstig bezeichnet werden muss, ist der künstliche Einsatz solcher Fischarten, die im Main ohnehin schon vorkommen, deren Vermehrung durch den künstlichen Einsatz aber gefördert werden kann, sehr zu begrüßen. Der künstliche Einsatz von Glas- oder Satzaalen ist deshalb förderungswürdig.

Prof. Liebmann ist der Ansicht, dass ein nichtfinanzierter Ausgleich der Schäden, welche die Main-Fischerei erlitten hat, nur dadurch möglich ist, dass neue Fischereibetriebe errichtet werden, die völlig unabhängig vom Fluss sind, das heisst die so weit oberhalb des Flussniveaus liegen, dass sie auch ohne Stauabsenkung im Main bewirtschaftet werden können.

Eine angeregte, ja erregte Diskussion, veranlasste den Referenten zur bedeutsamen Bemerkung, dass die geschilderten Verhältnisse nur für den Main Gültigkeit haben und ja nicht verallgemeinert werden dürfen.

Den zweiten Vortrag hielt am 6. November Professor Dr. Ing. F. Hartung der Technischen Hochschule München zum Thema:

#### «STRÖMUNGSTECHNISCHE ENTWICKLUNG IN KONSTRUKTION UND GESTALTUNG DER STAUSTUFEN»

Das konstruktive Element zur Schaffung einer Stauregelung im Fluss sind die Stauwehre. Sie stellen natürlich auch

einen, wenn nicht den wesentlichen Teil der Baukosten dar. Deshalb ging in den letzten beiden Jahrzehnten die Ten-

denz vor allem dahin, die Kosten dieser Stauanlagen bei gleichzeitiger Verbesserung ihrer betrieblichen Eigenschaften zu senken.

Der Referent erläuterte, wie sich diese Entwicklung auf die vier Hauptbauteile eines Flusswehres ausgewirkt hat: Wehrverschlüsse, Wehrschwellen, Wehrpfeiler und Tosbekken. Wie überall im praktischen Wasserbau weisen auch hier Erfahrung und Forschung wechselseitig die Wege für die Entwicklung. Rein konstruktiv verfolgt man dabei mit Recht den Weg zur Einfachheit. Ausserdem aber muss die Konstruktion möglichst günstige stautechnische Eigenschaften besitzen. Die treibende Kraft der Entwicklung kam allerdings vom Kostendruck.

Eine Entwicklung auf diesem Gebiet ist nach wie vor notwendig, nicht nur für die verbleibenden Massnahmen im eigenen Land, sondern auch damit die einschlägigen Liefer- und Baufirmen, sowie Beratungsbüros «im Rennen» bleiben.

Der zweite Vortragstag wurde von Dr. rer. nat. F. Malz (Essen), Chefchemiker der Emschergenossenschaft und des Lippeverbandes, eröffnet; er sprach zum Thema:

#### «VERGLEICHENDE BETRACHTUNGEN ÜBER DEN SAUERSTOFFGEHALT IM UNGESTAUTEN UND GESTAUTEN FLUSS»

In seinen sehr interessanten Ausführungen warnte der Referent eindrücklich vor zu einseitiger Betrachtung des sehr komplexen Problems.

Eine vergleichende Betrachtung der Sauerstoffverhältnisse im gestauten und ungestauten Fluss ist für den Ingenieur, den Biologen und den Chemiker von gleich grossem Interesse; gilt es doch, gemeinsam Probleme zu lösen, da im Laufe der Zeit die Flüsse ihr äusseres und inneres Erscheinungsbild geändert haben.

