

Siebzehn Jahre
Gewässergüteuntersuchungen
am Main
im Regierungsbezirk
Unterfranken/Bayern

Die Ausarbeitung umfaßt den Untersuchungszeitraum vom Jahre 1949
bis April 1966

Zusammengestellt und ausgearbeitet von DR. L. F. SCHUA

Leiter der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken
in Würzburg

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. 1. Vorwort	7
1. 2. Einführung	7
2. Die Hydrographie des Maingebietes in Unterfranken	11
2. 1. Geologie	11
2. 2. Wasserführung und Gefällsverhältnisse	12
3. Die Untersuchungsprogramme am Main	13
4. Die Untersuchungsergebnisse der Gewässergüte- untersuchungen	16
4. 1. Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse	16
4. 2. Die Untersuchungsergebnisse	17
4. 2. 1. Gütelängsprofile a) 1949—1952 (BBV)	18
b 1) 1953 (BfG)	24
2) 1954 (BfG)	30
c) 1952—1957 (GGA)	35
d) 1957 (BfG)	38
e) 1958—1959 (HWW)	43
f) 1960 (GGA)	46
g 1) 1962, Sommer (BfG)	48
2) 1962, Winter (BfG)	52
h) 1963 (GGA)	55
i) 1963—1964 (GGA)	59
4. 2. 2. Gütemeßreihen a) 1959—1962 (DGJ)	61
b) 1962 (BBV)	66
c) 1959—1963 (FWW)	68
d) 1955—1966 (SWW)	68
e) 1963—1966 (GGA)	75
5. Die Besprechung der Untersuchungsergebnisse	83
6. Versuch einer Aussage über die Änderungen in der Gewässergüte des Mains	94
7. Literaturangaben	98

ERKLÄRUNG DER ABKÜRZUNGEN

BBV	= Bayer. Biologische Versuchsanstalt München
BfG	= Bundesanstalt für Gewässerkunde
DGJ	= Deutsches gewässerkundliches Jahrbuch
FWW	= Frankfurter Wasserwerke
GGA	= Gewässergüteaufsicht der Regierung in Würzburg
HWW	= Hessisches Wasseruntersuchungsamt Wiesbaden
SWW	= Städt. Wasserwerke Würzburg

1. 1. Vorwort

Seit dem Jahre 1949 wurden am Main fast jährlich Untersuchungen durchgeführt mit dem Ziel, den Gewässergütezustand dieses großen Flusses zu ermitteln und die Belastungsschwerpunkte kennenzulernen.

Für die vorliegende Ausarbeitung stand sehr umfangreiches Material zur Verfügung. Die Unterlagen stammen teilweise aus Veröffentlichungen, teilweise aber auch aus Gutachten oder aus Aktenunterlagen der beteiligten Dienststellen. Der Veröffentlichung liegen Untersuchungsergebnisse folgender Dienststellen zugrunde:

1. Bayerische Biologische Versuchsanstalt (Demoll-Hofer-Institut), München,
2. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz,
3. Frankfurter Wasserwerke, Frankfurt am Main,
4. Hessisches Wasseruntersuchungsamt, Wiesbaden,
5. Regierung von Unterfranken — Gewässergüteaufsicht —, Würzburg
6. Stadtwerke, Wasserwerke der Stadt Würzburg.

Soweit das zugrunde liegende Material nicht aus Veröffentlichungen oder aus öffentlich zugänglichen Gutachten verwertet wurde, sei den betreffenden Dienststellen für die Zurverfügungstellung ihrer Unterlagen hier der Dank ausgesprochen. Ebenfalls danken möchte ich meinen Mitarbeitern für ihre Mithilfe bei der Auswertung des sehr umfangreichen Materials.

1. 2. Einführung

Die vorliegende Ausarbeitung umfaßt Untersuchungen vom Jahre 1949 bis zum Jahre 1966. Die Untersuchungszeit fällt also in einen Zeitabschnitt, in dem nach den Kriegsjahren durch die starke Intensivierung der Industrie, durch die Zunahme der Bevölkerung und durch die Modernisierung der sanitären Verhältnisse in Städten und Dörfern eine stetig zunehmende Flut von Abwasser in unsere Gewässer hineingeleitet wurde.

Damit sei aber nicht gesagt, daß das Problem der Abwasserbelastung des Mains erst seit dem Jahre 1949 bzw. nach Beendigung des 2. Weltkrieges aktuell wäre. Bereits vor etwa 50 Jahren wurden schon die ersten Klagen über Verunreinigungen im Main laut. Das hat seinerzeit sogar dazu geführt, daß sich der Deutsche Reichstag mit diesem Problem mehrmals befassen mußte, ohne daß es jedoch zur Durchführung bestimmter Maßnahmen gekommen ist, als deren Folge Verbesserungen der Verhältnisse eingetreten wären. Dies trifft vor allen Dingen für den Unterlauf des Mains zu, den man in dieser Betrachtung hier etwa ab Obernburg ansetzen könnte. Schon im Jahre 1929 bis 1938 wurden vom damaligen Flußwasseruntersuchungsamt in Wiesbaden und von der Landesanstalt für Wasser, Boden und Lufthygiene in Berlin, spezielle Untersuchungen durchgeführt, die als Ergebnis eine ständige Zunahme der Verschlechterung der Gewässergüte im Main aufzeigten. Man hat in den dreißiger und in den vierziger Jahren sogar versucht, durch die Bildung einer Abwassergenossenschaft

oder eines Untermainverbandes Vorschläge und Maßnahmen zur Behebung dieser Mißstände auszuarbeiten. Es kam jedoch gar nicht zur Bildung dieser Abwassergenossenschaft. Vor allen Dingen im hessischen Gebiet waren in diesen Jahren die Bemühungen zur Sanierung sehr stark, was sich auch durch die Denkschrift der Stadt Frankfurt a. Main vom Jahre 1939 manifestierte, die für die Gründung des Untermainverbandes gedacht war. Aber auch diesmal gelang es nicht, hier einen Verband zu gründen. Im Jahre 1940 wurde als Beauftragter, vom damaligen Reichsminister für Ernährung und Landwirtschaft ein Sachbearbeiter mit der Aufstellung eines Generalplanes zur Bildung eines Reinhaltverbandes betraut, allerdings nicht für den gesamten Main, sondern nur für das Untermaingebiet. Diese Arbeit ist im Jahre 1940 dann veröffentlicht worden. Zu einer Verbandsgründung kam es jedoch wegen der beginnenden Kriegsverhältnisse nicht. In der Zwischenzeit veränderten sich die Wassergüteverhältnisse im Main dauernd zum Schlechten und erreichten ihren schlechtesten Stand nach Beendigung des Zweiten Weltkrieges in den Aufbaujahren nach der Währungsreform. Seit dieser Zeit wurden intensivere Untersuchungen am kanalisierten Main durchgeführt, die auch die gesamte Strecke des kanalisierten Mains auf bayerischem Gebiet von Großkrotzenburg/Kahl bis Bamberg erfaßten.

Diese Untersuchungen wurden von verschiedenen Untersuchungsteams durchgeführt und jeweils einzeln veröffentlicht oder in amtlichen Gutachten niedergelegt. Ein Großteil dieser Untersuchungen ist damit der Öffentlichkeit bisher nicht bekannt geworden. Nachdem aber nun eine sehr lange Zeitspanne seit Beginn dieser intensiven Untersuchungen im Jahre 1949 vergangen ist, erschien es dringend notwendig, das vorhandene sehr umfangreiche Untersuchungsmaterial zusammenzutragen, zu sichten und einmal geschlossen darzustellen, so daß es auch dem Außenstehenden ermöglicht sei, die Gewässergüteverhältnisse des Mains zu studieren. Der zweite Grund dieser Ausarbeitung war, durch Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse den Versuch zu machen, den Main einmal hinsichtlich seiner Gewässergüte neu zu charakterisieren und andererseits eine Aussage darüber zu geben, ob im Main, in unserem Fall im unterfränkischen Gebiet, Verbesserungen oder Verschlechterungen in der Gewässergüte eingetreten sind, die eventuell den gesamten Mainlauf betreffen oder sich nur an einigen Gewässerabschnitten manifestieren.

Die Untersuchungsergebnisse, die hier zusammengestellt und dargelegt sind, gehen bis zum Beginn des Jahres 1966. Es muß jedoch einschränkend darauf hingewiesen werden, daß die sogenannten Gütelängsprofile, aus denen sich der größte Teil der Untersuchungen in den vergangenen Jahren zusammensetzte, nur bis zum Jahre 1963 ausgearbeitet wurden, da ab 1963 versucht wird, mit einer Daueruntersuchung, also einer Art laufender Gütemessung den Main in öfterem Turnus zu überprüfen, so daß man Unter-

suchungsreihen über das ganze Jahr hin bekommt. Damit könnte man noch genauere Aussagen über die Gewässergüteverhältnisse im Main machen. Die vormals durchgeführten Gütelängsuntersuchungen sind sicher dahingehend sehr wertvoll, daß sie überhaupt aufzeigten, wie sich die Gewässergüteverhältnisse in der gesamten Fließstrecke des Mains eingestellt haben. Für eine Aussage aber, ob man in bestimmten Abschnitten nun mit Verbesserungen oder mit Verschlechterungen rechnen muß, genügen diese Gewässergütelängsschnitte nicht, da sie ja nur zu ganz bestimmten Zeiten im Sommer und aus wissenschaftlichen Gründen zu Vergleichszwecken lediglich teilweise im Spätherbst durchgeführt wurden. Erschwerend für eine Aussage ist dabei, daß unterschiedliche Wasserführungen bei diesen Gütelängsuntersuchungen bestanden, die ein Faktum mit hineinbringen, das eine Auswertung zur Abwägung des Zustandes hinsichtlich Verbesserung oder Verschlechterung wesentlich erschwert. Außerdem ist das vorhandene Material dieser Gütelängsuntersuchungen meines Erachtens nicht ganz geeignet oder nicht groß genug, um hier anhand von statistischen Auswertungen wirklich exakte Hinweise darüber zu bekommen, wo man mit Besserungen oder Verschlechterungen rechnen könnte.

Seit dem Jahre 1963 laufen daher diese Dauermessungen, die zwar schon ab dem Jahre 1960 versuchsweise begonnen wurden, damals aber nur an vier Meßstellen vorgenommen worden waren. Die jetzt laufenden Gütemeßreihen werden an zehn Gütemeßstellen im Main vorgenommen und erfassen daher engere Abschnitte. Außerdem ist es mit dem nun in großem Umfang anfallenden Material möglich, nach einigen Jahren statistische Auswertungen durchzuführen. Dieses Kapitel der lfd. Gütemessungen ist daher in der vorliegenden Zusammenstellung zwar angeführt, kurz besprochen und mit einigen Beispielen, wie dem Sauerstoffhaushalt, dargestellt. Es wurde jedoch davon abgesehen, diese Gütemeßreihen mit in die Auswertung einzubeziehen. Dies soll einer späteren gesonderten Veröffentlichung vorbehalten bleiben.

Soweit Unterlagen hier bekannt und zugänglich waren, wurden sie in diese vorliegende Auswertung mit einbezogen. Die vorliegende Auswertung kommt nur in einer sehr gedrängten Form zur Darstellung, da bei einer breiten und bis ins einzelne gehenden Ausarbeitung die Drucklegung einen zu großen Umfang angenommen hätte.

2. Die Hydrographie des Maingebietes in Unterfranken

2. 1. Geologie

Da der Main auf seinem Lauf durch Unterfranken verschiedene geologische Formationen durchfließt, die sich beispielsweise hinsichtlich der Härte bei Untersuchungen bemerkbar machen können, soll kurz die Hydrographie der untersuchten Fließstrecke beschrieben werden. Der Main tritt von Lichtenfels her kommend in ein vorwiegend aus Schiefertonen bestehendes unteres Juragebiet ein und durchfließt in der Bamberger und Haßfurter Gegend, das gesamte Keupergebiet. Ab Haßfurt aber ändert sich dann das Bild, das uns die Landschaft bietet. Es treten ab hier die steilen Hänge des oberen Muschelkalks, des Hauptmuschelkalks, steil an den Main heran. Bei Wipfeld ist dann wieder eine lokale Einmündung zu finden, in der der Keuper ansteht. In der anschließenden Fließstrecke von Volkach bis Karlstadt unterhalb Würzburg hat sich dann der Main in immer tiefere Regionen des Muschelkalks eingearbeitet. Als Zeugen seiner Erosionstätigkeit sind auf dieser Strecke heute noch die oft senkrechten und hohen Wände der Talhänge zu sehen. Unterhalb Gambach tritt dann der Wellenkalk mit seinen Steilhängen wieder zurück. Das Gelände wird wesentlich flacher. Es tritt ein rotes Gestein zutage, nämlich der obere Buntsandstein, Rottöne und Plattensandstein. Dieses Gebiet des Buntsandsteins, das der Main auch durchsägt hat, verläßt er auf längere Zeit nicht. Etwa, beginnend bei Wernfeld/Gemünden, bis nach Aschaffenburg zieht sich die Hauptmasse des Buntsandsteins, der hauptsächlich im Bereich der Spessartwälder liegt und wahrscheinlich wegen seiner geringeren Fruchtbarkeit diesen Waldbereich bildet. Bei Aschaffenburg tritt dann der Main aus dem Gebiet des Buntsandsteins heraus und erreicht das stark abgetragene kristalline Gebirge des Vorspessarts. Ab Aschaffenburg fließt dann der Main durch das im Tertiär eingebrochene Mainbecken. Die diluvialen Schotter und Sande gehen hier allmählich in alluviale Talauflüschungen über.

Über die Geschichte des Mainflußlaufes sei nur soviel berichtet, daß der untere Main und der mittlere Main, mindestens ab Haßfurt seine heute vorzufindende Abflußrichtung zum Rhein hin wohl von jeher besessen hat. Das nordöstliche Bayern aber, also die beiden Quellflüsse des Mains und der Oberlauf des Mains wurden im älteren Tertiär nicht in das derzeitige Gebiet, sondern durch mehrere Flüsse nach Süden hin entwässert, und zwar erst in ein Binnenmeer und später in das Donaugebiet. Auch der obere Urmain ist noch im jüngeren Tertiär im Gebiet des heutigen Bamberg nach Süden in Richtung der heutigen Regnitz und Rezat umgebogen. Als die tektonische Hebung der östlichen Gebiete einsetzte, begannen sich hier die Änderungen der Fließrichtungen einzustellen. Die weitere Hebung mit beginnendem Quartär veränderte dann endgültig die Fließrichtung des oberen Mains. Es kam zuerst zu einer Aufstauung und schließlich zur Umkehr nach Westen. Dadurch wurde das heutige Obermaingebiet mit dem mitt-

leren und dem unteren Maingebiet vereinigt. Im Laufe des Diluviums erfolgte dann das Einschneiden auf das heutige Niveau.

