

Die Abwasserlast der deutschen Flüsse

Von Dr.-Ing. Karl Imhoff

Die Abwasserlasten des Rheins, der Weser, der Elbe und der Donau sind berechnet und aufgezeichnet worden. Sie sollen zu einheitlichen Reinhaltungsplänen benützt werden.

Die Hauptverwaltung der Binnenschifffahrt des amerikanischen und britischen Besatzungsgebiets in Windelsbleiche bei Bielefeld hat die Sorge für die schiffbaren Flüsse übernommen. Dazu gehört auch die Aufgabe, das Flußwasser reinzuhalten. Sachbearbeiter für diese Teilaufgabe ist Regierungsbaurat Hubert Wagner.

Schon im September 1946 hat die Hauptverwaltung den beteiligten Stellen eine „Denkschrift über die Planung, Lenkung und Durchführung der Reinhaltung der Gewässer“ vorgelegt (1). Darin ist begründet, weshalb man für die Aufgabe der Reinhaltung zunächst rasch eine einheitliche, wenn auch „rohe“ Berechnung der „Abwasserlast“ der deutschen Flüsse haben muß, und es ist als Beispiel eine Berechnung für die Weser aufgestellt worden. Inzwischen sind die Berechnungen auf den Rhein, die Elbe und die Donau ausgedehnt worden.

Eine gewisse Belastung durch Abwasser kann jeder Fluß vertragen (2). Ob die zulässige Grenze eingehalten wird, zeigt sich am einfachsten und sichersten aus dem Fischleben im Flusse. Wenn Fischereischäden eintreten, kann als erwiesen gelten, daß das Gewässer überlastet worden ist und daß sich Schäden auch bei der Benützung des Flußwassers zu anderen Zwecken gezeigt haben werden.

Unter den Ursachen der Fischereischäden ist weitaus vorwiegend der Sauerstoffmangel. Beim Flußwasser-Untersuchungsamt in Magdeburg wurde in 11 Jahren von 104 Fällen von Fischsterben bei zwei Dritteln der Fälle der Sauerstoffmangel als Ursache festgestellt (4). Der Sauerstoffmangel tritt dann ein, wenn dem Flusse mehr an zersetzlichen organischen Stoffen zugeführt wird als durch die natürlichen Selbstreinigungsvorgänge verarbeitet werden kann.

Gesundes Flußwasser ist mit Sauerstoff gesättigt und sein Sauerstoffgehalt ist bei mittleren Verhältnissen etwa 9 mg/L. Der Sauerstoffgehalt sinkt, wenn die Zersetzung der Schmutzstoffe mehr Sauerstoff verbraucht als durch die natürliche Lüftung wieder aufgenommen werden kann. Fischsterben ist zu befürchten, wenn der Sauerstoffgehalt unter 3–4 mg/L sinkt. Auf diese Bedingung wird später noch zurückzukommen sein.

Amerikanische Forscher haben Rechnungsverfahren entwickelt, mit denen man den Sauerstoffhaushalt eines Flusses unter den verschiedensten Verhältnissen verfolgen kann. Die Ergebnisse der Rechnungsverfahren stimmen gut mit zahlreichen Beobachtungen und Messungen in der Natur überein. Danach kann man in jedem Falle angeben, wie hoch der Sauerstoffgehalt eines Gewässers an irgendeiner Stelle bei einer bestimmten Ver-

schmutzung sein wird. Entscheidend ist dabei die Menge der zugeführten organischen Schmutzstoffe im Verhältnis zur Wasserführung des Flusses. Dieses Verhältnis der Schmutzstoffe zur Wasserführung soll als „Abwasserlast“ bezeichnet werden.

Als Einheit der Schmutzstoffe soll der in fünftägiger Beobachtung ermittelte biochemische Sauerstoffbedarf (BSB₅) gelten, den die ungereinigte tägliche Abwassermenge eines städtischen Einwohners hat. Das sind unter deutschen Verhältnissen im Mittel 54 g (2). Unter Wasserführung soll das mittlere Niederwasser des Flusses in Sekundenlitern (L/s) verstanden werden. Die „Abwasserlast“ ist also die Zahl der städtischen Einwohner, die aus dem oberhalb liegenden Gebiet auf einen Sekundenliter des mittleren Niederwassers kommen.