Staue werden in einem Flusslauf angelegt, um ihn schiffbar zu machen, um Energie zu gewinnen, um den Wasserabfluss auszugleichen, zur Landbewässerung; sie sind aus den wirtschaftsgeographischen Entwicklungen der Vergangenheit entstanden und in speziellen Fällen werden sie als technische Massnahmen der Abwasserbehandlung errichtet. Liebmann gab einen Ueberblick über die Vor- und Nachteile hinsichtlich der biologischen und biochemischen Prozesse für den fliessenden und den gestauten Fluss. Danach sind die Vorteile im freifliessenden Fluss gegeben durch das bis zum Flussbett wirkende Lichtklima, durch die turbulente Strömung und einer geringen Sedimentation; es tritt kaum Wasserblüte auf und die Verschilfung ist gering. Im gestauten Fluss wirkt das Lichtklima nur begrenzt in die Tiefe, es liegt kaum eine turbulente Strömung vor, so dass die Sedimentation erheblich sein kann; es besteht die Möglichkeit für eine starke Verschilfung und eine massive Bildung von Wasserblüte. Die Vorteile für den gestauten Fluss sind zu sehen in der grösseren Aufenthaltszeit des Wassers und dem Abwassertransport über kurze Strecken. Im Fluss sind dagegen die Abbaizeiten geringer, der Transport des Abwassers erfolgt in Fänen über grosse Strecken.

In einem Wasserlauf, der vorwiegend dem schnellen Abwassertransport in den nächstgrösseren Vorfluter, zum Beispiel zur Verdünnung oder ins Meer zu dienen hat, sind Stauhaltungen sehr störend, sowohl wegen der Schlammbablagerungen als auch wegen der mitunter starken Inanspruchnahme des Sauerstoffhaushaltes.

Besteht jedoch die Aufgabe, einen im begrenzten Mass belasteten Fluss innerhalb nur kurzer verfügbarer Zwischenstrecken für eine nachfolgende hochwertige Nutzung, zum Beispiel der Trinkwassergewinnung, wieder ausreichend zu verbessern, dann sind Stauhaltungen, natürlich im Zusammenwirken mit anderen Massnahmen, auch in heutiger Sicht noch eine technisch und wirtschaftlich hervorragende Lösung.

Die nach Liebmann zitierten Befunde über Stau und Fluss hinsichtlich biologischer und biochemischer Prozesse sind letztlich von direktem Einfluss auf den Sauerstoffgehalt im Wasser bzw. werden rückwirkend vom jeweiligen Sauerstoffgehalt beeinflusst. Die Sauerstoffverhältnisse im gestauten und ungestauten Fluss wurden auch von mehreren

Autoren mathematisch untersucht, in dem Bestreben, für einzelne Flussabschnitte bzw. ganze Flusssysteme die kritischen Belastungsschwerpunkte vorauszusagen, die notwendigen Massnahmen zu errechnen und in ihrer Wirkung abzuschätzen.

Die verkraftbaren Belastungen verhalten sich umgekehrt proportional der zugeordneten Tiefe des Wasserkörpers. Stauhaltungen sind daher gegenüber Belastungen und Belastungsschwankungen wesentlich empfindlicher als der freifliessende Fluss. Beim tiefen Stau wird die Selbstreinigungskraft entscheidend von der atmosphärischen Wiederbelüftung beeinflusst, bei Windstille kann leicht eine kritische Situation entstehen.

Bei einem flachen Stau sind die Verhältnisse nicht so kritisch, da hier das Lichtklima über eine wesentlich grössere Oberfläche in die Tiefe wirksam werden kann und auch der Oberflächenaufrauhung durch Wind wesentlich mehr Raum gegeben ist.

Betrachten wir die Sauerstoffumsätze zwischen gestautem und ungestautem Fluss, wieder auf einer gleich langen Fließstrecke, so zeigt sich, dass im Gegensatz zum freifliessenden Fluss in den Stauen durch Verlängerung der Aufenthaltszeit des Wassers ein wesentlich stärkerer Abbau