2. 2. Wasserführung und Gefällsverhältnisse

Die beiden Quellflüsse des Mains, der Weiße Main und der Rote Main sind hinsichtlich ihres Einzugsgebietes und der Wasserführung von unterschiedlicher Bedeutung für den Main. Etwa 18 km unterhalb der Weißmainquelle bei Berneck vergrößert sich durch die Einmündung der Elschütz das Einzugsgebiet des Weißen Maines, der größere Bedeutung für den Main hat. Von den übrigen Nebenflüssen des Weißen Maines wäre besonders die Schorgast zu erwähnen, die oberhalb Kulmbach in den Weißen Main einmündet und ein Einzugsgebiet von 250 qkm hat. Die Mittelwasserführung dieses Nebenflusses mit 2,2 cbm/Sek. und die Niederwasserführung mit 0,7 cbm/Sek. sind von Bedeutung. Der Rote Main dagegen besitzt nicht so starke Nebenflüsse. Es folgt anschließend die Rodach, mit größerem Einzugsgebiet, sowie die Regnitz mit dem größten Einzugsgebiet eines Nebenflusses des Mains. Darauf folgen die Nebenflüsse, die unterfränkisches Gebiet berühren, wie die Itz und Baunach, die Nassach mit einem verhältnismäßig kleinen Einzugsgebiet, mehrere kleine Flüsse aus dem Steigerwaldgebiet, dann die Wern und anschließend die Fränkische Saale, die als größter Nebenfluß anzusehen ist. Darauf folgen die Spessartflüsse Lohr, Hafenslohr, Elsave, Aschaff und Kahl, die alle rechts dem Main zufließen, sowie die linksmainischen Flüsse Tauber, Mud, Mömling und Gersprenz.

Die Wasserführung eines Gewässers steht nun in einem sehr engen Zusammenhang mit der Gewässerqualität, da die Verdünnung der eingeleiteten Abwässer, der Sauerstoffeintrag durch die größere Oberfläche, die gute Durchwirbelung bei schnellfließenden Strecken immer in einer gewissen Abhängigkeit von der Wasserführung stehen. Betreffs der Wasserführungen des Mains sei auf die Tabellen in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern hingewiesen, die einmal das Einzugsgebiet und die Wasserführung des Roten und Weißen Mains sowie des Mains ab deren Zusammenfluß und die Einzugsgebiete und die Wasserführung einiger wichtiger Nebenflüsse des Mains darstellen. Wie unterschiedlich im Laufe des Jahres die Wasserführung ist, zeigen dort Diagramme, die die monatliche Mittelwasserführung des Mains am Pegel in Schweinfurt darstellen.

Ein weiterer wichtiger Faktor neben der Wasserführung sind auch die Gefällsverhältnisse, die ein Gewässer aufweist, da von diesem Gefälle die Durchwirbelung, die Fließgeschwindigkeit und somit wichtige Faktoren, die den Sauerstoffhaushalt beeinflussen können mit abhängig sind. Die Gefällsverhältnisse am Main waren nun früher, als er nicht gestaut war, wohl von Bedeutung. Nach dem Aufstau des Mains durch die Errichtung von Stauhaltungen, die praktisch keine freifließende Flußstrecke zwischen sich belassen, sondern von Stauwurzeln bis zur Staukrone reichen, wurde der

Charakter des Mains von einem freifließenden Fluß in eine Staukette verwandelt. Der Vollständigkeit halber sei diesbezüglich auf entsprechende Diagramme in den gewässerkundlichen Jahrbüchern verwiesen.

3. Die Untersuchungsprogramme am Main

An der Wasserschiffahrtsstraße Main wurden, wie in der Einleitung schon erwähnt, ab der Mündung in den Rhein bis Würzburg, dann bis Schweinfurt und später bis Bamberg durchgehend Untersuchungen durchgeführt. In früheren Jahren hatten diese Untersuchungen wohl mehr den Zweck, in kleinräumigen Gebieten ganz bestimmte Verunreinigungen, wie beispielsweise die Belastung ab Aschaffenburg durch die Einleitung der Abwässer aus den Zellstofffabriken, festzustellen. Diese Untersuchungen, die auf Grund des vorhandenen Aktenmaterials bis auf das Jahr 1910 zurückverfolgt werden können, wurden erstmals im Jahr 1948—1949 durch großräumige Untersuchungen abgelöst, die dann stets den gesamten Main von seiner Mündung, oder soweit es sich um bayerische Untersuchungen handelt, von dem Übergang von bayerischem Gebiet auf hessisches Gebiet bei Kahl/Großkrotzenburg bis in den Raum Bamberg erfaßten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden in Gütebildern oder Diagrammen, die Gewässergütelängsschnitte darstellen, zusammengefaßt. Diese Gewässergütelängsschnitte charakterisieren sich dadurch, daß die Ergebnisse an den einzelnen Untersuchungspunkten auf die ganze Länge der untersuchten Flußstrecke miteinander verbunden wurden. Mit derartigen Diagrammen oder Gewässergütebildern hatte man versucht, die Veränderungen der Gewässergüte, die durch örtliche Gegebenheiten bedingt waren, als eine zusammenhängende bzw. gleitende variable Größe darzustellen. Diese Gewässergütelängsschnitte nehmen also weniger Rücksicht auf die fließende Welle, da sie ja ohne Zusammenhang mit der Fließgeschwindigkeit, die Ergebnisse der einzelnen Probestellen, deren Entnahmezeit unterschiedlich ist, nebeneinander darstellen und miteinander in Verbindung bringen.

In der folgenden gedrängten Zusammenstellung sollen diese Gewässeruntersuchungen ab dem Jahre 1949 in chronologischer Reihenfolge aufgeführt werden.

Im Jahre 1948 begann die Bayer. Biologische Versuchsanstalt mit Großuntersuchungen am Main. Dabei wurde, wie schon vorher erwähnt, so vorgegangen, daß an ganz bestimmten Stellen im Verlauf des Mains bis Bamberg Untersuchungen durchgeführt wurden, die sowohl chemische als auch physikalische und biologische Fakten erfaßten. Diese Untersuchungen, die sich über 5 Jahre bis zum Jahre 1952 erstreckten, ergaben ein sehr umfangreiches Untersuchungsmaterial, das dann von der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt ausgewertet und dargestellt wurde. Die später folgenden Abbildungen zeigen die dort gefundenen Ergebnisse.

Betrachten wir uns anhand der Abbildungen die Zahl oder die Dichte der

Untersuchungsstellen am Main, so ist festzustellen, daß diese am Untermain, also im Gebiet von Aschaffenburg bis zur Mündung in den Rhein wesentlich dichter liegen als im Oberlauf des Mains. Das gleiche gilt für die Flußstrecke unterhalb von Würzburg. Ansonsten sind nur an weiter auseinander liegenden Stellen Untersuchungen vorgenommen worden. Ab 1963 wurde dann ein engmaschigeres Untersuchungsnetz auf den Main gelegt, so daß jetzt die Untersuchungsstellen, soweit es sich um die Festlegung eines Gewässergütelängsschnittes handelt, sehr dicht aufeinander folgen und diese Ergebnisse damit auch Rückschlüsse über die Veränderungen der Gewässergüte in kürzeren Mainstrecken erlauben.

Die Gewässergüteuntersuchungen wurden überwiegend in der Jahreszeit durchgeführt, in der zu erwarten war, daß die Wasserführung relativ niedrig lag und zwar in den Sommermonaten Juni, Juli und August. Zu Vergleichszwecken haben aber auch im Spätherbst oder zu Beginn des Winters zeitweise nochmals Gewässergütelängsuntersuchungen stattgefunden.

Die im nächsten Kapitel dargestellten Gewässergütelängsprofile zeigen, daß die chemischen und physikalischen Komponenten doch mehr oder weniger große Schwankungen aufweisen, die aber nicht unbedingt in ursächlichem Zusammenhang mit Änderungen der Gewässergüte, die auf verstärkte Einleitungen oder auf Abwasserreinigungsmaßnahmen zurückgeführt werden können, stehen. Es sind dies wahrscheinlich zum großen Teil Folgen der schwankenden Wasserführung. Auf Grund des vorhandenen, vom Gesichtspunkt der statistischen Auswertung aber als gering zu bezeichnenden Materials, ist es nicht ohne weiteres möglich, hier Korrelationen zwischen der Wasserführung und der Veränderung irgendeines chemisch-physikalischen Faktors zu sichern.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den biologischen Untersuchungen, da sich letzten Endes Veränderungen der Biozosen, der Lebensgemeinschaften im Gewässer, auf kurzzeitige Veränderungen der Belastung nicht so rasch einstellen, so daß man von einem träge reagierenden Anzeiger sprechen kann. Die biologischen Bilder zeigen daher Ergebnisse, die miteinander verglichen werden können.

Diese Schwierigkeiten, die sich einem Vergleich der Untersuchungsergebnisse zur kritischen Wertung in den Weg stellen, haben im Jahre 1964 zu der Überlegung geführt, daß man am Main ein ganz bestimmtes Untersuchungsprogramm einrichten müßte, mit dem man in größerem Umfang Werte erhält. Daraus könnten Mittelwerte gebildet werden, die über längere Zeiträume dann die Schwankung der einzelnen Faktoren deutlich kennbar machen. Das war der Anlaß, daß ab dem Jahre 1964, am Main, laufend Gütemeßreihenuntersuchungen durchgeführt werden. Dazu werden in kurzen Zeitabständen, zu festgelegten Zeiten, in einem gleichmäßigen Turnus an mehreren Stellen am Main Wasserproben entnommen und untersucht.

Mit Hilfe des dabei anfallenden Materials wird es möglich sein, auch kurzzeitigere Schwankungen in der Gewässergüte festzustellen. Außerdem wird anhand der ebenfalls vorhandenen Werte der Wasserführung, die Korrelation zwischen der Wasserführung und Schwankungen des Chemismus oder der physikalischen Komponenten erkannt werden können, so daß es möglich werden wird, wassermengenmäßig bedingte, oder durch Zunahme oder Abnahme der Belastung hervorgerufene Veränderungen der Gewässergüte auseinanderzuhalten.

In diesem Zusammenhang sei auch auf einen zweiten Punkt hingewiesen, der gewissen Vergleichsauswertungen entgegensteht. Von den früheren Untersuchern wurden zwar die Stellen festgelegt, an denen sie selbst die jeweiligen Untersuchungen vorgenommen haben. Da aber die Untersuchungsgruppen ihre Untersuchungsstellen nicht unbedingt aufeinander abgestimmt hatten, liegen heute Untersuchungsergebnisse vor, die sich nicht immer auf die gleiche Probeentnahmestelle beziehen. Es ist damit eine weitere Schwierigkeit bei der Auswertung gegeben, die eine Aussage hinsichtlich der Veränderungen der Gewässergüte in bestimmten Abschnitten erschwert. Auch das war mit ein Beweggrund, die Gütemeßreihenuntersuchungen für den unterfränkischen Main festzulegen, um zukünftig leichter vergleichbares Material zu erhalten. Die dabei erhaltenen Untersuchungsergebnisse können genauso wie es vorher geschehen ist, zu Gewässergütelängsschnitten miteinander verbunden werden, so daß man damit gleichwertige Längsprofile erhält, die aber dann nicht mehr in Abständen von einem Jahr oder gar zwei Jahren ermittelt werden, sondern in wöchentlichen oder in zweiwöchentlichen Abständen vorliegen. Man kann in anderer Beziehung auch wiederum für den einzelnen Untersuchungspunkt anhand dieses Untersuchungsmaterials Ganglinien der einzelnen Faktoren festlegen und so die Variabilität der chemischen, physikalischen und soweit lfd. untersucht, auch der biologischen Faktoren an diesen Untersuchungsstellen im Verlauf des Jahres herauslesen. Diese Gütemeßreihen haben sich bisher als sehr brauchbar erwiesen.

Hier sei nur noch erwähnt, daß auch biologische Untersuchungen nicht nur zeitweise wie bisher, sondern in Zukunft auch in engeren Zeitabschnitten vorgenommen werden. Zu diesem Zwecke sind derzeit Untersuchungseinrichtungen in Erprobung, wobei durch entsprechende Aufwuchseinrichtungen es ermöglicht werden soll, zu gleicher Zeit mit den Probenahmen für die chemisch-physikalischen Untersuchungen auch biologische Untersuchungen mit durchzuführen.

Es soll mit dieser Ausführung nicht der Eindruck erweckt werden, daß der Wert der früheren Untersuchungen geschmälert werden müßte. Man darf nicht vergessen, daß sich erst in zunehmendem Umfang in den letzten Jahren die Untersuchungen dauernd steigerten, daß die Notwendigkeit einer intensiven Überwachung der Gewässergüte in den letzten Jahren als immer

dringlicher erkannt wurde. Mit der Einführung der Gütemeßreihenuntersuchungen am Main wurden die Ermittlungen für Gütelängsschnitte auch nicht aufgehoben. Diese Gütelängsprofiluntersuchungen werden von Zeit zu Zeit auch weiterhin durchgeführt. Sie sollen aber auf die Zeiten einer tatsächlich gegebenen Niederst- oder Niederwasserführung beschränkt bleiben, so daß sie dann einen Zustand am Main charakterisieren, den man als Pessimum bezeichnen könnte.