Die städtischen Einwohner Deutschlands sind mit allen vorhandenen Klärwerken in dem zweibändigen Buche Brix-Imhoff-Weidert „Die Stadtentwässerung in Deutschland“, Verlag Gustav Fischer, Jena 1934, zusammengestellt. Die Zahlen erfassen rund 35 Mio Einwohner, also etwa die Hälfte der Einwohner des alten Reichsgebiets. Die in kleinen ländlichen Orten wohnenden Einwohner tragen zur Verschmutzung der Flüsse nur wenig bei, weil bei ihnen das Abwasser gewöhnlich nicht zusammengefaßt abgeführt wird.

Nach der Sauerstoffrechnung vermindern die biologischen Vorgänge der Selbstreinigung den Sauerstoffbedarf eines Wassers bei 20 Grad Wasserwärme in 24 h um etwa 20% (2). Am zweiten Tage werden von dem Rest wieder 20%, also $20 \cdot 80 : 100 = 16\%$ des ursprünglichen Betrags abgebaut. Daraus folgt, daß nach 10 Tagen rund 90% der ursprünglichen Schmutzstoffe abgebaut sind und daß der volle Abbau erst nach etwa 20 Tagen Fließzeit erreicht wird. Da die deutschen Flüsse bei mittlerem Niederwasser eine Fließgeschwindigkeit von 0,6–0,8 m/s haben, legt das Wasser im Tag etwa 60 km und in 20 Tagen über 1000 km zurück. Der Einfluß einer Verschmutzung macht sich also auf sehr weite Entfernungen noch bemerkbar. Das Ausmaß des Einflusses nimmt aber ständig ab. Die Einwohner oberhalb liegender Flußstrecken dürfen nur mit einem Teilbetrag in die Rechnung eingesetzt werden, weil der Sauerstoffbedarf ihres Abwassers entsprechend der verstrichenen Fließzeit schon vermindert worden ist.

Das Abwasser der Industrie belastet die Flüsse vorwiegend mit zersetzlichen organischen Stoffen. Diese verhalten sich bei der Selbstreinigung ähnlich wie die Stoffe des städtischen Abwassers. Das Industrieabwasser wird

zur Berechnung in „Einwohnergleichwerten“ eingesetzt, indem der von dem Abwasser zugeführte „Sauerstoffbedarf“ in Beziehung gesetzt wird zum Sauerstoffbedarf des Abwassers eines städtischen Einwohners (54 g). Sogar manche Giftstoffe lassen sich so bewerten. So hat z. B. das als Flußverschmutzer bekannte Phenol beim biologischen Abbau im Gewässer einen Sauerstoffbedarf von 1,7 g für 1 g Phenol, und ein Betrieb, der mit seinem Abwasser täglich 1000 kg Phenol ablaufen läßt, bringt in den Fluß eine Abwasserlast, die dem ungereinigten Ab-

Klärwerke vermindern die Abwasserlast. Nach (2) kann die Abnahme des Sauerstoffbedarfs des Abwassers betragen: 5—10% bei feinen Sieben, 25—40% bei Absetzbecken, 65—95% bei Tropfkörpern, 85—95% beim Belebungsverfahren und 90—95% bei Bodenfiltern. Die vorhandenen Klärwerke können aus dem schon genannten Buche Brix-Imhoff-Weldert nach dem Stande von 1934 entnommen werden. Nach 1934 sind nur noch vereinzelt neue Klärwerke hinzugekommen. 1941 waren in Deutschland die folgenden Klärwerke in Betrieb (5):