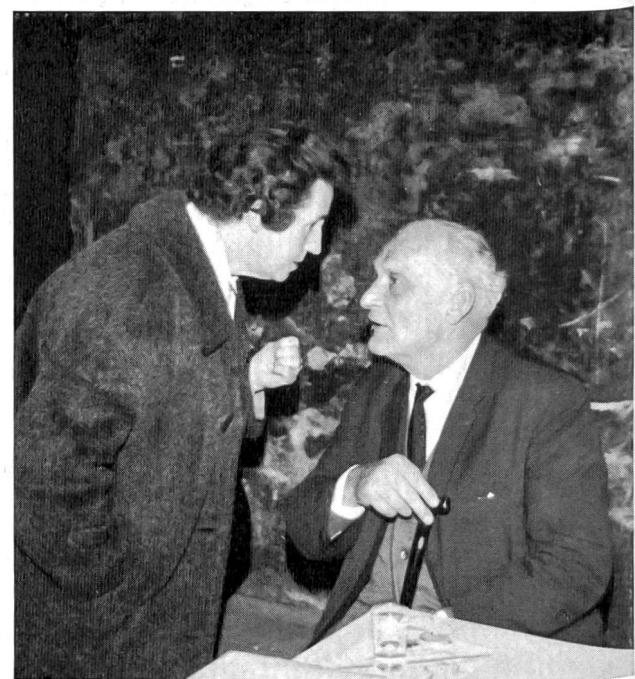


Bild 3 Dipl.-Ing. O. Piloty, Geschäftsführer des BWWV, im Gespräch mit seiner Mitarbeiterin Frau Lange.

der organischen Belastung zu finden ist. Die Selbstreinigungskraft im Stau ist bei gleicher Fließstrecke grösser als im Fluss.

Besonders im flachen Stau wird, bedingt durch die grössere Oberfläche und die geringere Tiefe, die atmosphärische und biogene Belüftung stark zur Wirkung kommen und durch einen besseren Ausgleich des Sauerstoffdefizits der Sauerstoffumsatz, das heisst die Selbstreinigungskraft grösser sein als im tiefen Stau. Gerade diese biologische und biochemische Grundtatsache führte 1927 Imhoff zu seinem als genial zu bezeichnenden Plan, die Stauseenkette an der Ruhr zu bauen. Bei dichter Folge von Abwassereinleitungen und Nutzung des Wassers für die Trinkwasserversorgung des nordrhein-westfälischen Industriegebietes im Emscherthal, dem Raum zwischen Ruhr und Lippe, war die Fließzeit der Ruhr auf den einzelnen Zwischenabschnitten zu kurz für eine ausreichende Wirkung der Selbstreinigungskraft des Flusses. Imhoff plante sechs flache Stauseen, um damit die Selbstreinigungskraft der mittleren Ruhr zu stärken. In den Jahren zwischen 1928 und 1950 wurden vier Stauseen gebaut, der Hengsteysee, der Harkortsee, der Baldeneysee und der Kettwiger Stausee. Diese Seen zeichnen sich durch eine mittlere Wassertiefe zwischen 3,5 und 1,9 m aus, der grössste dieser Seen ist der Baldeneysee mit einer Oberfläche von etwa 2,6 km<sup>2</sup> und einer mittleren Durchflusszeit von 60 Stunden.

Die von Imhoff an den See gestellten Aufgaben einer mechanischen und vor allem einer biologischen Klärwirkung im Zusammenhang mit grosser Oberfläche und Einwirkung des Lichtklimas bei Verlängerung des Fließvorganges, um die Selbstreinigungskraft auf kurzer Strecke zum Schutz unterhalb liegender Wasserwerke zu erhöhen, wurden voll erfüllt.

Bereits im Jahre 1929 hat Dr. Bach, der damalige Chefchemiker der Emschergenossenschaft, den Vorschlag gemacht, durch eine feinblasige Druckluftbelüftung den Sauerstoffgehalt in einem kleinen Vorfluter zu verbessern. Nolte realisierte diese Massnahmen an einem Bachlauf, der Abwasser einer Zuckerfabrik aufnahm. Wegen der geringen Leistung des Aggregates blieb der Erfolg begrenzt. 1938 setzte der Wupperverband einen Oberflächenbelüfter zur Sauerstoffanreicherung an einem Abwasserteich ein. Im Jahre 1943 versuchte Tyler die Belüftung des Flambeau-Rivers, einem Nebenfluss des oberen Mississippi, mit einem feinblasigen Belüfter sowohl im Auslauf als auch im Zulauf der Turbine. Die künstliche Turbinen-Belüftung nach Wagner ist mittlerweile allgemein bekannt. Imhoff jun. beschrieb in letzter Zeit ein Verfahren, bei dem Druckluft unmittelbar oberhalb der Laufradebene der Turbine eingeblassen wird. Von den genannten drei Belüftungsarten, das heisst Druckluftbelüftung, Oberflächenbelüftung und Turbinenbelüftung, sind für die zunächst anzustellenden Betrachtungen über die Verbesserung des Sauerstoffgehaltes im obenliegenden Stau die beiden erstgenannten Verfahren von Bedeutung, während der Sauerstoffeintrag durch die Turbinen oder Ueberfallwehre für die unterhalb liegenden Flussabschnitte, gegebenenfalls auch für neue anschliessende Staubereiche, von Einfluss ist.

