Mitt. POLLICHIA	69	27–81	4 Abb.	28 Tab.	Bad Dürkheim/Pfalz 1981
					ISSN 0341–9665

Neek MAQSUD

Belastung und Verschmutzung der Oberflächengewässer im Vorderen Odenwald und in der Rhein-Main-Ebene

Kurzfassung

MAQSUD, N. (1981): Belastung und Verschmutzung der Oberflächengewässer im Vorderen Odenwald und in der Rhein-Main-Ebene. – Mitt. POLLICHIA, **69**: 27–81, Bad Dürkheim/Pfalz.

An verschiedenen Standorten des Vorderen Odenwaldes und der Rhein-Main-Ebene wurden Untersuchungen über die Stoffbelastung und Verschmutzung in den Oberflächengewässern in den Jahren 1978–1980 durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß im Einzugsbereich von Ballungszentren und Industrieansiedlungen sowie im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzflächen als Folge anthropogener Emissionen, anthropogen verursachtem Stoffaus- und -eintrag, kommunaler und industrieller Abwassereinleitungen, zahlreiche organisch-anorganische, chemisch-mineralische Belastungsstoffe in den Gewässern angereichert werden. Besonders auffällig ist die Anreicherung der folgenden chemischen Inhaltsstoffe und die zunehmende Erhöhung der chemischen Kennwerte in Wässern:
Ammonium (NH_4^+), Phosphat (PO_4^{3-}), Nitrit (NO_2^-), organischer Kohlenstoff, gelöst (DOC), Oxidierbarkeit ($KMnO_4$-Verbrauch), biochemischer und chemischer Sauerstoffbedarf (BSB_5 u. CSB) und die Schwermetalle Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Blei (Pb), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Nickel (Ni), Zink (Zn) im Wasser und in den Flußsedimenten. Sie bilden in Verbindung mit den – zur Charakterisierung der Wassergüte notwendigen – spezifischen Leitorganismen wichtige Wasser-, Sediment-, Qualitäts- und Quantitätsparameter.

In den untersuchten Gewässern treten die höchsten mittleren Gehalte für die genannten Stoffe im Mittel- und Unterlauf auf. Gegenüber den nationalen und internationalen Standard-, Richt- und Grenzwerten sind vor allem Ammonium- und Phosphatgehalte in hohen bis sehr hohen Maßen angereichert. Der biochemische und chemische Sauerstoffbedarf liefert ebenso als Indikator der organisch-anorganischen Wasserinhaltsstoffe Daten, die weit über den zulässigen Grenzwerten liegen. Die Schwermetalluntersuchungen an den Flußsedimenten weisen für die z. T. hochtoxischen Schwermetalle gegenüber dem Tongesteinsstandard als geogene Bezugsbasis hohe Anreicherungsfaktoren auf. Damit erweist sich die Bewertung der Schwermetallkonzentrationen als eine geeignete Methode zur Quantifizierung des Belastungsgrades der Flußsedimente bzw. der Flußwässer.

Aufgrund der vorgelegten hydro- und geochemischen Analysendaten und des aus den makro-mikrobiologischen Befunden der Wasser-Leitorganismen errechneten Saprobitäts-Indexes, sind die untersuchten Gewässer als mehr oder weniger stark verschmutzt zu charakterisieren. Die Güteklassifizierung dieser Gewässer reicht abschnittsweise von kritisch belasteter, alpha-betamesosaprober Stufe (Güteklasse II–III) bis übermäßig verschmutzter, polysaprober Stufe (Güteklasse IV). Eine vorwiegend geringe Verschmutzung weisen die Fließgewässer nur in den Oberläufen auf. In der relativ trockeneren abflußärmeren Jahreszeit, in der die natürliche Wasserführung weitgehend unterbleibt, stellen allerdings viele Haupt- und Nebenvorfluter wie Rodau, Schwarzbach, Modau, Winkelbach und Weschnitz im Bereich der Mittel- und Unterläufe zum erheblichen Teil nur noch mit Belastungs- und Schadstoffen angereicherte Abwässerkanäle dar.

Abstract

MAQSUD, N. (1981): Belastung und Verschmutzung der Oberflächengewässer im Vorderen Odenwald und in der Rhein-Main-Ebene [Pollution and contamination of surface water of "Vorderer Odenwald" and "Rhine Main-Plain"]. – Mitt. POLLICHIA, **69**: 27–81, Bad Dürkheim/Pfalz.

The pollution and contamination of surface water in the different areas (test points) of "Vorderer Odenwald" and "Rhine Main-Plain" have been studied from 1978 to 1980. It could be proved that quite a number of organic and inorganic minerals and chemicals as polluting elements have been acccumulated in the waters of both industrial and agricultural areas as a result of anthropogeneous emission, due to runoff and transfer of matter in comunal and urban waters in the respective regions.

Partycularly the accumulation and the gradual increment of the following chemicals in water have been found to be remarkable: ammonium (NH_4^+), phosphate (PO_4^{3-}), nitrite (NO_2^-), soluble organic carbon (DOC), degree of oxidation ($KMnO_4$-consumption), biochemical and chemical oxygen demand (BSB_5 and CSB) as well as the heavy metals like cadmium (Cd), chromium (Cr), lead (Pb), copper (Cu) mercury (Hg), nickel (Ni), zinc (Zn), and silver (Ag) have been found in high concentration in the river sediments.

All these elements supply together with the specific indicator organism, which are necessary for the characterisation of the quality of water, the most important water-, sediment-, quality- and quantity-parameter. The highest average concentration of the elements mentioned above have been detected in the middle and lower part of the course of the investigated waters. Particularly the concentrations of both ammonium and phosphate have been proved to be very high in comparison to the values given by the national and international standards. The amounts of both biochemical and chemical oxygen demand as indicator supply datas which lie remarkably higher than the standard values. The investigation for the river sediments show in certain cases for toxical heavy metals higher enrichment factors than the geochemical background (i.e. shale standard), which in its turn is generally accepted as a geogeneous reference basis. Therefore, the evalution of the concentration of the heavy metals can be well accepted as a specific method of the quantification of pollution of river sediments and waters. On the basis of the hydrological and geochemical analytic datas in connection with the calculated saprobic index of the biological result of the indicator organism, the investigated water could be characterised as partly or totally polluted. Therefore, the investigated waters can be classified according to their quality from critically polluted, alphabetamesosaprobic stage (quality II–III) even to extremly contaminated, polysabrobic (quality IV) in certain cases. As a rule running waters in their upper course have been found to the less contaminated while the middle and lower course of the rivers: Rodau, Schwarzbach, Modau, Winkelbach and Weschnitz can be characterized as highly polluted and contaminated waste water canals in the relativly dry seasons of the year.

Résumé

MAQSUD N. (1981): Belastung und Verschmutzung der Oberflächengewässer im Vorderen Odenwald und in der Rhein-Main-Ebene [Substances et pollution des eaux superficielles du Vorderer Odenwald et de la plaine du Rhein-Main]. – Mitt. POLLICHIA, **69**: 27–81, Bad Dürkheim/Pfalz.

De 1978 à 1980, en plusiers endroits du Vorderer Odenwald et de la plaine du Rhein-Main, il a été fait des analyses concernant la concentration de substances et la pollution des eaux superficielles. On a pu constater que dans les centres urbains et les agglomérations industrielles, des substances organiques et anorganiques, des substances chimiques et minérales, dûes aux émissions anthropogènes, aux ruissellements de substances, aux eaux usées communales et industrielles ont été concentrées dans les rivières et les ruisseaux.

Ce qui frappe surtout, c'est la concentration des substances chimiques et l'augmentation croissante des paramètres chimiques suivants dans l'eau:
ammonium (NH_4^+), phosphate (PO_4^{3-}), nitrite (NO_2^-), carbone organique dissout (DOC) oxydabilité (taux de consommation de $KMnO_4$) quantité nécessaire en oxygène biochimique et chimique (BSB_5 et CSB) et métaux lourds: cadmium (Cd), chrome (Cr), plomb (Pb), cuivre

(Cu), mercure (Hg), nickel (Ni), zinc (Zn) et argent dans les sédiments des rivières. Ils constituent avec les organismes indicateurs spécifiques, nécessaires pour caractériser la qualité de l'eau, d'importants paramètres de qualité et de quantité des sédiments de l'eau.

Dans les cours d'eau analysés, on relève les taux moyens les plus élevés dans les cours moyens et les cours inférieurs. En comparaison des taux standards et limites internationaux et nationaux c'est surtout la concentration d'ammonium et de phosphate qui est assez élevée ou même très élevée. La quantité nécessaire en oxygène biochimique et chimique est également un indicateur pour des substances organiques et anorganiques de l'eau et fournit des valeurs qui dépassent de loin les taux limites. Les analyses concernant les métaux lourds dans les sédiments des rivières montrent des facteurs de concentration élevés pour ces métaux lourds en partie hautement toxiques par rapport à la norme pour l'argile comme référence géogène.

Il en résulte que l'évaluation de la concentration en métaux lourds est une méthode appropriée pour le taux de pollution respectivement des sediments et des eaux des rivières. Etant donnés les résultats des analyses hydrochimiques et géochimiques, et l'indice de saprobité résultant des analyses macro- et microbiologiques des organismes indicateurs de l'eau, on peut caractériser les rivières analysées comme plus ou moins polluées. Le classement qualificatif de ces rivières va d'un seuil critique alpha-mesosaprob (classe de qualité II–III) à un niveau polysaprob particulièrement pollué. Un taux peu élevé de pollution est enregistré dans les eaux courantes, uniquement dans les cours supérieurs. Pendant les périodes de pluviosité et d'écoulement minimaux où le débit naturel de l'eau est largement réduit, de nombreuses rivières principales et de nombreux affluents comme la Rodau, le Schwarzbach, la Modau, le Winkelbach et la Weschnitz ne sont plus dans leurs cours moyens et inférieurs que des égouts riches en substances nocives.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 30
2. Landschaftsökologisch-sozioökonomische Rahmenbedingungen 31
2.1. Das Untersuchungsgebiet 31
2.1.1. Der Naturraum und seine Bewertung 31
2.1.2. Klima und Abflußverhältnisse 37
2.1.3. Bevölkerungs- und Wirtschaftspotential 39
3. Material, Freiland- und Laboruntersuchungsmethoden 43
3.1. Material und Auswahl von Untersuchungsmethoden 43
3.2. Bewertungsgrundlagen von Analysendaten 47
3.2.1. leichtabbaubare Stoffe 48
3.2.2. schwerabbaubare Stoffe 51
3.2.3. Salze 51
3.2.4. Schwermetallverbindungen 52
4. Untersuchungsergebnisse 57
4.1. Hydrophysikalisch-chemischer, hydrochemisch-biochemischer und biologisch-ökologischer sowie bakteriologischer Gütezustand der Gewässer 57
4.2. Geochemisch-sedimentologischer Belastungszustand der Gewässer und Sedimente 68
4.2.1. Schwermetallbelastung im Flußwasser 69
4.2.2. Schwermetallbelastung in Flußsedimenten 69
5. Literaturverzeichnis 77

„Wir sind verantwortlich für das, was wir tun,
aber auch für das, was wir nicht tun" Voltaire

1. Einleitung

Eines der Ziele geowissenschaftlich-landschaftsökologischer Forschung ist die genauere und detailliertere Analyse von Ökosystemen. Dabei sind – wie die folgenden Untersuchungen aufzeigen werden – je nach Intensität der anthropogenen Beeinflussung zu unterscheiden die urban-industriellen Ökosysteme, Agrarökosysteme und naturnahe sowie – wenn auch außerordentlich spärliche – natürliche Ökosysteme.

Die wesentliche Belastungs- und Schadstoffquelle auch für andere, sowohl aquatisch-fluviatile als auch terrestische Ökosysteme stellen die urban-industriellen Ökosysteme dar. Hier sind die Menschen den vielfältigen Schadwirkungen, die von Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsemissionen ausgehen, ausgesetzt. Im Bereich der Agrarökosysteme ist einmal die anthropogen bedingte Beeinträchtigung der Produktion von Nutzpflanzen und Tieren durch die Belastungs- und Schadstoffe, zum anderen durch Einleitungen von außerordentlich hohen Mengen an landwirtschaftlichen Produktionshilfssubstanzen wie Schädlingsbekämpfungsmittel, Düngemittel und sonstige Agrochemikalien in anderen, vor allem in den fluviatilen Ökosystemen zu berücksichtigen. Da die genannten Ökosysteme ineinander übergreifen, ist die Stabilität, d. h. die Fähigkeit einer Selbstregulation bis zur Einstellung des ökologischen Gleichgewichtes jedes einzelnen Ökosystems, die Grundvoraussetzung für die Erhaltung der Stabilität anderer Ökosysteme und damit für den Schutz der Ressourcen Luft, Boden und Wasser als integrale Bestandteile dieser Systeme vor Belastungs- und Schadstoffen.

Bei allen ökologischen Systemen, vor allem den fluviatilen Ökosystemen und insbesondere den Oberflächengewässern handelt es sich um ein offenes, störanfälliges System, das nur bis zu einem bestimmten, kritischen Grenzwert, d. h. der Grenze der Fähigkeit der Selbstregulation bzw. der Grenze der Selbstreinigungskraft durch anthropogene Schmutz- und Schadstoffe belastbar ist. Wird jedoch diese Fähigkeit zur Selbstregulation und damit die Belastungsgrenze – wie in den untersuchten Oberflächengewässern des Vorderen Odenwaldes und in der Rhein-Main-Ebene mehrfach festzustellen ist – überschritten, so können erhebliche und nachhaltige, ja sogar irreversible ökologische Schäden eintreten.

Gemäß dieser Feststellung ist das Schlüsselproblem der Wasserwirtschaft mehr und mehr eine Frage der Gewässergütewirtschaft, oft vor der Gewässermengenwirtschaft. Dieser Sachverhalt ist um so mehr zu verstehen, da wir in einer Zeit des wirtschaftlichen und industriellen Wachstums leben, in der stets ein erheblicher Rückstand gegenüber der Reinhalteforderung zunehmend oder in einigen Standorten mehr oder weniger gleichbleibend, stark verunreinigter Oberflächen- und Grundwässer zu registrieren ist. Die unterschiedlichste Gewässernutzung als Brauch- und Trinkwasser im industriellen und häuslich-städtischen Bereich als auch in landwirtschaftlichen Anbauflächen und Betrieben sowie die Nutzung im Bereich von Erholung, Sport und zur Landschaftsästhetik ist daher gezwungenermaßen von der Art der Gewässergüte abhängig. Neben diesen ökologisch wichtigen Funktionen dienen die Gewässer aber auch der Abwasserbeseitigung und dem Abwassertransport. Da die meisten der oben genannten Wassernutzungen vielfach gleichzeitig ausgeübt werden, ist die Beanspruchung der Gewässer des Untersuchungsgebietes an zahl-

reichen Standorten über eine Belastungsgrenze so weit hinaus gegriffen, daß sie der weiteren Nutzung ausgeschlossen bleiben müssen. In manchen anderen Regionen des Untersuchungsgebietes – trotz einem bereits mehr oder weniger großen Teil der sogenannten Mindestanforderung der Gewässerwirtschaft entsprechenden Behandlung industriell-gewerblicher und häuslicher sowie landwirtschaftlicher Abwässer – sind eine Reihe von Gewässern auf ihren zahlreichen Laufstrecken stark verschmutzt. Aus dieser umweltzielorientierten Bedeutung der Wasserwirtschaft ergeben sich nach wie vor berechtigte Anforderungen der Gewässerreinhaltung, denen wir in unseren Gewässern trotz der „positiven" Bilanz der Reinigungsleistung in der Statistik für Abwasserwesen nicht in gebührenden Maßen nachgekommen sind. Demnach, um diese gesellschaftspolitischen Aufgaben zu lösen, müssen die Länder Hessen und Baden-Württemberg, denen die Reinhaltung der Gewässer und ihre ständige Güteüberwachung obliegt, noch mehr als bis jetzt von noch strengeren Wasserhaushaltsgesetzen und Wasserabgabegesetzen nach dem Verursacherprinzip Gebrauch machen.

2. Landschaftsökologisch-sozioökonomische Rahmenbedingungen

2.1. Das Untersuchungsgebiet

2.1.1. Der Naturraum und seine Bewertung

Das Untersuchungsgebiet, Teil des Rhein-Main-Gebietes und damit ein Teil des größten Industrieballungs- und Verdichtungsraumes Mitteleuropas mit seinen überwiegenden Umland-Verstädterungsregionen, ist daher als Naturraum einer Reihe von Umweltbelastungen, insbesondere den Gewässerbelastungen, ausgesetzt. Diesen Sachverhalt besser zu verstehen, setzt eine Ansprache und Bewertung des Naturraumes mit dessen integralen Bestandteilen wie Gesteins-, Relief-, Boden-, Klima-, Hydrologie-Verhältnisse, ihre Nutzungsmöglichkeit bzw. ihre Belastbarkeit voraus. Denn ohne die Kenntnisse über die Grenze der Belastbarkeit des Naturraumes wäre es weder den Gemeinden, Städten und den Länderregierungen noch den einzelnen Menschen möglich, die in der Vergangenheit und bis zur Gegenwart hervorgerufenen und anhaltenden Umweltschäden zu vermeiden (vgl. SEMMEL 1981 a u. b, MAQSUD 1981). Diese Überlegung gilt ebenso für die Belastbarkeit und Entwicklung der Kulturlandschaft. Der untersuchte Naturraum mit seinem unterschiedlichen Naturpotential umfaßt zum einen das Nördliche Oberrhein-Tiefland mit den Landschaftseinheiten des Hessischen Rieds, das die nördliche Oberrhein-Niederung und die Hessische Rhein-Ebene einschließt sowie die Bergstraße, zum anderen den Vorderen Kristallinen Odenwald und das ihm nach Norden vorgelagerte Rhein-Main-Tiefland mit Meßler- und Reinheimer-Hügelland und der daran anschließenden Untermain-Ebene.

Der Kristalline oder Vordere Odenwald bildet die nordöstlichen Randgebirge des Oberrheingrabens mit kristallinem Doppelkern, „Bergsträßer Odenwald" – „Böllsteiner Odenwald". Die beiden Kerne zeichnen sich durch petrographisch strukturelle Unterschiede aus und sind längs der prävariscisch angelegten Schwächezone, der „Otzbergspalte" voneinander getrennt. Das kristalline Grundgebirge und seine west- und nördlichen Randgebiete, die der saxothüringischen Zone des Variscikums angehören, besitzt in seiner heutigen Bloßlegung eine Dreiecksform, deren südliche

Spitze bei Heidelberg endet. Die westliche Seite wird durch einen langen, fast N-S-ziehenden, mehr oder weniger steilen Abbruch zum Oberrheingraben bzw. zur Oberrheinebene, sowohl geologisch als auch naturräumlich scharf angedeutet, während der Osten und Südosten von den Schichten des Buntsandsteins (Sandstein-Odenwald) überlagert wird. Deren westliche Begrenzung wird teils von einer Schichtstufe, teils aber von einer Bruchstufe bzw. Bruchlinienstufe gebildet. Die Grenze der beiden Komplexe verläuft in N-NE-Richtung, in einer Linie um Heidelberg über Waldmichelbach – Heubach nach Schaafheim, wo sie im östlichen Gebiet der „Reinheimer-Bucht" bzw. „Reinheimer-Hügelland" nicht mehr zu verfolgen ist. Im SSW des Kristallins bilden die Porphyrmassen des Rotliegenden von Dossenheim-Schriesheim einen bedeutenden geologisch-morphologischen Eckpfeiler. Im N taucht das kristalline Grundgebirge längs der Linie Darmstadt–Roßberg und Groß-Umstadt unter das Rotliegende vom Messeler Hügelland und in dem Rheinheimer Hügelland stellenweise unter Buntsandstein, zum größten Teil unter tertiäre und quartäre Sedimente. Hier haben neben Sedimenten des Rotliegenden tertiäre und insbesondere in der Gersprenz-Niederung und im Raume Reinheim, Groß-Biberau, Groß-Umstadt, quartäre Ablagerungen eine landschaftsprägende und große Verbreitung. Die quartären Sedimente, vor allem die äolischen Löß-Sedimente, Sande, fluviatile Schotter-Akkumulationen und Auelehme haben als Ergebnisse der pleistozänen und holozänen Verwitterungs-, Abtragungs- und Ablagerungsaktivität ebenso ihre große Verbreitung im Innern des Kristallinen Odenwaldes, vorwiegend in den Becken- und Talräumen der Weschnitz und der Gersprenz, an der Bergstraße sowie in der Rhein-Main-Ebene. Zu den weitverbreiteten quartären Sedimenten gehören die periglazialen Schutt-Sedimente, die vielerorts die im folgenden hervorzuhebenden Grundgebirgsgesteine der Gebirgshänge und -Rücken oberflächlich bedecken.

Zu den Hauptkomponenten der Grundgebirgs-Gesteinsmassen, die sich am Aufbau des Kristallinen Odenwaldes beteiligen, gehören ältere, während der variscischen Gebirgsbildung tektonisch stark beanspruchte, polymetamorphe Sedimente, wie die verschiedenen Typen von Schiefer, Biotit-Hornblendegneise und eine ganze Reihe von Injektions- und Intrusionsgesteinen wie Gabbros, Diorite und Granit-Granodiorite.

Die Entblößung des Grundgebirges von den sedimentären Ablagerungen des Rotliegenden, der Schichtenfolge der Trias und eventuell des Jurasystems beginnt im äußersten Norden schon vor dem Mitteleozän und in südlicher Richtung ab Mittel- und Oberoligozän. Im Oberoligozän, vor allem im Miozän, haben wir bereits die etwaigen Grundzüge des Reliefs und den heutigen „Umriß" der Gebirgslandschaft vor uns. Danach folgte eine Periode der Verwitterung und Abtragung von Norden nach Süden und Südosten fortschreitend, verbunden mit der weiteren Aufdeckung des Kristallins bis zum Unter-/Oberpliozän (Maqsud 1970).

Mit dem Ausgang des Tertiärs erfährt das Randgebiet eine neuerliche Hebung, die möglicherweise bis ins Pleistozän hinein andauerte. Verbunden hiermit ist die stellenweise erosive Zerfurchung der Schrägschollenkante des Bergsträßer Raumes sowie die starke Eintiefung der Täler im Innern des abgetragenen „Odenwald-Schildes". Während des Pleisto-Holozäns bis zur Gegenwart folgte erneut Verwitterung und verstärkte Hangabtragung, die in ihrem Ausmaß und aus der Kombination ihrer formenbestimmenden Kräfte das eigentliche geomorphologische Bild der hier zu untersuchenden, reichgegliederten, vom Gestein abhängigen Denudationskuppen- und Rückenlandschaft geprägt haben.

Somit hängen Form und Gestalt der Oberflächenformen sehr früh an einer Flexur der herausgehobenen und wiederaufgedeckten Sedimentsschichten des Kristallinen Odenwaldes, wie die Ergebnisse der neueren Forschungen (GRAUL 1963; MAQSUD 1970) dies aufzeigen, mehr von dem variscischen Bau und der Struktur des wechselvollen Gesteins mit unterschiedlicher Widerständigkeit sowie den klimagenetischen Faktoren der Verwitterung und differenziellen Hangabtragung als von jüngerer Tektonik ab, wenn auch letztere, vor allem in den Randgebieten des Kristallinen Odenwaldes, zumindest in der Anlage von Talrichtungen und den stellenweise gestaffelten Randerhebungen, ebenso nicht ohne geringe Bedeutung sein kann.

Dem starken Wechsel des geologischen und morphologischen Baues stehen sowohl in großräumlicher als auch in lokalräumlicher Anordnung ein differenzierter Substrataufbau, Groß- und Kleingliederung des Reliefs, insbesondere die feinere Ausgestaltung der Hänge und ihre natürliche Ausstattung gegenüber.