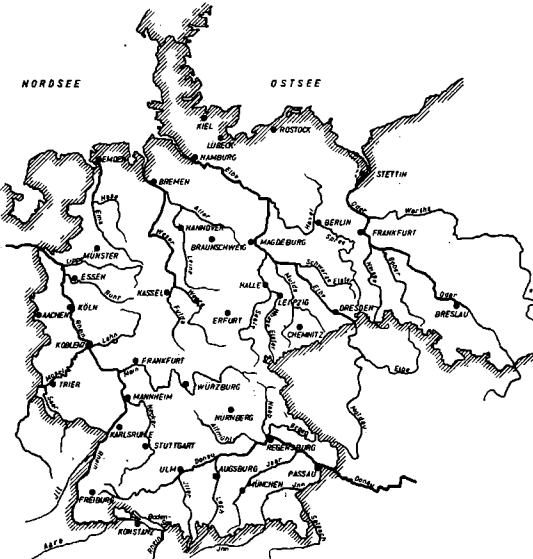


Bild 1: Die Flußgebiete Deutschlands

Siebe oder Rechen	für 5 Mio Einw.
Absetzbecken	„ 7 „ „
Biologische Reinigung durch:	
Rieselfelder	für 7 Mio Einw.
Fischteiche	„ 0,8 „ „
Tropfkörper	„ 1,4 „ „
Belebungsanlagen	„ 1,8 „ „

Klärwerke zus. für 23 Mio Einw.

Ohne Klärwerke waren:

Mit vollständigem

Entwässerungsnetz 5 „ „

Ohne vollständiges

Entwässerungsnetz 8 „ „

Zusammen ohne Klärwerke waren

13 Mio. städtische Einwohner.

Durch den Zusammenbruch 1945 sind auch bei den Städten unklare Verhältnisse eingetreten. Ein großer Teil der Klärwerke wurde zerstört, andere wurden wegen örtlicher Schwierigkeiten nicht mehr oder wenigstens nicht voll betrieben. In den vorläufigen Reinhaltungsplänen wird deshalb auf die Klärwerke überhaupt keine Rücksicht genommen, sondern es wird durchweg mit dem rohen, ungereinigten Abwasser gerechnet. Damit bleiben die Zahlen der Abwasserlast auf der sicheren Seite und die jetzt berechneten Zahlen werden später durch jedes wirklich betriebene Klärwerk gesenkt werden.

wasser von $1000 \cdot 1000 \cdot 1,7 : 54 = 31\,000$ Einwohnern entspricht (2).

Bei der heutigen Lage Deutschlands kann das Industrieabwasser nicht mit seinen Einwohnergleichwerten genau angegeben und nicht an den richtigen Stellen der Flüsse eingesetzt werden. Seit dem Zusammenbruch von 1945 ist die Industrie bis auf geringe Reste stillgelegt worden und es ist unbekannt, wo und in welchem Ausmaß sie wieder erstehen wird. Der Anteil der Industrie an der Abwasserlast kann deshalb vorläufig nur mit einem geschätzten Industriezuschlag ausgedrückt werden. Vor dem Kriege rechnete man in den Industriegebieten der Ruhr und Sachsens gewöhnlich damit, daß die Industrie etwa ebensoviel Schmutz zuführte wie die städtische Bevölkerung. In der Aufrüstungs- und Kriegszeit verschob sich das an vielen Stellen so, daß die Abwasserlast der Industrie ein Vielfaches der städtischen betrug (5). In den Reinhaltungsplänen, die für die nächsten Jahre gelten sollen, wird es genügen, die Industriebelastung durchweg mit 50% der Einwohnerbelastung anzusetzen, also halb so hoch wie sie vor dem Kriege in den Industriegebieten war. In den Aufzeichnungen haben alle Einwohnerzahlen den Industriezuschlag von 50% erhalten.

Die Ansprüche, die der Fluß an die Abwasserreinigung stellt, können örtlich sehr verschieden sein (2). Die höchsten Ansprüche stellt ein zur Wasserversorgung bestimmter Fluß. Ihm kann nur eine geringe Abwasserlast zugemutet werden. Auch öffentliche Badeplätze können besondere Ansprüche stellen. Im allgemeinen genügt es aber, den Fluß als Fischgewässer gesund zu erhalten und dafür zu sorgen, daß der Sauerstoffgehalt des Flußwassers niemals unter die 3—4 mg/L sinkt, die oben als Bedingung des Fischlebens angegeben worden sind.