Die atmosphärische Wiederbelüftung, die in den Fällen der künstlichen Flusswasserbelüftung durch eine künstliche Vergrösserung der Kontaktfläche Wasser – Luft geschaffen wird, ist um so wirksamer, je grösser das Sauerstoffdefizit des Wassers ist. Sie wird weiterhin um so wirtschaftlicher sein, je mehr von der vorbeifließenden Wassermenge erfasst werden kann und je länger die Luftblasen im Wasser verweilen. Im Gegensatz zu einer hochbelasteten Beleb-

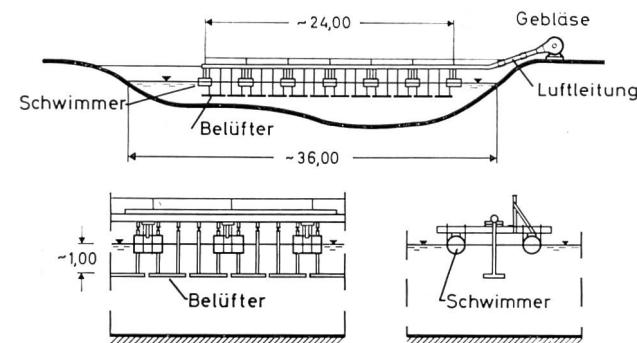


Bild 4 Flusswasserbelüftung in der Lippe bei Heil

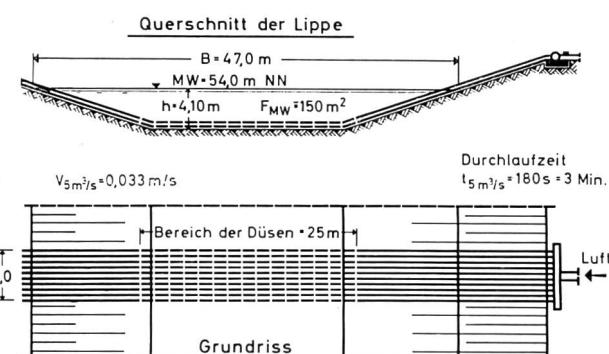


Bild 5 Flusswasserbelüftung in der Lippe bei Herringen

schlammanlage mit einem starken Zehrungsgefälle ist der räumliche Sauerstoffumsatz in einem mässig belasteten Fluss oder Stau extrem niedrig. Hier muss der Sauerstoff dem Wasser auf dem Weg durch die kritische Mangelstrecke als Vorrat mitgegeben werden, um wieder Anschluss an eine ausgeglichene Sauerstoffbilanz, zum Beispiel nach einem Ueberfallwehr, zu erhalten.

Bei den Einrichtungen an der Lippe handelt es sich um Druckluftbelüftungen. Die Einrichtung in Heil geht aus Bild 4 hervor. Es ist eine schwimmende Belüftungsbrücke, die entweder quer oder längs zur Fließrichtung eingesetzt werden kann. Die Belüftungsrohre mit 6 mm Bohrungen, die ca. 1 m unter der Wasseroberfläche liegen, sind an Schwimmern aufgehängt. Das Gebläse ist am Ufer installiert; es liefert 12 000 m<sup>3</sup> Luft/Std. Bezogen auf ein hundertprozentiges Defizit beträgt die Sauerstoffzufuhr rund 60 kg/Std. Die Baukosten einschliesslich Gebläse und Stromanschluss betragen nur 35 000 DM, woraus der recht niedrige spezifische Kostenwert von 600.— DM pro kg Sauerstoff/Std. resultiert. Ein kg Sauerstoff kostet 0.30 DM. Die Brücke ist jährlich im Mittel an 90 Tagen in Betrieb. Der Sauerstoffverbrauch wurde mit rund 1,2 kg O<sub>2</sub>/kWh gemessen.