Infolge der starken Reliefgliederung und der vielfach verzweigten Tallandschaften sowie als Folge der klimatischen Ungunst, niederen Temperaturen sowie der relativ schlechten Bodenqualität ist der vorwiegend in 300–600 m Höhe gelegene Vordere Odenwald ein Buchenwaldgebiet, in dem Buchen-und Edellaubmischwald eine größere Verbreitung besitzt. Hier zeichnet sich das Gebirgsland durch flachgrundige Böden wie Ranker-Braunerde, Braunerde-Ranker, Fels-Ranker und Solifluktionsschutt-Ranker und -Braunerde, mit geringerem, der Natur-und vor allem den Kulturpflanzen verfügbaren, aktuellen Nährstoffhaushalt aus. Vielfach treten Fels- und Gesteinsblöcke, Grobschutt- wie Blöcke der periglazialen Wanderschutt- und Blockdecken durch die natürliche, z. T. durch die anthropogen ausgelöste Abspülung des Feinmaterials an der Oberfläche aus und bilden damit neben der größeren Reliefsteilheit die erwähnte Standortqualität für eine agrarische Nutzung.

Ein relativ flächenhafter Ackerbau ist beschränkt auf die von quartären Sedimenten bedeckten Tiefräume wie auf die Terrassen und Talböden der Becken- und Tallandschaften. Vereinzelt und nur in geringerem Umfang besteht die Möglichkeit einer ackerbaulichen Nutzung im Bereich der Hangverflachungen im Gebirge, z. T. mit lößbeigemengten, relativ tiefgründigen, sandig-lehmigen Grusdecken mit relativ nährstoffreichen Braunerde- und Parabraunerdeböden. Eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion sowohl im Bereich der Gebirgshänge als auch im Bereich der Becken und Täler ist ohne Anwendung der gewässerbelastenden Organo-Kunstdünger nicht möglich. Aus beiden Gebieten gelangen die Düngestoffe mit Feinbodenabspülmaterial durch die aufgrund intensiver Bearbeitung der Nutzflächen und Körnungseigenschaften der Böden ausgelöste Bodenerosion in die Gewässer der näheren Umgebung. Im Kristallinen Odenwald wird diese starke Bodenerosionstätigkeit noch begünstigt bedingt als Folge geringerer nutzbarer Porenvolumen und geringerer und nicht ausreichender wasserwegsamer Spalten und Klüfte und damit geringerer Durchlässigkeit der aufbauenden Gesteine und deren geringmächtigen Grus-und Schuttdecken durch starken Oberflächen-Abfluß der zur Verfügung stehenden Niederschlags- und Oberflächenwassers. Als Ergebnis des starken Oberflächen-Abflusses ist die außerordentlich hohe Flußdichte bis 5 km/km^2 zu werten.

Das Oberrhein-Tiefland, in dem dem Rhein als Hauptvorfluter aus dem höheren Odenwald-Bergland und der Bergstraße, Flüsse und Bäche zuströmen, gehört geologisch-tektonisch gesehen – wie zum Thema Entstehung des Kristallinen Odenwaldes erörtert wurde – zum nördlichen Oberrhein-Graben. Im Bereich des Grabens bzw. des Senkungsfeldes als Sedimentationsraum sind ältere, paläo- und

Spitze bei Heidelberg endet. Die westliche Seite wird durch einen langen, fast N-S-ziehenden, mehr oder weniger steilen Abbruch zum Oberrheingraben bzw. zur Oberrheinebene, sowohl geologisch als auch naturräumlich scharf angedeutet, während der Osten und Südosten von den Schichten des Buntsandsteins (Sandstein-Odenwald) überlagert wird. Deren westliche Begrenzung wird teils von einer Schichtstufe, teils aber von einer Bruchstufe bzw. Bruchlinienstufe gebildet. Die Grenze der beiden Komplexe verläuft in N-NE-Richtung, in einer Linie um Heidelberg über Waldmichelbach – Heubach nach Schaafheim, wo sie im östlichen Gebiet der „Reinheimer-Bucht" bzw. „Reinheimer-Hügelland" nicht mehr zu verfolgen ist. Im SSW des Kristallins bilden die Porphyrmassen des Rotliegenden von Dossenheim-Schriesheim einen bedeutenden geologisch-morphologischen Eckpfeiler. Im N taucht das kristalline Grundgebirge längs der Linie Darmstadt–Roßberg und Groß-Umstadt unter das Rotliegende vom Messeler Hügelland und in dem Rheinheimer Hügelland stellenweise unter Buntsandstein, zum größten Teil unter tertiäre und quartäre Sedimente. Hier haben neben Sedimenten des Rotliegenden tertiäre und insbesondere in der Gersprenz-Niederung und im Raume Reinheim, Groß-Biberau, Groß-Umstadt, quartäre Ablagerungen eine landschaftsprägende und große Verbreitung. Die quartären Sedimente, vor allem die äolischen Löß-Sedimente, Sande, fluviatile Schotter-Akkumulationen und Auelehme haben als Ergebnisse der pleistozänen und holozänen Verwitterungs-, Abtragungs- und Ablagerungsaktivität ebenso ihre große Verbreitung im Innern des Kristallinen Odenwaldes, vorwiegend in den Becken- und Talräumen der Weschnitz und der Gersprenz, an der Bergstraße sowie in der Rhein-Main-Ebene. Zu den weitverbreiteten quartären Sedimenten gehören die periglazialen Schutt-Sedimente, die vielerorts die im folgenden hervorzuhebenden Grundgebirgsgesteine der Gebirgshänge und -Rücken oberflächlich bedecken.

Zu den Hauptkomponenten der Grundgebirgs-Gesteinsmassen, die sich am Aufbau des Kristallinen Odenwaldes beteiligen, gehören ältere, während der variscischen Gebirgsbildung tektonisch stark beanspruchte, polymetamorphe Sedimente, wie die verschiedenen Typen von Schiefer, Biotit-Hornblendegneise und eine ganze Reihe von Injektions- und Intrusionsgesteinen wie Gabbros, Diorite und Granit-Granodiorite.

Die Entblößung des Grundgebirges von den sedimentären Ablagerungen des Rotliegenden, der Schichtenfolge der Trias und eventuell des Jurasystems beginnt im äußersten Norden schon vor dem Mitteleozän und in südlicher Richtung ab Mittel- und Oberoligozän. Im Oberoligozän, vor allem im Miozän, haben wir bereits die etwaigen Grundzüge des Reliefs und den heutigen „Umriß" der Gebirgslandschaft vor uns. Danach folgte eine Periode der Verwitterung und Abtragung von Norden nach Süden und Südosten fortschreitend, verbunden mit der weiteren Aufdeckung des Kristallins bis zum Unter-/Oberpliozän (Maqsud 1970).

Mit dem Ausgang des Tertiärs erfährt das Randgebiet eine neuerliche Hebung, die möglicherweise bis ins Pleistozän hinein andauerte. Verbunden hiermit ist die stellenweise erosive Zerfurchung der Schrägschollenkante des Bergsträßer Raumes sowie die starke Eintiefung der Täler im Innern des abgetragenen „Odenwald-Schildes". Während des Pleisto-Holozäns bis zur Gegenwart folgte erneut Verwitterung und verstärkte Hangabtragung, die in ihrem Ausmaß und aus der Kombination ihrer formenbestimmenden Kräfte das eigentliche geomorphologische Bild der hier zu untersuchenden, reichgegliederten, vom Gestein abhängigen Denudationskuppen- und Rückenlandschaft geprägt haben.

Somit hängen Form und Gestalt der Oberflächenformen sehr früh an einer Flexur der herausgehobenen und wiederaufgedeckten Sedimentsschichten des Kristallinen Odenwaldes, wie die Ergebnisse der neueren Forschungen (GRAUL 1963; MAQSUD 1970) dies aufzeigen, mehr von dem variscischen Bau und der Struktur des wechselvollen Gesteins mit unterschiedlicher Widerständigkeit sowie den klimagenetischen Faktoren der Verwitterung und differenziellen Hangabtragung als von jüngerer Tektonik ab, wenn auch letztere, vor allem in den Randgebieten des Kristallinen Odenwaldes, zumindest in der Anlage von Talrichtungen und den stellenweise gestaffelten Randerhebungen, ebenso nicht ohne geringe Bedeutung sein kann.

Dem starken Wechsel des geologischen und morphologischen Baues stehen sowohl in großräumlicher als auch in lokalräumlicher Anordnung ein differenzierter Substrataufbau, Groß- und Kleingliederung des Reliefs, insbesondere die feinere Ausgestaltung der Hänge und ihre natürliche Ausstattung gegenüber.

Infolge der starken Reliefgliederung und der vielfach verzweigten Tallandschaften sowie als Folge der klimatischen Ungunst, niederen Temperaturen sowie der relativ schlechten Bodenqualität ist der vorwiegend in 300–600 m Höhe gelegene Vordere Odenwald ein Buchenwaldgebiet, in dem Buchen-und Edellaubmischwald eine größere Verbreitung besitzt. Hier zeichnet sich das Gebirgsland durch flachgrundige Böden wie Ranker-Braunerde, Braunerde-Ranker, Fels-Ranker und Solifluktionsschutt-Ranker und -Braunerde, mit geringerem, der Natur-und vor allem den Kulturpflanzen verfügbaren, aktuellen Nährstoffhaushalt aus. Vielfach treten Fels- und Gesteinsblöcke, Grobschutt- wie Blöcke der periglazialen Wanderschutt- und Blockdecken durch die natürliche, z. T. durch die anthropogen ausgelöste Abspülung des Feinmaterials an der Oberfläche aus und bilden damit neben der größeren Reliefsteilheit die erwähnte Standortqualität für eine agrarische Nutzung.

Ein relativ flächenhafter Ackerbau ist beschränkt auf die von quartären Sedimenten bedeckten Tiefräume wie auf die Terrassen und Talböden der Becken- und Tallandschaften. Vereinzelt und nur in geringerem Umfang besteht die Möglichkeit einer ackerbaulichen Nutzung im Bereich der Hangverflachungen im Gebirge, z. T. mit lößbeigemengten, relativ tiefgründigen, sandig-lehmigen Grusdecken mit relativ nährstoffreichen Braunerde- und Parabraunerdeböden. Eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion sowohl im Bereich der Gebirgshänge als auch im Bereich der Becken und Täler ist ohne Anwendung der gewässerbelastenden Organo-Kunstdünger nicht möglich. Aus beiden Gebieten gelangen die Düngestoffe mit Feinbodenabspülmaterial durch die aufgrund intensiver Bearbeitung der Nutzflächen und Körnungseigenschaften der Böden ausgelöste Bodenerosion in die Gewässer der näheren Umgebung. Im Kristallinen Odenwald wird diese starke Bodenerosionstätigkeit noch begünstigt bedingt als Folge geringerer nutzbarer Porenvolumen und geringerer und nicht ausreichender wasserwegsamer Spalten und Klüfte und damit geringerer Durchlässigkeit der aufbauenden Gesteine und deren geringmächtigen Grus-und Schuttdecken durch starken Oberflächen-Abfluß der zur Verfügung stehenden Niederschlags- und Oberflächenwassers. Als Ergebnis des starken Oberflächen-Abflusses ist die außerordentlich hohe Flußdichte bis 5 km/km^2 zu werten.

Das Oberrhein-Tiefland, in dem dem Rhein als Hauptvorfluter aus dem höheren Odenwald-Bergland und der Bergstraße, Flüsse und Bäche zuströmen, gehört geologisch-tektonisch gesehen – wie zum Thema Entstehung des Kristallinen Odenwaldes erörtert wurde – zum nördlichen Oberrhein-Graben. Im Bereich des Grabens bzw. des Senkungsfeldes als Sedimentationsraum sind ältere, paläo- und

Als eine besondere, die Landschaft in ihrem ökologischen Gleichgewicht störende Art der Flächennutzung gilt die Überbauung dieser ebenen Landschaften. Vor allem die Nähe zu den Ballungs- und Verdichtungsräumen Frankfurt–Offenbach, Rüsselsheim–Darmstadt–Groß-Gerau, aber auch zu den Verdichtungsräumen von Ludwigshafen–Mannheim–Weinheim und Viernheim sowie die Nähe zum Bergsträßer-Verdichtungsraum von Heppenheim–Bensheim und Lorsch brachte mit sich, daß eine großflächige Überbauung mit Erweiterung der Städte, Gemeinden, Vorstädte und zahlreichen Wohnsiedlungen mit mittel- und unmittelbar ausgedehnten Industrieanlagen und einem dichten Verkehrsnetz bis zur Rhein-Main-Achse stattfinden konnte. Diese Art der Flächennutzung weist nicht nur auf die Überbeanspruchung der Landschaft, sondern stellt eine ebenso dominierende Quelle der Abwassereinleitungen in die Gewässer. Sie verursacht außerdem zusätzlich durch die Verbauung und Kanalisierung zahlreicher Gewässerläufe und die Einengung der natürlichen Bach- und Flußauen und geringerer natürlicher ökologischer Fluß- und Umlandbeziehung eine stetige Zerstörung der Uferpflanzen und Fauna, die ihrerseits an der Selbstreinigung der Gewässer eine hervorragende Rolle spielen.

Die Bergstraßen-Landschaft bildet – wie das Messeler- und Reinheimer-Hügelland zur Main-Ebene – zur Rhein-Ebene einen zwischen 120–220 m Höhenlage markanten, in der Anlage tektonisch gestaffelten und morphologisch durch Täler und Gewässer wie Weschnitz, Winkelbach, Lauter und Modau randlich zerfurchten und stark zerschnittenen Gebirgsrand bzw. Gebirgsfuß des Kristallinen Odenwaldes. Eine deutliche Geländestufe innerhalb dieser Landschaft stellen die zwischen 145–165 m über NN ausgebildeten, vorwiegend aus Flußkiesen und -Sanden sowie aus Abtragungs- und Akkumulationsprodukten des Kristallinen Odenwaldes aufgebauten „Bergstraßer Terrassen". Vielfach sind diese Terrassen und die daran anschließenden höheren Kuppen und Geländeverflachungen von fruchtbaren Löß- und Lehmauflagen bedeckt. Beide Bereiche der Bergstraße mit ihren Tälern werden aufgrund nährstoffreicher Böden und klimatischer Gunst (Jahresmitteltemperatur über 8°, Jahresniederschläge 700–850 mm) durchweg intensiv genutzt. Als Sonderkultur nimmt der Weinbau neben dem Obstbau immer noch größere Flächen ein. Daneben spielt Gemüseintensivkultur eine bedeutende Rolle. Zwecks Erhaltung und Steigerung aller dieser Intensivkulturen wird wiederum die Anwendung einer Reihe von gewässerverunreinigenden Dünger- und Schädlingsbekämpfungsmitteln – unter Mißachtung gewässerökologischer Folge – als notwendig erachtet. Gerade deshalb und vor allem durch die intensive Nutzung der schluffreichen Lößböden hier und im Reinheimer-Hügelland sind vielerorts eine bodenerosionsbedingte Veränderung und Verkürzung der Bodenprofile eingetreten. Erosionsgefährdet sind außerdem Lößlehme, auch die verlehmten Sandlösse, tonig-schluffige Verwitterungsböden des Rotliegenden und des Tertiärs und z. T. der Vulkanite des Messeler-Hügellandes und der vorgelagerten Übergangsgebiete zur Untermain-Ebene. Vielfach ist durch die fortwährende intensive Beackerung und vielfältige Nutzung eine Zerstörung der Humusauflage und damit die Zerstörung der Aggregatstabilität der obersten Bodenprofil-Teile zu beobachten. Aufgrund der strukturell-bodenartlichen Eigenschaft, bei ausreichender Hangneigung und hohen Niederschlägen, z. T. mit alljährlichen Stark- und Dauerregen (vgl. GEGENWART 1951 und SCHMITT 1951), werden die Bodenfeinpartikel mit dem in den Boden oberflächlich eingetragenen Dünger, die nicht vollständig von den Huminstoffen, Kationen und Anionen der Bodenminerale eingebaut werden können, hangabwärts verfrachtet. Hierdurch und als Folge der ausgesprochenen Überdün-

gung entsteht an Unterhängen ebenso Nährstoffanreicherung, die von den Pflanzen nicht mehr in vollem Umfang aufgenommen wird. Ein größerer Teil der hierdurch transportierten Nährstoffe mit erodiertem Bodenmaterial wird daher dann in das Gewässer gelangen, da dieses gegenüber der Bodenerosion und -Abspülung der Hänge des Acker- und Weinbaulandes nicht ausreichend geschützt ist. Im Bereich der flachen Talhänge und Ebenen, wo sandig-grusiges, durchlässiges Substrat vorherrscht, unterliegt sogar das Grundwasser aufgrund der Zerstörung der natürlichen Bodenhomogenität, starker Verminderung der Filterfunktion der Böden gegenüber Düngemitteln und organisch-anorganischen Agrochemikalien sowie bodenökologisch ungünstiger Humuswirtschaft den Gefahren einer anthropogenen Verschmutzung durch die somit belasteten Oberflächen- und Sickerwasser (vgl. auch Ulrich 1972, Semmel 1981 u. Maqsud 1981).

2.1.2. Klima und Abflußverhältnisse

Klimatisch gehört das Untersuchungsgebiet im Rahmen des südwestdeutschen Klimaraumes im Norden zum Klimabezirk Rhein-Main-Gebiet, im Westen zur Oberrhein-Ebene. Daran schließt sich nach Osten der Klimabezirk des Vorderen Odenwaldes an. Die klimatischen Verhältnisse sind somit entsprechend der Höhen- und Tiefenlage sowie deren Reliefcharakter und Einflüssen der Nachbarräume starker Differenzierung unterworfen. Während sich die Rhein-Main- und die Oberrhein-Ebene mit der daran anschließenden Bergstraßen-Landschaft und dem Messeler- und Reinheimer-Hügelland durch besonders hohe Jahresmitteltemperatur von überwiegend 9–10° C als wärmebegünstigter Bereich des Gebietes auszeichnen, weisen die umrahmenden Bergländer des Vorderen Odenwaldes als Folge der zunehmenden Höhe niedrigere Jahresmitteltemperaturen von 7–8° C auf. Noch deutlicher als die Temperaturunterschiede weist die regionale Verteilung der Niederschläge eine starke Abhängigkeit von der morphologischen Gliederung des Raumes auf. Im Gegensatz zur Temperatur, deren mittlere Summen mit absteigender Höhe größer werden, nehmen die Niederschläge von der Rhein-Main-Ebene zu den Odenwald-Berghöhen deutlicher und regelmäßiger zu. Besonders niederschlagsbringend sind aus Südwesten und Westen einströmende, feuchte Luftmassen. Am Gebirge, an der Luvlage führt diese Luftmasse Steigregen, so daß in dem Bereich Bergstraße größere Mengen von Niederschlag, 700–800 mm, fallen als in der Rhein-Ebene mit 550–650 mm. Weit höhere, bis 1200 mm, Niederschläge empfangen die Höhenrücken und Kuppen des Berglandes. Auch der Jahresgang der Niederschläge ist nicht in allen Landschaftsteilen einheitlich und weist reliefbedingte Züge auf. Im Flachland liegt das Niederschlagsmaximum im Hochsommer (Monat Juli) und das Minimum im Spätwinter (Februar). Im höheren Bergland verlagert sich das Niederschlagsmaximum vorwiegend in den Hauptwintermonaten. Aus dem Bild des mittleren Jahrganges der Niederschläge läßt sich im Flachland ein Sommerregentyp, im Bergland ein ausgesprochener Mittelgebirgstyp feststellen. In den Übergangsregionen, vor allem im mittleren Bergland und im Bergvorland herrscht ein Übergangstyp vor, wobei das Hauptmaximum im Jahresgang der Niederschläge immer noch im Sommer zu registrieren ist.

Für die Größe des Wasserhaushaltes und damit für die Abflußverhältnisse sind nicht nur die Menge und die Verteilung der Niederschläge maßgebend, sondern ebenso die Verdunstungshöhe. Während die Niederschläge zwischen 1200 und 550 mm schwanken, weist die Jahresverdunstungsrate Beträge zwischen 500–600 mm in der Rhein-Main-Ebene sowie in den zu ihr hin geöffneten Tälern und zwischen 480–

500 mm im Bergland auf. Wärmebedingt übersteigt die sommerliche Verdunstung stets die in den Sommermonaten fallenden Niederschlagswerte, so daß sie eine Aufzehrung ja sogar auch der aus den winterlichen Niederschlägen herrührenden Bodenwasser zur Folge hat. In Anbetracht der hohen Verdunstung sowohl in der Ebene als auch im mittleren und höheren Bergland, wo sich die Gewässer-Ober- und -Mittelläufe befinden, stehen den untersuchten Gewässern nur geringe Mengen (20–50%) der Jahresniederschläge zur Verfügung. Somit sind fast alle Gewässer, die die Odenwald-Täler, vor allem das Hessische Ried und die Untermain-Ebene entwässern und in den Main und Rhein als mittel- und unmittelbare Vorfluter fließen – wie in der folgenden Ausführung genauer dargelegt wird – abflußarm.

Der Untersuchungsraum gehört zur Abflußregion des Rheins. Die Hauptvorfluter der Region stellen im Nordosten und Osten der Main, im Westen der Rhein dar. Die Einzugsgebiete dieser beiden Hauptvorfluter werden durch eine zunächst ostwestverlaufende, im nördlichen Teil der hessischen Rhein- und Untermain-Ebene gelegene Wasserscheide, zwischen Rüsselsheim und Sprendlingen und durch eine langausgedehnte, ziemlich nordsüdverlaufende – Linie Ober-Ramstadt (200 m NN) – Neunkirchner Höhe (608 m NN) – Tromm (577 m NN) und Grasellenbach (445 m NN) – Wasserscheide getrennt.

Die Hauptzuflüsse zum Main sind die nach Norden fließende Rodau und die nach Norden und Osten fließende Gersprenz sowie außerhalb des Untersuchungsgebietes die Mümling. Der westliche Teil des Vorderen Odenwaldes, die Bergstraße und die Hessische Rhein-Ebene bzw. das Hessische Ried mit dem westlichen Abschnitt der Untermain-Ebene werden vorwiegend durch die west- und südwestwärtsfließende Weschnitz, Winkelbach, Modau, Darmbach-Landgraben, und durch den Schwarzbach und seine bedeutenden Zuflüsse wie Mühlbach, Apfelbach, Hegbach entwässert.

Wie aus der Zusammenstellung der langjährig gemessenen und errechneten Daten über den mittleren Niedrigwasser-Abfluß und die mittlere Niedrigwasser-Abflußspende (Tab. 1) zu entnehmen ist, weisen die ökologisch bedeutsamen, natürlichen Abflüsse und damit die Fließgeschwindigkeit, entsprechend der Lage und Größe des Einzugsgebietes und der klimatisch-landschaftsökologischen Differenzierung, erhebliche Schwankungen auf. Während die Wasserläufe im Bereich des Vorderen Odenwaldes typische Mittelgebirgsgewässer mit mittleren Niedrigwasser-Abflußspenden (MNq) bis 4,05 l/s km^2 darstellen, zeichnen sich die Vorfluter in der Hessischen Rhein-Ebene, im Dieburger-Becken und in der Untermain-Ebene aufgrund der geringen Geländeneigung bis zu 0,5 ‰ und weniger und aufgrund der allgemein geringeren Niederschläge durch eine ausgesprochene Abflußarmut aus. Als Flachlandgewässer weisen sie somit weit niedrigere Abflußspenden von meistens 1–1,5 l/s km^2 auf. Hinzu kommt, daß das Untersuchungsgebiet vor allem im Bereich der Rhein-Ebene von zahlreichen, zum Teil anthropogen entstandenen kleineren und größeren Entwässerungskanälen und -gräben und den pleistoholozänen, die Altrhein- und Altneckar-Arme markierenden Flußmäandern durchzogen ist. Da fast alle diese Gewässer ein ausgesprochen minimales, z. T. kaum meßbares Flußgefälle aufweisen, lassen sich an ihren zahlreichen Laufstrecken weitgehend stagnierende Abflußverhältnisse feststellen. Ausgesprochen negativ wirkt sich für den Frischwasseraustauch und die damit verbundene Selbstreinigungskraft die Wasserarmut dieser Gewässer in den trockeneren Jahreszeiten und in den trokkeneren Niederschlagsperioden aus. Hierdurch und aufgrund des starken Anfalles der Abwässer bestehen die Abflüsse der Gewässer Darmbach-Landgraben, z. T. die

Untere Modau und der Schwarzbach, aber auch die Untere Weschnitz, die Rodau und zeitweise die Gersprenz nur noch oder zu einem erheblichen Teil aus dem mehr oder weniger unzureichend gereinigten Ablauf der kommunalen und industriellen Abwasserkanäle und Kläranlagen. Aufgrund der eben erwähnten geringeren natürlichen Wasserführung sind die genannten Gewässer, vor allem in den Mittel- und Unterläufen auch kaum in der Lage, die sogenannte „Restverschmutzung" der geklärten Abwässer zu verdünnen oder gar abzubauen.