Wenn man den Reinigungsgrad von Klärwerken vorzuschreiben hat, wird man künftig davon ausgehen, daß Rechen und Siebe nicht mehr gebaut werden sollten, weil sie 80—90% des organischen Schlammes weglaufen lassen, den wir als Rohstoff für Methan und für Humusdünger nicht entbehren können. Es bleibt dann nur die Wahl zwischen Absetzbecken und biologischer Reinigung. Da zwischen diesen beiden der Kostenunterschied sehr groß ist, interessiert es, die Grenze der Ab-

wasserlast zu kennen, von der an Absetzbecken nicht mehr ausreichen und biologische Reinigung gefordert werden muß. Wenn die Bedingung gestellt wird, daß der Sauerstoffgehalt des Flußwassers bei 20 Grad nicht unter 4 mg/L sinken darf, ergibt die Sauerstoffrechnung, daß für ein in Absetzbecken gereinigtes städtisches Abwasser eine Abwasserlast von 30 Einwohnern auf 1 L/s des Flußwassers noch zulässig ist. Biologische Reinigung wird in der Regel dann zu fordern sein, wenn die Abwasserlast größer ist als 30 Einwohner auf 1 L/s des mittleren Niederwassers (2).

an der Emschermündung 12,0 und an der holländischen Grenze 9,5 Einwohner auf 1 L/s des mittleren Niederwassers.

Aus den Zahlen der Abwasserlast mit höchstens 12 Einwohnern auf 1 L/s, also weit unter der Grenze von 30 E, geht hervor, daß die Städte am Rhein mit Absetzbecken auskommen und bestimmt keine biologischen Klärwerke brauchen, wenn nicht örtlich etwas besonderes vorliegt. Immerhin erweist sich der Rhein bei Mainz und besonders in seiner Endstrecke als stärker verschmutzt als bisher angenommen wurde, und es ist auch aus diesem

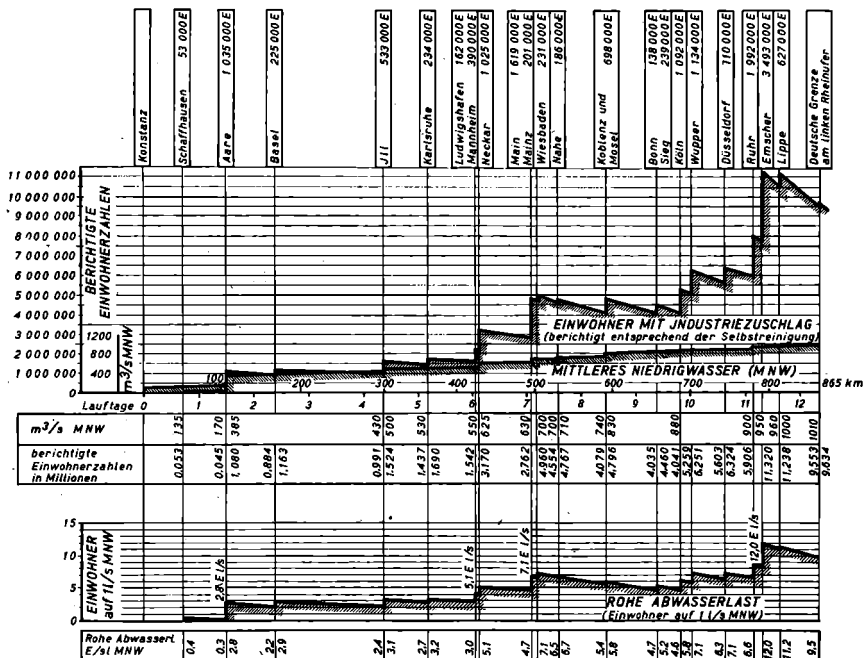


Bild 2: Die Abwasserlast des Rheins

Der Rhein (Bild 2) hat in seinem Einzugsgebiet von der Quelle bis zur holländischen Grenze 14 502 000 städtische Einwohner. Die Lauflänge von Konstanz bis zur holländischen Grenze ist 865 km. Diese Strecke wird bei mittlerem Niederwasser in 12 Tagen durchflossen.

Die für die Abwasserlast maßgebende Einwohnerzahl (also mit einem Industriezuschlag von 50% und mit den Abzügen entsprechend der Selbstreinigung) ist an der Aaremündung 1 080 000, bei Karlsruhe 1 690 000, bei Mannheim 3 170 000, bei Mainz 4 960 000, bei Köln 5 259 000, an der Emschermündung 11 320 000 und an der holländischen Grenze 9 634 000.