Die zweite künstliche Belüftungseinrichtung befindet sich in Herringen (Bild 5). Bau und Betrieb dieser Anlage wurde der VEW Westfalen AG im Wasserrechtsverfahren zur Auflage gemacht, um die erhöhte Sauerstoffzehrung in der Lippe auszugleichen, die durch die Einleitung von warmem Kühlwasser des Kraftwerkes Schmehausen, das rund 25 km flussaufwärts liegt, ausgelöst wird.

In extremer Vereinfachung formuliert, wird der Sauerstoffgehalt in einem bestimmten Punkt des Flusses erhalten durch die Wechselwirkung zwischen Sauerstoffabnahme und Sauerstoffaufnahme. Dem oberhalb einer Abwasserein-

leitungsstelle festgestellten Sauerstoffgehalt addiert sich der durch Diffusion über die Wasserfläche eingetragene Sauerstoff sowie der durch die biochemischen Reaktionen des Planktons produzierte Sauerstoff. Vermindert wird der Sauerstoffgehalt durch den bei der Zehrung verbrauchten Sauerstoff. Diese Zehrung kann durch biochemische oder chemische Reaktionen hervorgerufen sein. Von entscheidendem Einfluss auf die Sauerstoffgehalte im gestauten und ungestauten Fluss sind vor allem der Oberflächenerneuerungsfaktor, der durch die Fliessgeschwindigkeit im wesentlichen bestimmt ist, die Geometrie des Wasserkörpers, vor allem die Tiefe, und der Staufaktor, aus dem die verlängerte Aufenthaltszeit des Wassers im Stau hervorgeht. Es ist zu differenzieren zwischen tiefen und flachen Stauen. Die technischen Möglichkeiten, die Sauerstoffgehalte positiv zu beeinflussen, liegen entweder in der Verminderung des Zehrungsanteils durch eine weitgehende Reinigung bzw. Verringerung des einzuleitenden Abwassers oder durch künstliche Erhöhung der Sauerstoffanreicherung im Wasserkörper mit Hilfe von Belüftungseinrichtungen.

Einen interessanten Diskussionsbeitrag brachte Dipl.-Ing. Alfred John der Rhein-Main-Donau AG (München) zum Thema «Sauerstoffgehalt und biochemischer Sauerstoffbedarf im Bereich der Donaustufe Oberelchingen». Anhand umfangreicher Untersuchungen gelangte man zu folgenden Ergebnissen:

1. Der Sauerstoffgehalt war vor dem Stau über die ganze Strecke etwa gleichbleibend, wobei sich die Abwassereinleitung auf dem rechten Ufer durch deutliche Sauerstoffabnahme abzeichnetet hat. Nach Stauerrichtung ist

schon von oberhalb der Abwassereinleitung her eine kräftige Abnahme des Sauerstoffgehaltes zu erkennen, für die jedoch weder die Abwassereinleitung noch der Stau, sondern vermutlich unbekannte Einleitungen weiter oberstrom verantwortlich sind. Im gestauten Bereich ist eine Abnahme des Sauerstoffgehaltes nicht feststellbar, vielmehr bleibt der Sauerstoffgehalt trotz Abwassereinleitung wie vor Stau unverändert.

2. Der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB<sub>s</sub>) war vor dem Stau gekennzeichnet durch eine sehr starke Anhebung auf der rechten Seite durch die Abwassereinleitung. Diese Erhöhung machte sich sogar in Leipheim (rund 15 km unterhalb der Einleitung) noch deutlich bemerkbar. Die Belastung ist oberhalb der Abwassereinleitung nach Stauerrichtung etwa gleich geblieben. Unterhalb der Einleitungsstelle steigt der BSB<sub>s</sub>-Wert rechts auch wiederum stark an, bleibt jedoch im allgemeinen unter den Werten aus der Zeit vor Stau. Aus den Auftragungen lässt sich ablesen, dass nach Errichtung des Staues
  - a) die BSB<sub>s</sub>-Werte im Unterwasser der Stufe Oberelchingen etwa denen oberhalb der Abwassereinleitung gleich sind,
  - b) die Belastung im Unterwasser der Stufe Oberelchingen jetzt schon deutlich geringer ist als vor Stau an der etwa 8 km unterstrom liegenden Brücke Leipheim und
  - c) der Abbau im gestauten Bereich jetzt schneller vor sich geht als im ungestauten Zustand und somit die Abbaustrecke wesentlich kürzer wird.