Tab. 1: Vom Pegel abgeleiteter oder/und errechneter mittlerer Niedrigwasser-Abfluß (MNQ) und flächenbezogene mittlere Niedrigwasser-Abflußspende (MNq)

Gewässer	Pegel	Flächengröße des Einzugsgebietes FEt km²	Mittlerer Niedrigwasser-Abfluß- MNQ l/s	Mittlerer Niedrigwasser-Abflußspende MNq l/s km²
Weschnitz	Fahrenbach-Fürth	45,1	182,25	4,05
Weschnitz	Weinheim	174,3	550,78	3,16
Weschnitz	Lorsch	394,3	1185	3,06
Modau	Eberstadt	91	275	3,02
Modau	Stockstadt	190	285	1,5
Gersprenz	Groß-Biberau	151	420	2,8
Gersprenz	Herreshausen	462	910	1,97
Rodau	Nieder-Rodau-	15,8	16	1,01
Rodau	Mühlheim	99	99	1,0
Hengsbach (Schwarzbach)	Mönschbruch	92	127,8	1,39
Schwarzbach	Nauheim	132	200	1,5
Schwarzbach	Trebur	325	490	1,5
Schwarzbach	Astheim/Ginsheim	440	660	1,5
Darmbach	Darmstadt	19	29	1,52
Landgraben	Berkach	78	117	1,5
Landgraben	Büttelborn	81	120	1,48
Landgraben	Wallerstädten	101	150	1,48
Winkelbach	Klein-Rohrheim b. Gernsheim	117	275	1,49

2.1.3. Bevölkerungs- und Wirtschaftspotential

Das kulturgeographische Bild des Untersuchungsgebietes wird – vor allem in der Rhein-Main-Ebene – durch starke, anthropogen bedingte Veränderungen geprägt. Die starke Bevölkerungsballung und zunehmende Häufung des ausgedehnten Industrie- und Gewerbepotentials sind kennzeichnend für die wirtschaftliche Aktivität dieses Raumes. Das Gebiet nimmt zahlreiche Verkehrslinien, so die stark frequentierten Autobahnen und das dichte Netz von Bundesstraßen sowie mehrere Siedlungen und städtische Agglomerationen auf. In ihm liegen die tragenden Achsen der wirtschafts-, siedlungs- und städtegeographischen Entwicklungsbänder. An ihnen sind bedeutende, zentrale Orte von Ober-, Mittel- und Unterzentren wie Frankfurt – Neu-Isenburg – Rüsselsheim – Walldorf – Mörfelden – Groß-Gerau – Darmstadt – Eberstadt – Bensheim – Heppenheim – Lorsch – Weinheim – Viernheim und Lampertheim in der Rhein-Untermain-Ebene und Offenbach – Mühlheim –

Sprendlingen – Langen – Dieburg – Groß-Biberau – Eppertshausen – Babenhausen – Groß-Umstadt – Reinheim – Ober-Ramstadt am Untermain und im Odenwald und Odenwald-Vorland entstanden.

Weitere bedeutende zentrale Orte befinden sich im Inneren des Vorderen Odenwaldes, vor allem dem Entwicklungsband Weschnitz mit Zentren wie Lindenfels – Fürth – Mörlenbach – Birkenau. Dies sind eine Reihe von urban-industriellen Orten oder stark gewerbeorientierten Aktivitätszentren von hoher Bevölkerungsdichte.

Wie aus den Untersuchungen deutlich hervorgeht, überlagern sich die Schwerpunkte der Gewässerbelastungen stets mit der in demselben Gebiet relativ hohen Bevölkerung und größeren wirtschaftlichen, industriellen und städtischen Aktivitätszentren. Die räumliche Verteilung der Bevölkerung mit überdurchschnittlicher Zunahme in Verdichtungsräumen und Städten als kennzeichnende Bevölkerungsballung und Bevölkerungsagglomeration läßt sich aus der Tabelle 2 gut entnehmen. Die Folge dieser Entwicklung und Konzentration ist im Untersuchungsgebiet die hohe Bevölkerungsdichte. Während sie in der Bundesrepublik 247, im Bundesland Hessen 265 E/km^2 (Stand August 1981) beträgt, weist das Untersuchungsgebiet eine Bevölkerungsdichte bis zu 1130 E/km^2, in Offenbach sogar bis 2500 E/km^2 aus. Selbst die ländlichen Räume des Kristallinen Odenwaldes zeigen Einflußsphären der Industrieballungs- und Verdichtungsräume von Rhein-Main und Rhein-Neckar regional ebenso eine relativ hohe Bevölkerungsdichte bis 270 E/km^2, wobei die größte Konzentration der Bevölkerung in den Talräumen und entlang den Gewässerlinien festzustellen ist.

Tab. 2: Bevölkerungsstand, Gebietsgröße, Einwohnerdichte der Landkreise und einiger größerer Städte des Untersuchungsraumes (Bevölkerungsstand 1977/78).

Untersuchungsraum	Einwohner	Fläche qkm	Einwohnerdichte E/qkm
Landkreis Bergstraße	237 725	719,18	330,5
Darmstadt, St.	138 337	122,35	1130,5
Landkr. Darmstadt-Dieburg	238 487	658,34	362,3
Ginsheim-Gustavsburg	15 488	13,46	1109,5
Groß-Gerau, St.	19 958	54,46	366,5
Rüsselsheim	62 801	58,35	1076,3
Landkreis Groß-Gerau	232 534	452,96	513,4
Offenbach, St.	114 162	45,43	2513,0
Landkreis Offenbach	288 800	355,71	811,9
Odenwaldkreis (teilweise)	82 793	624	133 (regional bis 270)
Landkreis Mannheim (ohne Stadt Mannheim): Weschnitz-Einzugsgebiet	ca. 55 000	113	ca. 486

In Anbetracht der angeführten und im folgenden darzustellenden, bevölkerungs-, siedlungs-, verkehrs- und wirtschaftsgeographischen Beziehungen, ist auch die Verteilung der Zentren sowie Schwerpunkte der industriell-gewerblichen Konzentration mit ihrer spezifischen branchenmäßigen Gliederung in den Verdichtungsräumen von großer Bedeutung.

Zu den bedeutenden Zentren in der engeren Untermain-Ebene gehören der industriell-gewerbliche Ballungsraum von Offenbach und der stark industrialisierte Kreis Offenbach mit einer hohen Beschäftigungszahl vor allem im produzierenden

Bereich und Schwerpunkten in der Leder-Industrie, im Maschinenbau, in der Stahl-, Leichtmetall-, Fahrzeug-, Chemie-, Kunststoff-, Foto- und Elektro-Industrie. In der Region Rhein-Main bilden folgende Räume – Rüsselsheim bis zur Mainspitze, Groß-Gerau und der Raum Darmstadt – wichtige Zentren und Ballungen der Industrie und des Gewerbes von Stahl- und Fahrzeugbau, Chemie und Pharma, Eisen-, Blech- und Metallverarbeitung, Mineralöl-, Gummi- und Asbestverarbeitung, Elektrotechnik, Papierherstellung, Papierverarbeitung und Nahrungs- sowie Genußmittel. Kleinzentren und Schwerpunkte des Maschinenbaues, der Kunststoff- und Gummiherstellung, chemischer und feinmechanisch-optischer Industrie, Leder- sowie Textil-Industrie schließen an den Darmstädter- und Offenbacher Raum in einer Achse Darmstadt–Dieburg–Aschaffenburg an.

Die bedeutenden Zentren der Industrie und auch des Gewerbes an der Bergstraße und in der Rhein-Ebene befinden sich im Raum Bensheim–Heppenheim–Lorsch–Stockstadt a. Rh. und in dem, dem Weschnitz-Einzugsgebiet zugehörenden, nordbadischen Gebiet von Weinheim und einigen Schwerpunkten der Industrie und des Gewerbes aus dem Landkreis Mannheim. Hier sind vorwiegend elektro- und elektronische sowie lederverarbeitende Industrie, Maschinenbau, Eisen, Metall und Kunststoff sowie Gummi verarbeitende Industrie, Nahrungs- und Chemie-Industrie zu Hause.

Weitere Konzentrationen der Industrie und des Kleingewerbes befinden sich in den Tälern des Vorderen Odenwaldes, wo sich häufig Industriegassen und Bandstrukturen von Industrie-Standorten und lokalen Industrie-Schwerpunkten gebildet haben, wie Weschnitz-, Gersprenz-, Lauter- und Modau-Tal. Schwerpunkte der industriellen Produktion liegen im Bereich der Kunststoff und Gummi verarbeitenden Industrie, daneben Elektro und Holz verarbeitende Industrie, Maschinenbau und Industrie der Steine und Erde sowie Keramikherstellung.

Aus der Tabelle 3 lassen sich außer der regionalen Verteilung und der Branchengliederung die Zahlen der Industriebeschäftigten als Ausdruck der Industrialisierung des engeren Untersuchungsgebietes entnehmen. Zur besseren Kennzeichnung des hohen Industrialisierungsgrades kann die Berechnung der Industriedichte (Industriebesatz), d. h. die Zahl der Industriebeschäftigten auf 1000 Einwohner herangezogen werden. Wie man aus der Tabelle 3 entnehmen kann, weisen der Kreis Groß-Gerau mit 238 und die Stadt Darmstadt mit 225 Industriebeschäftigten auf 1000 Einwohner die höchste Industriedichte auf. Eine höhere Industriedichte des untersuchten Odenwaldkreis-Anteils mit 144 Industriebeschäftigten pro 1000 Einwohner ist sicherlich auf die geringere Einwohnerzahl zurückzuführen.

Zu dem ebenso bedeutenden Wirtschafts- und Industriepotential-Gebiet wird die im Kreis und der Stadt Offenbach industrielle Agglomeration gezählt mit jeweils 35 600 bzw. 21 922 Industriebeschäftigten und einer Industriedichte von 123 bzw. 194 auf 1 000 E. Aus dem nordbadischen Gebiet, im Bereich des Einzugsgebietes der Weschnitz, dem Raum Weinheim und anliegenden industrialisierten Gemeinden des Landkreises Mannheim ist noch ein beachtliches Bevölkerungspotential von 55 000 E. mit einer Bevölkerungsdichte von 486 E/km^2 hinzuzuzählen. Die Industriedichte beträgt hier 126 Beschäftigte auf 1000 E. Als ein weiteres brauchbares Maß für die Berechnung des Industrialisierungsgrades kann die von KRENZLIN (1961) angewandte Methode ebenso herangezogen werden, die zur Kennzeichnung der Industrieballung und Industrialisierung eines Raumes „die industrielle Bevölkerungsdichte, d. h. die Zahl der pro km^2 in der Industrie Beschäftigten" – wie die Aufstellung in der Tabelle 4 zeigt – geeignet ist.

Tab. 3: Gliederung der Industrie nach bedeutenden Branchen und Zahl der Beschäftigten sowie die Industriedichte (Zahl der Industriebeschäftigten je 1000 Einwohner).

Landkreise und kreisfreie Städte	Gliederung der Industrie nach Branchen	Beschäftigtenzahl
Kreis Groß-Gerau	Mineralöl-, Gummi- und	
Industriedichte: 238	Asbestverarbeitung	2800
	Fahrzeugbau	ca. 31500
	Stahl- und Leichtmetallbau	9000
	Chemische Industrie	9563
	Eisen-, Blech- und Metallwarenindustrie	2000
	Industrie der Steine, Erde und Keramikherstellung	1000
Stadt Darmstadt	Chemische Industrie	12000
Industriedichte: 225	Maschinenbau	7300
	Elektro- und Elektrotechnische Industrie	4400
	Druckerei- und Papierindustrie	4300
	Leichtmetallindustrie	1600
	Nahrungs- und Genußmittel-Gewerbe	1500
Kreis Darmstadt-Dieburg	Maschinenbau	4900
Industriedichte: 110	Kunststoff- und Gummiherstellung	4700
	Feinmechanische und optische Industrie	5300
	Chemische Industrie	2330
	Nahrungs- und Genußmittel-Gewerbe	2500
	Textil- und Lederwarenindustrie	2000
	Eisen-, Blech- und Metallwaren-Industrie	1800
	Elektro- und elektrotechnische Industrie	1600
	Industrie der Steine, Erde und Keramikherstellung	1200
Kreis Bergstraße	Elektro- und elektrotechnische Industrie	6000
Industriedichte: 96	Holzverarbeitende Industrie	3300
	Eisen-, Blech- und Metallwaren-Industrie	2800
	Maschinenbau	2200
	Textil- und Lederwarenindustrie	1850
	Kunststoff- und Gummi verarbeitende Industrie	1900
	Nahrungs- und Genußmittel-Gewerbe	3300
	Chemische Industrie	1500
Odenwaldkreis	Kunststoff, Gummi und Asbest	
Industriedichte: 144	verarbeitende Industrie	7600
	Elektrotechnische Industrie	2000
	Maschinenbau	1250
	Holzverarbeitende Industrie	1100

Tab. 4: Industrielle Bevölkerungsdichte

	Rhein-Main-Odenwald-Gebiet	Hessen
Bevölkerung 1977/78–80	1387838	5576000
Beschäftigte in der Industrie 1975/1979–81	220095	648365
Fläche in km^2	3218	21112
Industrielle Bevölkerungsdichte	68	31

Demnach ist die industrielle Bevölkerungsdichte für das Untersuchungsgebiet im Vergleich zu Gesamt-Hessen mehr als doppelt so hoch.

3. Material, Freiland- und Laboruntersuchungsmethoden

3.1. Material und Auswahl der Untersuchungsmethoden

Charakteristisch ist, wie die Rahmenbedingungen der Gewässerbelastung deutlich aufzeigen, die vielfältige Nutzung mit z. T. erheblicher Überlagerung der Belastungsquellen, Industriezentren, der Räume mit hoher urban-industrieller Bevölkerungs- und umweltbeeinträchtigender Verkehrsdichte sowie der mittelbar- und unmittelbar agrarisch intensiv genutzten Gebiete.

Die Häufung und Überlagerung dieser Belastungsquellen führen somit zu einer Erhöhung qualitativ-quantitativ immer schwerwiegenderem und unzureichend zu reinigenden, gewässerbelastenden und -verschmutzenden Abwässeranfall. Daher kann trotz steigender Zahl der Kläranlagen und einiger Erweiterung der vorhandenen Kläranlagen im Untersuchungsgebiet die Abwasserreinigung mit diesem wachsenden Abwasseranfall von stetiger schlechter Qualität auch nicht Schritt halten. Hinzu kommt, daß die Räume mit hoher Bevölkerungs- und Industrieballung auch Gebiete hoher Luftverschmutzung sind. Durch Lösung, Absorption und Adsorption von Luftverunreinigungssubstanzen wie Schwefeldioxid, Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff, Kohlenwasserstoff, Stickstoffoxiden sowie Schwermetallen und sonstigen Staubpartikeln, die in Verbrennungsprozessen von Kohle, Benzin und Heizöl im Bereich der Haushalte, Industrie und im Verkehrsbereich freigesetzt werden, entstehen anthrogenbedingte Aerosole und saure Niederschläge (pH-Wert bis 4). Die Verunreinigungssubstanzen können danach durch die „trockene Deposition" (dry deposition) direkt und/oder indirekt durch die „nasse Deposition" (wet deposition) (vgl. Ulrich & Meyer et. al. 1978, Fowler 1980) mittels Regenwasser, Schnee und Hagel von Vegetation, Boden, Bodenwasser und Wasseroberflächen aufgenommen und ad- sowie absorptiv angereichert werden. Für die Gewässer bedeutet diese Erscheinung eine durch den direkten oder indirekten Eintrag der aus den Verunreinigungssubstanzen und Schadstoffen zusammengesetzten Aerosole und sauren Niederschläge zusätzliche Belastung.

Diese langjährigen Untersuchungen – wie in den folgenden Abschnitten anhand physikalischer, chemischer und biologischer sowie geochemisch-sedimentologisch analytischer Daten dargelegt wird – weisen deutlich darauf hin, daß die überwiegende Zahl der untersuchten Gewässer überhaupt keine ausreichende chemisch-biologische Selbstreinigungskraft besitzt, um die dem Wasser zugeführten organisch-anorganischen Stoffe und darunter aber vor allem die z. T. toxischen Schadstoffe wie Schwermetalle mit relativ hoher Konzentration zu eliminieren. Selbst von den leichtabbaubaren organischen Substanzen werden nicht erheblich mehr als 50% ihres Anteils an der Gesamtbelastung abgebaut. Als biologisch-ökologische Folge dieser Belastungsverhältnisse sind die Wasserpflanzen und -tiere der Gewässer in vielen Abschnitten artenmäßig verarmt. Die früheren Fischbestände sind vernichtet worden oder stark zurückgegangen. Damit besitzen die untersuchten Gewässer in

den Mittel- und Unterläufen keine natürlichen Biozönosen mehr bzw. sind diese durch die permanente Verminderung von Population und Arten einer starken Veränderung und Zerstörung unterworfen.

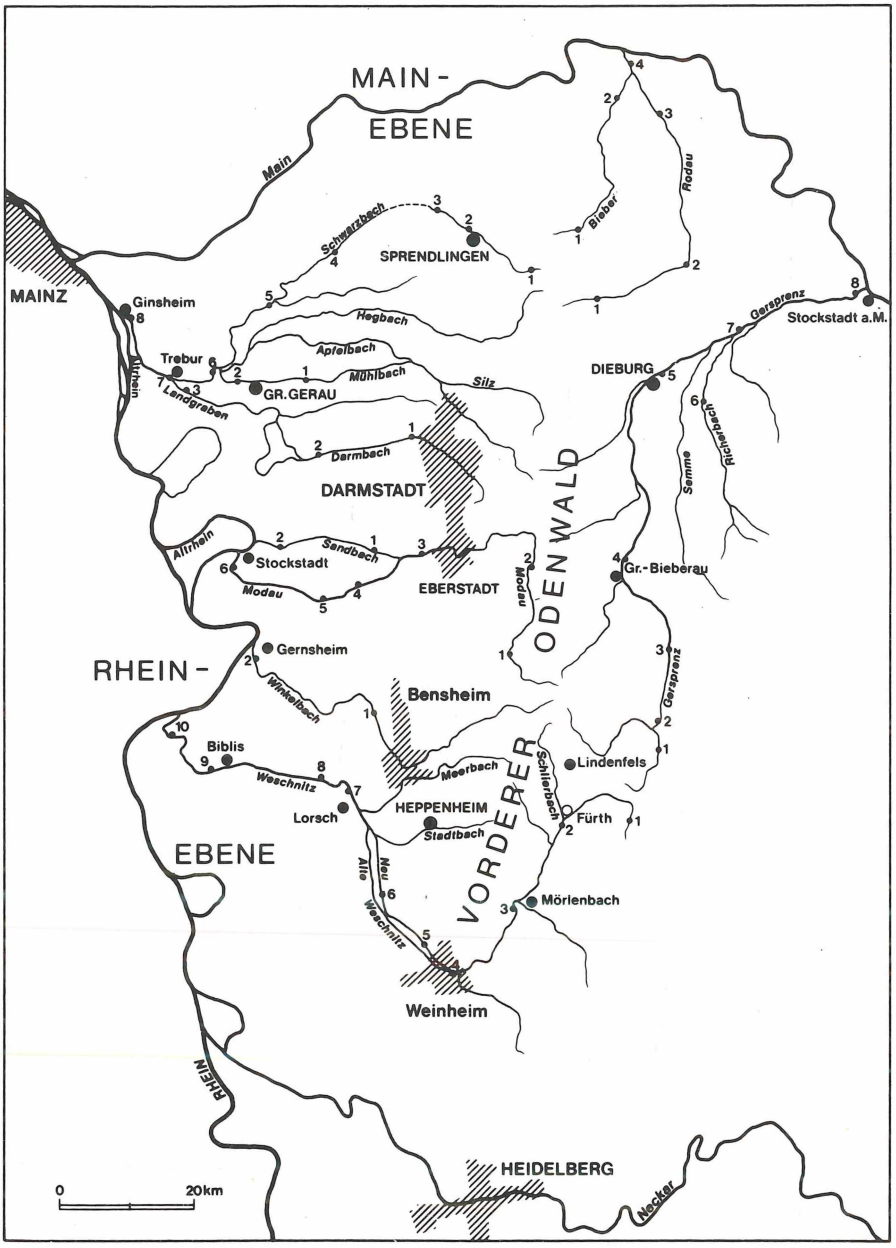


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes mit Meßbereichen und Probenahme-Stellen.

Die verschmutzten Gewässer sind ihrem Charakter, ihrer Herkunft und Zusammensetzung der Inhaltsstoffe nach so komplexer Art, daß sie zahlreichen physikalisch-hydrochemischen Bindungs- und Anreicherungsmöglichkeiten unterworfen sind. In den Gewässern kommen eine Vielzahl von Elementen und organischen Verbindungen vor, die sich im einzelnen – in noch wenig erforschter Art und Weise – gegenseitig beeinflussen und damit eine analytische Bestimmung meist erschweren. Ein allgemein gangbarer Weg ist die analytische Erfassung der Belastungs- und Verschmutzungsstoffe anhand einiger grundlegender Summenparameter. Hiermit ist es möglich, neben der biologisch-ökologischen Beurteilung und unter Heranziehung des Ausmaßes der Schwermetallbelastung den physikalischen und hydrochemischen Belastungszustand der Gewässer rasch zu charakterisieren. Die Auswahl folgender Freiland- und Labor-Methoden zur Erfassung von relevanten Parametern hat sich in den aufgestellten Meßprogrammen für eine langjährige vergleichende Untersuchung gut bewährt. Zur Erhebung der lokalen und regionalen Belastungen durch Schad- und Verschmutzungsstoffe wurden im Zeitraum 1978–1980 insgesamt 10 Meßprogramme durchgeführt: Meßprogramm Weschnitz, Winkelbach, Modau, Sandbach, Darmbach-Landgraben, Mühlbach, Schwarzbach, Bieber, Rodau und Gersprenz.

Die Wasserprobenahme – dem Untersuchungsziel angepaßt – erfolgte entsprechend den hydrologisch-ökologischen Gesichtspunkten im 4- bis 6wöchigen Zyklus. An jedem Meßbereich (s. Abb. 1) wurde jeweils eine Probe aus dem Uferbereich und eine Probe aus der Flußmitte gezogen. Bei den Terminen der Wasserprobenahmen wurde die extreme Belastung der Wochenend-Abwässer mitberücksichtigt.