Das mittlere Niederwasser ist hinter der Aaremündung 385 m³/s und nimmt fast gleichmäßig bis zu bis zu 1010 m³/s an der holländischen Grenze.

Die Abwasserlast ist an der Aaremündung 2,8, bei Karlsruhe 3,2, bei Mannheim 5,1, bei Mainz 7,1, bei Köln 5,8,

Grunde (nicht nur wegen der Vergeudung des Schlammes als Rohstoff) erwünscht, daß die zahlreich vorhandenen Siebe und Rechen durch Absetzbecken ersetzt werden. Für die Industrie kommen höhere Auflagen wohl erst dann in Frage, wenn der jetzt angenommene Industriezuschlag von 50% der Einwohnerzahl später einmal wieder überschritten werden sollte.

Bei den Nebenflüssen des Rheins, besonders dem Neckar, dem Main, der Ruhr, der Emscher und der Lippe, sind die Abwasserlasten im einzelnen noch nicht ermittelt. Sie sind meist höher als im Rhein und dementsprechend sind auch bei vorhandenen Klärwerken vereinzelt weitergehende Reinigungsverfahren angewandt. An der Belastung des Rheines selbst wird dadurch aber nur wenig geändert.

Die Weser (Bild 3) hat in ihrem Einzugsgebiet 2 156 000 städtische Einwohner. Die Lauflänge von Münden bis

Bremen ist 370 km. Die Strecke wird bei mittlerem Niederwasser in 6 Tagen durchflossen.

Die für die Abwasserlast maßgebende Einwohnerzahl (also mit dem Industriezuschlag von 50 % und mit den Abzügen entsprechend der Selbstreinigung) ist bei Münden 540 000, bei Minden 770 000, an der Mündung der Aller 1 400 000 und bei Bremen 1 640 000.

Das mittlere Niederwasser ist bei Münden 35, bei Minden 59, an der Mündung der Aller 105 und bei Bremen 110 m³/s.

Die Abwasserlast ist bei Münden 15,4, bei Minden 13,1, an der Aller mündung 13,3 und bei Bremen 14,9 Einwohner auf 1 L/s des mittleren Niederwassers.

4 142 000, bei Magdeburg 4 158 000, an der Havelmündung 3 606 000 und bei Hamburg 4 209 000. Der Einfluß der Stadt Berlin macht sich in der Einwohnerlast der Elbe nur wenig geltend, weil die Schmutzstoffe dieser Stadt in der etwa elf Tage langen Laufzeit in der Havel auch dann bis auf geringe Reste abgezehrt werden würden, wenn Berlin keine Rieselfelder hätte.

Das mittlere Niederwasser ist an der tschechischen Grenze 65, bei Dresden 72, an der Muldenmündung 135, an der Saalemündung 175, bei Magdeburg 180, an der Havelmündung 245 und bei Hamburg 270 m³/s.

Die Abwasserlast ist an der tschechischen Grenze 23,0, bei Dresden 30,8, an der Muldenmündung 16,2, an der