Es folgte ein sehr theoretischer Vortrag von Dipl.-Ing. W. Bauch der Technischen Hochschule München zum Thema

#### «DIE HOCHWASSERWELLE IM UNGESTAUTEN UND GESTAUTEN FLUSS»

In der Versuchsanstalt Obernach der T. H. München befindet sich ein 600 m langes Modell der Donaustrecke Regensburg – Straubing in Betrieb. Dieses Modell dient zur Untersuchung der Hochwasserverhältnisse der in der Natur 60 km langen Flussstrecke. Es werden stationäre Versuche zur Aufnahme von Wasserspiegeln durchgeführt, desgleichen werden Hochwasserabläufe von aus der Natur bekannten Hochwassereignissen nachgebildet. In die untersuchte Strecke sollen zwei Staustufen zur Verbesserung der Schiffahrtsverhältnisse eingebaut werden. Hauptziel der Untersuchungen ist es, die Veränderungen, welche die Hochwasserwelle durch den Staustufeneinbau erfährt, im voraus zu bestimmen.

Das Donaumodell ist mit Messeinrichtungen ausgerüstet, die es ermöglichen, jede beliebige Welle in das Modell einzugeben und ihren Ablauf genau zu registrieren. Diese Messmöglichkeit wird ausgenutzt, um im Vergleich mit den Modellergebnissen auch theoretische Berechnungen von

Hochwasser-Wellen zu untersuchen. Die Grundlage der Rechnung sind zwei Differentialgleichungen, die Energiegleichung und die Kontinuitätsgleichung für instationäres Fliessen. Eine Lösung dieses Gleichungssystems ist über das Charakteristikenverfahren möglich. Wegen des grossen Rechenaufwandes ist zur Bearbeitung eine elektronische Rechenmaschine erforderlich.

Bisher war es im Flussbau üblich, Wasserspiegellagen und Staukurven nur für stationäre Verhältnisse zu berechnen, also unter Vernachlässigung des Faktors «Zeit». Für das Donaumodell werden für den gestauten und für den ungestauten Fluss sowohl Versuche als auch Berechnungen instationärer Art durchgeführt.

Zum Schluss der Vortragsveranstaltung sprach Oberreg.- und Chemierat Dr. M. Ruf der Bayerisch Biologischen Versuchsanstalt München über das aktuelle Thema

#### «DIE KONTAMINATION DER FLEISSGEWÄSSER DURCH RADIOAKTIVE SUBSTANZEN MIT BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER FLUSS-STAUSTUFEN»

Das vermehrte Auftreten von künstlichen radioaktiven Substanzen neben der natürlichen Radioaktivität war in unseren Gewässern in den letzten 20 Jahren auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. An erster Stelle sind die Auswirkungen der Experimente zur Erprobung von Atom- und Wasserstoffbomben zu nennen, die seit dem Jahr 1945 in zu-

nehmendem Masse zu einer Verunreinigung der Erdoberfläche und damit des Wassers führten. Darüber hinaus hat die fortschreitende Anwendung der künstlichen radioaktiven Substanzen in Wissenschaft und Technik in geringerem Grade zu einer radioaktiven Verunreinigung des Oberflächenwassers beigetragen. Im Hinblick auf den zunehmen-

den Bau von Kernenergieanlagen für Forschungszwecke und zur Gewinnung von elektrischer Energie ist es notwendig, die Auswirkungen der Einleitung von radioaktiven Abwässern in die Gewässer zu studieren. In diesem Zusammenhang müssen Grundlagen erarbeitet werden, die eine Abschätzung des Risikos erlauben, das mit der Ableitung radioaktiver Abwässer verbunden ist.

In jüngster Zeit muss mit dem zunehmenden Bau von Forschungsreaktoren und insbesondere von Kernkraftwerken damit gerechnet werden, dass radioaktive Abfallprodukte in einem gewissen Umfang in die Oberflächengewässer gelangen. Dies gilt hauptsächlich für grössere Anlagen, bei denen sich infolge von Leckagen, Reparaturen, Regeneration von Austauschern u.a. ein gewisser Abwasseranfall nicht vermeiden lässt.