(zu Abb. 1)

Weschnitz:	1 Ort Weschnitz, 2 unterhalb Fürth, 3 unterhalb Mörlenbach, 4 Weinheim-Fa. Freudenberg, 5 unterhalb Kläranlage Fa. Freudenberg und Weinheim, 6 Neue Weschnitz westl. Laudenbach, 7 nördl. Lorsch, 8 unterhalb Einhausen, 9 unterhalb Biblis, 10 vor der Einmündung in den Rhein.
Winkelbach:	1 Rodau/Zwingenberg, 2 südl. Gernsheim.
Modau:	1 Hoxhohl, 2 Nieder-Modau, 3 Eberstadt, 4 Pfungstadt, 5 Hahn, 6 Stockstadt/Altrhein.
Sandbach:	westl. Eberstadt, 2 Philippshospital.
Darmbach-Landgraben:	1 westl. Darmstadt, 2 „Hohe Brücke" nördl. Büttelborn, 3 Wallerstädten-Trebur.
Mühlbach:	1 Schneppenhausen-Kl.-Gerau, 2 unterhalb Groß-Gerau.
Schwarzbach:	1 Götzenhain, 2 unterhalb Sprendlingen, 3 unterhalb Buchschlag, westl. Walldorf, 4 nach Einmündung d. Geräthsbach, 5 Nauheim-Trebur, westl. Trebur, 6 Ginsheim/Altrhein.
Rodau:	1 Urberach-Ober Rodau, 2 Dudenhofen, 3 Hausen-Lämmspiel, 4 Mühlheim.
Bieber:	1 nördl. Dietzenbach, 2 nördl. OT Bieber.
Gersprenz:	1 Ostern-Tal, 2 Bockenrod, 3 Fränk. Crumbach, 4 unterhalb Gr. Bieberau, 5 unterhalb Dieburg, 6 Richerbach-Harpertshausen, 7 Babenhausen, 8 Stockstadt/a. M.

Die Analysen der Proben wurden im Freiland mit dem tragbaren Kolorimeter von HACH Chemical Company nach HACH-Vorschriften und nach MERCK-Analysenvorschriften: Die Untersuchung von Wasser (1978–1980) und MERCK-Aquamerck-Reagenziensätzen für die Wasseranalyse (1979–1980) und im Laboratorium im wesentlichen in Anlehnung an die „Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung (1972–1979) auf folgenden Einzel- und Sammelparametern vorgenommen: Wasserstoff-Ionenaktivität (pH-Wert), elektrische Leitfähigkeit (µS/cm), Sauerstoff (O_2), Oxidierbarkeit ($KMnO_4$-Verbrauch), Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB_5=BOD_5: Biological Oxygen Demand), gelöster organisch gebundener Kohlenstoff (DOC: Desolvend Organic Carbon), Ammonium (NH_4^+), Nitrit (NO_2^-), Nitrat (NO_3^-), Phosphat (PO_4^{3-}) sowie Chlorid (Cl^-).

Die Schwermetallanalysen der Wasser- und Sedimentproben – die in der Zeit von Mai 1979 bis Mai 1980 quartalsweise entnommen wurden – auf zahlreiche umweltrelevante z. T. hochtoxische Schwermetalle: Cadmium (Cd), Quecksilber (Hg), Blei (Pb), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Chrom (Cr) und Zink (Zn) erfolgten für Wasserproben im wesentlichen nach den Methoden des „Deutschen Einheitsverfahrens ..." und für Wasser- und Sedimentproben in Anlehnung an die von FÖRSTNER & MÜLLER (1974) und FÖRSTNER & WITTMANN (1979) angewandten Methoden. Bei den Sedimentproben wurde nur die Tonfraktion (< 2 µm), gewonnen nach dem ATTERBERG-Sedimentationsverfahren anhand naßchemischer Analysenverfahren und vor allem mittels atomabsorptionsspektrometrischer Methoden (AAS-Methoden) auf die Schwermetalle Kupfer, Zink, Nickel, Chrom, Cadmium und Blei mit der Graphitküvette und Quecksilber mit flammenlosem Atomabsorptionsspektrometer analysiert. Zum Vergleich wurden einige Schwermetalle der untersuchten Proben durch die Röntgenfluoreszenz-Methode bestimmt. Die geochemischen Analysen der Wasserproben erfolgten je nach Schwermetallkonzentration ebenso teilweise mit flammenlosem AAS bzw. mit der AAS-Graphitküvette.

Zu Untersuchungen der Tonminerale an einigen ausgewählten Proben wurden aus der Fraktion < 2 µm Texturpräparate hergestellt. Die einzelnen Tonminerale Illit, Montmorillonit, Chlorit, Kaolinit und Wechsellagerungs-Tonminerale ließen sich anhand verschiedener Behandlungen mit Äthylenglykol, Erhitzen bei 500–600° C, aus der Lage der jeweiligen Basisreflexe identifizieren und semiquantitativ auswerten. Ebenso wurden einige Sedimentproben auf der Basis der Bestimmung von organischen Substanzen durch nasse Verbrennung (Dichromat-Methode) auf Humusgehalt überprüft.

Zur Beurteilung des biologisch-ökologischen Zustandes und der Güteeinstufung der untersuchten Gewässer wurden an dem jeweiligen Meßbereich überwiegend mit manuellen Sammeltechniken wie Abbürsten und Abkratzen von Steinunterflächen, Anstechen von Sedimenten und anhand eines Küchensiebes und z. T. einer einfachen Schöpfflasche für mikro- und makrobiologische und bakteriologische Untersuchungen von Mai 1979 bis Mai 1980 in unregelmäßigen Abständen Proben gezogen. Im Laboratorium erfolgte die Präparation und mikroskopische Bestimmung derjenigen charakteristischen und faunistisch-floristischen Leitorganismen bzw. Bio-Indikatoren, die für eine Ansprache des biologisch-ökologischen Zustandes der Gewässer am geeignetsten erschienen. Die Auswertung und Einordnung der gefundenen Leitorganismen anhand der Häufigkeit des Auftretens einer Leitorganismen-Art in einem Probenahme-Bereich erfolgte vorwiegend auf der Basis der von KOLKWITZ et al. (1908/09) und LIEBMANN (1962, 1969) angewandten Methoden

und in Anlehnung an die „Deutschen Einheitsverfahren zu biologisch-ökologischen Untersuchungen" (7. Lieferung 1975). Aus der regionalen Verbreitung der 4 Häufigkeitsstufen: 1: rar-selten, 2: mehrfach-häufig, 3: häufig-sehr häufig, 4: massenhaft bzw. aus der Dichte der Besiedlung aussagefähiger, güteklassifizierender Leitorganismen sowie ihrer Einstufung im „Saprobien-System" und dem daraus errechneten Saprobitäts-Index wurden die ausgewählten Gewässer in den jeweiligen biologisch-ökologischen Gütezustand eingeordnet. Zur Absicherung der somit gewonnenen biologischen Befunde wurden stets die Kennwerte des Wasserchemismus für organische Verbindungen und ihrer Abbauprodukte wie biochemische Sauerstoff (BSB_5)-Daten, Ammonium (NH_4^+)- und Sauerstoff (O_2)-Gehalt herangezogen.

Bei den bakteriologischen Untersuchungen handelt es sich um die Auswertung einiger Stichproben aus den stark belasteten Fluß- und Bach-Bereichen während der Sommer- und Winter-Monate im Jahre 1980. Die Ansprache und Beurteilung der Gewässergüte nach den bakteriologischen Befunden erfolgte in Anlehnung an die von Wachs (1969) angewandten Methoden und zwar vorwiegend auf der Basis der Berechnung von Gesamtkeimzahlen.

3.2. Bewertungsgrundlage von Analysendaten

Mit zunehmendem technologischem Potential und den dadurch zu mehr als 50000 verbreiteten chemischen Stoffen und Stoffproduktionen hat sich das Gefährdungspotential erheblich vergrößert. Vielfach gelangen gefährliche Stoffe bei der Rohstoffgewinnung, ihrer Lagerung, ihrem Transport und Ge- und Verbrauch in die Umwelt, vor allem in die Gewässer. Den Gewässern kommt – wie aufgeführt – in den ökologischen Systemen um so mehr eine Schlüsselposition zu, da die ökologische Umwälzung und Veränderungen über längere Zeiträume überwiegend in der wässrigen Phase erfolgen. Im allgemeinen können jede chemische Substanz und ihre zahlreichen Produkte in den Wasserkreislauf gelangen und damit einen potentiellen, wasserbelastenden und wassergefährdenden Stoff bilden. Nach Untersuchungen des Umweltprogrammes der Bundesregierung von 1971 sind „wassergefährdend insbesondere solche Stoffe oder deren Reaktionsprodukte im Wasser, die grundsätzlich oder von einer bestimmten Menge bzw. Konzentration an die Beschaffenheit von Gewässern direkt oder indirekt so zu verändern vermögen, daß die Gesundheit des Menschen und seine belebte Umwelt bedroht oder anderweitig nachteilig beeinflußt oder die örtlich gegenwärtig und zukünftig in Betracht kommenden Nutzungen von Gewässern nachteilig beeinflußt oder über ein im Gesamtinteresse aller Nutzer tolerierbares Maß hinaus beeinträchtigt werden" (Lühr 1982).

Als wasserbelastende und wassergefährdende organisch-anorganische, chemische Stoffe gelten sowohl zahlreiche feste, flüssige als auch gasförmige Stoffe wie Säuren, Laugen, Metallverbindungen, Halogene, Metallcarbonyle, Beizsalze, Mineralöl und Mineralölprodukte, Kohlenwasserstoffe, Alkohole, Ester und stickstoff-, phosphor- und schwefelhaltige sowie halogenhaltige organische Verbindungen. Diese genannten Stoffe lassen sich aus Gründen einer Übersichtlichkeit im Sinne einer neuen Belastungssystematik des Sachverständigenrates für Umweltfragen der Bundesrepublik unter 4 folgenden Belastungsgruppen zusammenfassen:

3.2.1. leichtabbaubare Stoffe: zu einem größeren Anteil erfaßbar durch den biochemischen Sauerstoffbedarf $BSB_5 = BOD_5$ und die Berücksichtigung des Einwohnergleichwertes (EGW).

Der Wert des biochemischen Sauerstoffbedarfs BSB_5 gibt die Menge Sauerstoff (O_2) an, die im Zeitraum von 5 Tagen zum Abbau von organischen Stoffen nötig ist. Häuslich-kommunale Abwässer mit z. B. BSB_5 von 300–400 mg O_2/l, ein sogenanntes biologisch gereinigtes Wasser soll nicht mehr als 20–25 mg O_2/l und ein reines Bach- und Flußwasser weniger als 3 (meist um 1–3 mg) O_2/l haben (vgl. Tab. 5). Die letzten Angaben entsprechen in etwa der Auffassung von LIEBMANN, der – wie aus Abb. 2 zu ersehen ist – einem BSB_5-Wert von 2–4 mg/l der maximalen Belastungsstufe unserer Gewässer noch die biologische Wassergüte II zurechnet. Ein BSB_5-Wert nach KLOTTER scheint dagegen für die Erhaltung einer mäßigen Bela-

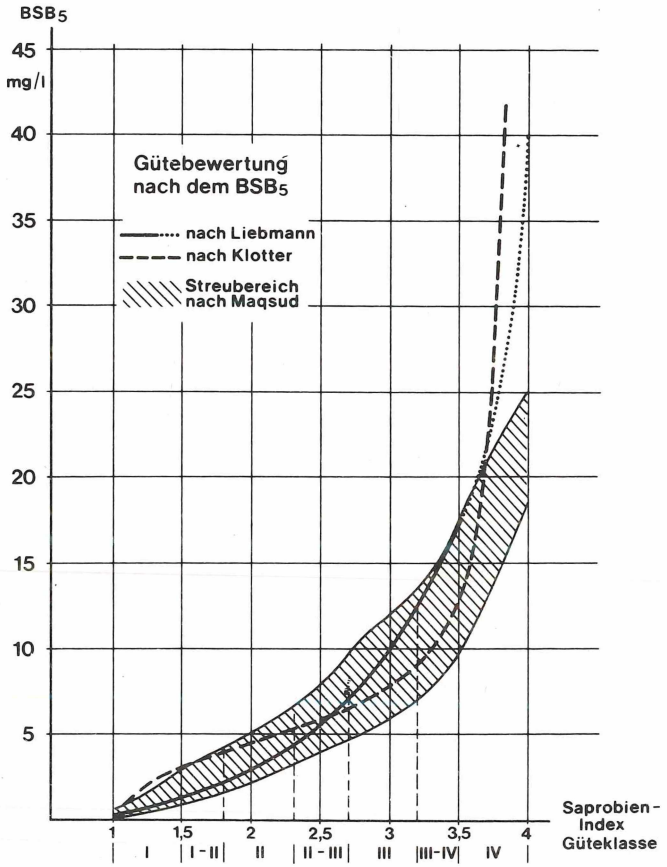


Abb. 2: Gütebewertung der Fließgewässer nach dem biologischen Sauerstoffbedarf (BSB_5-Wert) von LIEBMANN und KLOTTER, ergänzt.

stung unbrauchbar zu sein, da wir mit diesem Wert eher die Güteklasse II–III, also eine kritische Belastung, anzusprechen haben. Nach Untersuchungen des Verfassers sind jedoch für eine exakte Korrelation mit der biologisch-ökologischen Güteklassifikation der Streubereich bzw. die Schwankungen des BSB_5-Wertes außerordentlich groß. Sicher ist, daß selbst bei weit geringerer Anzeige eines BSB_5-Wertes eine höhere Belastung vorliegen kann als LIEBMANN und KLOTTER dagestellt haben (vgl. Abb. 2). Während der BSB_5-Wert eine aus einer längeren Zeit herrührende organische Verschmutzung kennzeichnet, kann die Bestimmung als ein wichtiger ökologischer Faktor den aktuellen Gewässerzustand am Sauerstoffhaushalt wiedergeben (vgl. Abb. 3).

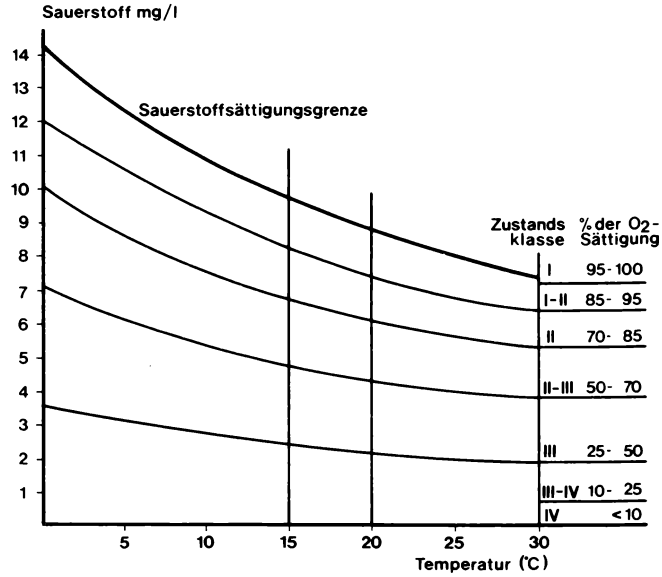


Abb. 3: Beurteilung von Fließgewässern nach dem Sauerstoffgehalt, verändert nach HAMM 1969 und BERNERTH & TOBIAS 1979.

Der Einwohnergleichwert (EGW) dokumentiert die Schmutzmenge eines Abwassers bezogen auf den BSB_5 des Abwassers eines Einwohners pro Tag. Nach den Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde muß mit einer Tagesanreicherung an organischen Schmutzstoffen aus städtischen Siedlungen von 60 g/E BSB_5, bei Hinzuzählen der gewerblich-leichtindustriellen Abwässer mit einem Mindestwert von 100 g/E BSB_5 gerechnet werden. Für unser Untersuchungsgebiet bedeutet dies – unter Berücksichtigung der Einwohnerzahl und daraus eine bis ca. 100 t/Tag resultierende Menge von BSB_5 – eine außerordentlich hohe Schmutz-Belastung, die eine biologische Selbstreinigung der leistungsschwachen Vorfluter bei weitem überschreitet. Die Angaben über den $KMnO_4$-Verbrauch dienen der Erfassung der annähernd gesamten oxydierbaren organischen Wasserinhaltsstoffe.

Tab. 5: Standard-Richt- und Grenzwerte einiger Wasserinhaltsstoffe zur Qualitätsforderung von Oberflächengewässern und von Rohwasser (IAWR: Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet; EG-Richtlinie: Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaft; KNÖPP, H. N.: Entwicklung und Anwendung von Standardwerten für die Qualität von Oberflächenwasser . . . 1971; DVGW: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs; WHO: World Health Organization; HÖLL 1970); Standardwerte der Schwermetall-Gehalte in den Binnengewässern (aus FÖRSTNER & MÜLLER 1974).

Parameter	IAWR	KNÖPP u. DVGW	EG-Richtlinie	WHO	HÖLL	FÖRSTNER & MÜLLER
CSB mg/l.	10	10				
BSB_5 mg/l		$\ll 5$ u. <2	<3			
$KMnO_4$ mg/l		$\ll 20$				
gelöster org. Kohlenstoff mg/l	4	<5–4				
Ammonium mg/l	0,2	$<0{,}5$–0,2	0,05			
Phosphat mg/l		$<0{,}2$				
Chlorid mg/l	100	<200–100	200	200		
Sulfat mg/l	100	<150–100	150	200		
Nitrat mg/l	25	25	25–50			
Nitrit mg/l					0,01	
Eisen mg/l	1	<1–0,1	1–<2			
Arsen mg/l	0,01	0,01	0,01–0,05	0,05		
Blei mg/l	0,03	0,01	0,01–0,05	0,05		0,003
Chrom mg/l	0,03	0,03	0,05	0,05		0,001
Cadmium mg/l	0,005	0,005	0,001–0,005	0,01		0,0002
Kupfer mg/l	0,03	0,03	0,02–0,05	0,05–(1,5)		0,007
Quecksilber mg/l	0,0005	0,05	0,0005–0,001	0,001		0,00005
Zink mg/l	0,5		0,5–3	1,5		0,01
Zyanid mg/l			0,05			

1 mg/l entspricht 1 ppm oder 1000 ppb; 1 ppb oder 1 µg/l.

3.2.2. schwerabbaubare Stoffe: erfaßbar durch den chemischen Sauerstoffbedarf, CSB und die Bestimmungen des gelösten organischen Kohlenstoffes, DOC.

Während die Bestimmung des CSB-Wertes zur Charakterisierung der sowohl leicht- als auch schwerabbaubaren Stoffe wie Halogenkohlenwasserstoff und polycyclische Aromate u. a. gilt, dienen die DOC-Werte zur Erfassung der allochthonen Zufuhr organischer Stoffe in Gewässern. Die Grenze für eine tolerierbare Gewässerbelastung liegt – wie aus der Tab. 5 zu ersehen ist – für CSB etwa bei 10/mg/l, für DOC bei 4–5 mg/l. Zu dem Übergangsbereich der leicht-schwerabbaubaren Stoffe gehören die Stickstoff- und Phosphor-Verbindungen. Es sind Ammonium- (NH_4^+), Nitrit- (NO_2^-), Nitrat- (NO_3^-) und Phosphor- (PO_4^-) Verbindungen, die als Indikator der allgemeinen Abwasser- und Nährstoffbelastung und somit als Maßzahl der Gewässereutrophierung (Nährstoffauswaschung und Gewässerüberdüngung) gelten. Ammonium gilt insbesondere als Indikator für fäkale Verunreinigung aus den häuslichen und landwirtschaftlichen Bereichen und in Zusammenhang mit anderen organischen Verunreinigungen aus dem Bereich der Nahrungsmittel- und Chemie-Industrie. Sowohl Nitrit- und Nitrat- als auch Ammonium-Verbindungen sind für Fische und z. T. auch für Menschen als toxische Stoffe anzusehen. Die Grenzwerte liegen für Ammonium bei 0,2 mg/l, für die Phosphate bei weniger als 0,2 mg/l, für Nitrate und Nitrite bei 25 mg/l bzw. 0,01 mg/l (vgl. Tab. 5). Die Nitrate bzw. ihre Reproduktionsprodukte, die Nitrite, ergeben eine erhebliche Intoxikationsgefahr für Kinder und Säuglinge, da sie im roten Blutfarbstoff unter Bildung von Metahämoglobin und damit geringerer Möglichkeit des Sauerstofftransportes im Blut, Zyanose und innere Erstickung hervorrufen können (MAQSUD 1981). Außerdem können sich im menschlichen Magen bei Berührung mit Nitrit und Aminen die sogenannten hochkanzerogenen Nitrosamine bilden (s. HÖLL 1970 und BORNEFF 1977).

3.2.3. Salze: erfaßbar durch die chemische Analyse und die Bestimmung der spezifischen Leitfähigkeit.

Es handelt sich dabei um Chloride und Sulfate. Die Grenzwerte liegen im allgemeinen bei 100–200 mg/l. Über die Bestimmung der Leitfähigkeit in µS/cm kann auf die Konzentration der im Wasser gelösten, in Ionen dissoziierten Salze und andere anorganische Stoffe geschlossen werden.

3.2.4. Schwermetallverbindungen: erfaßbar durch geochemisch-sedimentologische Feinstanalyse in Wasser und in den Sedimenten.

Die Schwermetalle als Flußwasser- und Sedimentinhaltsstoffe gehören zu den persistenten und bereits in sehr niedrigen Konzentrationen (ppb- und ppm-Bereich) zu den hochtoxischen und kanzerogenen Metallverbindungen. Ein Überblick über die Wirkung der Schwermetalle als Schadstoffe, neben einigen anderen, ebenso die Biozönosen der Gewässer störenden, organisch-anorganischen Schadstoffe, kann aus den in der Tabelle 6 zusammengestellten Faktoren entnommen werden. Bei den vom Verfasser analysierten Schwermetallen handelt es sich um solche Metallverbindungen, die hinsichtlich der unmittelbaren oder mittelbaren, akuten bzw. chronischen Vergiftungsgefahren sowohl für die Menschen als auch für die Biozönose der Gewässer und in der Abwasseraufbereitung sowie hinsichtlich anthropogen verursachten Gesundheitsschädigungen in den Jahrzehnten größere Beachtung gefunden haben (vgl. FÖRSTNER & MÜLLER 1974, TOBSCHALL 1977, RUBISCHUNG & TOBSCHALL 1980, MAQSUD 1981).

Die potentiellen und aktuellen Emissionsquellen im Untersuchungsgebiet sind die industriell-gewerblichen und häuslich-kommunalen sowie die aus dem Bereich der Landwirtschaft entstammenden Abwasser- und Abfallprodukte. Über die Verwendung von Schwermetallen in den wichtigsten Industrie- und Produktionszweigen, die auch im Untersuchungsgebiet mehr oder weniger zu finden sind, kann die Zusammenstellung in Tabelle 7 eine umfassende Auskunft geben.

Die Bewertungsgrundlagen von Analysendaten der Schwermetallgehalte der Flußwasser und -sedimente bilden die Kenntnisse des primären, natürlichen bzw. geogenen Anteils und der sekundären, angereicherten, anthropogenen Komponente dieser Spurenstoffe. Für die Ermittlung des Belastungsgrades von Gewässern mit Schwermetallen wurden – wie aus Tab. 5 zu entnehmen ist – die Standard-Werte der Schwermetalle in relativ unbelastetem Wasser der Binnengewässer zugrundegelegt (vgl. FÖRSTNER & MÜLLER 1974). Für die Quantifizierung des Belastungsgrades der fluviatilen Sedimente mit zahlreichen Schwermetallen wurde einmal der am häufigsten für die Ermittlung der Anreicherungsfaktoren von Schwermetallen in belasteten Flußsedimenten ermittelte „Tongesteins-Standard" nach TUREKIAN & WEDEPOHL (1961) als sogenannter geogener, „geochemischer background", zum anderen, um den regionalen Unterschieden der geochemischen Ausgangsgehalte der im Untersuchungsgebiet vorkommenden kristallinen Gesteine und Sedimente als potentielle Schwermetallieferanten in entsprechenden Gewässerreinzugsgebieten gerecht zu werden, eine eigens vom Verfasser ermittelte Analyse aller Magmatite und Lößsedimente, zweier zusätzlicher regionaler geochemischer Standards verwendet (vgl. Tab. 8). Sowohl die Schwermetallgehalte des Tongestein-Standards als auch die der regional geochemischen Standard-Werte der Gewässereinzugsgebiete stellen nur Mittelwerte der Gehalte von verschiedenen Ton- und Siltsteinen, aus den überregionalen Bereichen bzw. Mittelwerte der verschiedenen magmatischen Gesteine wie Granite, Granodiorite, Diorite und Gabbros und der Lößsedimente des Vorderen Odenwaldes dar. Beide Standards können als Maß für unbelastetes, präzivilisatorisches, fluviatiles Sediment bzw. Ausgangsgesteinsgehalte der Schwermetalle gelten.