Im Vorstehenden wurden bisher drei Arten der Untersuchungen die am Main durchgeführt werden, angesprochen, und zwar Güteuntersuchungen die nur kürzere Flußabschnitte erfassen, Gewässergütelängsprofile, die in mehrjährigen Abständen durchgeführt wurden und die Gewässergütemeßreihenuntersuchungen, die seit dem Jahre 1964 laufend durchgeführt werden. Zu diesen Untersuchungsarten kommt nun noch eine weitere Form der Untersuchung und zwar die Tagesganglinie. Bei diesen Tagesganglinien werden nur physikalische und chemische Faktoren erfaßt. Tagesganglinien sind vor allen Dingen für die Stellen vorgesehen und wurden bereits verschiedentlich dort durchgeführt, wo Gütemeßreihenuntersuchungen vorgenommen werden. Es soll damit die Möglichkeit geschaffen werden, den Tagesgang an diesen Meßstellen über einen längeren Zeitraum zu verfolgen. Diese Untersuchungen haben vor allen Dingen das Erkennen der Veränderung im Sauerstoffhaushalt im Verlauf des Tages zum Ziel. Der Main ist auf Grund der Untersuchungsergebnisse in einigen Zonen für Sekundärverunreinigungen in Form von Algenblüten sehr anfällig. Dabei kann es selbstverständlich, bedingt durch Witterungsfaktoren wie Sonneneinstrahlung und Temperatur, zu irgendwelchen negativen Änderungen kommen. Damit verbunden sind auch die Veränderungen im Kohlensäuregehalt und im pH-Wert. Bei diesen Tagesganglinien wird mittels entsprechender Pumpvorrichtungen an bis zu drei Stellen aus dem Gewässer, je nach Bedarf auch aus verschiedener Tiefe, das Wasser laufend entnommen. Diese Untersuchungsart sei der Vollständigkeit halber hier nur erwähnt. Veröffentlichungen über diese Untersuchungsergebnisse erfolgen zu einem späteren Zeitpunkt.

Abschließend sei noch erwähnt, daß auch eine größere Anzahl von kleinräumigen Untersuchungen vorliegen, die aber zu so unterschiedlichen Zeiten erfolgten, daß ihre Hereinnahme in die Zusammenstellung, die an sich schon schwierige Auswertung nur noch weiter erschwert haben würde. Es wurden daher davon nur einige wenige Beispiele gebracht, soweit sie für diese Ausarbeitung zweckdienlich waren.

4. Die Untersuchungsergebnisse der Gewässergüteuntersuchungen

4. 1. Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse

Bei den Untersuchungen wurden biologische, chemische und physikalische Komponenten erfaßt. Die Darstellung der chemischen und physikalischen

Kennzahlen erfolgte in Diagrammen, in Anlehnung an die von den Unter-
sucherteams veröffentlichten bzw. in den Akten abgelegten Darstellungs-
weisen.

Bezüglich der Darstellung der biologischen Untersuchungsbefunde muß auf
verschiedenes hingewiesen werden. Sie erfolgt wiederum in gleicher Weise
wie bei den chemischen Ergebnissen, in Anlehnung an die Darstellungsweise
der einzelnen Autoren bzw. Untersuchergruppen. Dadurch ergeben sich ge-
wisse Unterschiede in der Darstellung, wobei hier zwei Gruppen dominie-
ren, und zwar einmal die Darstellung in Form von Gütelängsbildern und
zum anderen die diagrammetrische Darstellung, die von der Bundesanstalt
für Gewässerkunde verwendet wurde. Bei den Gütelängsbildern wurde die
Münchener Methode zur Anwendung gebracht. Die Darstellungen der
Bundesanstalt zeigen verschiedene Diagramme, und zwar einmal den biolo-
gischen Gütelängsschnitt, dann die relative Belastung und die biologische
Gütelinie. Hinweise über diese Art der Darstellungen biologischer Unter-
suchungsergebnisse sind aus der einschlägigen Literatur zu entnehmen.
Literaturhinweise befinden sich in dem anschließenden Literaturverzeichnis.
Es sei nur erwähnt, daß die biologischen Untersuchungen auf der Basis des
Kolkwitz-Marsson'schen Saprobiensystems aufgebaut sind. Die Gütebilder,
die hier in einigen Untersuchungen dargestellt sind, zeigen die Form der
Gewässergütekartierung. Sie sind hier nicht in Farben vorgenommen wor-
den, sondern in Schraffuren. Weitere Ausführungen bezüglich der Darstel-
lungsmethodik seien hier nicht gebracht, da Einzelheiten aus der Literatur
zu entnehmen sind.

4. 2. Die Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse sind im folgenden Abschnitt in zwei Gruppen
eingeteilt. Die erste Gruppe enthält die Gewässergütelängsprofile, wobei
hierunter auch kleinräumige Abschnitte als Beispiel mit dargestellt sind, so-
weit sie, wie schon erwähnt, für die vorliegende Betrachtung von Bedeu-
tung waren. Die Darstellungen beziehen sich überwiegend auf die gesamte
kanalisierte Strecke des Mains von Bamberg bis zur Mündung.

Die zweite Gruppe enthält dann Diagramme und Ausführungen, die sich
mit den Gewässergütemeßreihen befassen und schon jetzt, vor einer speziel-
len Veröffentlichung dieser neueren Untersuchungsergebnisse, teilweise dar-
gestellt werden, soweit sie ebenfalls wieder für die vorliegende Betrachtung
zweckdienlich erschienen sind.

Die folgende Zusammenstellung gibt die chronologische Reihenfolge der
einzelnen Untersuchungen wieder.

Gewässergütelängsprofile 4. 2. 1.

a) Untersuchungen der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt München vom
Jahre 1948—1952 (Zusammenfassung)

- b) Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, in den Jahren 1953 und 1954
- c) Untersuchungen der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken, Würzburg, vom Jahre 1952—1957
- d) Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, im Jahre 1957
- e) Untersuchungen der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken, Würzburg, vom Jahre 1955—1958
- f) Untersuchungen des Hessischen Flußwasseruntersuchungsamtes, Wiesbaden, im Jahre 1958
- g) Untersuchungen der Gewässergüteaufsicht der Regierung in Würzburg, im Jahre 1960
- h) Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, im Jahre 1962
- i) Untersuchungen der Gewässergüteaufsicht der Regierung in Würzburg im Jahre 1963

Gewässergütemeßreihen 4. 2. 2.

- a) Untersuchungen der Wasserstraßenverwaltung in den Jahren 1959—1962
- b) Untersuchungen der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt, München, über den Detergentiengehalt im Jahre 1962
- c) Untersuchungen der Wasserwerke Frankfurt vom Jahre 1959—1963
- d) Untersuchungen der Wasserwerke Würzburg vom Jahre 1955—1966
- e) Untersuchungen der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken, Würzburg, vom Jahre 1963—1966

4. 2. 1. a) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchungen der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt München 1949 bis 1952 (Abb. 2 und Abb. 3)

Die seit dem Jahre 1949 durchgeführten 8 großen Mainuntersuchungen erlaubten es, der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt München, den chemisch-biologischen Zustand des Mains über mehrere Jahre hin vergleichend beurteilen zu können. Bei den chemischen Analysen sind übereinstimmend in den Sommeruntersuchungen besondere Sauerstoffzehrungsspitzen an sieben Probenentnahmestellen zu erkennen gewesen, und zwar:

1. Unterhalb der Regnitzmündung bei Fluß-km 392,8 mit einer durchschnittlichen Sauerstoffzehrung im Sommer von 40 Prozent.
2. Bei Bergrheinfeld bei Fluß-km 333,2 mit einer durchschnittlichen Sauerstoffzehrung im Sommer von 40 Prozent.
3. Unterhalb Würzburg bei Fluß-km 249 mit einer durchschnittlichen Sauerstoffzehrung im Sommer von 55 Prozent.
4. Unterhalb Stau Kleinostheim bei Fluß-km 77 mit einer durchschnittlichen Sauerstoffzehrung im Sommer von 80 Prozent.

5. Main oberhalb Hanau bei Fluß-km 56 mit einer durchschnittlichen Sauerstoffzehrung von 80 Prozent.
6. Unterhalb Frankfurt Fluß-km 28 mit einer durchschnittlichen Sauerstoffzehrung im Sommer von 70 Prozent.
7. Unterhalb Staustufe Kostheim, Fluß-km 1 mit einer durchschnittlichen Sauerstoffzehrung im Sommer von 97 Prozent.

Nach den biologischen Untersuchungen war der Main oberhalb von Bamberg zur Gewässergüteklasse II zu rechnen. Im Gebiet der Zehrungsspitze unterhalb von Bamberg und unterhalb der Regnitzmündung veränderte sich die Gewässergüteklasse auf II—III. Bei Bergrheinfeld der nächsten Zehrungsspitze war im Main wieder die Gewässergüteklasse II—III anzutreffen. Bis Würzburg herrschte dann Güteklasse II wieder vor. Dies änderte sich unterhalb Würzburg wieder zur Güteklasse II—III. Es zeigte sich somit eine erneute Verschlechterung an. Die sich später wieder einstellende Gewässergüteklasse II, die bis Aschaffenburg angegeben ist, veränderte sich dann erstmals im Raum der Zehrungsspitze unterhalb von Stockstadt in eine weit schlechtere Klasse um, nämlich zur Gewässergüteklasse III. Im Raum oberhalb von Hanau war das Gewässer ebenfalls noch in diese Güteklasse eingestuft, wobei hier besonders auf das starke Vorkommen des *Sphaerotilus natans* hingewiesen war. Auch noch unterhalb Frankfurt gehörte nach diesen Untersuchungen der Main der Gewässergüteklasse III an, verschlechterte sich dann aber weiterhin so, daß er ab Kostheim bis zur Mündung in den Rhein als schwerstbelastet der Gewässergüteklasse IV zugeordnet werden mußte. Die Bayer. Biologische Versuchsanstalt führte weiterhin aus, daß zwischen Hallstadt und Aschaffenburg die Gewässergüte des Mains seit dem Jahre 1949 bis 1952 nie unter die Güteklasse II—III gesunken ist. Es wurden daher seinerzeit in dieser Strecke in den Stauhaltungen auch keine zusammenhängenden Faulschlammfelder vorgefunden. Von örtlichen Verschlammungen in den Bühnenfeldern abgesehen, sei hier im Vorfluter keine so hohe Sauerstoffzehrung zu befürchten gewesen, daß es im Sommer bei Niederwasser zu Fischsterben hätte kommen können. Es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Main vom Flußkilometer 400 bei Hallstadt bis zum Flußkilometer 104 über eine enorme biologische Produktionskraft verfüge, die ihm typisch eigen sein dürfte. Als Beispiel wurde die Besiedlung des Bodens in verschiedenen Wassertiefen im Stau Erlabrunn bei der Staulegung vom 26.—28. Juni 1952 aufgeführt. Die damaligen Untersuchungen hatten ergeben, daß die Besiedlung des Bodens an Makroorganismen bis zu einer Tiefe von 2,5 m als besonders intensiv festgestellt werden konnte. Man hat dies als die Zone angesehen, die unter dem Einfluß des Strahlungsklimas stand. Die große Menge der dort vorgefundenen Makroorganismen wurde nicht nur als Zeichen einer biologischen Produktionskraft des Vorfluters gewertet, sondern auch als ein Ausdruck der gesunden natürlichen Selbstreinigungskraft im Main dargestellt.

Eine weitere wichtige Betrachtung anhand derer ein Vergleich mit neueren Untersuchungen möglich ist, sei im folgenden kurz aufgeführt. Von der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt wurde besonders auf die Zonen mit verstärkter Algenblütenbildung hingewiesen. Es wurde ausgeführt, daß die Flußuntersuchungen es gestatten würden, nunmehr diese Zonen verstärkter Algenblütenbildung auch abzugrenzen. Diese Zonen der Algenblüten wurden als Zonen mit starker anorganischer Düngung im Fluß gewertet. Sie traten in den festgestellten Flußabschnitten deshalb immer dann auf, wenn weiter oberhalb fäulnisfähige organische Substanzen bzw. Abwässer in den Main eingeleitet wurden und im Laufe der Fließstrecke bis zu dieser Algenblütenzone zu Nitraten abgebaut worden waren. Die Bayer. Biologische Versuchsanstalt gab als Zonen einer starken Algenblütenbildung folgende Flußstrecken an:

1. Die Flußstrecke unterhalb der Staustufe Viereth bei Eltmann.
2. Die Flußstrecke unterhalb Schweinfurt, etwa beginnend bei Bergheinfeld bei Flußkilometer 333. Die Algenblüte die dort vorgefunden wurde, setzte sich hauptsächlich aus der Kieselalge, *Actinastrum Hantzschii* und aus den Geißeltierkolonien *Pandorina morum* und *Synura uvella* zusammen.
3. Die nächste Algenblütenregion war im Raume Marktbreit gefunden worden.
4. Weiter flußabwärts fand sich unterhalb Würzburg bei Himmelstadt wiederum ein Algenblütenbereich. Hier bildeten hauptsächlich die Vertreter die Blaualge *Microcystis aeruginosa* und die Geißeltierkolonien *Pandorina morum* die Algenblüte. Zusätzlich dazu kam es im Stau Marktbreit und Himmelstadt zu Massenentwicklungen von Rädertieren.
5. Weiter unterhalb Würzburg ist dann noch einmal der Raum Markttheidenfeld als eine Algenblütenzone angegeben worden.
6. Der Flußabschnitt unterhalb Kilometer 71 bis 64, also der Bereich bei Großkrotzenburg.

Im Zusammenhang mit den Ausführungen über die Algenblüten wurde auch noch darauf hingewiesen, daß durch die in diesen Abschnitten wirkende Lebenstätigkeit der Algen, ein Absinken des Nitratgehaltes von Flußkilometer 333 bis Flußkilometer 277 von 4 auf 2,5 mg/l festgestellt wurde. Außerdem wurde besonders erwähnt, daß sich die sogenannte biogene Entkalkung durch das Absinken der Carbonathärte in diesen Zonen mit einer starken Algenblüte deutlich kenntlich gemacht hatte.

Eine Hemmung der Algenblüte wurde bei Flußkilometer 104 festgestellt und auf die Einwirkung der Abwässer des Glanzstoffwerkes in Obernburg zurückgeführt. Hier wurde auch gleichzeitig eine Verödungszone, die ebenfalls auf die Glanzstoffabwässer zurückzuführen war, gefunden. Es wurde auch besonders auf die Tatsache aufmerksam gemacht, daß ein Absinken der Gewässergüte fast um eine volle Güteklasse festzustellen war.