Mit der zunehmenden Einleitung radioaktiver Abwässer namentlich aus Kernenergieanlagen in das Oberflächengewässer ist es erforderlich geworden, eine regelmässige Ueberwachung der Radioaktivität durchzuführen. Darüber hinaus ist es notwendig, am Beispiel in Betrieb befindlicher Kernenergieanlagen Erfahrungen zu sammeln über das Verhalten einzelner radioaktiver Abfallprodukte in den Gewässern. Dies gilt um so mehr, als bei den behördlichen Genehmigungsverfahren bisher nur der Trinkwassersektor Berücksichtigung fand. Neben der Trinkwassergewinnung aus dem

Oberflächenwasser gibt es aber auch noch andere Wege, auf denen ein Teil der in einem Oberflächengewässer besitzt radioaktiven Substanzen in den menschlichen Organismus gelangen kann. Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang besonders der Verzehr radioaktiv kontaminierter Fischereierzeugnisse, die Bewässerung landwirtschaftlich genutzten Bodens mit Oberflächenwasser, die Verwendung von radioaktiv kontaminiertem Flussschlamm als Düngemittel, die Verarbeitung radioaktiver Fischereierzeugnisse zu Futtermitteln für die Geflügel- und Viehzucht u.a.

Das Verhalten der radioaktiven Substanzen in den Flusstauen wird ganz allgemein durch die Verlangsamung der Fliessgeschwindigkeit des Wassers bestimmt. Mit der Herabsetzung der Fliessgeschwindigkeit geht eine vermehrte Sedimentation organisch fäulnisfähiger Substanzen und von mineralischen Schwebstoffanteilen Hand in Hand. Die Folge davon ist eine vermehrte Ablagerung von Schlamm auf den bei den voralpinen Gewässern meist kieshaltigen Grund. Durch das vermehrte Nährstoffangebot kommt es vielfach zur Entwicklung einer ausgedehnten Ueber- und Unterwasserflora sowie zu einer verstärkten Planktonentwicklung, die, wie das zum Beispiel im Donau-Kachlet der Fall ist, bis zur typischen Wasserblütenbildung führen kann. Die Wasserblütenbildung wird dabei durch die meist stärkere Erwärmung des Stauinhaltes im Vergleich zum sonstigen



Bilder 6 und 7  
Teilausschnitte aus den berühmten  
Deckengemälden des Venezianers Tiepolo  
über dem monumentalen barocken  
Treppeaufgang (oben) und im Kaisersaal  
in der erzbischöflichen Residenz zu Würzburg.

Flusswasser begünstigt. Die vermehrte Ablagerung organisch-fäulnisfähiger Substanzen auf dem Staustufengrund führt zu einer erhöhten Sauerstoffzehrung. Da bei stärkeren Schlammbablagerungen der Abbau der organischen Substanzen vielfach auf dem anaeroben Wege erfolgt, kommt es zu einer erhöhten Gasproduktion. Es kann in grösseren Staustufen zu einer völligen Umstellung der Lebensgemeinschaft kommen.

Auch bezüglich des Verhaltens der radioaktiven Substanzen ergeben sich in den Staustufen Besonderheiten. Durch die vermehrten Sedimentationsvorgänge werden die Radionuklide in den Sedimenten stark angereichert. Die Konzentrierung findet hierbei in Abhängigkeit von den Strömungsverhältnissen vielfach in ungleicher, mosaikartiger Verteilung statt. Die höchsten Radionuklidkonzentrationen konnten zum Beispiel im Donau-Kachlet überall dort nachgewiesen werden, wo es zu Faulschlammbablagerungen gekommen war. Fluss-Sand wies im Vergleich hierzu viel geringere Radionuklidkonzentrationen auf. Die Faulschlammbablagerungen ändern bei den bayerischen Gebirgsflüssen ihre Lage je nach Wasserführung fortwährend und werden in der Regel besonders durch die im Frühjahr auftretenden Hochwässer teilweise wieder ausgeschwemmt.