Tab. 6: Wirkung der Schadstoffe in den Gewässern hinsichtlich der störenden Wirkungen auf die Biozönose, Ab- und Trinkwasser-Aufbereitung und auf den Menschen (n. K. HABERER 1972, verändert und ergänzt).

Art	Störende Wirkung auf Klasse	Gewässer Biozönose	O_2-Haushalt	Aufbereitung von Ab- u. Trinkwasser	Mensch Organoleptisch	Pathogen, Toxizität
Biologisch	Pathogene Keime, Viren					akut
Anorganisch	Trübstoffe	verändern das Lichtklima		bodenverdichtend	Färbung, Trübung	
	Salze			korrosionsfördernd	Geschmack	
	Nährstoffe (P,N-Salze)	eutrophierend	O_2-zehrend	störend	Geruch und Geschmack	
	Nitrit					Zyanose, toxisch Kanzerogen
	Schwermetalle Pb, Cd, As, Hg, Ag, Cn, . . .	toxisch wachstumstörend		störend (katalyt. wirksam)		akut u. latent, toxisch, kanzerogen
Organisch	Phenole				Geruch, Geschmack	
	Öl, Treibstoffe		verhindert O_2-Aufnahme		Geruch, Geschmack	latent, toxisch
	Tenside, Detergentien	eutrophierend	verhindert O_2-Aufnahme	störend	Schaumbildung	(latent)
	Planktontoxine	toxisch für Fische			Geruch, Geschmack	akut
	Polycycl. Aromaten			störend	Geruch	kanzerogen, toxisch
	Pestizide	toxisch für Fische und Fischnährtiere				akut latent, toxisch z. T. kanzerogen
	Sonst persistente Chemikalien	(toxisch)		störend		latent, toxisch
Physikalisch	Radionuklide	toxisch				latent, toxisch
	Abwärme	hetero-trophierend	O_2-Verarmung	korrosions-fördernd, verkei-mungsfördernd	geruchs-intensivierend	

Tab. 7: Verwendung von Schwermetallen in wichtigen Industrie- und Produktionszweigen (nach DEAN et. al. 1972 in FÖRSTNER & MÜLLER 1974, ergänzt und erweitert: MAQSUD).

Industrie- und Produktionszweig	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Ni	Sn	Zn	Ag
Drucker-Papier- und Kartonproduktion		●	●		●		●	●		●	
Photoindustrie	●		●		●					●	●
Organische Chemie											
Petrochemie	●	●		●	●		●		●	●	
Chloralkaliproduktion											
Anorganische Chemie	●	●		●	●		●		●	●	●
Pflanzenschutzmittel			●		●					●	
Düngemittelproduktion	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
Nahrungs- u. Futtermittelproduktion										●	
Erdöl-Raffinerien	●	●	●	●			●	●		●	
Bergbau	●		●	●	●		●			●	
Stahlwerke											
Gießereien, Metallherstellung	●	●	●	●	●		●	●	●	●	
Nichteisenmetallproduktion		●	●		●		●			●	
Galvanisierung	●	●	●				●	●		●	●
Kraftfahrzeug- und Flugzeugindustrie	●	●	●		●						
Glas, Zement, Asbest, Keramik	●	●					●				
Gummi-PVC-Kunststoffindustrie	●						●	●	●	●	
Textilindustrie		●	●		●					●	
Lederindustrie		●									
Dampfkraftwerke		●								●	
Batterien- und Akkumulatorenherstellung	●				●		●				
Elektro-Radio-Fernseh-Industrie	●		●		●		●	●		●	●
Farben- und Lackindustrie	●	●			●			●			

Tab 8: Schwermetallgehalte des Tongestein-Standards (TGS) und des regional geochemischen Standards (RGS)

Element	TGS in ppm	RGS_1 magmatische Gesteine ppm	RGS_2 Lößsedimente ppm
Cadmium (CD)	0,8	0,45	0,40
Quecksilber (Hg)	0,4	0,50	0,28
Blei (Pb)	20	15	35
Kupfer (Cu)	45	51	22
Nickel (Ni)	68	60	43
Chrom (Cr)	90	78	87
Zink (Zn)	95	99	66

Zur Bewertung des biologisch-ökologischen Zustandes der untersuchten Fließgewässer wurden in Anlehnung an KOLKWITZ (1908/09) und (LIEBMANN 1962) aus der relativen Häufigkeit der vorgefundenen Leitorganismen, die eine bestimmte Biozönose charakterisieren und dem daraus errechneten Saprobitäts-Index, die 7 Gewässergüte-Klassen I bis IV mit Zwischenstufen I–II, II–III und III–IV ausgeschieden. Im Rahmen dieser Güteklasseeinteilung, die – wie aus Tab. 9 ersichtlich ist – mit den jeweiligen charakteristischen Kennwerten des Wasserchemismus für organische Verbindungen und ihrer Abbauprodukte wie der BSB_5 des Sauerstoffgehaltes und des Ammoniums abgesichert ist, wurden in Anlehnung an LAWA allgemeine Kriterien zur Beurteilung der Gewässergüte von Fließgewässern aufgestellt. Über die regionale Verbreitung und die Häufigkeit einiger güteklassifizierender Leitorganismen in ausgewählten Oberflächengewässern des Untersuchungsgebietes geben die Tab. 9 und die Ergebnisse der biologisch-ökologischen Untersuchungen Auskunft.

Tab. 9: Allgemeine Kriterien zur Beurteilung der Gewässergüte von Fließgewässern (Quelle: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 1977, ergänzt).

Güte-klasse	Grad der organischen Belastung	Saprobität (Saprobiestufe)	Saprobien-index	Chemische Parameter Sauerstoff-bedarf (BSB_5 mg/l)	Ammonium (NH_4-N mg/l)	Sauerstoffgehalt (O_2-Minima mg/l)
I	unbelastet bis sehr gering belastet	Oligosaprobie	1,0–<1,5	1	höchstens Spuren	>8
I–II	gering belastet	Oligosaprobie mit Betamesosaprobie-Einschlag	1,5–<1,8	1–2	0,13 NH_4 0,1 NH_4–N	>8
II	mäßig belastet	ausgeglichene Betamesosaprobie	1,8–<2,3	2–6	<0,39 NH_4 <0,3 NH_4–N	>6
II–III	kritisch belastet	alpha-betamesosaprobe Grenzzone	2,3–<2,7	5–10	<1,29 NH_4 <1,0 NH_4–N	>4
III	stark verschmutzt	ausgeprägte Alpha-mesosaprobie	2,7–<3,2	7–13	0,5 bis mehrere mg/l	>2
III–IV	sehr stark verschmutzt	Polysaprobie mit alphamesosaprobem Einschlag	3,2–<3,5	10–20	mehrere mg/l	<2
IV	übermäßig verschmutzt	Polysaprobie	3,5–<4,0	>15	mehrere mg/l	<2

MAQSUD, Verschm. d. Oberflgew. im Vord. Odenw. u. i. d. Rhein-Main-Ebene

Die Grundlage der bakteriologischen Beurteilung der Wassergüte stellt folgende Aufstellung, Tab. 10, die nach Angaben von WACHS (1969) vereinfacht dargestellt ist.

Tab. 10: Bezugsdaten zur Bewertung der Wassergüte nach dem bakteriologischen Befund (in Anlehnung an WACHS 1969)

Güteklasse	Gesamtkeime
I	bis 100/ml
II	1 000 – 10 000/ml
III	10 000 – 100 000/ml
IV	>100 000 – ≧1000 000/ml

4. Untersuchungsergebnisse

Wie mehrfach angeführt, ist der Gütezustand der Fließgewässer in starkem Maße von der Menge der Abwassereinleitungen, von ihrer klärtechnischen Behandlung und „Reinigung" und – bei solchen leistungsschwachen Vorflutern – ebenso in erheblichem Umfang von der Vorbelastung der Fließgewässer abhängig. Trotz zahlreicher Abwasserbehandlungsmaßnahmen gerade in den urban-industriellen Ballungsräumen des Untersuchungsraumes gemäß der gesetzlichen Mindestanforderung für die Gewässerreinhaltung, sind die Gewässer auf weiten Abschnitten ihrer Laufstrecke noch stark bis übermäßig belastet. Da die Abwassereinleitungen und Stoffbelastungen sich vielfach überlagern, bilden sich nach wie vor Belastungsschwerpunkte, vor allem im Bereich des Hessischen Rieds und in der Unter-Main-Ebene. Darüber hinaus bedeutet die bisherige gesetzliche Bestimmung keineswegs eine vollständige Abwasserreinigung und eine vollständige Gewässerreinhaltung. Weder die zur Zeit angewendeten physikalisch-mechanischen und biologischen Abwasserbehandlungsverfahren, noch die Grenzwerte von 25–30 BSB_5 stellen ein Instrument für eine ausreichende Reinigung der Abwässer und Reinhaltung der Gewässer dar. So ist es nicht verwunderlich, daß trotz aller Bemühungen des Hessischen Landesamtes für Umwelt bzw. des Ministeriums für Umwelt, die Abwasserschwerpunkte im Vergleich zu der 1976 veröffentlichten Gewässergütekarte – wie wir aus den folgenden Untersuchungsergebnissen entnehmen können – keine gravierende Verbesserung oder eine bedeutende Entlastung erfahren haben.

4.1. Hydrophysikalisch-chemischer, hydrochemisch-biochemischer und biologisch-ökologischer sowie bakteriologischer Güte-Zustand der Gewässer

Im Rahmen des vorgegebenen Untersuchungsprogrammes für 1978–1980 und in Form stichprobenartiger Kontrollmessungen für 1981 wurden in allen Gewässern an den festgelegten Meßbereichen – wie aus Abb. 1 zu entnehmen ist – die wichtigsten Verschmutzungs- und Belastungsparameter auf ihre Menge vom Oberlauf bis zur Mündung untersucht. Die somit ermittelten Jahresmitteldaten jedes Meßbereiches sind in den Tabellen 11 bis 16 zusammengestellt. Im folgenden soll der Versuch unternommen werden anhand dieser Mittelwerte, die als allgemeine Gewässer-Kenngrößen dienen können, zu einer Beurteilung des Güte-Zustandes

der Gewässer zu gelangen. Die tabellarischen Darstellungen der hydrophysikalisch-chemischen und hydrochemisch-biochemischen Meßergebnisse der Konzentrationen von Belastungs-Parametern geben Auskunft einmal über die flußabwärts im Bereich der Mittel- und Unterläufe fast linear zunehmende Stoffbelastung, zum anderen über die Belastungsschwerpunkte mit organisch-anorganischen Verbindungen. Ein Vergleich zahlreicher Stoffkonzentrationen wie BSB_5, CSB, DOC, NH_4^+, PO_4^{3-}, NO_3^- und NO_2^- sowie eine graphische Darstellung am Beispiel der Weschnitz, der Meßstationen jeweiliger Flußabschnitte untereinander und der Wasserinhaltsstoffe der Gewässer miteinander, lassen die entsprechende Gewässergütequalität des Untersuchungsgebietes gut erkennen. Sie geben nicht nur ein Anwachsen der Belastungsstoffe der Mittel- und Unterläufe um ein Vielfaches der in den Quellgebieten wieder, sondern überschreiten bei weitem die in der Tab. 5 aufgestellten international-national angestrebten, tolerierbaren Standard-, Richt- und Grenz-Werte der Wasserinhaltsstoffe. Im folgenden werden die Belastungsschwerpunkte einzelner Gewässerabschnitte anhand der wichtigsten Gewässer-Güte-Parameter charakterisiert.

Weschnitz

Die Weschnitz ist – wie man aus der Tabelle 11 und der diagrammatischen Darstellung zur Gütebewertung von 1978–1980 (Abb. 4) ablesen kann, im Oberlauf von Ort Weschnitz-Hammelbach bis oberhalb Fürth nur geringfügig verschmutzt und gehört somit und nach den biologischen Befunden (vgl. Tab. 12) der Güte-Klasse I–II an. Erst ab Fürth, vor allem nach der Einmündung des belasteten Schlierbaches (Meßbereich 2) erfährt die Weschnitz eine hohe Stoffbelastung. Sowohl $KMnO_4^-$ als auch die BSB_5-Werte weisen auf eine starke sauerstoffzehrende organische Verschmutzung. Dafür spricht auch eine hohe Menge des als Indikator für fäkale Verunreinigung geltenden NH_4^+-Wertes von ca. 16 mg/l für die Jahre 1978–1980. Nach den NH_4^+-, den BSB_5-Werten von ca. 10 mg O_2/l und der Häufigkeit des Auftretens biologisch-ökologischer Leitorganismen, wie häufiges Auftreten von Algen, *oscillatoria princeps* und Wimpertieren wie *Charchesium polypinum* sowie dem massenhaften Auftreten der Zuckmückenlarven, *Chironomus plumosus* und dem häufigeren Vorkommen von Abwasserbakterien, *Sphaerotilus natans*, zu beurteilen, handelt es sich ebenfalls um stark- sehr stark verschmutzte Gewässerabschnitte der Weschnitz. Unterhalb von Abwasser-Kläranlagen, Obere Weschnitz bis Birkenau, z. T. bis kurz vor Weinheim, tritt eine spürbare Verbesserung auf (III). Ab der Stadt Weinheim, vor allem ab Fa. Freudenberg über Lorsch-Einhausen bis Biblis, zeigt sie wiederum das Bild eines stark bis sehr stark belasteten Vorfluters (III–IV). Dafür sprechen ebenso die erhöhten PO_4^{3-}-Werte bis 12-20 mg/l in den Meßbereichen 4 und 5, Weinheim, Fa. Freudenberg und in dem Meßbereich 6, nördl. Lorsch,von 8–10 mg Po_4^{3-} mg/l. Ebenso sind die Nitrit-Werte außerordentlich hoch. Diese Situation ist zurückzuführen auf die z. T. gereinigten Abwässer des AV Bergstraße, der Kläranlage Weinheim und der Kläranlage der Fa. Freudenberg sowie der von Lorsch und der Industrieabwässer in diesem Raum. Diese Weschnitz ist somit bis zur Mündung mit einer nicht ausreichenden Frischwasserzufuhr stärkster Belastung ausgesetzt. Daraus folgt eine ständig absinkende Gewässergütequalität auf Klasse III–IV und nur zeitweise auf III. Ebenso zeigt sich biologisch-ökologisch die starke Belastung des Flusses in einer Massenentwicklung von Abwasser-Bakterien, *Sphaerotilus natans* und Schlammrohrwürmern, *Tubifex tubifex*. Die bakteriologischen Befunde mit einer Gesamtkeimzahl von 10^5-10^6 unterstützen den schlechten Güte-Zustand des Gewässers.

Tab. 11: Hydrophysikalisch-chemische und hydrochemisch-biochemische Meßergebnisse für die Weschnitz. Jahresmittelwerte der Konzentration von Belastungs-Parametern.

Weschnitz

Meßbereich	Weschnitz 1			unterhalb Fürth 2			unterhalb Mörlenbach 3			Weinheim – Fa. Freudenberg 4			unterhalb der Kläranlage Fa. Freudenberg und Weinheim 5		
Jahr	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit µS/cm	570	450	300	975	925	910	1150	1000	980	1950	1300	1200	2300	1850	1800
$KMnO_4$-Verbr. mg/l	19	15	10	57	50	49	60	48	35	75	41	40	75	63,5	51
CSB mg/l	10	7	3	21	30	30,2	32,4	29	25,1	36	24	30	40,5	44	46
BSB_5 mg/l	4,5	3	2	7	12	8	10,5	10	8	25	8,2	7,1	15	12,5	11,8
DOC mg/l	5,5	5	3	13	14	7	16	14	6	17	14	13,5	19	14	7,5
$NH4^+$ mg/l	1,3	1,5	1	11,5	9	7	9,5	12	6	8	13	5	14,5	11,5	9,5
NO_3- mg/l	16	15,5	17	41	19,5	27,5	50,5	42,5	26,5	27,5	29	30,4	40,1	35	28,5
NO_2- mg/l	0,90	0,41	0,51	2,30	2,10	1,30	1,75	1,60	1,45	2,60	2,45	2,05	1,95	1,90	0,95
PO_43- mg/l	0,95	0,80	0,75	4	6	5	5,7	8	4	20	13	14	17,5	15	12
Cl^- mg/l	45	67	60	70	75	85	130	95	120	175	160	150	140	160	150

Neue Weschnitz

Meßbereich	westl. Laudenbach 6			nördl. Lorsch 7			unterhalb Einhausen 8			unterhalb Biblis 9			vor der Einmündung in den Rhein 10		
Jahr	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit µS/cm	1330	1360	985	900	950	870	850	795	780	800	690	720	850	790	700
$KMnO_4$-Verbr. mg/l	62,5	47	40,5	70,5	51	49	69,5	60	50	50	40	32	49	38	30
CSB mg/l	38	25,5	25,1	36,5	40	38	29,5	40	30	36,5	30,1	25	30	29,3	23,1
BSB_5 mg/l	14,5	11	9	20,5	13	10	21,5	15,1	7	15	12	8	17,5	10	6
DOC mg/l	9,75	7	7,8	9,1	8,5	7,2	7,8	5	4,9	7,9	8	5	6,5	9	6,1
$NH4^+$ mg/l	13,5	15	9,2	21	18,5	16,5	11	8	7,2	9,5	9	7,1	11,7	10,6	6
NO_3- mg/l	38	29,7	23,5	39	29,5	26	28	30,5	36	31	24,4	17,1	25,5	22,5	18
NO_2- mg/l	2,85	1,70	1,23	2,50	1,65	1,50	2,10	1,87	1,80	1,30	1,20	0,85	2,0	2,7	1,7
PO_43- mg/l	9,5	12	8	10,5	8,5	9,3	6,5	7,1	6,9	7	8,5	4,5	8,8	7,8	6,5
Cl^- mg/l	140	160	150	170	145	130	150	135	120	95	80	75	70	60	50

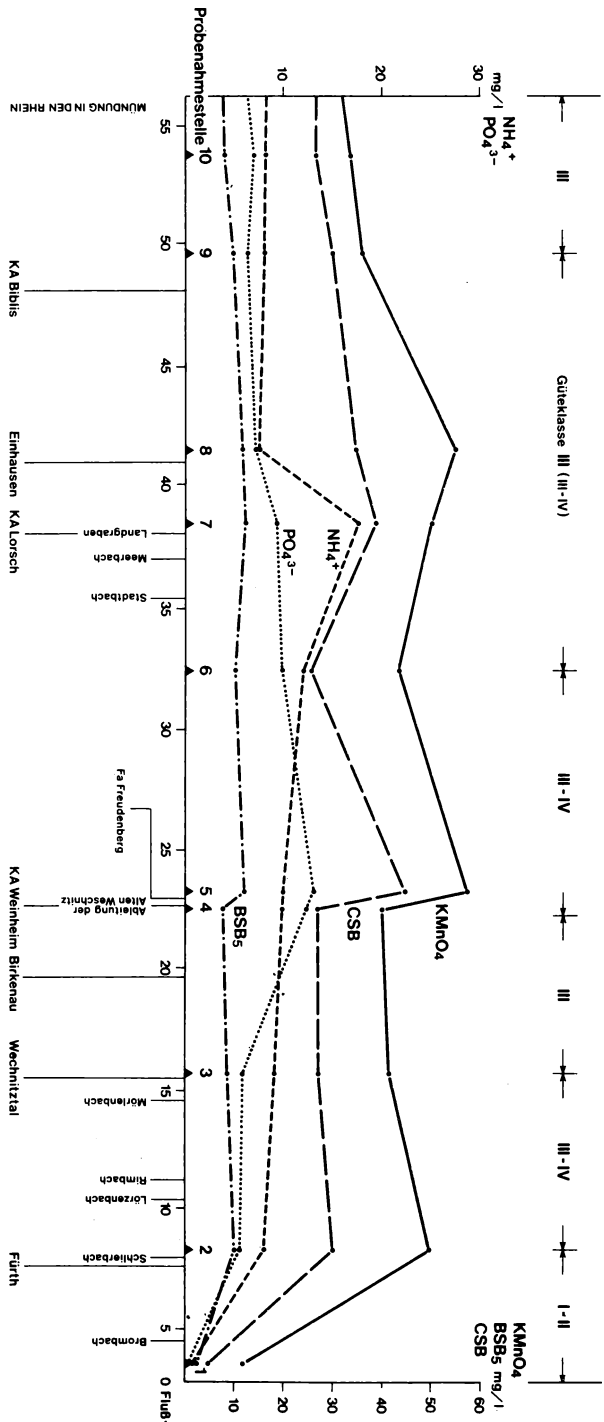


Abb. 4: Diagrammatische Darstellung der Mittelwerte von Verschmutzungsparametern der Weschnitz; eine Gütebewertung für das Jahr 1979–1980.

Tab. 12: Regionale Verbreitung und Häufigkeit des Auftretens einiger güteklassifizierender Leitorganismen in ausgewählten Oberflächengewässern des Vorderen Odenwaldes und der Rhein-Main-Ebene.