Die dann weiter abwärts, bei Aschaffenburg gefundene weitere Verschlechterung in der Wasserbeschaffenheit wurde vorwiegend auf die Einleitung der Abwässer aus den Sulfitzellulosefabriken Aschaffenburg und Stockstadt zurückgeführt. Als Beispiel dieser Einwirkung der Sulfitzelluloseabwässer wurde erwähnt, daß die Sauerstoffzehrung oberhalb der Abwassereinleitung der beiden Fabriken während der Sommermonate im Durchschnitt nur 22 Prozent betrug, wogegen unterhalb der Einleitungen ein Ansteigen auf etwa 80 Prozent festgestellt worden war. Im darauffolgenden Flußabschnitt hatte man zwar in den oberflächlichen Wasserschichten eine Verbesserung der Wasserqualität ermittelt, gleichzeitig aber in diesen Stauhaltungen eine sehr starke Algenblütenbildung festgestellt, so daß sich die Verbesserung in der Sauerstoffzehrung nicht bemerkbar gemacht habe. Bei Großkrotzenburg sank dann die Wassergüte erneut auf Güteklasse III ab. Die Bayer. Biologische Versuchsanstalt wies in diesem Zusammenhang noch besonders darauf hin, daß es in diesem Flußabschnitt während der Wintermonate, infolge des Einflusses der Sulfitzelluloseabwässer unterhalb Aschaffenburgs, zu stark und intensiven Abwasserpilztreiben kam. Diese Bakterienmassen setzten sich zum großen Teil in den darauffolgenden drei Stauhaltungen nämlich in Kleinostheim, Großwelzheim und Großkrotzenburg ab und führten zu ausgedehnten Faulschlammbildungen. Diese Faulschlammbildungen in den Stauhaltungen wurden auch als Ursache des im Sommer hier wiegerholt aufgetretenen starken Sauerstoffmangels und der mehrfach eingetretenen ausgedehnten Fischsterben angesehen.

In der diagrammetrischen Darstellung, der eine statistische Auswertung zugrunde liegt, fällt bei der Betrachtung der Extremwerte, der zum Teil erhebliche Unterschied zwischen den Mittelwerten des Sommers und der Winteruntersuchung auf. Zurückgeführt wurde dieser Umstand teilweise auf die größere Wasserführung, die bei mehreren Untersuchungen vorhanden war. Mit Sicherheit war aber auf jeden Fall auch die Tatsache ausschlaggebend, daß sich in den Sommermonaten die stärkere Entwicklung von Organismen bemerkbar machte, was zu starken Übersättigungen im Sauerstoffgehalt geführt hatte, aber auch ebenso große Sauerstoffzehrungen bedingte. Teilweise Erhöhungen des Permanganatverbrauches und der anderen chemischen Werte in den Sommermonaten wurden mit der geringen Verdünnung der Abwässer begründet, die durch die niedrige Wasserführung hervorgerufen worden waren.

Die Darstellung der Extremwerte der Sauerstoffzehrung in Prozent des Anfangsgehaltes zeigt, wie sich die zugeführten Verunreinigungen unter verschiedenen Bedingungen im Gewässer auswirkten. Am deutlichsten kam dabei die Auswirkung dieser Abwassereinleitungen im Wintermaximum der Sauerstoffzehrung zum Ausdruck, da im Winter der Einfluß der Sauerstoffproduktion und sonstiger sekundärer Wirkungen der Organismen-

Gütebild des Mains

Durchschnittswert von 8 Untersuchungen - 1949 bis 1952

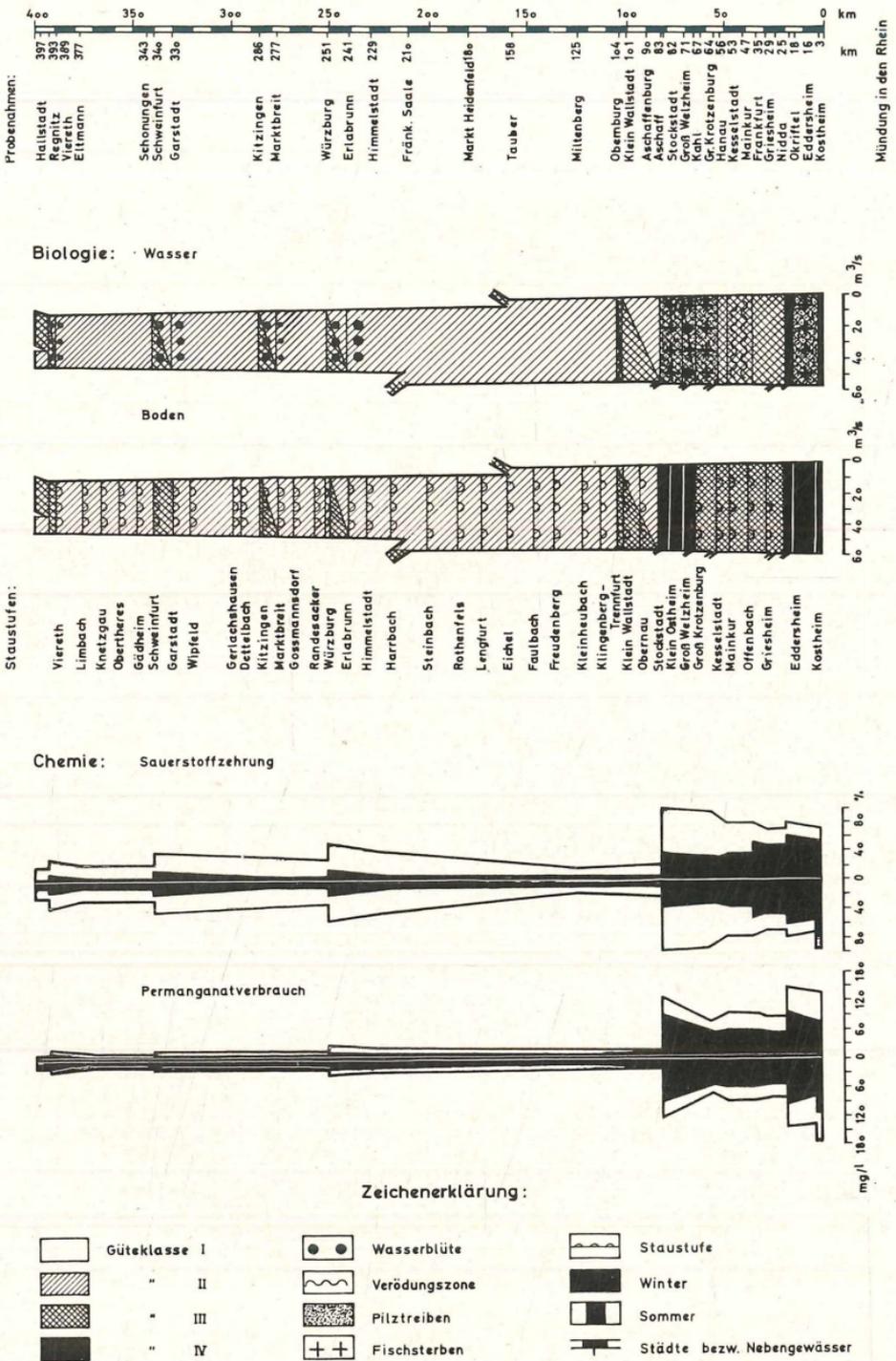
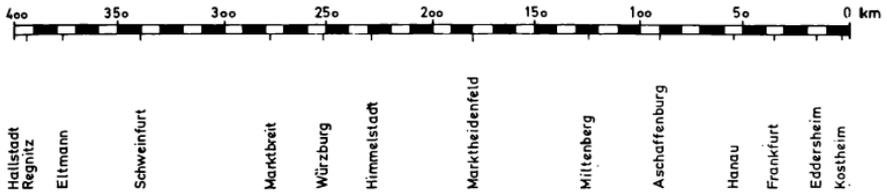


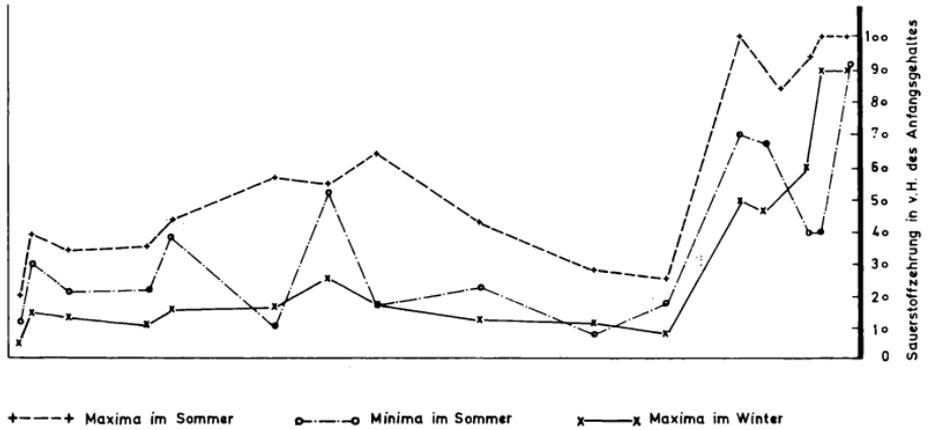
Abb. 2

Gütebild des Mains

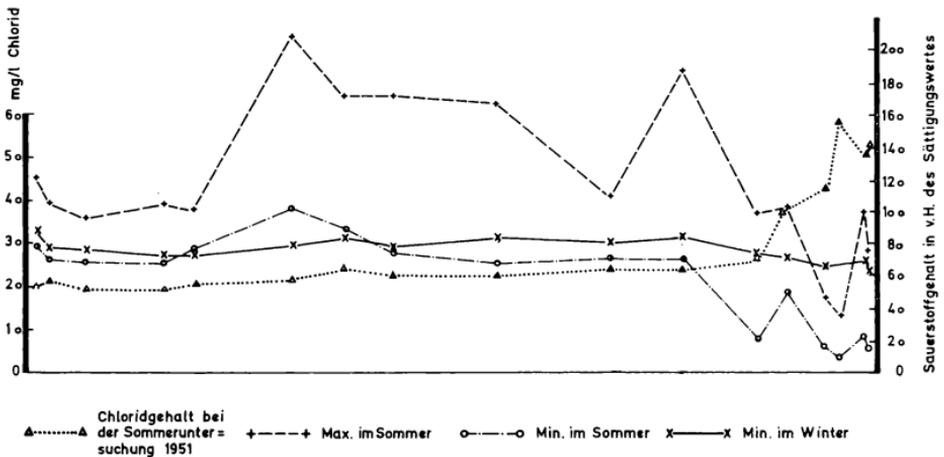
Durchschnittswerte von 1949 - 1952



Extremwerte der Sauerstoffzehrung in % des Anfangsgehaltes.



Chloridgehalt und Extremwerte des Sauerstoffgehaltes in % des Sättigungswertes.



entwicklung wegfiel. Deutlich ist zu erkennen, daß unterhalb der Regnitzmündung Höchstwerte der Zehrung zu finden waren, welche mit auf die Abwässer von Bamberg zurückgeführt wurden. Gleiches zeigte sich für den Raum unterhalb Schweinfurt und unterhalb Würzburg. Die Sommerkurven für Extrem-Werte der Sauerstoffzehrung zeigen dann im Gegensatz zu den Winteruntersuchungen ein sehr interessantes Verhalten, das im Zusammenhang mit dem Sauerstoffgehalt und den biologischen Untersuchungen gedeutet werden kann. Es ist nämlich zu erkennen, daß kurz unterhalb der drei großen Verunreinigungsquellen Regnitz - Bamberg, Schweinfurt und Würzburg die Maxima und Minima der Zehrung immer sehr eng beieinander lagen. Während jedoch das Minimum im weiteren Fließverlauf regelmäßig steil abfiel, zeigte das Maximum einen Anstieg und sank jeweils erst weiter unterhalb langsamer ab. Als besonders auffällig sind dabei die hohen Werte bei Marktbreit und bei Himmelstadt anzusehen. Aus diesen Darstellungen ist außerdem noch zu erkennen, daß die größte Zehrung nicht mit dem größten Defizit des Sauerstoffgehaltes zusammenfällt, sondern sich der geringste Sauerstoffgehalt im Wasser erst eine ganze Strecke unterhalb der Abwassereinleitung fand.

Der maximale Sauerstoffgehalt zeigte, wie aus dem Verlauf seiner Kurve zwischen Schweinfurt und Aschaffenburg entnommen werden kann, teilweise erhebliche Übersättigungen an. Die Ursache dieser Übersättigungen waren, wie vorher schon angedeutet, die Algenblüten, die in diesen Flußabschnitten auftraten.

Man kann aus diesen Unterlagen entnehmen, daß die hohen Zehrungen im Sommer überwiegend auf die Atmung der im entnommenen Wasser in großer Anzahl enthaltenen Planktonorganismen zurückzuführen waren, wogegen die Maxima des Winters die eigentliche Auswirkung der Abwässer alleine darstellten. Es wurde von einem Autor darauf hingewiesen, daß die meisten starken Übersättigungen im Sauerstoffhaushalt in den Untersuchungen von 1949 bis 1953 dann beobachtet werden konnten, wenn eine verhältnismäßig geringe Wasserführung mit hoher Wassertemperatur zusammenfiel, wobei besonders der Sommer 1950 Erwähnung fand.

4. 2. 1. b1) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchung der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz vom 30. November bis 5. Dezember 1953 (Abb. 4 und Abb. 5)

Anschließend an die Untersuchung der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt München begann die Bundesanstalt für Gewässerkunde im Herbst 1953 ihrerseits mit Untersuchungen, wobei allerdings eine andere Art der Auswertung der biologischen Untersuchungsergebnisse vorgenommen wurde. Bevor aber auf die biologischen Untersuchungsergebnisse eingegangen wird, soll hier in Anlehnung an das Gutachten der Bundesanstalt vom 30. Juni

1955 folgendes ausgeführt werden: Die Winteruntersuchung hatte gezeigt, daß das Flußwasser im Main nur geringe Schwankungen des pH-Wertes aufwies, so daß man von einer durchgehend neutralen Reaktion zwischen 7 und 7,9 beginnend von Hallstadt bis zur Mündung in den Rhein, sprechen konnte. Die ungelösten Stoffe fanden sich im Main bei dieser Winteruntersuchung nur in sehr niedrigen Konzentrationen und lagen durchwegs unter 0,1 mg/l. Über die Größe des Kaliumpermanganatverbrauches als Maß für die organische Belastung des Mains, führte die Bundesanstalt für Gewässerkunde aus, seien im Oberlauf des Mains bis über den Mittelabschnitt hinaus, also von Hallstadt bis Aschaffenburg, nur relativ geringe Werte gefunden worden. Es zeigten sich auch keine großen Schwankungen des Permanganatverbrauches. Dieser lag im Mittel zwischen 13 und 21 mg/l. Erst an dem deutlich sichtbaren Belastungsschwerpunkt in Kleinstheim stieg der Permanganatverbrauch auf über 100 mg/l an und zeigte einen weiteren Anstieg im Gebiet von Seligenstadt und Hanau auf 194 mg/l bzw. 188 mg/l.