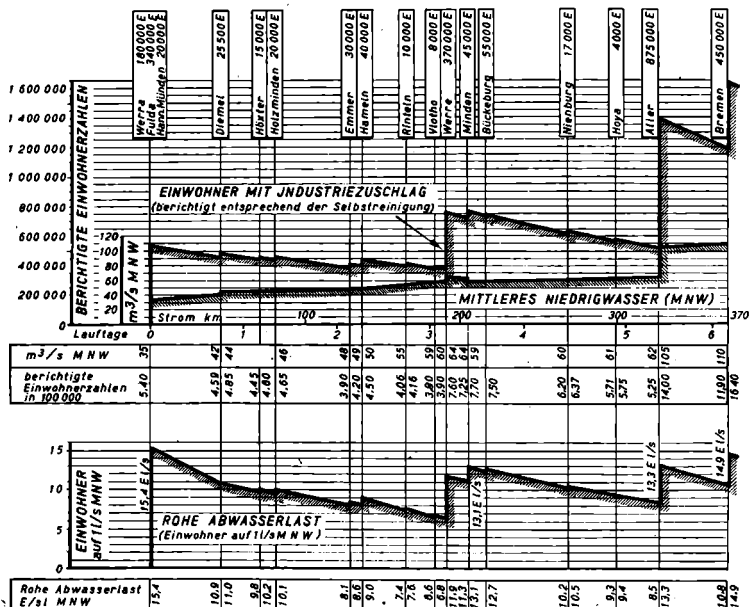


Bild 3: Die Abwasserlast der Weser

Aus den Zahlen der Abwasserlast sieht man, daß die Weser auf ihrer ganzen Länge etwas stärker belastet ist als der Rhein auf seiner am stärksten belasteten Endstrecke. Immerhin bleibt die Abwasserlast mit höchstens 15,4 E noch weit unter der Grenze von 30 E, wo biologische Reinigung des städtischen Abwassers verlangt werden müßte.

Die Elbe (Bild 4) hat in ihrem Einzugsgebiet 14 134 600 städtische Einwohner. Die Lauflänge von der tschechischen Grenze bis Hamburg ist 626 km. Sie wird bei mittlerem Niederwasser in 12 Laufstagen durchflossen.

Die für die Abwasserlast maßgebende Einwohnerzahl (also mit dem Industriezuschlag von 50 % und mit den Abzügen entsprechend der Selbstreinigung) ist an der tschechischen Grenze 1 502 000, bei Dresden 2 227 000, an der Saalemündung 2 191 000, an der

Saalemündung 23,6, bei Magdeburg 23,1, an der Havelmündung 14,7 und bei Hamburg 15,6 Einwohner auf 1 L/s des mittleren Niederwassers.

Die Zahlen der Abwasserlast zeigen, daß die Elbe von den großen Flüssen Deutschlands weitaus am meisten mit Abwasser belastet ist. Der Fluß kommt schon aus der Tschechoslowakei mit der hohen Abwasserlast von 23 E auf 1 L/s an. Dabei ist noch sehr zu bezweifeln, daß der Industriezuschlag von nur 50 % zur Einwohnerbelastung hier ausreicht. In der Tschechoslowakei ist die Industrie im Kriege nicht zerstört, sondern noch weiter ausgebaut worden. Es wird auch berichtet, daß die Industrieerzeugung rasch ansteigt. Vermutlich ist die Zahl 23 E jetzt schon überschritten.

Jedenfalls ergibt auch schon die mit dem Industriezuschlag 50 % durchgeführte Rechnung, daß die Ab-

wasserlast der Elbe bei Dresden mit 30,8 E die Grenzzahl 30 überschreitet, bei der Absetzbecken nicht mehr ausreichen und biologische Reinigung des städtischen Abwassers gefordert werden muß. (Dresden hat bis jetzt nur eine Siebanlage.) Auf der weiteren Strecke der Elbe sind dann noch Höhepunkte der Abwasserlast an der Saalemündung und bei Magdeburg, doch wird die Grenzzahl 30 E nicht mehr erreicht, und bei Hamburg ist die Abwasserlast mit 15,6 E so weit abgesunken, daß Absetzbecken bestimmt ausreichen werden, soweit nicht besondere örtliche Ansprüche vorliegen.

Für die Nebenflüsse der Elbe, namentlich die Mulde, die Weiße Elster und die Saale, gilt, wie bei den Neben-

266 000, an der Lechmündung 579 000, bei Regensburg 693 000 und an der Innmündung 845 000.

Das mittlere Niederwasser ist im Quellgebiet bis Sigmaringen durch die Donauversinkung beeinflusst. Es ist bei Ulm 36, an der Lechmündung 115, bei Regensburg 170 und an der Innmündung 545 m³/s.

Die Abwasserlast ist bei Ulm 7,1, an der Lechmündung 5,0, bei Regensburg 4,0 und an der Innmündung 1,6 Einwohner auf 1 L/s des mittleren Niederwassers.

Nach den Zahlen der Abwasserlast ist die Donau weit aus der reinsten der großen deutschen Flüsse. In der Hauptstrecke und besonders an der österreichischen Grenze ist die Abwasserlast geringer als auf irgendeiner Strecke der anderen deutschen Flüsse.