Güteklassifizierung				Schwarzbach								Darmbach-Landwehr-Landgraben				Modau						Winkelbach			Weschnitz										
				Oberlauf			Mittellauf		Unterlauf			Oberlauf	Mittellauf		Unterlauf	Oberlauf		Mittellauf		Unterlauf		Oberlauf	Mittellauf	Unterlauf	Oberlauf			Mittellauf				Unterlauf		
Güte-klasse	Grad der Belastung und Verschmutzung (Saprobität)	Leitorganismen (Auswahl)	Probenahmebereich	1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	1	2	3	4	5	6		1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	unbelastet bis sehr gering belastet (Oligosaprobie)	Algen:	*Meridon circulare*																						○									
			Batrachospermum vagum																						○									
		Strudelwürmer:	*Planaria gonocephala*																						●									
		Eintagsfliege:	*Perla bipunctata*																						●									
		Wimpertiere:	*Vorticella similis*														+								●●									
I-II	gering belastet (Oligosaprobie) mit betamesosaprobem Einschlag)	Algen:	*Ulothrix zonata, Lemanea fluviatilis*														+								●●									
		Blütenpflanzen:	*Berula* sp., *Callitriche* sp.														●								●●									
		Käfer:	*Elminthidae* sp.														●								●									
II	mäßig belastet (ausgeglichene Betamesosaprobie)	Algen:	*Microcystis flos - aquae*														●								○									
			Synura uvella,														●								+									
			Pediastrum boryanum														●								+				+					
			Scenedemus acuminatus																						○									
			Chaetophora elegans	○												+	●								●				+					
		Diatomeen:	*Tabellaria fenestrata*	○				+								+	●						○		●				○					
			Synedra ulna													+	●						+					+					
			Rhoicosphenia curvata	+				○								+	○						○					+		○				
		Wimpertiere:	*Paramecium bursaria*	+													○						+		○			+					+	
			Vorticella companula	○				+								○	●						+	+				+		○			○	
			Euplotes charon					+	+							○		+					●	+				+		○			+	
			Aspidisca costata	+				+	+							+		+					●	+				+		○			+	
II-III	kritisch belastet (alpha-betamesosaprobe Grenzzone)	Blütenpflanzen:	*Potamogeton natans*	●●				○	+							●●	●●	+					●●	+				+		●		○	●	○
		Diatomeen:	*Nitzschia palea*	●				○	+							●	●●	+					●●	+				○		●			●	○
		Algen:	*Planaria torva*	●●				○	+						+	●●	●●	+		+	+			○				○		●		○	●	●
III	stark verschmutzt (ausgeprägte Alpha-mesosaprobie)	Algen:	*Oscillatoria princeps*	○	+			●●	●	○			+	+	+	●	○	○	+	+	○		●	●●		●	○	●	○	○	●		○	●●	●
			Oscillatoria limosa	+	+			●●	●●	○			+	+	+	●	○	○	+	+	+		●	●●		●	○	○	○	○	●●		○	●●	●●
			Chlamydomonas ehrenbergi	+				●	●●				+	+	+	○	+	○	+	○	+		○	●●		●	○	●	○	○	●		○	●	●
			Cosmarium botrytis	+				●					+	+	+		+	○	+	○	+		○	○		●	○	●	○	○	●		○	●	●
		Diatomeen:	*Navicula cryptocephala*					●●	●			+	+		+	○	+	○	+	○	+		○	●		○	○	●	○	○	●		○	●	●
			Nitzschia palea	○	○			●●	●●	○		+	+	+	○	●	+	○	+	○	○		○	●●		○	●●	●	○	○	●●		○	●●	●●
		Kryptonomaden:	*Chilomonas paramecium*		○			●				+	+	+	+		+	○	+	○	+		○	●			●	●	○	○	●		○	●	●
		Pilze:	*Mucor racemosus*	+		+		●	●●			+	○	●	●	○	+	●	+	○	+			●●			●	●	○	○	●		○	●	●
			Fusarium aquaeductum	+		+	+	○	○				○	●	●		+	●	+	○	+			●		●			○	○	●		○	●	●
		Wimpertiere:	*Chilodonella uncinata*					●	○			○	○	●	●	○	+	●	+	○	+		○	●		●		●	○	○	●		●	●	●
			Vorticella convallaria	○	○	+		●	●	○	○		○	●	●	○	+	●	+	○	+		○	●●		●		●	○	○	●		●	●	●●
			Carchesium polypinum	+	○				○	○	○		○	●	●		+	●	+	○	●			●		●●		●	●●	●	●		●●	○	○
III-IV	sehr stark verschmutzt (Polysaprobie mit alphameso-saprobem Einschlag)	Zuckmückenlarve:	*Chironomus plumosus*		●●			○		●●	●●			●	●●	+		●●	○	●●	●●			○		●●	○		●●	●●	●●	●●	●●	○	○
		Abwasserbakterien:	*Sphaerotilus natans*		●			○		●●	●●		●		●●	+	+	●●	●●	●●	●●			○		●	+		●●	●●	●●	●●	●●	○	○
		Wimpertiere:	*Colpidium colpoda*		●	○	○	○		●●	●●		●		●	+	+	●	●	●	●			○		●	+		●	●●	●●	●●	●●	○	○
		Schlammröhrenwürmer:	*Tubifex tubifex*		●●	●●		○		●	●		●		●●	+	+	●●	●●	●●	●●			+		●●	+		●	●●	●	●●	●●	+	+
IV	übermäßig verschmutzt (Polysaprobie)	Algen:	*Oscillatoria chlorina*			●●	●●			○		●●		●	●●	●●	+	+	●	●●	●	●●			+		○	+		○	●●	○	●	●●	+	+
			Oscillatoria putrida			●	●●					●●		●●	●●	●	+	+	●	●●	●	●●			+		+	+		○	○	○	●	●	+	+
		Insektenlaven:	*Chironomus thummi*			●●	●			○		●●		●●	●●	●●	+		○	●●	●	●●			+		○			●	+	○	●	+	+
		Rädertiere:	*Rotaria neptunia*			●●	●●			+		●●		●	●●	●●	+		○	●●	●				+		○			●	+	○	○	+	+
		Wimpertiere:	*Colipidium colpoda*			●				+		●●		●	●●	●				●●	●				+					○			○		
			Enchelys vermicularis			○	●					●		●	●	●				●	●				+					○			○		
			Tetrahymena pyriformis			○	●					●●		●	●	●			○	●	○									○			○		
		Pilze:	*Thiotrix nivea*			●●	●●					●		●	●●	●●				●●	○									○			○		
		Bakterien, Abwässerbakterien:	*Sphaerotilus natans*			●●	●●							●●	●●	●●			○	●●	●●				●					●●			○		
			Zoogloea ramigera			●●	●●					●		●●	●●	●●			●●	●	●●									●			+	○	○
			Spirillum undulans			●●	●●			○				●	●	●●				●	●														
			Beggiatoa alba			●●	●●			○				●	●	●				●●	●														
		Schlammröhrenwürmer:	*Tubifex tubifex*			●	●			○				●●	●	●			●●	●●	●●									●				+	+

Haufigkeit des Auftretens einer Leitorganismen-Art in einem Probenahmebereich des Flusses bzw. Baches + rar - selten ○ mehrfach - häufig ● häufig - sehr häufig ●● massenhaft

Winkelbach, Darmbach-Landwehr-Landgraben-System sowie Mühlbach

Der Winkelbach weist ebenso als Nebenfluß des Rheins – wie die hydrochemischen und biologischen Daten zeigen – (vgl. Tab. 13) eine weit geringere Belastung als die Weschnitz auf. Allein nach Stadt Bensheim und im Unterlauf bis zum Mündungsbereich herrscht eine starke Verschmutzung bis zur Güte III vor. Einen wesentlich schlechteren Gewässer-Güte-Zustand weist das System Darmbach-Landgraben auf. Hier erfährt das Gewässer, bei außerordentlich mangelhafter Frischwasserzufuhr, durch die Einleitungen aus städtischen und industriellen Kläranlagen mit einem Abwasser von mehr als 700000 EG, insbesondere der chemischen Industrie der Fa. Merck und der Stadt Darmstadt, eine derartige hohe Belastung, daß es sich bis zu seiner Mündung bei Trebur (Meßbereich 3) seit den Jahren 1978 bis 1981 von einer übermäßigen Verschmutzung, Güteklasse IV und noch schlechter als diese, nicht erholen konnte (vgl. Tab. 13). Das biologische Bild des Systems wird vorwiegend durch die Massenentwicklung von Abwasserbakterien, Pilzen *(Thiotrix nivea)*, Schlammröhrenwürmern (*Tubifex tubifex*) Insektenlarven *Chironomus thummi*), Rädertieren (*Rotaria neptunia*) und zahlreichen Wimpertieren wie *Colipidium colpoda* u. a. dokumentiert. Die Gesamtkeimzahl dieser Gewässerabschnitte schwankt zwischen 10^5–10^8 und sehr starke organische oder anorganische Stoffbelastung bedingt hier eine ständige Faulschlammbildung mit erheblichen Schwermetallkonzentrationen. Auch der Mühlbach oberhalb und unterhalb von Groß-Gerau weist durch zahlreiche, z. T. nicht ausreichend gereinigte urban-industrielle Abwässer, erheblich hohe organische oder anorganische Stoffbelastungen auf. Sowohl die BSB_5- bis 9–35 O_2/l als auch die NH_4^+-Werte von 18–45 mg/l zeigen eine hochgradige Verschmutzung an. Die Phosphat-Werte bis 29 mg/l sowie die bakteriologischen Befunde weisen den Mühlbach in die ausgeprägte Alphamesosaprobie bis Polysaprobie, also in eine Güteklasse III und III–IV.

Modau

Die Modau ist abgesehen von ihrem Oberlauf, im Meßbereich 1 bei Hoxhohl und Meßbereich 2 bei Nieder-Modau, schon ab Eberstadt, wie die BSB_5- und NH_4^+-Werte der Jahre 1978–1980 (vgl. Tab. 14) nachweisen, stark verschmutzt. Diese starke Belastung ist aus dem hohen Anteil des chemischen Sauerstoffbedarfs bis 45 CSB mg/l, der als Maß sowohl der leicht- als auch der schwerabbaubaren Belastungsstoffe gilt, abzulesen. Die Tab. 14 weist ebenso auf eine, wenn auch nicht linear zunehmende Belastung im Meßbereich 3–4, Eberstadt bis Pfungstadt und abschnittsweise bis zur Mündung, Meßbereich 5–6, hin.

Das Bild der Modau wird im Oberlauf von gewässerklassifizierenden Algen *(Mycrocystis flos-aquae)*, Diatomeen *(Tabellaria fenestrata)* und Blütenpflanzen *(Potamogeton natans)*, im Mittel- und Unterlauf vorwiegend von einer sehr häufig-massenhaften Häufigkeit des Auftretens der Zuckermückenlarven, Abwasserbakterien, Insektenlarven und einiger Abwasserpilze charakterisiert (vgl. auch Tab. 12). Daraus folgt eine Einstufung der Modau in die Belastungsstufe der Polysaprobie mit

Tab. 13: Hydrophysikalisch-chemische und hydrochemisch-biochemische Meßergebnisse für den Mühlbach, das Darmbach-Landwehr-Landgraben-System sowie für den Winkelbach. Jahresmittelwerte der Konzentration von Belastungs-Parametern.

	Mühlbach						**Darmbach-Landwehr-Landgraben**								
Meßbereich	Schneppenhausen-Klein-Gerau 1			unterhalb Groß-Gerau 2			westl. Darmstadt 1			„Hohe Brücke" nördl. Büttelborn 2			Wallerstädten-Trebur 3		
Jahr	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit µS/cm	790	780	800	930	990	1000	3750	3500	3400	2650	2900	2500	3800	3500	3300
$KMnO_4$-Verbr. mg/l	50	40	38	70	50	45	155	130	125	115	120	110	165	170	160,3
CSB mg/l	19	21	18	48	35	30	135	110	100	95	100	90	179,5	165,2	148
BSB_5 mg/l	15	10	9	35	18	13	29,5	27	19	23,5	25	17	37,5	34	32
DOC mg/l	18	20	10	29	30	27	43	40	36	33,5	37	34	50	48,5	60
$NH4^+$ mg/l	45	25	19	32	20	18	42	43	35	30	45	41	37,5	38,7	33,5
NO_3- mg/l	10	15	20	11	17	20	14	10	6	15	10	11	4,6	4	4,5
NO_2- mg/l	0,95	0,65	0,30	0,95	1,35	0,90	0,45	0,40	0,35	0,95	0,30	0,25	0,30	0,95	1,20
PO_43- mg/l	22	24	15	27	29	25	39,5	38	35	28	37	30	40	21,5	15,4
Cl^- mg/l	95	80	105	75	90	120	870	840	855	850	675	660	725	650	600

	Winkelbach					
Meßbereich	Rodau/Zwingenberg 1			südl. Gernsheim 2		
Jahr	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit µS/cm	795	780	750	1100	910	830
$KMnO_4$-Verbr. mg/l	47	45	40	48	38	40
CSB mg/l	23	23	21	39	33	24
BSB_5 mg/l	6,5	6,3	6	12	9,5	7
DOC mg/l	10	9	6,2	12	12,5	7,2
$NH4^+$ mg/l	17	14	9	20,5	19,5	22
NO_3- mg/l	45	30	15,5	23	20	15,5
NO_2- mg/l	0,15	0,95	1,50	4,50	5	2,50
PO_43- mg/l	11	10	6,5	13	11,8	9
Cl^- mg/l	90	80	75	12	97	90

alphamesosaprobem Einschlag (III–IV) bis zur Polysaprobie (IV). Die Ursache dieser starken bis übermäßigen Belastung liegt ab Nieder-Ramstadt, insbesondere aber ab Darmstadt-Eberstadt und Pfungstadt, in den Einleitungen von stark belasteten, kommunalen und industriellen Abwässern bei geringer natürlicher Wasserführung. Bis zu ihrer Mündung in den Stockstadt-Erfelder-Altrhein tritt in der Modau keine deutliche Besserung ein. Der Erfelder Altrheinarm weist ebenso durch die stark belastete Modau einen stark verschmutzten Güte-Zustand (III–IV) auf.

Tab. 14: Hydrophysikalisch-chemische und hydrochemisch-biochemische Meßergebnisse für die Modau. Jahresmittelwerte der Konzentration von Belastungs-Parametern.

Meßbereich		Hoxhohl 1			N.-Modau 2			Eberstadt 3		
Jahr		1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit	µS/cm	650	550	480	500	750	480	800	1400	950
$KMnO_4$-Verbr.	mg/l	65	35	32	25	30	20	60	74	80
CSB	mg/l	24,5	23	20	15	14	12	37,5	35	33
BSB_5	mg/l	6,5	5	4,5	5	4	3,5	10	15	8
DOC	mg/l	5	4,5	5,5	6	10	7	9	11	7,5
$NH4^+$	mg/l	11	9	7,9	9,5	5	1,5	11,5	13	9
NO_3-	mg/l	50	55	40	30	25	37	24	32	31
NO_2-	mg/l	3,5	4	3	2	3	1,5	3	3,5	4,5
PO_43-	mg/l	6,5	4,8	3,5	4	3,5	2,5	8	9,4	4,7
Cl^-	mg/l	65	59	50	45	45	40	60	58	45

Meßbereich		Pfungstadt 4			Hahn 5			Stockstadt 6		
Jahr		1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit	µS/cm	955	1500	870	750	895	1350	800	1900	890
$KMnO_4$-Verbr.	mg/l	75	90	67	55	70	65	65	70	90
CSB	mg/l	40	45	30	28	25	30	34	39	41
BSB_5	mg/l	25	30	10	15	20	12	19,5	14,5	11
DOC	mg/l	10	11	9	9	8,5	10	15	15	11
$NH4^+$	mg/l	12	15	10	11	18	9	12,5	15	13
NO_3-	mg/l	35	53	44	40	29	30	22	28,5	26,6
NO_2-	mg/l	2,5	4	5	2	1,5	3,5	6,5	7,5	5,5
PO_43-	mg/l	12	9	5,5	10	8	8,5	10,5	9	7,5
Cl^-	mg/l	70	80	50	80	75	90	65	72	55

Schwarzbach

Der Gewässergüte-Zustand des Schwarzbaches, der sein Einzugsgebiet sowohl in der Unter-Main-Ebene als auch im Hessischen Ried hat, wird von mehreren stark-

bis übermäßig belasteten und verschmutzten Zuflüssen wie Schwarzbach-Grundbach, Geräthsbach und Darmbach-Landwehr-Landgraben bestimmt. Aufgrund hoher städtischer und industrieller Abwassereinleitungen und relativ schwacher natürlicher Frischwasserzufuhr – wobei in der trockeneren Jahreszeit das Abwasser mindestens dem Zweifachen des Abflusses entspricht, ist seit 1978 keine wesentliche Verbesserung als der Güte-Zustand von IV eingetreten. Die Gütebeschaffenheit des Schwarzbaches wurde für 1978–1980 an 8 Meßbereichen bis zur Mündung in den Ginsheimer Altrhein verfolgt. Die Ergebnisse dieser hydrophysikalischen und hydrochemischen Analysen sind in der Tab. 15 wiedergegeben. Vom Hengsbachtal, insbesondere ab unterhalb Sprendlingen, nimmt die Belastung des Schwarzbaches zu. Auf den weiteren Fließstrecken, insbesondere ab Walldorf (Meßbereich 4) treten besonders Industrieabwassereinleitungen im Raum Walldorf, Nauheim-Trebur (6) und in den Abschnitten westl. von Trebur (Meßbereich 7–8) bis Ginsheim auf.

Danach nehmen sowohl die Leitfähigkeit als auch die CSB-Gehalte als Maß für industriebedingte Abwasserbelastung bis 90 mg/l zu. Die etwas höhere organische Belastung im Mittellauf (Meßbereich 3–47) scheint durch die Abwässer der städtischen Siedlungen, aber auch durch die Einleitungen aus den Bereichen der Landwirtschaft bedingt zu sein. Ebenso rühren die Gehalte an NO_2^-, NO_3^- und PO_4^{3-} mehr aus den häuslichen und städtischen Abwässern und aus den agrarischen Räumen her. Die PO_4^{3-}-Gehalte können allerdings z. T. auch den industriellen Abwässern entstammen. Die Zunahme des Chloridgehaltes in Richtung Mittel- und Unterlauf kann auf die urban-industriellen Einleitungen, aber auch auf die durch Streusalz stark angereicherten Abwässer zahlreicher Bundesstraßen und Bundesautobahnen zurückgeführt werden.

Nach den vorliegenden hydrochemischen und biologisch-ökologischen Daten (vgl. Tab. 12) ist der Schwarzbach, vor allem im Unterlauf ab Nauheim-Trebur (Meßbereich 6 u. 7) bis zur Mündung in den Ginsheimer Altrhein trotz der jahrelangen Abwasserbehandlungen in den verschiedenen Gewässerabschnitten immer noch bis übermäßig belastet. Dies ist neben der Vorbelastung der Zuflüsse wie Grund- und Mühlbach, Hegbach, Apfelbach, einmal auf stark belastete und biologisch-chemisch nicht ausreichend gereinigte Abwässer, zum anderen auf die langsame Fließgeschwindigkeit, geringe Turbulenz und einen sehr schlechten Sauerstoffhaushalt zurückzuführen. So tritt durch langsame Strömung eine zu starke Verschlammung durch schwebstoffreiche Abwässer ein sowie durch Abspülung landwirtschaftlich intensiv genutzter Flächen, die des öfteren durch den Nährstoffeintrag (PO_4^{3-} und Stickstoffverbindungen) eine starke Eutrophierung hervorrufen. Dies führt vielfach in den trockeneren Jahreszeiten zu anaeroben Zersetzungsserscheinungen mit Faulschlammbildungen. Insbesondere wird der Schwarzbach durch außerordentlich hohe Schwermetallgehalte im Wasser, vor allem in den Schlammsedimenten, gekennzeichnet. Aufgrund der vorgegebenen Daten und der sehr häufigen bis massenhaften Entwicklung der Leitorganismen der Güteklasse III–IV und V (vgl. Tab. 12) sowie außerordentlich hohen Gesamtkeimen von über 10^7–10^8 ist der Schwarzbach im Mittel- und Unterlauf sehr stark bis übermäßig verschmutzt. Dieser Belastungs-Zustand – wie wir aus der Entwicklung der noch zu besprechenden Schwermetallanreicherung entnehmen können – ist für den Gewässergüte-Zustand und die Ökologie des Ginsheimer Altrheines von großer nachhaltiger Beeinträchtigung.

Tab. 15: Hydrophysikalisch-chemische und hydrochemisch-biochemische Meßergebnisse für den Schwarzbach. Jahresmittelwerte der Konzentration von Belastungs-Parametern.

Meßbereich	Götzenhain 1			unterhalb Sprendlingen 2			unterhalb Buchschlag 3			westlich Walldorf 4		
Jahr	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit µS/cm	420	430	480	560	590	680	1900	2000	2080	1200	855	1100
$KMnO_4$-Verbr. mg/l	40	29	35	95	90	85	105	120	95	65	85	95
CSB mg/l	8	10	13	31	30	24	45	65	30	36	30	40
BSB_5 mg/l	9	8	6	40	11	14	45	40	30	29	36	48
DOC mg/l	7,5	8	7	36	34	19	40	39	35	27	19	17
NH_4^+ mg/l	3	2	3	7	9	13	26	29	30	19	37	30
NO_3- mg/l	16	19	40	26	25	40	48	50	70	70	60	25
NO_2- mg/l	0,65	0,95	1	0,95	1,2	1,5	1,2	1	1,85	1,45	1,3	1,6
PO_43- mg/l	2	6	4	15	14	12	45	40	25	40	28	22
Cl^- mg/l	60	45	65	80	75	65	115	150	175	118	95	110

Meßbereich	n. Einmündung des Geräthsbach 5			Nauheim-Trebur 6			westlich Trebur 7			Ginsheim 8		
Jahr	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit µS/cm	1800	900	700	800	750	680	1700	2100	985	1440	2280	1190
$KMnO_4$-Verbr. mg/l	75	60	80	60	65	55	119	110	80	80	120	85
CSB mg/l	32	28	30	30	24	28	80	90	45	70	80	39
BSB_5 mg/l	19	13	10	14	9	7	17	15	10	15	18	13
DOC mg/l	29	22	19	26	24	17	26	25	18	21	24	14
NH_4^+ mg/l	21	17	19	24	16	14	24	30	17	25	27	17,5
NO_3- mg/l	27	33	38	18	19	14	18	10	12	8	19	10
NO_2- mg/l	0,07	0,8	2	1,3	1,4	1,95	1,3	1,3	0,95	0,60	0,70	1,2
PO_43- mg/l	18	23	16	15	14	9	15	20	12	14	20	10,5
Cl^- mg/l	85	70	65	120	75	95	120	320	145	245	275	155

Gersprenz

Die Gersprenz ist, wie die Tab. 16 zeigt, bereits im Oberlauf, in den Quellgebieten durch den Mergbach und Osterbach (Meßbereich 1), verschmutzt. Die stärkste Verschmutzung erfährt die Gersprenz erst ab großen abwasserreichen Ortschaften wie Groß-Biberau und Dieburg (Meßbereich 4 u. 5). Die BSB_5-Werte liegen zwischen 6 und 20 und die NH_4^+-Werte zwischen 8–21 mg/l. Die Nitrat-, Nitrit- und Phosphat-Werte sind ebenso sehr hoch. Weitere Belastungsschwerpunkte liegen bei Harpertshausen durch den Rickersbach, um Babenhausen und vor Stockstadt a. M. Nach dem Grad der organischen Belastung zu urteilen, handelt es sich hierbei um mehr oder weniger urban-landwirtschaftliche Abwasserbelastungen. Die hohen Nitrat und Phosphat-Werte sprechen z. T. auch für Einleitungen aus dem Bereich der Landwirtschaft. Eine deutliche Erhöhung des CBS-Gehaltes unterhalb von Dieburg, Rickersbach-Harpertshausen und im Meßbereich 7 und 8 um Babenhausen und Stockstadt dürfen auf die schwerabbaubaren gewerblich-industriellen Abwässerstoffe zurückzuführen sein.

Rodau und Bieber

Rodau und Zuflüsse, insbesondere Bieber, sind in ihren Oberläufen mäßig verschmutzt (II). In ihrem Verlauf werden jedoch die beiden Gewässer in fast allen Abschnitten durch hochbelastete Abwassereinleitungen bei relativ niedriger Wasserführung sehr stark bis übermäßig verschmutzt. Nach den hydrochemischen Daten (Tab. 17) zu beurteilen, liegen die Belastungsschwerpunkte in der Rodau um Dudenhofen (Meßbereich 2), in Abschnitten um Hausen-Lämmspiel und bis Mühlheim. Sie zeichnen sich durch hohe Gehalte an $KMnO_4$-Verbrauch, hohen CBS bis 70 mg/l, BSB_5 bis 24 mg/l, NH_4^+ bis 15 mg/l, hohe Nitrat- und Nitrit-Gehalte bis 65 bzw. bis 3,2 mg/l und hohe Phosphatgehalte bis 15 mg/l aus. Zieht man noch die biologisch-ökologischen Befunde heran, so läßt sich feststellen, daß die Rodau und in ähnlicher Weise der Bieber zu den übermäßig verschmutzten Gewässern der Unter-Main-Ebene bzw. des Untersuchungsgebietes gehören. Die Gründe für diese übermäßige Verschmutzung (IV) der beiden Gewässer liegen trotz der mechanischen-biologischen und vollbiologischen Abwasserbehandlung, insbesondere unterhalb des Kläranlagenablaufs, einmal in der Überschätzung der oben genannten Reinigungsanlagen, zum andern in der Mißachtung der schwachen Selbstreinigungskraft der untersuchten Gewässer. Berechnungsmodelle zur Abminderung der Stoffbelastungen führten bis 1980/81 noch zu keinem gewünschten Erfolg. In beiden Gewässern sind die heute noch in Betrieb befindlichen Kläranlagen nicht in der Lage, sämtliche Belastungsstoffe wie Schwebstoffe, Restphosphate von ca. 70% der Gesamtphosphate, Nitrate und hohe Schwermetallgehalte der Wasser- und Flußsedimente weitgehend zu verringern, geschweige sie gänzlich zu eliminieren. Die somit gewonnenen Ergebnisse der Analysen des Gewässer-Güte-Zustandes der Rodau zeigen wiederum ein typisches Belastungsbild eines durch urban-industrielle, hochbelastete Abwassereinleitungen und damit anthropogen stark beanspruchtes aquatisches Ökosystem des Untersuchungsgebietes.