Bezüglich der Härte hatte man festgestellt, daß diese Werte nur unwesentliche Veränderungen aufwiesen und sowohl während der Winter- als auch der Sommermonate etwa gleichbleibende Härtegrade zeigten. Die Chloridwerte wurden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde noch als niedrig angesehen und zeigten von Hallstadt beginnend mit etwa 30 mg/l nur ein relativ geringes Ansteigen bis auf 42 mg/l bei Mainkur, nahmen dann aber bei Kostheim sprunghaft bis auf 72 mg/l zu.

Die Verunreinigungsindikatoren der Stickstoffreihe, Ammonium, Nitrit und Nitrat wurden bei den Untersuchungen der Bundesanstalt an allen Entnahmestellen nachgewiesen. Die Ammoniumwerte blieben dabei in niedrigen Grenzen und waren nur geringen Schwankungen unterworfen. Dabei fanden sich aber im Raume Eltmann und bei Schweinfurt im bayerischen Gebiet die höchsten Ammoniumwerte. Die Schwankungsgröße des Ammoniums lag zwischen 1—3 mg/l. Die Nitrite waren ebenfalls sehr ausgeglichen und wiesen nur geringe Schwankungen auf. Lediglich unterhalb Frankfurt war ein sehr starker Anstieg zu beobachten. Erheblich höher lagen dagegen die Konzentrationen des Nitrats, das als Zeichen der abgebauten stickstoffhaltigen, organischen Substanz anzusehen ist. Hier war schon bei Hallstadt mit 11,5 mg/l ein relativ hoher Wert zu finden, trotzdem in den Wintermonaten mit einer verminderten Tätigkeit der Mikroorganismen gerechnet werden muß. Die Nitratwerte stiegen unter geringen Schwankungen dann weiterhin an und erreichen ihre Spitze mit 20 mg/l bei Miltenberg. Dann ist ein auffälliges Absinken der Nitratwerte zu erkennen, die maximal im Bereich von 10 mg/l lagen.

Wesentlich interessanter waren bei dieser Untersuchung die Werte des Sauerstoffhaushaltes. Während dieser Winteruntersuchung bewegten sich die Sauerstoffgehalte durchwegs unterhalb der, der Wassertemperatur entsprechenden Sättigungsgrenze. Bei Hallstadt fand sich mit 12,6 mg/l der höchste

Sauerstoffgehalt und mit 0,8 mg/l das kleinste Sauerstoffdefizit. In den darauffolgenden Flußstrecken sank der Sauerstoff laufend ab, erniedrigte sich bei Bischberg auf 9,3 mg/l, sank bei Bergheinfeld weiter auf 7 mg/l ab und bewegte sich dann in diesen Größenordnungen auf der gesamten Mainstrecke. Er war lediglich leichten Schwankungen unterworfen, und zwar von Marktbreit bis Aschaffenburg. Die Sauerstoffwerte in diesem Flußabschnitt wurden von der Bundesanstalt mit gut bezeichnet. Erst ab Kleinostheim setzte dann eine schlagartige Sauerstofferniedrigung von 9,2 mg auf 6,4 mg ein, die, ständig weiter abnehmend bis Ettersheim deutlich erkennbar war.

Die Sauerstoffzehrung war den Untersuchungsergebnissen zufolge großen Schwankungen unterworfen. So wurden Sauerstoffzehrungen von 0,8 Prozent bei Hallstadt und bis zu 100 Prozent bei Mainkur gefunden. Die geringe Sauerstoffzehrung bei Hallstadt mit 0,8 Prozent wurde für diesen Teil des Gewässers als vollkommen normal angesehen. Erst im Raum Bischberg stieg die Zehrung durch den Einfluß der Regnitz, die aus dem Raum Nürnberg und Bamberg stark belastet ankam, auf 5,4 Prozent an, und erhöhte sich bei Eltmann auf 8,7 Prozent. Oberhalb Schweinfurt, bei Mainberg hatte die Bundesanstalt ein Absinken auf 3,7 Prozent festgestellt. Die Bundesanstalt deutete dieses Absinken der Zehrung als eine Abnahme der Verschmutzung infolge der hier anlaufenden Selbstreinigung. Bei Bergheinfeld hat man dann wiederum eine Verminderung dieser Selbstreinigung festgestellt und sie auf die Abwässer von Schweinfurt zurückgeführt. Die Sauerstoffzehrung stieg dort wieder auf 10 Prozent an. Nach einem längeren Abschnitt fand sich dann wieder im Raum unterhalb Würzburg, bei Zell, eine schlagartige Erhöhung der Zehrung auf 32,2 Prozent, der weiter flußabwärts bei Himmelstadt wieder eine Abnahme der Zehrungsgröße infolge der eintretenden Selbstreinigung folgte. Von Gemünden bis Aschaffenburg wurde eine Durchschnittszehrung von 7 Prozent ermittelt. Diesen Abschnitt des Mains bezeichnete man in den damaligen Ausführungen als die bedeutendste Selbstreinigungsstrecke. Unterhalb Kleinostheim setzte dann schlagartig die Erhöhung der Sauerstoffzehrung auf 54,7 Prozent ein, und bewies damit wiederum die sehr starke Verunreinigung aus dem Raum Aschaffenburg. Bei Seligenstadt und später bei Hanau machte sich diese Verunreinigung durch einen weiteren Anstieg der Zehrung auf 67 bzw. 68 Prozent immer deutlicher bemerkbar.

Ergänzend zu den chemischen und physikalischen Werten wurden auch von der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz biologische Untersuchungen mit durchgeführt. Diese biologischen Untersuchungen beinhalteten einmal die eingehende Untersuchung der Besiedlung beider Ufer, dann die mehrfache Probeentnahme von Bodenmaterial in der Flußmitte und die Entnahme von Oberflächenplankton aus jeweils 20 Liter Wasser. Neben diesen biologischen Untersuchungen lief gleichzeitig die Feststellung der

Sichttiefe mittels der Sichtscheibe. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde führte zu diesen biologischen Untersuchungen aus, daß sie die Ansicht, die bei früheren Untersuchungen geäußert wurde, und die dem Flußplankton relativ großen Indikatorwert beimessen wollte, nicht teilen könne. Abgesehen davon, daß ein etwa eigenständiges Flußplankton im engeren Sinne gar nicht existiere, wurde darauf hingewiesen, daß die Analyse der im Wasser gefundenen Planktonarten so viel Fehlerquellen enthalte, daß man ihre Auswertung nur mit größter Vorsicht vornehmen dürfte. Trotzdem seien bei diesen biologischen Untersuchungen Planktonproben entnommen und mikroskopisch ausgewertet worden.

Zur Darstellung verwendete die Bundesanstalt den biologischen Gütelängsschnitt mit der eingezeichneten biologischen Schwerpunktklinie, die die jeweils untersuchten Stellen des Mains der entsprechenden Saprobiestufe zuordnet. Die biologische Gütelinie wurde rechnerisch aus den Werten dieses biologischen Gütelängsschnittes gewonnen.

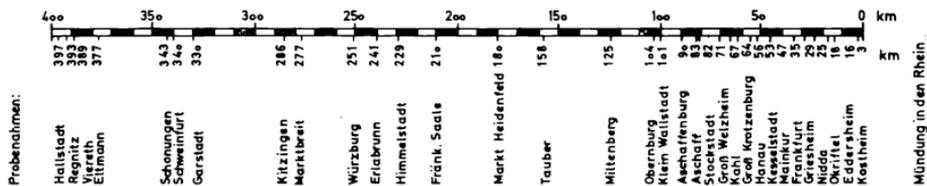
Als Ergebnis dieser biologischen Untersuchung im Dezember 1953 wurde ausgeführt, daß die Ufer- und Bodenbesiedlung im Main eine Tendenz der stufenweisen Verarmung mit klarer Deutlichkeit erkennen ließe. In den Strecken zwischen Kilometer 400 bei Hallstadt bis Kilometer 105 bei den Glanzstoffwerken in Obernburg halte sich diese Verarmung noch in erträglichen Grenzen.

Bei Flußkilometer 396,9, im Oberlauf des schiffbaren Mains wurde die Besiedlung im Gewässer als quantitativ sehr reich und vielgestaltig bezeichnet. Hier haben die Organismen der Oligosaproben- und der Betamesosaproben Zonen, also der Güteklasse I und II überwogen. Sie zeigten damit ein relativ reines Wasser an. Diese Situation änderte sich schlagartig nach dem Zufluß der Regnitz. Unterhalb deren Einmündung in den Main kam es ebenfalls zu einer deutlich erkennbaren Verarmung der gesamten Besiedlung, die aber dann nach einigen Kilometern wieder etwas ausgeglichener wirkte. Unterhalb von Schweinfurt zeigte sich erneut die Tendenz zur Verarmung der Besiedlung, die auf den Einfluß der Abwässer von Schweinfurt zurückgeführt wurde. Darauf folgt eine Strecke der Erholung. Erst unterhalb Würzburg wurde eine neue Verarmungszone festgestellt, die hier vor allen Dingen in einem vollständigen Verschwinden Oligosaproben-Arten ihren Ausdruck fand. Entsprechend der starken Abwasserbelastung nahmen hier in großem Umfang die Polysaproben-Organismen zu. In der darauffolgenden Zone, die sich hauptsächlich der Betamesosaproben-Klasse zuordnen ließ, veränderte sich im Grund genommen nicht allzuviel. Erst unterhalb der Glanzstoffwerke kam es zu einer schlagartigen Veränderung, die zu einer wesentlich größeren Verarmung als vorher führte.

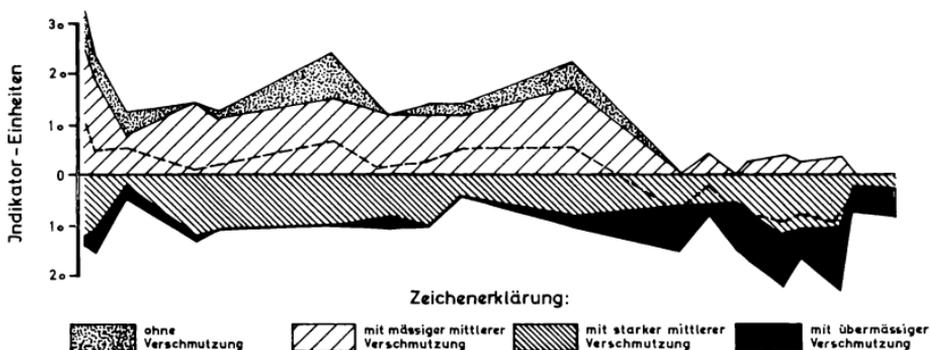
An der zuletzt genannten Stelle sei eine so intensive Verödungszone aufgetreten, daß sie sich in den biologischen Diagrammen deutlich sichtbar darstellt. In diesem Raum unterhalb des Glanzstoffwerkes in Obernburg war

Qualitative Untersuchung des Mains

vom 30.11. - 5.12.1953



Biologischer Gütelängsschnitt (Bei geradliniger Verbindung der Meßpunkte)



Relative Belastung ($\Sigma \alpha + p : \Sigma \alpha + \beta + \alpha + p$) nach biologischen Boden- und Uferuntersuchungen

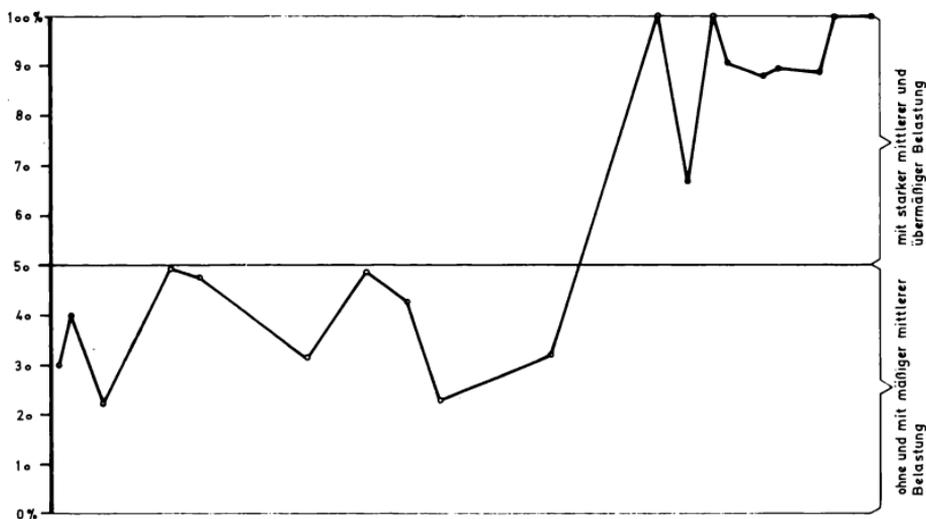
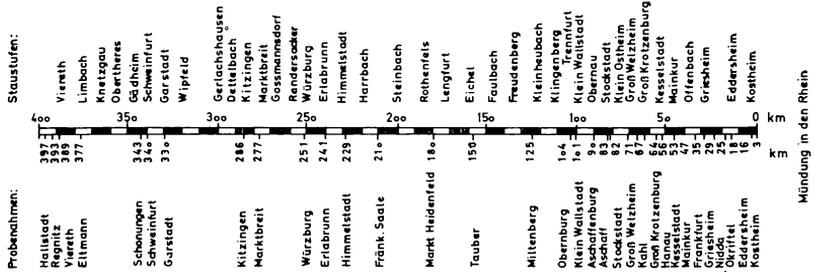


Abb. 4

Qualitative Untersuchung des Mains

vom 30.11. - 5.12.1953



Mündung in den Rhein

Chemie:

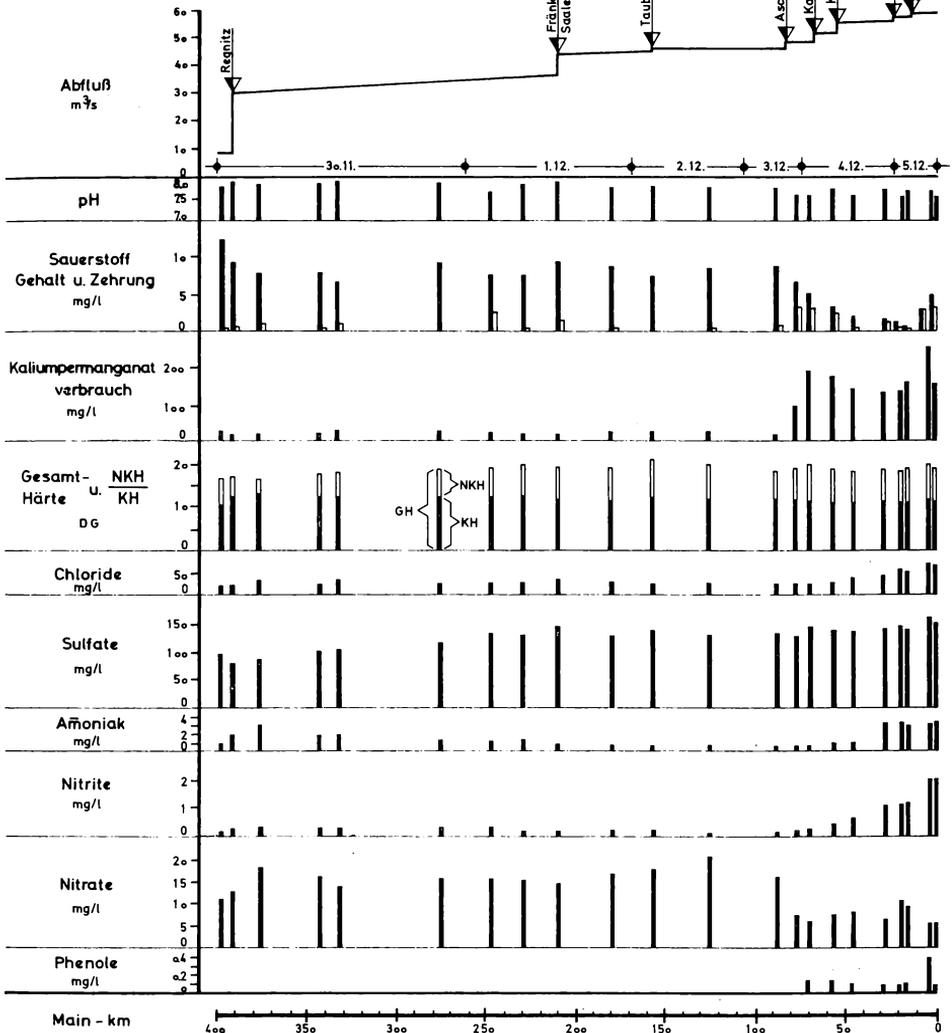


Abb. 5

in größerer Menge nur der Abwasserpilz feststellbar gewesen und teilweise dichte Rasen von Glockentierchen. Selbst derart resistente Würmer wie Tubifex und Herpobdella, die man sonst auf der gesamten Untersuchungsstrecke finden könnte, seien hier nicht mehr auffindbar gewesen. Oberhalb Aschaffenburg sei dann diese Veränderung, für die wahrscheinlich die Glanzstoffwerke in Obernburg verantwortlich zeichneten, zu einem kleinen Teil wieder ausgeglichen gewesen. Ab Flußkilometer 77 zeigte sich dann erneut eine sehr starke Verpilzung mit *Sphaerotilus natans*. Die Bundesanstalt bezeichnete diesen Flußabschnitt, „als aus dem Gleichgewicht gekommen“. Die Zahl der Arten nahm hier ständig ab, ebenso die Anzahl der einzelnen Organismen. Bei den Probeentnahmestellen 30—33 entstand das Bild einer erneuten Verödungszone, in der sich von den tierischen Besiedlern nur noch die Schlammröhrenwürmer halten konnten.

4. 2. 1. b2) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchung der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz vom 5. Juli bis 10. Juli 1954 (Abb. 6 und Abb. 7)

Im Gegensatz zu der vorangegangenen Winteruntersuchung hat die Bundesanstalt in dieser Sommeruntersuchung 1954 beim pH-Wert deutliche Unterschiede von der Quelle bis zur Mündung festgestellt. Zuerst lag die Reaktion im Oberlauf des Mains im alkalischen Bereich zwischen 7,7—7,9. In den darauffolgenden Abschnitten, vor allen Dingen von Kilometer 126 an ist ein sehr deutliches Absinken, wahrscheinlich unter dem Einfluß der zugeführten Abwässer von Ettersheim, unter pH 6,8 feststellbar gewesen. Wenn diese Werte auch noch eine gewisse Neutralität des pH-Wertes anzeigten, so schloß doch die Bundesanstalt daraus, daß sich die Verhältnisse unter der veränderten chemischen Zusammensetzung des Wassers in diesem Raum doch wesentlich geändert haben mußten.

Auch hinsichtlich der ungelösten Stoffe fanden sich bei dieser Sommeruntersuchung erhebliche Unterschiede gegenüber der vorgegangenen Winteruntersuchung. Im Flußabschnitt von Hallstadt bis Bergrheinfeld lagen die Werte verhältnismäßig niedrig. Auch weiter flußabwärts traf das noch zu. Dagegen war bei Marktbreit bereits ein Anstieg auf 129 mg/l feststellbar, der sich oberhalb Würzburg bei Heidingsfeld auf 131 mg/l erhöhte. Unterhalb der Stadt Würzburg stieg dieser Wert weiterhin sehr stark, sogar bis auf 170 mg/l an. Unterhalb Würzburg, in den darauffolgenden zwei Stauhaltungen, in denen sich hauptsächlich die Selbstreinigung der von Würzburg zugeleiteten Abwässer abspielt, war dann eine Verbesserung dieses Wertes erkennbar, der bei Himmelstadt auf 66 mg/l abgefallen war. Weiter flußabwärts mit dem Eintreten des Wassers aus dem großen Nebenfluß des Mains, aus der Fränkischen Saale, wurden dann diese Werte wesentlich herabgedrückt und sanken auf 18 mg/l ab. Mit geringen Schwankungen, teil-

weise bis 28 mg/l, blieb dann der Wert in dieser Größenordnung stehen. Erst die Aschaff, die unterhalb Aschaffenburg in den Main einmündet, brachte verhältnismäßig viel ungelöste Stoffe in einer Größenordnung von 101 mg/l in den Main. Trotzdem fanden sich in der Schleuse Kleinostheim nur geringe Mengen von ungelösten Stoffen in einer Größenordnung von 12—22 mg/l. Erst weiter flußabwärts stiegen die Werte dann wieder um das Doppelte an.

Der Kaliumpermanganatverbrauch zeigte während der Sommeruntersuchung 1954 relativ hohe Werte an. Schon bei Hallstadt lagen sie bei 26 mg/l und wiesen dann stärkere Schwankungen auf. Dies ließ sich etwa bis Kitzingen beobachten. Die Schwankung des Permanganatverbandes zwischen 22 und 28 mg/l zeigte im Oberlauf nur bei Bergheinfeld eine Spitze von 47 mg/l und dann erst wieder im Bereich der Staustufe Marktbreit 40 mg/l. Erstaunlicherweise konnte bei dieser Untersuchung der Einfluß der großen Abwassereinleitung in Würzburg nicht festgestellt werden, da der Permanganatverbrauch oberhalb Würzburg mit 35 mg/l und unterhalb Würzburg bei Zell mit 33 mg/l keinen Anstieg aufwies. Im Raum von Himmelstadt lag der Permanganatverbrauch immer noch bei 32 mg/l. Diese Werte sind für die Größenordnung der Abwasserbelastung, die auch damals schon in den Main gelangte, erstaunlich niedrig. In dem darauffolgenden Flußabschnitt schwankte der Permanganatverbrauch wieder zwischen 20 und 30 mg/l. Erst ab der Zuleitung der Aschaff, die während der Untersuchung mit einem Kaliumpermanganatverbrauch von 4400 mg/l in den Main einfloß, erhöhte sich dieser Wert im Main schlagartig bis über 540 mg/l. In der darauffolgenden Strecke bis Hanau konnte ein Absinken bis auf 215 mg/l festgestellt werden, dem weiter abwärts erst wieder bei Kostheim ein Anstieg bis über 400 mg/l folgte.

Die Härte und die Chloridwerte zeigten nur unwesentliche Veränderungen auf. Das gleiche gilt für Ammonium, Nitrit und Nitrat, die auch während der Sommeruntersuchungen kaum Änderungen gegenüber den Werten der Winteruntersuchung 1953 aufwiesen. Bei dieser Sommeruntersuchung wurde von der Bundesanstalt für Gewässerkunde auch der Phenolgehalt im Main untersucht. Dabei hatte es sich gezeigt, daß im Raum von Bamberg bis Aschaffenburg keine Phenole nachgewiesen werden konnten. Erst unterhalb der Staustufe Kleinostheim konnte eine minimale Konzentration gefunden werden. Die anschließend feststellbaren Werte erhöhten sich nur um wenig und erreichten ihre Spitze erst unterhalb Kostheim mit 0,33 mg/l.

Die Ergebnisse der Sauerstoffuntersuchungen sind insofern interessant, als dabei festgestellt worden war, daß der gefundene Sauerstoffwert an allen Untersuchungsstellen nur selten die Sättigungsgrenze überschritten hatte, und diese meistens nicht einmal erreichte. Bei Hallstadt wurde mit 10,5 mg/l eine deutliche Übersättigung festgestellt. Aber schon unterhalb der Einleitung der Regnitz gingen die Sauerstoffwerte wesentlich zurück und wiesen

ein Defizit auf. Dieser Zustand blieb weiterhin gleich und erreichte bei Eltmann mit 6,9 mg/l den niedrigsten Wert im Oberlauf des kanalisierten Mains. Erst bei Mainberg wurde wieder eine nennenswerte Erhöhung des Sauerstoffgehaltes festgestellt. Er entsprach mit 9,1 mg/l der Sättigung an dieser Stelle. Auch bei Bergheinfeld war der Sauerstoffgehalt nur wenig verringert, und selbst bei Marktbreit wurde mit 8,8 mg/l noch ein günstiger Sauerstoffgehalt vorgefunden. Erst wieder kurz oberhalb Würzburgs, zwischen Heidingsfeld und Würzburg zeigte sich ein auffälliger Anstieg des Sauerstoffgehaltes auf 11,9 mg/l. Auch bei Himmelstadt, also mehrere Kilometer unterhalb Würzburg, konnte wiederum eine Sauerstoffübersättigung in einer Größenordnung von 1,5 mg/l beobachtet werden. Diese Übersättigung zeigte sich auch noch unterhalb der Mündung der Fränkischen Saale. Sie ging aber in der darauffolgenden Fließstrecke wieder zurück, so daß bei Marktheidenfeld der Sauerstoffgehalt mit 9,7 mg/l nur den Sättigungswert erreichte. Erst unterhalb der Taubermündung war wiederum eine Erhöhung des Sauerstoffgehaltes über die Sättigung hinaus feststellbar. Diese Übersättigung blieb jedoch nur auf diese Untersuchungsstelle beschränkt und wurde weiter flußabwärts nicht mehr beobachtet. Erst unterhalb der Staustufe Kleinostheim war wieder eine geringe Übersättigung zu finden.

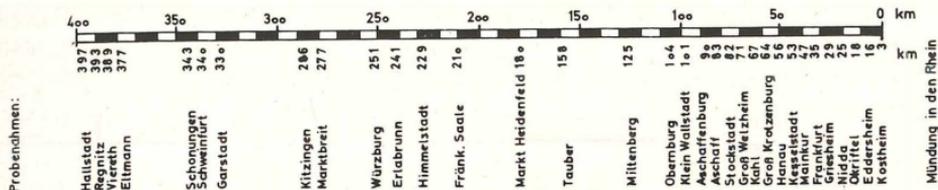
Mit der Einmündung des Nebenflusses Aschaff veränderten sich im Main die Sauerstoffverhältnisse grundlegend. Die Aschaff selbst war fast ganz sauerstofffrei. Unterhalb Kleinostheim ergaben sich Sauerstoffwerte im Durchschnitt von 5 mg/l. Zur eingehenden Prüfung der Sauerstoffverhältnisse in diesem Abschnitt wurden damals von der Bundesanstalt Sauerstoffproben aus verschiedenen Tiefen entnommen. Dabei hatte es sich ergeben, daß keine Schichtung in der Stauhaltung festzustellen war, sondern in allen Tiefen der gleiche Sauerstoffgehalt gefunden wurde. Oberhalb Hanau ist dann die bisher stärkste Reduzierung des Sauerstoffgehaltes festgestellt worden. Man fand dort den Sauerstoff nur noch in Spuren. In den Untersuchungsprotokollen sind Werte von nur 0,3 mg/l angegeben. In dieser Größenordnung mit Werten bis höchstens 1,1 mg/l verbleibt der Sauerstoffgehalt im darauffolgenden Flußabschnitt bis zur Mündung in den Rhein.

Bei der Prüfung der Sauerstoffzehrung hatte man festgestellt, daß von Hallstadt bis Bergheinfeld die Zehrung nur sehr gering war und immer noch beträchtliche Mengen an Restsauerstoff nach 48 Stunden gefunden werden konnten. Auch weiter flußabwärts konnte Ähnliches festgestellt werden. Soweit Zehrungsuntersuchungen wegen der Algenblüten überhaupt möglich waren, wurde nur eine relativ geringe Zehrung festgestellt. Ab Aschaffenburg war dann das Mainwasser so stark verunreinigt, daß die Zehrung 100 Prozent betrug.