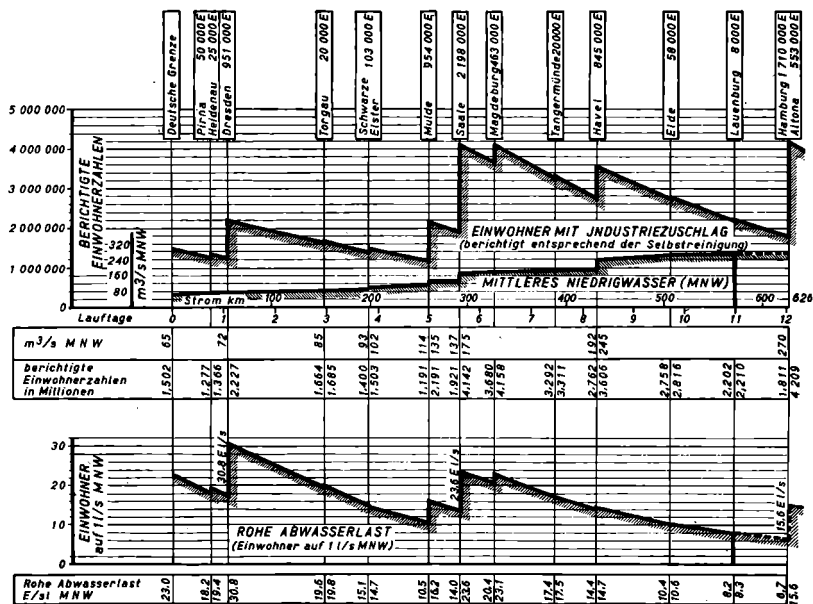


Bild 4: Die Abwasserlast der Elbe

flüssen des Rheins, daß sie höhere Abwasserlasten haben, die zum Teil durch bessere Klärwerke ausgeglichen sind. Die Havel wäre durch die Stadt Berlin sehr stark belastet, wenn dort nicht Rieselfelder und andere biologische Klärwerke betrieben würden.

Die Donau (Bild 5) hat in ihrem Einzugsgebiet von der Quelle bis zur österreichischen Grenze am linken Donauufer 1 840 000 städtische Einwohner. Die Laufstrecke von Donaueschingen bis zur österreichischen Grenze ist 587 km. Diese Strecke wird bei mittlerem Niederwasser in 8 Laufstagen durchflossen.

Die für die Abwasserlast maßgebende Einwohnerzahl (also mit dem Industriezuschlag von 50% und mit den Abzügen entsprechend der Selbstreinigung) ist bei Ulm

Zusammenfassung:

Unter der Abwasserlast eines Gewässerpunktes wird die Zahl der oberhalb wohnenden städtischen Einwohner verstanden, die auf einen Sekundärliter des mittleren Niederwassers kommen. Die Einwohnerzahl wird vermehrt um die Einwohnergleichwerte der Industrie und vermindert entsprechend der Selbstreinigung.

Die Hauptverwaltung der Binnenschifffahrt hat für die vier großen deutschen Ströme die Abwasserlasten berechnet und danach vorläufige Reinhaltungspläne aufgestellt. Wegen der ungeklärten Lage der Industrie konnte das Industrieabwasser vorläufig nur mit einem gleichmäßigen Zuschlag von 50% zur Einwohnerbelastung eingesetzt werden.

Für die Klärwerke der an den vier Strömen liegenden Städte hat die Sauerstoffrechnung ergeben, daß Absetzbecken, also ohne weitergehende biologische Reinigung, ausreichen, mit Ausnahme einer Flußstrecke der Elbe bei Dresden.

Die jetzt noch vorherrschenden Siebe und Rechen sollten durch Absetzbecken ersetzt werden. Der Schlamm kann

dann als wertvoller Rohstoff für Methangas und Humusdünger verwendet werden.

Für die Nebenflüsse der vier Ströme und die Küstenflüsse werden die Reinhaltungspläne in gleicher Weise bearbeitet werden. Dabei müssen aber in manchen Fällen noch genauere Feststellungen über die Industrie abgewartet werden.