Tab. 16: Hydrophysikalisch-chemische und hydrochemisch-biochemische Meßergebnisse für die Gersprenz. Jahresmittelwerte der Konzentration von Belastungs-Parametern.

Meßbereich		Ostern-Tal 1			Bockenrod 2			Fränk. Crumbach 3			unterhalb Groß Biberau 4		
Jahr		1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit	µS/cm	370	410	385	400	580	800	690	710	820	900	840	880
$KMnO_4$-Verbr.	mg/l	20	24	25	49	50	48	35	44	45	45	63	74
CSB	mg/l	13	11	8	30	29	28	14	19	15	18	16	15
BSB_5	mg/l	5	4	3,5	10	8,5	7	6	6	5	8	7	6
DOC	mg/l	4	3	2,8	10	11	10	5	4	5	6	4	5
NH_4^+	mg/l	3	2,5	2	12	10	9	4	3	2	13	9	8
NO_3-	mg/l	26	29	24	40	80	65	45	90	50	60	65	62
NO_2-	mg/l	0,75	0,5	0,3	1,2	1,3	0,90	1,4	1,2	0,85	1,30	0,95	1,15
PO_43-	mg/l	4	3	2	9	4	8	3	7	5	12	9	10
Cl^-	mg/l	60	45	47	70	120	120	95	75	65	120	80	50

Meßbereich		unterhalb Dieburg 5			Richerbach Harpertshausen 6			Babenhausen 7			Stockstadt a. M. 8		
Jahr		1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit	µS/cm	890	1400	1210	890	920	750	670	630	700	595	685	700
$KMnO_4$-Verbr.	mg/l	110	65	90	80	75	95	35	50	30	59	34	50
CSB	mg/l	24	30	24	40	25	20	20	19	16	25	20	27
BSB_5	mg/l	19	20	18	15	10	8	7	8	7	10	7	8
DOC	mg/l	8	11	10	12	7	6	7	7,5	6	7	6	9
NH_4^+	mg/l	20	14	9	21	20	16	6,95	7,5	6	6,95	8,5	9
NO_3-	mg/l	65	39	45	40	50	35	18	24	21	39	27	29
NO_2-	mg/l	0,95	0,75	1,50	1,75	1,95	1,85	1,30	2,5	1,46	2,5	0,95	1,80
PO_43-	mg/l	11	4	8	17	13	10	7,5	5	4,8	10	6	7
Cl^-	mg/l	120	160	95	130	145	65	47	55	43	60	68	75

Tab. 17: Hydrophysikalisch-chemische und hydrochemisch-biochemische Meßergebnisse für Rodau und Bieber. Jahresmittelwerte der Konzentration von Belastungs-Parametern.

Meßbereich	**Rodau** Urberach-Ober-Rodau 1			Dudenhofen 2			Hausen-Lämmspiel 3		
Jahr	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit µS/cm	590	520	575	710	600	690	950	900	840
$KMnO_4$-Verbr. mg/l	39	35	30	50	60	47	55	70	60
CSB mg/l	20	18	20	32	40	30	35	49	40
BSB_5 mg/l	5	4	5	7	11	8	23	24	17
DOC mg/l	6	4	5	9	10	8	11	14	13
$NH4^+$ mg/l	3	2,5	2	9	7	6	15	13	11
NO_3- mg/l	72	60	85	65	55	50	39	25	23
NO_2- mg/l	0,08	0,07	0,2	0,7	1,80	1,60	1,80	2,90	2,50
PO_43- mg/l	1,5	1,5	1,2	7	6,5	5,9	14	15,5	9
Cl^- mg/l	55	30	40	75	50	60	120	100	85

Meßbereich	**Rodau** Mühlheim 4			**Bieber** nördl. Dietzenbach 1			nördl. OT Bieber 2		
Jahr	1978	1979	1980	1978	1979	1980	1978	1979	1980
Leitfähigkeit µS/cm	900	850	840	700	720	795	920	860	980
$KMnO_4$-Verbr. mg/l	45	40	52	45	40	35	80	75	70
CSB mg/l	38	40	31	20	25	18	45	50	47
BSB_5 mg/l	13	15	13,5	8	6,5	6	22	20	18
DOC mg/l	10	12	9,8	9	6	5	17	15	13
$NH4^+$ mg/l	17	15	14	10	12	15	17	15	19
NO_3 - mg/l	56	50	36	40	25	22	75	60	70
NO_2 - mg/l	3,2	2,5	2,95	0,95	0,85	1,2	2,1	2,5	3
PO_4 3- mg/l	13	12	9	7	6	4	8	11	8,5
Cl^- mg/l	85	80	73	65	95	75	110	8,5	70

4.2. Geochemisch-sedimentologischer Belastungszustand der Gewässer und Gewässersedimente

In der vorliegenden Arbeit wurde, um das Ausmaß der Schwermetallbelastung möglichst genau und vollständig anzugeben, ihre Konzentration sowohl im Fluß-Wasser als auch im Fluß-Sediment jeweils an 31 Wasser- und Sedimentproben aus Weschnitz, Modau, Darmbach-Landwehr-Landgraben, Schwarzbach, Mühlbach sowie aus Gersprenz und Rodau gemessen. Die Ergebnisse dieser Schwermetallanalysen im Fluß-Wasser sind in den Tabellen 18 bis 24 zusammengestellt.

4.2.1. Schwermetallbelastung im Flußwasser

Eine Gegenüberstellung der Standard-, Richt- und Grenzwerte der Schwermetalle zur Qualitätsförderung von Oberflächengewässern, Rohwasser und der Standardwerte der Schwermetall-Gehalte in den unbelasteten Binnengewässern (vgl. Tab. 5) mit den Schwermetall-Gehalten in untersuchten Fluß-Gewässern zeigt eine generelle anthropogen bedingte Kontamination und Belastung an. Der Verlauf der Schwermetallanreicherung im Wasser ist bei fast allen Fließgewässern in Richtung auf den Unterlauf identisch. Die Höhe der Schwermetallbelastung im Wasser ist jedoch in den einzelnen Gewässern einer größeren Schwankung unterworfen.

Ebenso sind Schwerpunkte der Schwermetallbelastung mit den organisch-anorganischen Belastungsschwerpunkten positiv korrelierbar. Um das Ausmaß der Schwermetallgehalte im Wasser zu qualifiziern sind in den Tabellen die mittleren Gehalte aus einigen, am stärksten anthropogen beeinträchtigten Meßbereichen der Fließgewässer den Standard-Werten der Schwermetall-Gehalte der unbelasteten Binnengewässer gegenübergestellt. Danach weisen Schwarzbach, Rodau, Darmbach-Landgraben und Modau für einige Elemente eine höhere Wasserbelastung auf. Dann folgen Weschnitz und Gersprenz. Alle diese mit hoher Schwermetallbelastung im Wasser gekennzeichneten Fluß-Wasserabschnitte liegen im Bereich der urban-industriellen Ballungszentren und damit im Bereich der Schwermetall-Emissionsquellen.

4.2.2. Schwermetallbelastung in Flußsedimenten

Das Ausmaß der Belastung und Verschmutzung der untersuchten Gewässer durch urban-industrielle, kommunal-gewerbliche, landwirtschaftliche Nutzflächen und Betriebe erzeugte hochkomplexe Abwässer und Abfallstoffe sowie die durch die Luftverunreinigung herangewehten, mit Metallen angereicherten trockenen und feuchten Depositionen verursachte Schwermetallschadstoff-Belastung, läßt sich in seinen geochemischen Verhältnissen und Veränderungen noch besser in den tonigen Sedimenten der Fließ-Gewässer verfolgen. Der Grund hierfür liegt darin, daß das Fluß-Wasser aufgrund abflußbedingter kurzfristiger Schwankungen der Wasserführung und unterschiedlicher aktueller Liefergebiete, z. T. aber sehr oft lokalen und temporären Schwermetallemissionen mit erheblich größeren, regionalen Schwankungen behaftet ist. Demnach kann die Fluß-Sediment-Analyse nach wie vor als ausgezeichnete diagnostische Untersuchungsmethode zur Beurteilung und Qualifizierung der Schwermetall-Belastung aus den Gewässern des Untersuchungsgebietes benutzt werden. Um regional und überregional vergleichbare Daten zu ermitteln, wurde jeweils die Feinstfraktion, die Tonfraktion ($<2\,\mu m$) von Fluß-Sedimenten und Fluß-Schlammbildungen auf ihren Gehalt an Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Zn und Ni untersucht (vgl. Tab. 18 bis 24). Um das Ausmaß und die Stärke der anthropogenen Schwermetallanreicherung festzustellen, muß jedoch – wie erwähnt – als Bezugsgröße für eine Qualifizierung ihrer Gehalte auf den geogenen „chemischen background", den Tongestein-Standard zurückgegriffen werden. Als zusätzliche Bezugsbasis dienten die regionalen geochemischen Standards. Hierfür wurden die Schwermetallanalysen-Daten von unbelastetem magmatischen Gestein und Löß-Sedimenten des Vorderen Odenwaldes ermittelt. Die Analysen-Ergebnisse der Fluß-Sedimentproben, die in Tab. 18 bis 24 wiedergegeben sind, zeigen ebenso die Mittelwerte an. Die Maximalwerte können erheblich davon abweichen. Die

Tab. 18: Mittlere Schwermetall-Gehalte im Wasser und in Sedimenten (<2µm) der Weschnitz.

Schwermetalle im Wasser (in ppb)

Meßbereich	1	unterhalb Fürth 2	unterhalb Mörlenbach 3	Weinheim Fa. Freudenberg 4	Fa. Freudenberg 5	Laudenbach 6	Lorsch 7	Einhausen 8	Biblis 9	vor der Mündung i. d. Rh. 10
Cd	< 0,005	2,5	2,8	2,1	2,7	2,45	1,9	1,9	0,5	0,95
Hg	< 0,005	0,5	0,65	1,7	2,8	1,5	2,9	2,45	2,9	7
Pb	5	41	40	65	60	55	29	30	35	45
Cu	20	53	59	80	100	75	70	65	40	83
Cr	2	8	9	11	135	39	8,5	11	5,5	13
Zn	10	55	45	120	450	85	75	39	90	110
Ni	4	85	110	80	115	60	80	90	75	65
Fe	18	45	120	200	295	200	185	195	380	450

Schwermetalle in Sedimenten (ppm)

Meßbereich	1	unterhalb Fürth 2	unterhalb Mörlenbach 3	Weinheim Fa. Freudenberg 4	Fa. Freudenberg 5	Laudenbach 6	Lorsch 7	Einhausen 8	Biblis 9	vor der Mündung i. d. Rh. 10
Cd	0,20	4,0	4,5	8,5	10	8	9	5,1	6,5	7,6
Hg	0,05	0,5	1,10	1,30	1,55	1,30	1,35	1,20	1,27	1,30
Pb	5,5	150	145	185	210	130	170	195	145	165
Cu	15	160	130	205	200	190	195	130	125	140
Cr	3	100	130	230	950	720	750	830	400	450
Zn	15	480	500	950	1600	1695	1280	1150	1200	1230
Ni	16	235	185	320	480	235	410	330	310	300
Fe	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Hauptschwerpunkte der Schwermetall-Belastungen in den Sedimenten sind wiederum in den Mittel- und Unterlauf-Abschnitten der Gewässer zu finden, wo auch dort in ihrem Einzugsgebiet eine schwermetallverarbeitende, metallherstellende, galvanische und phototechnische Industrie, Druckereien, Chemische Industrie, Glas-Zement-, Keramik-Industrie, Gummi-, Kunststoff- und Leder-Industrie, Farben- und Lack-Industrie sowie die Elektro-, Radio- und Fernsehtechnik als wichtigste Emissionsquellen zu finden sind. Dies sind Bereiche der wirtschaftlichen, städtischen Aktivität, Bereiche der agrarischen, strukturierten Räume und der agrarischen Nutz- und Betriebsflächen sowie Gebiete der Bevölkerungsagglomerationen.

Tab. 19: Mittlere Schwermetall-Gehalte im Wasser und in Sedimenten (<2µm) der Modau.

Schwermetalle im Wasser (in ppb)

Meßbereich	Hoxhohl 1	N.-Modau 2	Eberstadt 3	Pfungstadt 4	Hahn 5	Stockstadt 6
Cd	2,5	0,9	3,5	3,7	3,3	5,5
Hg	0,5	0,3	5	5,5	6	5
Pb	7	7	50	35,5	28	25
Cu	8	12	26	30	18	20
Cr	3	4	27	23	25	45
Zn	40	95	300	210	105	115
Ni	4	5	17,5	15	12	14
Fe	200	385	9000	8800	3000	900

Schwermetalle in Sedimenten (in ppm)

Meßbereich	Hoxhohl 1	N.-Modau 2	Eberstadt 3	Pfungstadt 4	Hahn 5	Stockstadt 6
Cd	0,6	0,3	2,5	3,8	3	5
Hg	0,01	0,015	1,25	1,35	1,30	2
Pb	20	18	95	85	65	110
Cu	8	10	39	28	35	155
Cr	11	10	90,5	83	85	128
Zn	60	45	140	120	145	480
Ni	10	12	73	75	70	143
Fe	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Tab. 20: Mittlere Schwermetall-Gehalte im Wasser und in Sedimenten (<2µm) des Darmbach-Landwehr-Landgraben-Systems.

Meß-bereich	Schwermetalle im Wasser (in ppb) west. Darmstadt 1	„Hohe Buche" Büttelborn 2	Wallerst. Trebur 3	Schwermetalle in Sedimenten (ppm) westl. Darmstadt 4	„Hohe Buche" Büttelborn 5	Wallerst. Trebur 6
Cd	3	2	5,5	30	10	23
Hg	4	1,5	6	23	14	27
Pb	11	8	5,6	730	585	505
Cu	35	24	45	575	264	610
Cr	83	75	96	510	475	595
Zn	495	450	620	6500	4593	7550
Ni	95	56	165	335	283	910

Tab. 21: Mittlere Schwermetall-Gehalte im Wasser und in Sedimenten (<2µm) des Mühlbachs.

	Schwermetalle im Wasser (in ppb)		Schwermetalle in Sedimenten (ppm)	
Meß-bereich	Schneppenhausen-Klein-Gerau	unterhalb Groß-Gerau	Schneppenhausen-Klein-Gerau	unterhalb Groß-Gerau
	1	2	3	4
Cd	0,45	1,25	7	19
Hg	0,2	1	8	15
Pb	1,5	7,5	120	650
Cu	15,75	23	350	510
Cr	15	34	180	340
Zn	159	365	3440	6325
Ni	35	53	191	238

Tab. 22: Mittlere Schwermetall-Gehalte im Wasser und in Sedimenten (<2µm) des Schwarzbachs.

Schwermetalle im Wasser (in ppb)

Meßbereich	Götzen-hain 1	unterhalb Buchschlag 2	unterhalb Walldorf 3	Nauheim Trebur 4	westl. Trebur 5	Ginsheim 6
Cd	0,065	0,5	0,90	11,1	12,5	14,3
Hg	0,01	0,09	0,10	0,15	0,20	0,3
Pb	0,18	5,5	9,0	3,5	8,0	35
Cu	6	19,5	8,0	7,0	36	50
Cr	1	40	30	40	25	500
Zn	8,0	80	76	147	425	400
Ni	3	75	15	65	165	500

Schwermetalle in Sedimenten (in ppm)

Meßbereich	Götzen-hain 1	unterhalb Buchschlag 2	unterhalb Walldorf 3	Nauheim Trebur 4	westl. Trebur 5	Ginsheim 6
Cd	1	3,5	5	8	16	28
Hg	0,3	2,5	3	2,5	20	75
Pb	15	235	280	176	730	375
Cu	29	415	205	168	805	410
Cr	55	280	300	480	490	625
Zn	115	1100	1050	2020	5750	4764
Ni	95	125	180	98	365	595

Tab. 23: Mittlere Schwermetall-Gehalte im Wasser und in Sedimenten (<2µm) der Rodau.

	Schwermetalle im Wasser (in ppb)	Schwermetalle in Sedimenten (ppm)
Meß-bereich	oberhalb Mühlheim 4	oberhalb Mühlheim 4
Cd	13	20
Hg	0,5	15
Pb	13	118
Cu	53,5	195
Cr	45	269
Zn	111	1556
Ni	52	295

Tab. 24: Mittlere Schwermetall-Gehalte im Wasser und in Sedimenten (<2µm) der Gersprenz.

	Schwermetalle im Wasser (in ppb)		Schwermetalle in Sedimenten (ppm)	
Meß-bereich	unterhalb Dieburg 1	Babenhausen Harreshausen 2	unterhalb Dieburg 3	Babenhausen Harreshausen 4
Cd	5	10	9,3	15,6
Hg	0,5	0,2	2,5	1,8
Pb	3	2,5	245	210
Cu	40	12,5	881	275
Cr	51	43	440	375
Zn	70	63	1050	960
Ni	25	18	250	205

Zur Quantifizierung der Schwermetallanreicherungen sind in den Tab. 25 u. 26 die mittleren Schwermetallgehalte der am stärksten anthropogen beeinflußten Flußabschnitte (Meßbereich) der Weschnitz, des Darmbach-Landwehr-Landgraben-Systems sowie des Schwarzbaches als ein Berechnungsbeispiel der Mittelwerte der Schwermetallgehalte des unbelasteten Tongestein-Standards (TGS) und des regionalen geochemischen Standards (RGS_1 und RGS_2) gegenübergestellt. Aus dieser Gegenüberstellung lassen sich die Anreicherungsfaktoren zur Beurteilung der Schwermetall-Belastungen und Schwermetall-Belastungsschwerpunkte der Gewässer ablesen (vgl. Tab. 25 u. 26).

Von den Mittelwerten der regionalen geochemischen Standards (RGS_1 und RGS_2) weist der RGS_1 mit TGS eine gute Übereinstimmung auf, der RGS_2 dagegen, der auf der Basis der Schwermetallanalyse aus dem Lößsediment gewonnen wurde, scheint weit niedrigere Mittelwerte zu haben und täuscht daher bei der Berechnung der Anreicherungsfaktoren einen etwas höheren Wert vor. Vergleicht man nun die ermittelten Daten der Fluß-Sedimente des Untersuchungsgebietes mit den Mittelwert-Daten des Tongestein-Standards und des regionalen geochemischen Standards (RGS_1) und die daraus errechneten Anreicherungsfaktoren, so stellen wir fest, daß alle untersuchten Gewässer eine hohe Schwermetallbelastung aufweisen. Im

Tab. 25: Mittlere Schwermetallgehalte der Standard-Werte (Binnengewässer n. FÖRSTNER et al.) und der am stärksten belasteten Abschnitte einiger Gewässer sowie die entsprechenden Anreicherungsfaktoren.

Standard-Wert (ppb)		Schwarzbach Ginsheim	Faktor	Rodau Mühlheim	Faktor	Gersprenz Babenh.	Faktor	Modau Pfungstadt	Faktor	Landgraben Trebur	Faktor	Weschnitz Fa. Freudenbg.	Faktor
Cd	0,20	14,3	71,5	13	65	10	50	3,7	18,5	5,5	27,5	2,7	13,5
Hg	0,05	0,3	6	0,5	10	0,2	4	5,5	110	6	120	2,80	56
Pb	3	35	11,6	13	4,3	2,5	0,83	35,5	11,8	5,6	1,9	60	20
Cu	7	50	7,1	53,5	7,6	12,5	1,79	30	4,3	45	6,4	100	14,2
Cr	1	500	500	45	45	43	43	23	23	96	96	135	135
Zn	10	400	40	111	11,1	63	6,3	210	21	620	62	450	45
Ni	3	500	167	52	17,3	18	6	15	5	165	55	115	38,3

Tab. 26: Mittlere Schwermetallgehalte des Tongestein-Standards, der regionalen geochemischen Standards und der Flußsedimente aus den jeweils am stärksten belasteten Flußabschnitten des Schwarzbaches, der Weschnitz und des Darmbach-Landgraben-Systems.

	Standard-Werte			Schwarzbach				Weschnitz				Darmbach-Landwehr-Landgraben			
	TGS ppm	RGS_1 ppm	RGS_2 ppm	Sediment ppm	Fakt. TGS	Fakt. RGS_1	Fakt. RGS_2	Sediment ppm	Fakt. TGS	Fakt. RGS_1	Fakt. RGS_2	Sediment ppm	Fakt. TGS	Fakt. RGS_1	Fakt RGS_2
Cd	0,8	0,45	0,40	98	35	62,2	70	10	12,5	22,2	25	23	28,8	51	57,5
Hg	0,4	0,50	0,28	75	187,5	150	267	1,55	3,9	3,1	5,5	27	67,5	54	96,4
Pb	20	15	35	375	18,8	25	10,7	210	10,5	14	6	505	25,3	33,6	14,5
Cu	45	51	22	410	9,1	8	18,6	200	4,5	3,9	9	610	13,6	12	27,7
Cr	68	60	43	625	9,2	10,4	14,5	950	14	15,8	22	595	8,8	9,9	13,8
Zn	90	78	87	4764	53	53	54,8	1600	17,8	20,5	18,4	7550	83,9	96,8	86,8
Ni	95	99	66	595	6,3	6,3	9	480	5	4,8	7,3	910	9,6	9,2	13,78

Schwarzbach und Darmbach-Landwehr-Landgraben ist diese Belastung am höchsten. Gegenüber den TGS-Werten weist der Schwarzbach ab Trebur, vor allem kurz vor seiner Mündung in den Ginsheimer Altrhein, einen Anreicherungsfaktor bei CD: 35 ppm, Hg: 187,5 ppm, Pb: 18 ppm, Cu: 9,1 ppm, Cr: 9,2 ppm, Zn: 53 und Ni: 6,3 ppm auf. Ein ähnlicher Anreicherungsgrad ist aus dem Mittelwert der Schwermetalle vom Darmbach-Landgraben (vgl. Tab. 26) zu entnehmen. Die Weschnitz-Sedimente belegen dagegen eine mäßig hohe Schwermetall-Belastung. Der Mühlbach, ein Nebenfluß des Schwarzbaches im Hessischen Ried, weist insbesondere unterhalb des industriellen und wirtschaftlichen Ballungsraumes, Groß-Gerau, die Rodau in der Unter-Main-Ebene bei Mühlheim am Main und die Gersprenz bei Babenhausen (Meßbereich 7), einen ausgesprochen hohen Anreicherungsgrad auf. Die Jahresmittelwerte der Schwermetalle überschreiten in allen Abschnitten der Mittel- und Unterläufe die tolerierbaren Grenz- und Standard-Werte. Die besprochenen Wasserläufe sind demnach neben der organisch-anorganischen Verschmutzung insbesondere durch die anthropogenen Akkumulationen toxischer und gesundheitsschädigender Schwermetalle wie Cd, Pb, Hg, Cr usw. als stark belastete Gewässer zu bezeichnen. Sie sind damit vielfach in ihrem biologisch-ökologischen Haushalt gestört und dienen nur als Abwasserleitbahnen der Rhein-Mainischen Industrie und Ballungsräume. Zur Behebung der z. T. kaum reparablen gewässerökologischen Schäden bedarf es einer gründlichen Sanierung der Gewässerbachbetten und deren Befreiung von stark schwermetallhaltigen und stark mit organischen Zersetzungsprodukten bedeckten Schlamm-Sedimenten. Weiterhin ist es unerläßlich, zur Verringerung der schwer abbaubaren Stoffe der Gewässer mehr die chemischen Reinigungsverfahren, das sog. 3. Reinigungsverfahren, anzuwenden. Darüber hinaus soll ständig für eine Eliminierung der Phosphat- und Stickstoff-Verbindungen, die ja in den herkömmlichen Kläranlagen bei weitem nicht abgebaut werden, gesorgt werden. Die größten Probleme der Gewässerbelastung bilden nach wie vor die erheblichen Schwermetallbelastungen, insbesondere in Sedimenten. Ein Maß für die außerordentlich hohe Konzentration gibt die folgende Zusammenstellung der ausgewählten Schwermetalle in Prozeßschlämmen von vier kommunalen Kläranlagen des untersuchten Gebietes, des Hessischen Rieds, (vgl. Tab. 27). Ein

Tab. 27: Konzentrationen ausgewählter Schwermetalle in Prozeßschlämmen von vier kommunalen Kläranlagen des Hessischen Rieds (nach freundlicher brieflicher Mitteilung von Herrn Prof. TOBSCHALL, Universität Mainz).