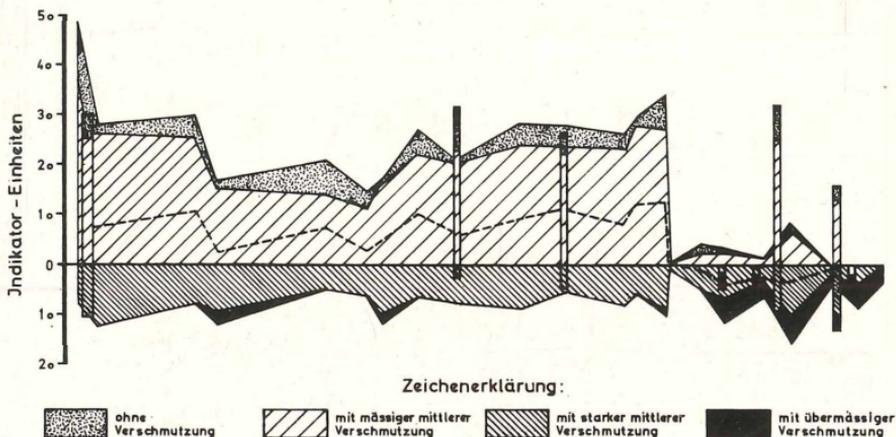
Neben den chemischen Untersuchungen wurden wiederum biologische Untersuchungen durchgeführt. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde führte

Qualitative Untersuchung des Mains

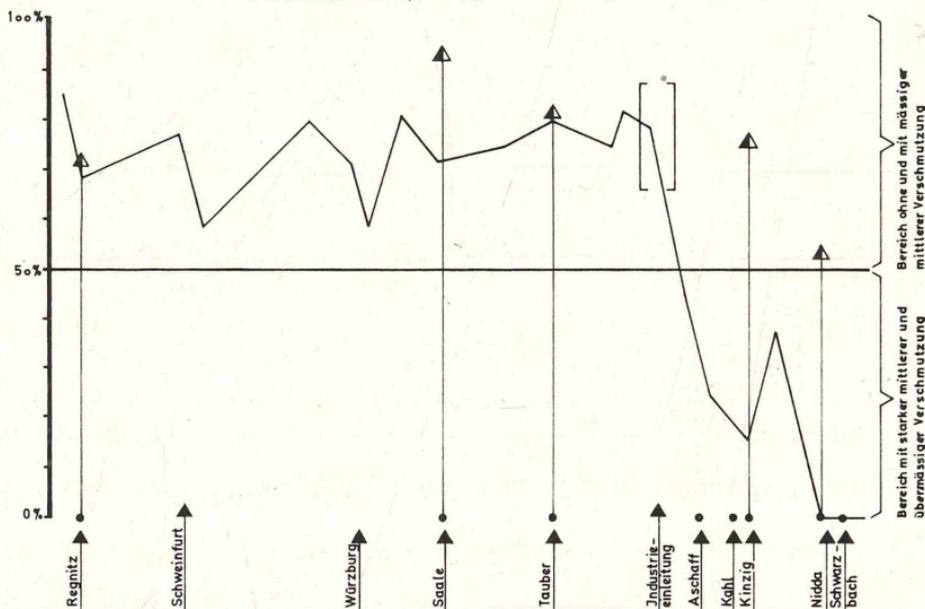
vom 5. - 10. Juli 1954



Biologischer Gütelängsschnitt (Bei geradliniger Verbindung der Meßpunkte)

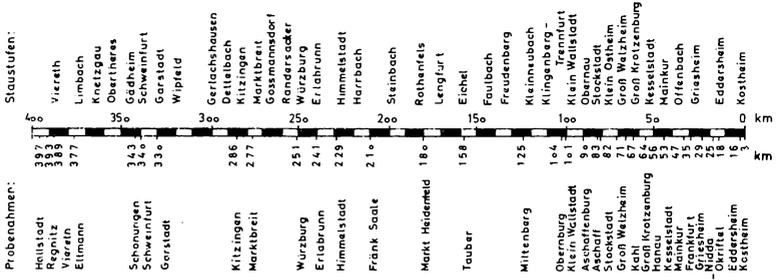


Biologische Gütelinie ($\Sigma\alpha+\beta:\Sigma\alpha+\beta+\alpha+p$ in %) (Relative Güte)



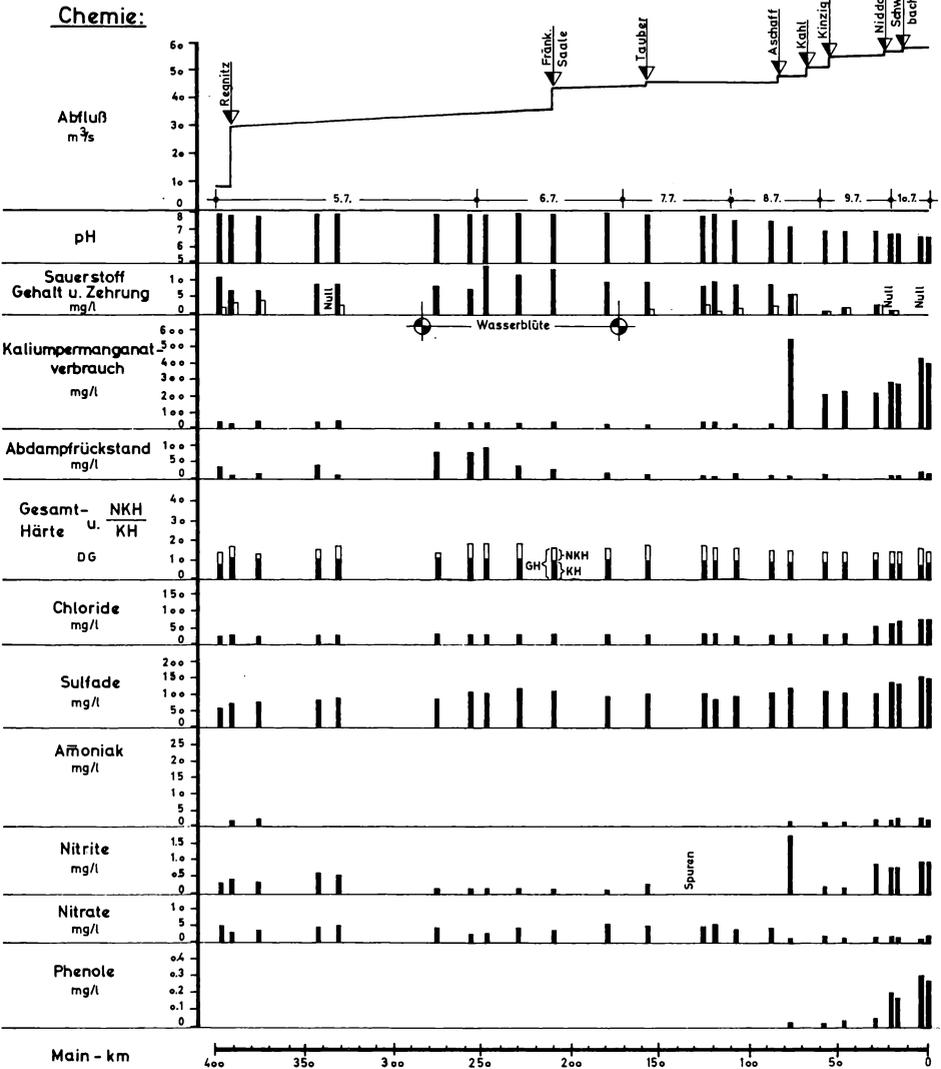
Qualitative Untersuchung des Mains

vom 5. - 10. Juli 1954



Mündung in den Rhein

Chemie:



Main - km
Abb. 7

dazu aus, daß die Ergebnisse dieser Sommeruntersuchung mit dem Aspekt der Winteruntersuchung 1953 prinzipiell übereinstimmten. Sie wies allerdings darauf hin, daß interessanterweise auch in den Sommermonaten unterhalb Schweinfurt, während der Untersuchung, ein schwaches Sphaerotilus-Pilztreiben festgestellt werden konnte. Die teilweise feststellbaren Änderungen in den Untersuchungsergebnissen bis zum Kilometer 106,5 wurden von der Bundesanstalt auf die höheren Wassertemperaturen und auf die dadurch bedingten veränderten Selbstreinigungsverhältnisse, sowie auf die Algenblütenbildungen während der Sommeruntersuchung zurückgeführt.

Abschließend wurde ausgeführt, daß man bei der Sommeruntersuchung die Bestätigung gefunden habe, wonach bei Flußkilometer 105,5 eine Grenze verlaufe, die den Main in einen biologisch gesunden und in einen biologisch kranken Abschnitt unterteile. Es wurde auch darauf aufmerksam gemacht, daß man zwischen der Erkrankung des Mains durch organisch, fäulnisfähiges Abwasser und dem giftig wirkenden Abwasser aus den Glanzstoffwerken in Obernburg unterscheiden müsse. Wäre nämlich die im Bereich der Stadt Aschaffenburg gegebene starke Abwasserlast nicht hinzugekommen, so wäre die in Obernburg infolge der toxischen Wirkung eingetretene Verödung nach einiger Zeit rückgängig geworden. Damit wäre in dem weiter unterhalb liegenden Flußabschnitt wieder ein günstiges Verhältnis im biologischen Zustand eingetreten. Durch die starke organische Abwasserlast aus dem Raum Aschaffenburg aber, sei es zu dem bekannten Umkippen des biologischen Zustandes zur poly- und alphamesosaprobe Stufe gekommen. Wie schwer der Main unterhalb Aschaffenburg durch die Einleitung der Abwässer, vor allem aus den beiden Zellstoffwerken, des weiteren durch die darauffolgenden stark organisch belasteten Ableitungen aus Hanau, Offenbach und Frankfurt belastet wird, zeigte sich bei dieser Untersuchung ebenfalls wieder, wobei festgestellt wurde, daß der Main in einem polysaprobe Zustand in den Rhein einmündete. Das Vorkommen der Schwefelbakterien in der Mündungsregion zeigte sogar an, daß dort ein ausgesprochenes Schwefelwasserstoffmilieu vorherrschte.

4. 2. 1. c) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchung der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken, Würzburg, Teilabschnittuntersuchung von Marktbreit bis Wertheim vom Jahre 1952 bis 1957 (Abb. 8)

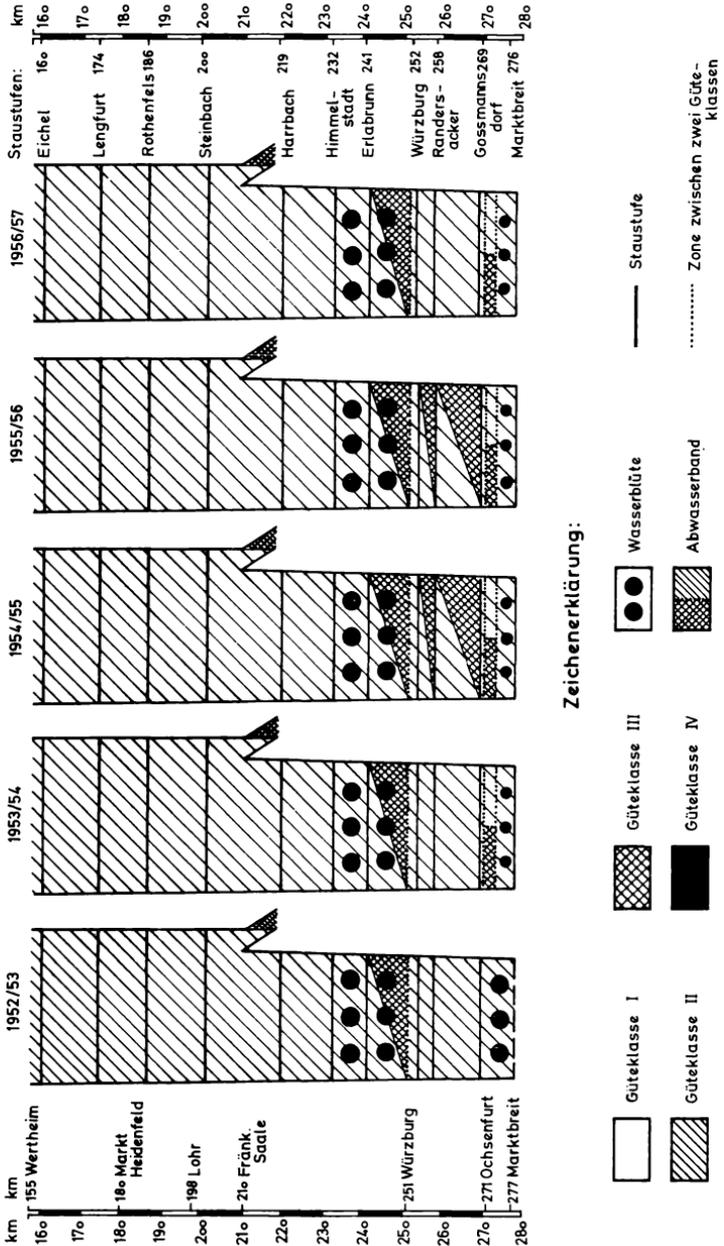
Neben den Gewässergütelängsprofilen, die von der Mündung des Mains in den Rhein bis zum Ende der befahrbaren Strecke bei Bamberg untersucht wurden, soll hier auch als Beispiel einer kleinräumigeren Untersuchung der Abschnitt zwischen Marktbreit und Wertheim dargestellt werden, der in den Jahren 1952 bis 1957 mehrmals überprüft wurde. Die Untersuchung erfolgte durch die Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken.