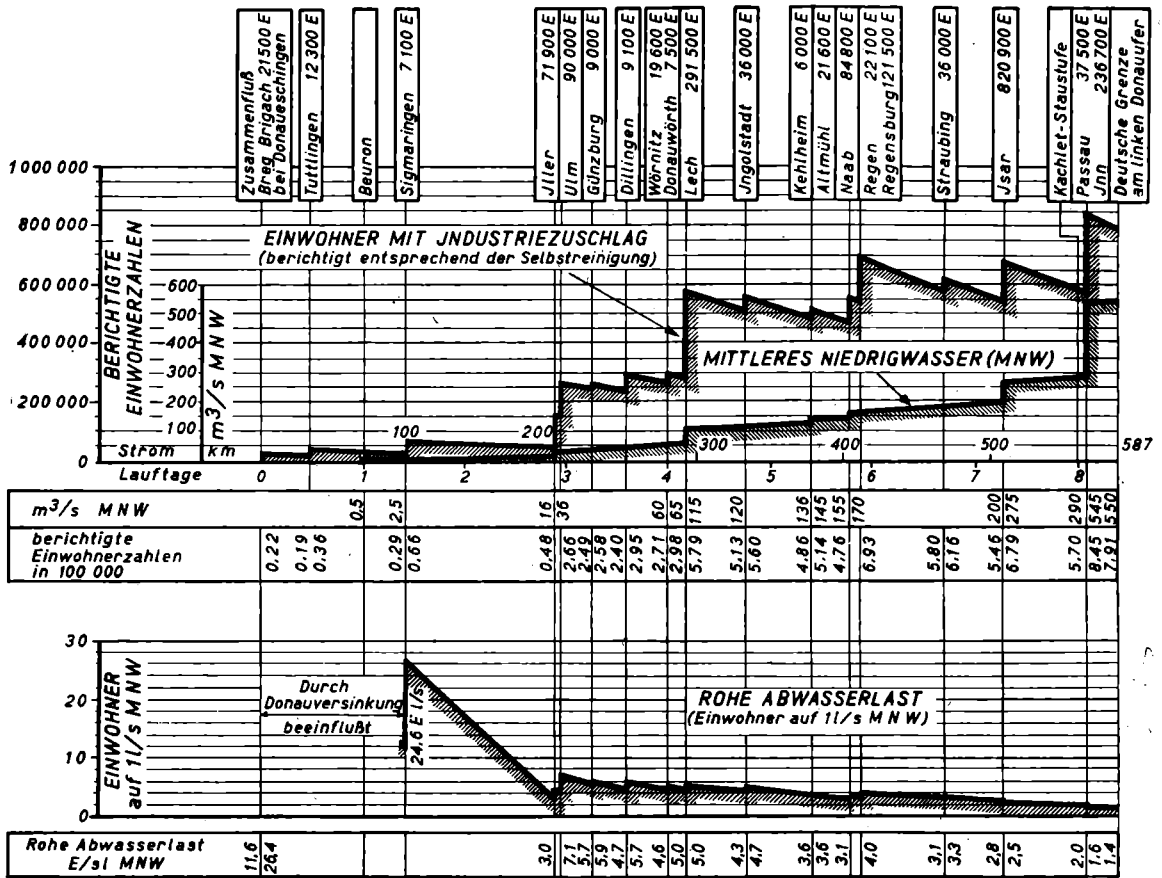


Bild 5: Die Abwasserlast der Donau

Schriftenverzeichnis:

- Hauptverwaltung der Binnenschifffahrt, Windelsbleiche bei Bielefeld, Denkschrift über die Planung, Lenkung und Durchführung der Reinhaltung der Gewässer, September 1946.
- Imhoff, Taschenbuch der Stadtentwässerung, Leibniz-Verlag (bisher R. Oldenbourg), München, 10. Aufl. 1943, 11. Aufl. in Arbeit.
- Imhoff, Die deutsche Abwasserwissenschaft in der Kriegszeit, Gesundheitsingenieur 1947, Heft 3.
- Bandt, H. J., Fischsterben — Statistik 1935—1946, Beiträge zur Wasserchemie, aus dem Flußwasser-Untersuchungsamt Magdeburg, Heft 1, 1946.
- Imhoff, Die Aufgaben der Abwasserbehandlung nach dem Kriege, Gesundheitsingenieur 1941, S. 569, und (ausführlicher) im Archiv für Wasserwirtschaft, Heft 66 (1942).

- 4. MAI 1949