Kommunale Kläranlage	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Hg
			in mg/kg			
Darmstadt						
Rücklaufschlamm	182	682	6640	91	68	7
Vorklärungsschlamm	161	536	6044	55	65	7
Faulturmschlamm	229	849	7110	50	91	8
Groß-Gerau						
Rücklaufschlamm	154	514	6153	28	47	7
Vorklärungsschlamm	148	508	5814	49	45	7
Faulturmschlamm	114	324	2412	30	9	4

Fortsetzung Tabelle 27:

Kommunale Kläranlage	Ni	Cu	Zn	Ag	Cd	Hg
			in mg/kg			
Hengstbachtal						
Rücklaufschlamm	712	493	2770	75	308	4
Vorklärungsschlamm	555	442	2943	73	262	4
Faulturmschlamm	272	530	3651	75	485	5
Nauheim						
Rücklaufschlamm	273	1009	2788	33	13	3
Vorklärungsschlamm	231	1058	2584	60	6	3
Faulturmschlamm	278	1361	2940	72	16	4

erheblicher Teil der Schwermetalle – trotz der hohen Konzentration in den Prozeßschlämmen – bleibt immer noch als ein erheblicher Anteil in gelöster Form oder als feinsuspendierte Schwebstoffe und in kolloidalen Korngrößen im Gewässer und Sediment erhalten. Hier beginnt erneut durch hohe Austauschkapazität der in den Sedimenten sich befindenden Tonminerale, Humussäuren und Fe-Hydroxide (vgl. Tab. 28), die in wässriger Lösung die Schwermetalle adsorbieren, eine Schwermetallanreicherung unterschiedlicher Konzentrationen. Neben diesem Austauschmechanismus können sich jedoch die Schwermetalle durch die chemische

Tab. 28: Austauschkapazität von Tonmineralen und einige anorganische sowie organische Verbindungen (nach BEAR, F. E. 1964, MARSHALL 1964 und SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1976).

Tonminerale, anorganische und organische Verbindungen	Austauschkapazität (mval/100 g)
Kaolinit	3– 15
Halloysit	5– 10
Smectit, Montmorillonit	80– 120
Vermiculit	100– 200
Illit	20– 50
Chlorit	10– 40
Allophan	bis 100
Amorphe Kieselsäure	11– 34
Frisch gefällte Fe-Hydroxyde	10– 25
Organische Substanz (aus Böden)	150– 250
Organische Substanz (zersetzt)	180– 300
Huminsäuren (aus Böden)	170– 590
Huminstofffraktionen (isoliert)	bis 1000 und mehr

Fällung und eine Reihe von Komplexbildungen mit organischem Material in den Gewässern anreichern (vgl. LASKOWSKI 1975). Eine ausgesprochene Entlastung der Gewässer von hohen Schwermetallgehalten bietet daher nur die Rückgewinnung dieser Metalle in den Produktionsstätten, bevor diese hochtoxischen und sogar in geringerer Menge potentiell kanzerogene Stoffe mit den Abwässern in die Gewässer gelangen.

Danksagung

Der Verfasser dankt den Herren Prof. TOBSCHALL, Dr. KRISTOTAKIS, Dipl.-Min. LASKOWSKI, Dipl.-Min. LANGE und KOST, Institut f. Geowissenschaften Univ. Mainz) sowie Frau BÖHMISCH und Frau KOST (Geomorphologisch-pedologisches Labor des Geographischen Instituts Univ. Mainz) für zahlreiche Hilfestellungen und wertvolle fachlich-methodische Hinweise. Für die Durchsicht zahlreicher umweltrelevanter Unterlagen danke ich dem Landesamt für Umwelt, Wiesbaden. Nicht unerwähnt bleiben darf die Mitwirkung zahlreicher Personen, die mir im Gelände bei der turnusmäßigen Probenahme geholfen haben oder mir die zeitweisen oder plötzlichen, meist unzureichend geklärten Abwasserstöße im Untersuchungsgebiet gemeldet haben. Ihnen allen und einer Reihe von Behörden danke ich für statistische Daten und Grundlagen-Informationen.

Mein besonderer Dank gilt zuletzt meiner Frau für die kritische Durchsicht und Reinschrift des Manuskripts sowie Herrn Dr. STAPF, dem Schriftleiter des Vereins für die redaktionelle Hilfe.

5. Literaturverzeichnis

ANT, H. (1969): Biologische Probleme der Verschmutzung und akuten Vergiftung von Fließgewässern, unter besonderer Berücksichtigung der Rheinvergiftung im Sommer 1969. – Schriftenreihe Landschaftspflege und Naturschutz, **4**: 97–126.

ARBEITSGEMEINSCHAFT der Länder zur Reinhaltung des Rheins (1972): Die Verunreinigung des Rheins und seiner wichtigen Nebenflüsse in der Bundesrepublik Deutschland, Darmstadt.

BANAT, K.; FÖRSTNER, W. & MÜLLER, G. (1972): Schwermetallanreicherungen in den Sedimenten wichtiger Flüsse im Bereich der Bundesrepublik Deutschland – eine Bestandsaufnahme. – Interner Bericht des Laboratoriums für Sedimentforschung, Heidelberg.

BEAR, C. A. (Ed., 1964): Chemistry of the soil. – New York (Reinhold).

BECKER, E. (1965): Stratigraphische und bodenkundliche Untersuchungen an jungpleistozänen und holozänen Ablagerungen im nördlichen Oberrheingraben. – Diss. Frankfurt a. M.

BERNERTH, H. & TOBIAS, W. (1979): Der Untermain – ein flußökologisches Portrait. – Kleine Senckenberg-Reihe Nr. 10, Frankfurt a. M.

BORNEFF, J. (1977): Hygiene. Ein Leitfaden für Studenten und Ärzte. – Stuttgart (Thieme).

BRASSER, T. (1981): Zur Hydrogeologie und Hydroökologie der Trassenbereiche östl. Darmstadt. – Diss., Mainz.

DEAN, J. G.; BOSQUI, F. L. & LANOUTTE, V. H. (1972): Removing heavy metals from waste water. - Environ. Sci. Techn., **6**: 518–522.

DER HESSISCHE Minister für Landwirtschaft und Forsten (1963): Ausbau der Weschnitz, Wiesbaden – Darmstadt.

DER HESSISCHE Minister für Landwirtschaft und Forsten (1964): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Weschnitz. Wiesbaden.

DER HESSISCHE Minister für Landwirtschaft und Forsten (1968): Gewässerkunde in Hessen. Bearb.: im Hessischen Landesamt für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung, Wiesbaden.

DER HESSISCHE Minister für Landwirtschaft und Umwelt (1978): Gewässergüte und Abwasserbehandlung im Lande Hessen. Bearb.: Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden.

DER HESSISCHE Minister für Landwirtschaft und Umwelt (1980): Sonderplan Abwasserbehandlung Region Untermain. Bearb. im Hessischen Landesamt für Umwelt, Wiesbaden.

DER HESSISCHE Minister für Landwirtschaft und Umwelt (1977): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Mümling-Gersprenz-Rodau. Bearb. in der Hessischen Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden.

DER HESSISCHE Minister für Landwirtschaft und Umwelt (1977): Verbesserung der Umweltverhältnisse am Rhein. Teil 1: Sanierung der Altrheine, Wiesbaden.

DER RAT von Sachverständigen für Umweltfragen (1974): Umweltgutachten Mainz, (1976): Umweltprobleme des Rheins. – **3.** Sondergutachten, Mainz.

DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (1972–1979). – Weinheim (Verlag Chemie).

EGGER, E. (1886): Beiträge zu einer Hydrologie für die Provinz Rheinhessen. – Notizbl. Ver. Erdkunde zu Darmstadt, **6,** Darmstadt.

ENGELHARDT, W. (1977): Umweltschutz. – München (Bayerischer Schulbuch-Verlag).

FÖRSTNER, W. & MÜLLER, G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung. – Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

FÖRSTNER, W. & WITTMANN, G. T. W. (1979): Metal Pollution in the Aquatic Environment. – Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

FOWLER, D. (1980): Removal of sulphur and nitrogen compouds from the atmosphere in rain and by dry deposition. – Drablos und Tollman.

FÜRST, M. (1980): Optimierung von Wasserressourcen in Abhängigkeit von der Wasserbilanzgleichung und Recycling. - Mainzer geowiss. Mitt., **9:** 83–86, Mainz.

FÜRST, M.; BORNEFF, J. & BRASSER, T. (1980): Hydrologische und hydroökologische Untersuchungen im Zuge der geplanten Ostumgehung von Darmstadt. – Mainzer geowiss. Mit., **9:** 87–116, Mainz.

GEGENWART, W. (1952): Die ergiebigen Stark- und Dauerregen im Rhein-Main-Gebiet und die Gefährdung der landwirtschaftlichen Nutzflächen durch die Bodenzerstörung. – Rhein.-Main. Forsch., **36,** Frankfurt a. M.

GIESSÜBEL, J. (1977): Nutzungsbedingte Änderung im Naturraum, dargestellt an Beispielen aus dem Rhein-Main-Gebiet und Nordhessen. - Rhein.-Main. Forsch., **85:** 208 S., Frankfurt a. M.

GOLWER, A. (1973): Beeinflussung des Grundwassers durch Straßen. – Z. Deutsch. Geol. Ges., **124:** 435–446, Hannover.

GOLWER, A. et al. (1976): Belastung und Verunreinigung des Grundwassers durch feste Abfallstoffe. – Abh. Hess. L.-Amt Bodenforsch., **73,** 131 S., Wiesbaden.

GRAUL, H. (1963): Zu geomorphologischen Problemen im Heidelberger Raum. – Festschrift z. 34. deutschen Geographentag: 154–176, Heidelberg.

HABER, W. & KOHLER, A. (1972): Ökologische Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern mit Hilfe höherer Wasserpflanzen. – Landschaft + Stadt, **4:** 159–168.

HABERER, K. & NORMANN, S. (1971): Metallspuren im Wasser – ihre Herkunft, Wirkung und Verbreitung. – In: Jahrb. „Vom Wasser", **38:** 157–182, Weinheim.

HAMM, A. (1969): Die Ermittlung der Gewässergüteklassen bei Flußgewässern nach dem Gewässergütesystem der Gewässergütenomogramm. – Münchner Beitr. Abwasser-, Fischerei-, Flußbiol., **15:** 46–48 München.

HELLMANN, H. (1977): Einfluß hydrologischer Gegebenheiten auf die chemische Beschaffenheit von Oberflächengewässern am Beispiel des Rheins. – Beiträge zur Hydrologie, **4:** 1–28.

HERZBERG, A. (1962): Ursachen und Auswirkungen der Veränderungen im Wasserhaushalt des Hessischen Rieds. – Diss., Frankfurt a. M.

HESSISCHES Statistisches Landesamt (1975–1980): Die hessischen Landkreise und kreisfreien Städte und die Wohlbevölkerung der hessischen Gemeinden (verschiedene Jahre), Wiesbaden.

HESSISCHER Minister des Innern (Herausgeb.) (1977): Hessen. Gemeinden und Landkreise nach der Gebietsreform. Eine Dokumentation, Melsungen.

HÖLL, K. (1970): Wasser, Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Biologie. – Berlin (W. De Gruynter).

HTL-Gesellschaft für Forschung Planung Entwicklung mbH. (1981): Bevölkerung und Beschäftigung im Regierungsbezirk Darmstadt, Wiesbaden.

HÜTTER, L. A. (1979): Wasser und Wasseruntersuchung – Reihe: Laborbücher Chemie, Frankfurt a. M. (Diesterweg).

IAWR – Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (1973): Arbeitstagung 1973.

IAWR – Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (1976): Rheinbericht 1976.

ILLIES, H. (1965): Bauplan und Baugeschichte des Oberrheingrabens; Ein Beitrag zum "Upper Mantle Project". – Oberrhein. Geol. Abh., **14:** 1–54.

KLAUSING, O. (1967): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 151 Darmstadt. – Bad Godesberg.

KLOTTER, H. E. (1959): Orthophosphate und Polyphosphate im Wasser und Oberflächenwasser.– Vom Wasser, **26**.

KLOTTER, H. E. & HANTGE, E. (1969): Abfallbeseitigung und Grundwasserschutz. – Müll und Abfall, **1**.

KNÖPP, H. & SCHOTT, N. (1971): Entwicklung und Anwendung von Standardwerten für die Qualität von Oberflächenwasser als Instrument des Umweltschutzes. – Koblenz.

KOHLER, A. (1975a): Veränderungen natürlicher submerser Fließgewässervegetation durch organische Belastung. – Daten und Dokumente zum Umweltschutz, Univ. Hohenheim, **14:** 59–66.

KOHLER, A. (1975b): Makrophytische Wasserpflanzen als Bioindikatoren für Belastungen von Fließgewässer-Ökosystemen. – Verhandl. Ges. f. Ökologie, **5.** Versammlung, Wien.

KOLKWIZ, R. & MARSSON, M. (1908): Ökologie der pflanzlichen Saprobien. – Ber. deutsch. Bot. Ges., **26:** 505–519.

– (1909): Ökologie der pflanzlichen Saprobien. – Int. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr., **2:** 126–152.

KRENZLIN, A. (1961): Werden und Gefüge des rhein-mainischen Verdichtungsgebietes. Ein Versuch landeskundlicher Darstellung. – Frankfurter Geogr. Hefte, **37:** 311–387, Frankfurt a. M.

KRIETER, M. & MAQSUD, N. (1977): Zur Belastung von Gewässern im Mainzer Raum. – Geogr. Rundsch., **5:** 157–162.

KÜMMERLE, E. & SEMMEL, A. (1969): Erl. geol. Kte. Hessen 1:25000, Bl. Hochheim a. M., Wiesbaden.

KUPFAHL, H.-G.; MEISL, S. & KÜMMERLE, E. (1972): Erl. geol. Kte. Hessen 1:25000, Bl. Zwingenberg, Wiesbaden.

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT Wasser (LAWA) (1972): Unsere Sorge: Wasser. – 215 S., Düsseldorf.

– (1976a): Die Gewässergütekarte der Bundesrepublik Deutschland. – Ausgearbeitet von der LAWA-Arbeitsgruppe Gewässergütekarte, Mainz.

– (1976b): Grundlagen für die Beurteilung der Wärmebelastung von Gewässern, Teil I Binnengewässer, Mainz.

– (1980): Die Gewässergütekarte der Bundesrepublik Deutschland. – Ausgearbeitet von der LAWA-Arbeitsgruppe Gewässergütekarte, Stuttgart.

LANGE, P. (1977): Die Gehalte der Elemente Zn, Ni, Sr, Rb, Pb, As, Zr. Y, Sb, Sn, Cd und Ag, in Sedimenten der Fließgewässer des Hessischen Rieds. – Ein Beispiel für die Arbeitsmethodik geochemischer Schadstoffexploration. – Diplomarbeit Univ. Mainz.

LASKOWSKI, N. (1975): Die Gehalte der Elemente Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, Cd und Hg in Korngrößenfraktionen der Sinkstoffe und Sedimente eines fluviatilen Gewässers mit intensiv urban-industrieller Belastung. – Diplomarbeit Univ. Mainz.

LASKOWSKI, N.; KOST, TH.; POMMERENKE, D.; SCHÄFER, A. & TOBSCHALL, H. J. (1976): Abundance and Distribution of some heavy metals in recent sediments of a highly polluted limnic-fluviatile ecosystem near Mainz, West-Germany. - Environmental Biogeochemistry, **2:** 587–595.

LAWA (1972): Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Unsere Sorge: Wasser. – 215 S., Düsseldorf.

LICHTFUSS, R. & BRÜMMER, G. (1981): Natürlicher Gehalt und anthropogene Anreicherung von Schwermetallen in den Sedimenten von Elbe, Eider, Trave und Schwentine. – CATENA, **8:** 251–165, Braunschweig.

LIEBMANN, H. (1962): Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie. – **1,** München.
– (1969): Der Wassergüteatlas. – Münchner Beitr. Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, **15:** 9–11.

LIEBMANN, H. (1973): Stand und Entwicklung der Abwasserreinigung. – München (Oldenburg).

LUEDECKE, C. (1901): Boden- und Wasserverhältnisse des Odenwaldes und seiner Umgebung. – Abh. hess. geol. L.-Anst., **4:** 1–184, Darmstadt.

MAQSUD, N. (1970): Die quartäre Entwicklung der Oberflächenformen des zentralen kristallinen Odenwaldes. – Diss. Univ. Heidelberg, 358 S., 100 Abb., 13 Tab., 6 Karten, Heidelberg.
– (1981): Zur Belastung und Verunreinigung der Nahe und ihrer Nebenflüsse an Schmutz- und Schadstoffen. – Mainzer naturwiss. Arch., **19:** 55–88, Mainz.

MARSHALL, C. E. (1964): The Physical Chemistry and Mineralogy of Soils., **1:** Soil Materials. – New York.

NEHRING, D. (1966): Untersuchungen über die Toxizität neuer Pflanzenschutzmittel und Abwasserstoffe gegenüber Fischen. – Z. Fisch Hilfswiss. N. F., **14:** 1–8.

NAGEL, G. (1981): Wasserversorgung und Abwasserbereitung im Rhein-Main-Gebiet. – Frankfurter Beiträge z. Didaktik der Geographie, **4:** 233–252, Frankfurt a. M.

NIEMZ, G. (1981): Das Klima des Rhein-Main-Gebietes unter besonderer Berücksichtigung der Umweltproblematik und der Bedeutung für die Regionalplanung. – Frankfurter Beiträge z. Didaktik der Geographie, **4:** 209–232, Frankfurt a. M.

QUELLE: Hessisches Statistisches Landesamt 1977/79, HTL-Gesellschaft für Forschung Planung Entwicklung mbH. 1981 und eigene Erhebungen von 1979–1980.

QUENTIN, K. E. (1972): Schadstoffe im Wasser als aktuelles Problem der Wasserversorgung. – In: gwf-wasser, abwasser, **113,** München.

RICHTER, G.: Bodenerosion, Schäden und gefährdete Gebiete in der BRD. – Forsch. z. Dt. Landeskd., **152,** Bad Godesberg.

RUBISCHUNG, P. & TOBSCHALL, H. J. (1980): Identifizierung und Bestimmung einiger umweltrelevanter Organoquecksilberverbindung in rezenten fluviatilen Sedimenten mit Hilfe der Dünnschichtchromatographie. – Chem. Erde, **39:** 239–275, Jena.

RUMP, H. H. (1978): Städtische und stadtnahe Oberflächengewässer und ihre Belastbarkeit. – 41. Deutsch. Geographentag Mainz, Tagungsbericht und wissenschaftl. Abh.: 518–530, Wiesbaden.

SCHÄFER, A. & MÜLLER, P. (1975): Auswirkungen der Saarbelastung auf die Speziesdiversität von Benthosbiozönosen und die Verweildauer exponierter Organismen. – Verh. Ges. f. Ökologie, 5. Jahresversammlung, Wien.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. – Stuttgart.

SCHMITT, O. (1952): Grundlagen und Verbreitung der Bodenzerstörung im Rhein-Main-Gebiet mit einer Untersuchung über Bodenzerstörung durch Starkregen im Vorspessart. – Rhein-Main. Forsch., **33,** Frankfurt a. M.

SCHMITT, O. & STEUER, A. (1974): Erl. geol. Kte. Hessen 1:25000, Bl. Groß-Gerau, Wiesbaden.

SCHMITT, O. & THEWS, H.-D. (1974): VII Hydrogeologie. – Erl. geol. Kte. Hessen 1:25000, Bl. Groß-Gerau. Wiesbaden.

SCHWENZER, B. (1967): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 139 Frankfurt a. M. – Bad Godesberg.

SCHWILLE, F. (1953): Chloride und Nitrat in den Grundwässern Rheinhessens und des Rheingaues. – GWF. **94:** 410–414.

SEMMEL, A. (1961): Die pleistozäne Entwicklung des Weschnitztales im Odenwald. – Frankfurter Geogr. Hefte, **37:** 425–492, Frankfurt a. M.

– (1981a): Gestein, Relief und Fragen ihrer Nutzung im Rhein-Main-Gebiet. – Frankfurter Beiträge z. Didaktik der Geographie, **4,** 195–208, Frankfurt a. M.

– (1981b): Landschaftsnutzung unter geowissenschaftlichen Aspekten in Mitteleuropa. – Frankfurter Geowiss. Arb., **2:** 84 S., Frankfurt a. M.

SLADECK, V. (1973): System of water quality from the biological point of view. – Arch. Hydrobiol. Beih., **7:** 1–218.

STEUBING, L. & KUNZE, Ch. (1980): Pflanzenökologische Experimente zur Umweltverschmutzung. – Heidelberg (Quelle & Meyer).

STEUER, A. & SONNE, W. (1905): Hydrologische Untersuchungen von Trinkwasser. I. Die Wasserverhältnisse in Rüsselsheim a. M. – Gesundheit, **30,** 10: 290–306, Leipzig.

SYMADER, W. (1978): Sediment, Schwebstoff und Wasserkörper. Vergleichende Untersuchungen zum Metallgehalt dreier Systeme. – Verh. Ges. f. Ökologie, 7. Jahresversammlung, Kiel.

TOBIAS, W. (1973): Zur Verbreitung und Ökologie der wirbellosen Fauna im Untermain. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **4:** 1–53, Frankfurt a. M.

– (1974): Kriterien für die ökologische Beurteilung des unteren Mains. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **11:** 1–136. Frankfurt a. M.

– (1976): Kriterien für die ökologische Beurteilung des unteren Mains. II. Untersuchungen über den organischen Stoffhaushalt. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **18:** 1–137. Frankfurt a. M.

TOBSCHALL, H. J.; LASKOWSKI, N. & KRISTOTAKIS, K. (1977): Analytical techniques for the study of the distribution and speciation of heavy metals in aquatic systems. – Proc. 6th Mat. Res. Symp.: 812–826.

TUREKIAN, K. K. & WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Bull. Geol. Soc. Am., **72:** 175–192.

UMWELTPROGRAMM der Bundesregierung (1971): Bundestags-Drucksache VI 2710. – BMI.

ULRICH, B. (1972): Die Filterfunktion von Böden. Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen. – Tag. Ber. Ges. f. Ökologie, Gießen.

ULRICH, B.; MEYER, R. et al. (1978): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen des Solling. – Schriften Forstl. Fak. Univ. Göttingen, **58:** 291 S., Göttingen.

WEDEPOHL K. H. (1971): Environmental influences on the chemical composition of shales and clays. – Physics and Chemistry of the Earth, **8:** 307–333.

WHOC (1970): European Standards for Drinking Water. – Kopenhagen.

(Bei der Schriftleitung eingegangen am 31. 12. 1981).

Anschrift des Autors:

Dr. Neek Maqsud, Geographisches Institut der Johannes Gutenberg-Universität, Saarstr. 21, D-6500 Mainz.