Die hier nur auszugsweise wiedergegebenen Referate, aber auch zahlreiche Untersuchungen und Expertisen in unserem Land und anderswo zeigen deutlich, dass die Ansichten über die Auswirkungen einer Stauhaltung auf den Zustand der Gewässer zum Teil sehr widersprüchlich sind. Werden einerseits Stauhaltungen als für die Gewässersanierung schädlich bezeichnet, so ist anderseits festzustellen, dass im Ruhrgebiet, wo man seit Jahrzehnten über Ursachen der Gewässerverschmutzungen und deren Sanierung besonders gut unterrichtet ist, an schwer belasteten Flüssen eine Kette von Stauhaltungen geschaffen wurde, mit dem Hauptzweck der Sanierung dieser Gewässer. Auch hier zeigt es sich also – wie in fast allen Gebieten des täglichen Lebens und Wirkens –, dass Verallgemeinerungen unzulässig, ja schädlich sind, und dass man auch bei der Prüfung der Auswirkungen von Stauhaltungen an einem Fluss von Fall zu Fall sorgfältige Einzeluntersuchungen vornehmen muss.

Die von etwa 200 Teilnehmern besuchte Tagung in der reizvollen, am Main gelegenen Stadt Würzburg, die von der Festung Marienberg auf rebenbestandenem Höhenzug beherrscht wird, umfasste auch einige kultur-historische Besichtigungen und einen gesellschaftlichen Anlass. Am Abend des 6. November fand im Keller des Staatsweingutes unter der Residenz eine festliche Weinprobe mit Imbiss statt; da wurden zahlreiche und immer wertvollere Weinproben mit zum Teil köstlichen Erläuterungen kredenzt und sorgten für eine gute Stimmung an der langen Kellertafel.

Einen besonderen Kunstgenuss bot eine Führung durch die ehemalige fürstbischöfliche Residenz, die vollkommenste Leistung der deutschen Schlossbaukunst in der Barockzeit, wo vor allem die weltberühmten riesigen Fresko-Deckengemälde des Venezianer Malers Tiepolo im Treppenhaus und im Kaisersaal einen nachhaltigen Eindruck vermittelten. Wie ein Wunder hört es sich an, wenn man erfährt, dass grosse Teile der Residenz am Ende des Zweiten Weltkrieges durch Feuer im Innern fast vollständig zerstört wurden und dass trotz dieser Zerstörung und Wittringseinflüssen das grossartige Deckengemälde gerettet werden konnte.



Bild 8 Eine der zahlreichen ausdrucksvoollen bemalten Skulpturen des Bildhauers Tilman Riemenschneider, der lange in Würzburg tätig war.

Nach Abschluss der Vortragstagung und gemeinsamem Mittagessen im Hotel Russischer Hof folgte eine Carfahrt auf das jenseitige Mainufer und in steilem Anstieg zur Festung Marienberg, die seit der Mitte des 13. Jahrhunderts bis zur Erbauung der Residenz Sitz der Fürstbischofe war. Besichtigt wurden einige besondere Sehenswürdigkeiten der Festung und das seit einigen Jahren in etlichen Räumen untergebrachte Mainfränkische Museum, in dem u.a. eine sehr wertvolle, gediegen zur Schau gestellte Sammlung von Skulpturen des berühmten, in Würzburg lebenden Bildhauers Tilman Riemenschneider zu sehen sind. In neuester Zeit wurde in der Festung auch ein reichhaltiges Heimatmuseum eingerichtet, und noch sind nicht alle Pläne für den weiteren Ausbau des Museums verwirklicht.

Besonders schön ist der Blick von der Festung auf die im Abendlicht zu Füßen des Burghügels und am Main gelegenen Stadt Würzburg.

Dem BWWV und insbesondere dem Geschäftsführer Dipl.-Ing. O. Piloty und seinen Mitarbeitern gilt für die wohlgelungene Durchführung der interessanten Tagung der Dank der zahlreichen Teilnehmer.

G. A. Töndury

#### Bildernachweis

1, 2, 3, 6, 7, 8 Photos G. A. Töndury  
4, 5 nach Bilder 2 und 3 Artikel F. Malz und J. Bortlitz, Vergleichende Betrachtungen der Sauerstoffgehalte im gestauten und ungestauten Fluss, Die Wasserwirtschaft (Stuttgart), 1 1968