Das Ziel dieser kleinräumigen Untersuchung war, festzustellen, ob oberhalb der Flußwasserentnahme zur Trinkwasseraufbereitung der Stadt Würzburg der Main eine Tendenz zur Verschlechterung oder zur Verbesserung zeigte, um damit eine Flußwasseraufbereitung in diesem Gebiet beurteilen zu können. Wie aus der Abbildung, die nach Münchner Methode kartiert wurde, zu ersehen ist, zeigte der Main ab dem Jahre 1953 eine auffallende Verschlechterung seiner Gewässergüte im Abschnitt zwischen Marktbreit und Würzburg. Während noch im Jahre 1952 die Wassergüteklasse II, „Mäßig verunreinigt“, vorherrschte, war eine auffällige Verschiebung nach II—III, und zwar mit einer stärkeren Neigung zur Güteklasse III, vor allem in den Herbst- und Wintermonaten, festzustellen. Als Ursache erwies sich die Abwasserableitung eines Fabrikationsbetriebes. Er handelte sich dabei um die Zuckerfabrik Ochsenfurt. Durch diese Zuckerfabrik, die nach dem modernen Diffusionsverfahren arbeitet, entstand seit der Inbetriebnahme im Jahre 1952 während der Kampagne, also in den Monaten September bis Januar, durch ungenügende Abwasserreinigung eine relativ starke Belastung des Mains. So kam es vor allen Dingen zu stärkeren Verpilzungen der Ufer und des Flußbettes sowie zu Pilztreiben, die sich auf eine größere Entfernung hin ungünstig auswirkten. Sehr stark davon betroffen war der Stau Goßmannsdorf und dann die Strecke unterhalb dieses Staus bis Randersacker und zeitweise bis Würzburg. Dies hatte auch zu erheblichen Behinderungen der Fischerei geführt. Die Fanggeräte wie Reusen oder Aalschocker, die unterhalb der Einleitung der Zuckerfabrik aufgestellt oder ausgelegt waren, verpilzten sehr stark.

Im Jahre 1956/57 war dann erstmalig wieder ein Rückgang dieser stärkeren Verunreinigung erkennbar, der auf zunehmende Reinigungsmaßnahmen der Zuckerfabrik zurückzuführen war. Innerhalb des Werkes war es in den Jahren 1954—1956 durch gewisse Fehlschaltungen nicht möglich, den Scheideschlamm vom Transportwasser, mit der nur sandig-erdigen Verschlammung zu trennen. Deswegen kamen stets größere Mengen sehr schwer belasteten Scheideschlammes mit in den Main, was zu dieser enormen Belastung geführt hatte. Durch die Verbesserung der Absetzanlagen, vor allen Dingen durch die Trennung des Scheideschlammes vom übrigen Transportwasser bis zum vollständigen, gesonderten Auffangen und Rückhalten dieses Schlammes, war es dann gelungen, die Belastung des Mains so zu verringern, daß hier eine Verbesserung eintreten konnte. Daß dies der Fall war, zeigte die Untersuchung des Jahres 1956 und 1957. Abschließend muß auch darauf hingewiesen werden, daß diese Verpilzung zwar zur Verschlammung des Staus Goßmannsdorf und teilweise auch Randersacker geführt hatte, daß aber durch die jeweils in den Frühjahrsmonaten einsetzende hohe Wasserführung, die zum Öffnen der Wehre zwang, eine Reinigung infolge Ausspülung und Verfrachtung des Schlammes erfolgte.

Main zwischen Marktbreit und Wertheim

Veränderung der Güteklasse zwischen 1952 u. 1956. Kartierung nach der Münchner Methode



4. 2. 1. d) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde vom
15. bis 20. Juli 1957 (Abb. 9)

Die Sommeruntersuchung im Jahre 1957 wurde bei trockenem, bedeckten Wetter durchgeführt, das nur von einzelnen Regenschauern unterbrochen war. An den der Untersuchung vorausgehenden Tagen waren keine größeren Niederschläge zu verzeichnen gewesen. Die Temperaturen bewegten sich zwischen 17 und 23 Grad Celsius. Es handelte sich somit um eine etwas kühle Sommerwitterung. Die Wasserführung betrug bei Schweinfurt rund 32 cbm/sec., bei Steinbach rund 53 cbm/sec., bei Faulbach rund 58 cbm/sec. und bei Frankfurt am Main rund 71 cbm/sec. Bei diesen Werten handelte es sich um Durchschnittswerte des Tages. Diese Werte entsprachen etwa dem mittleren Niederwasser der Jahresreihe 1911 bis 1955. Als Hinweis wurde ausgeführt, daß der Jahresmittelwert der Jahre 1911 bis 1955 am Pegel in Schweinfurt etwa 33,8 cbm/sec. betrage.

Die chemischen Untersuchungen wurden von der Bundesanstalt wie folgt beurteilt:

Die Reaktion des Wassers, also der pH-Wert, der zwischen 7,5 und 8,1 im Obermain, 8,1 bis 8,2 am Mittelmain und 7,0 bis 7,5 am Untermain im hessischen Teil lag, war Schwankungen unterworfen. Die vorgefundenen erhöhten pH-Werte im Obermain allerdings hat man nicht auf die Einleitung gewerblicher Abwässer, sondern auf die Assimilationsvorgänge des Phytoplanktons zurückgeführt.

In der diagrammetrischen Darstellung der Untersuchungsergebnisse des Jahres 1957 sind die einzelnen Werte der chemischen Kennzahlen nicht aufgeführt. Es ist hier lediglich der Sauerstoffgehalt dargestellt. Aus diesem Grunde soll auf die einzelnen Kennzahlen im Text etwas näher eingegangen werden.

Die ungelösten Stoffe bewegten sich nach dieser Untersuchung vom Spurennachweis bis etwa 34 mg/l. Am gesamten Main gab es Schwankungen. Auffällige Erhöhungen zeigten sich nur unterhalb Würzburg in Zell, wo sich Werte von 50—60 mg/l einstellten.

Die gelösten Stoffe zeigten keine wesentlichen Schwankungen. Mit Abdampfdruckständen von 460 mg/l bei Hallstadt bis 663 mg/l im Mündungsgebiet bei Kostheim ist der typische Anstieg der gelösten Stoffe vom Oberlauf des kanalisierten Mains bis zur Mündung in den Rhein charakterisiert. Der Sauerstoffhaushalt, der im Diagramm durch den Sauerstoffgehalt (durchgehende Linie) und die Sättigung (punktierte Linie) dargestellt ist, zeigt, daß die Sauerstoffsättigungswerte bei den vorhandenen Temperaturen von 20,5—23,0 Grad Celsius im Mittel bei 8,8 mg/l lagen. Bei Hallstadt und Eltmann waren Defizite von 0,5—1,6 mg/l bezogen auf den Sättigungswert gefunden worden. Die Sauerstoffverhältnisse waren dort noch als sehr

gut zu bezeichnen gewesen. Dann fanden sich verschiedentlich Sauerstoffübersättigungszonen, wobei die Größenordnung der Übersättigung etwa von 1,2—3,3 mg/l reicht. Vor allen Dingen wurden Übersättigungen im Raum von Mainberg bis Heidingsfeld, dann von Zell bis Himmelstadt, also unterhalb Würzburg, und bei Faulbach-Freudenberg festgestellt. Infolgedessen lösen sich die Gebiete des Sauerstoffdefizits mit Sauerstoffübersättigungen ab. Den Ausführungen der Bundesanstalt zufolge, zeigte sich hier schon fast in der gesamten Mainstrecke eine gewisse Tendenz der Sauerstoffanreicherung, die auf biologische Prozesse zurückgeführt werden mußte. In Aschaffenburg bzw. unterhalb der Aschaffmündung verschlechterten sich dann die Sauerstoffverhältnisse wesentlich. Der Sauerstoffdefizit stieg bis auf 2,9 mg/l bei Kleinostheim und 7,7 mg/l im Raum von Hanau an und verblieb in etwa gleicher Größenordnung bis zur Mündung in den Rhein. Die größten Sauerstoffdefizite zeigten sich am Untermain unterhalb Hanau, insbesondere bei Ettersheim.

Hinsichtlich der Sauerstoffzehrung führte die Bundesanstalt aus, daß die gefundenen Werte nicht als bindend angesehen werden können und sich deshalb einer exakten Auswertung entziehen, da durch das Entstehen von Algenblüten hier bestimmte Einflüsse aufgetreten sind, die die Bestimmung echter Zehrungswerte nicht zulassen würden. Die gefundenen Zehrungswerte lagen wesentlich höher als sie es der normalen Belastung entsprechend hätten sein dürfen. Erst ab Aschaffenburg wurden von der Bundesanstalt die Zehrungswerte wieder gewertet. Unterhalb von Aschaffenburg war wieder ein eindeutiger Anstieg der Sauerstoffzehrung zu beobachten. Die Sauerstoffzehrung erhöhte sich von etwa 28 Prozent oberhalb Aschaffenburg auf 100 Prozent bei Kleinostheim. Diese 100-prozentige Sauerstoffzehrung hat sich dann auch weiterhin bis zur Mündung in den Rhein bei Kostheim erhalten.

Die Oxydierbarkeit des Wassers war nur geringen Schwankungen unterworfen. Es waren Werte von 20—34 mg/l von Hallstadt bis oberhalb Aschaffenburg angegeben. Man schloß daraus, daß schwer abbaubare Stoffe in dem Flußabschnitt von Hallstadt bis oberhalb Aschaffenburg nicht vorliegen konnten. Im unteren Mainabschnitt, unterhalb der Aschaffmündung, erhöhten sich die Oxydationswerte auf rund 104 mg/l bei Kleinostheim und 102 mg/l bei Seligenstadt und 101 mg/l bei Hanau. In dem folgenden Abschnitt bis Frankfurt schwankte der Permanganatverbrauch bzw. die Oxydierbarkeit von 84 mg/l bis etwa 104 mg/l, stieg dann aber bei Ettersheim auf 176 mg/l an, so daß der Main mit einer Größenordnung von 126—147 mg/l Oxydierbarkeit in den Rhein einmündete. Auf Grund dieser Untersuchung wurde der Mainabschnitt ab Aschaffenburg weiterhin als außerordentlich stark mit schwer abbaubaren Stoffen aus gewerblichen Abwässern belastet, bezeichnet.

Bezüglich der Stickstoffwerte, also Ammonium, Nitrit und Nitrat hatte man

ausgeführt, daß im Oberlauf ab der Einmündung der Regnitz ein gewisser Anstieg zu verzeichnen war, der als Zeichen einer Frischverschmutzung durch häusliche Abwässer aus dem Raum Bamberg gewertet wurde. Weiter flußabwärts waren nur geringe Ammoniumwerte nachweisbar, die in einer Größenordnung von 0,1—0,4 mg/l lagen. Erst unterhalb Frankfurt wurde eine starke Erhöhung auf 3 mg/l und auf 4 mg/l bei Kostheim festgestellt. Die Abbaustufen des Ammoniums, Nitrit und Nitrat, kennzeichneten den Main so, daß auf der gesamten Mainstrecke die stickstoffhaltigen Stoffe nur von Wertheim bis Obernburg weitgehend mineralisiert gewesen seien. Daraus wurde geschlossen, daß sich die stickstoffhaltigen Verunreinigungen des Obermains, einschließlich derer aus dem Raum Würzburg, bis Wertheim bzw. bis Obernburg abgebaut haben. Als krasser Gegensatz dazu wurde der Main ab Ettersheim bezeichnet, wo nur ganz geringe Mengen an stickstoffhaltigen Substanzen abgebaut würden. Der Chloridgehalt zeigte ebenfalls einen Anstieg, der bei Hallstadt mit 26 mg/l beginnend, bei Kostheim 62 mg/l erreichte.

Ähnlich wie der Chloridgehalt nahm auch der Sulfatgehalt von Hallstadt, beginnend mit 83 mg/l stetig zu und erreichte bei Kostheim 138 mg/l. Eine schlagartige, ganz bedeutende und auffallende Erhöhung des Sulfatgehaltes wurde nur unterhalb der Obernburger Glanzstoffwerke mit Erhöhungen bis 131 mg/l festgestellt. Während der Zeit dieser Untersuchung wurden von den Glanzstoffwerken Obernburg noch täglich etwa 30 t Schwefelsäure und 190 t kristallisiertes Glaubersalz in den Main abgestoßen.

Die Gesamthärten sowie die Carbonathärten zeigten ebenfalls von Hallstadt bis zum Mündungsgebiet hin eine Erhöhung. Die Werte lagen zwischen 9,8 DH° und 18,5° DH.

Phenole wurden bei diesen Untersuchungen, ebenso wie bei früheren Untersuchungen im oberen und mittleren Maingebiet bis Aschaffenburg nicht festgestellt. Erst ab Kleinostheim bis Kostheim konnten Phenole in äußerst geringen Konzentrationen gefunden werden.

Von den Nebenflüssen bezeichnete die Bundesanstalt die Aschaff und die Kahl, die beide einen 100-prozentigen Sauerstoffdefizit aufgewiesen hatten, als die am stärksten verunreinigten Nebenflüsse. Die Regnitz, die Fränkische Saale, Tauber und Kinzig wurden wie im Jahre 1954 als mäßig belastet vorgefunden.

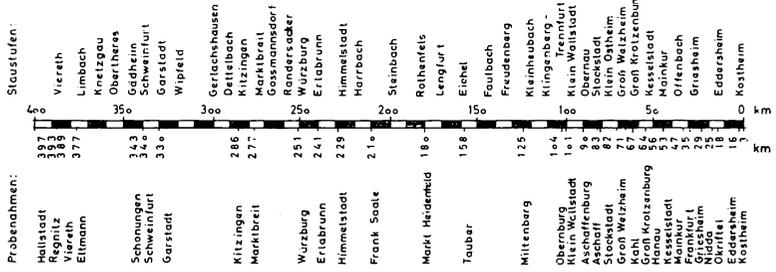
Die biologische Untersuchung zeigte die gleichen Ergebnisse wie im Jahre 1954. Danach sind am Main zwei grundverschiedene Abschnitte zu unterscheiden, die sich in einen mäßig belasteten Teil, nämlich Ober- und Mittellauf, und in einen stark bis übermäßig belasteten Teil, den biologisch teilweise verarmten Untermain, teilen lassen. Die biologische Untersuchung hatte ergeben, daß die zahlenmäßig stärkste Besiedlung im Raum Viereth, also beim Eintritt des Mains in den Regierungsbezirk Unterfranken feststellbar war. Dies wurde auf die starke Eutrophierung des Mains durch den

Regnitzzufluß zurückgeführt. Die Regnitz zeigte sich im gleichen biologischen Zustandsbild wie früher. Unterhalb des Zusammenflusses mit der Regnitz erschien der Main etwas stärker belastet. So fanden sich neben einer sehr reichen eutrophen Besiedlung auch ausgedehnte Schlammablagerungen, die sehr stark mit polysaprobien Organismen besiedelt waren. Unterhalb Schweinfurt wurde dann ein Ansteigen der biologisch wirksamen Belastung auf 57,2 Prozent festgestellt. Man bewertete dies so, daß damit die noch tragbare Belastung des Gewässers, d. h. die Grenze zwischen beta- und alphamesosaprobien Zustand schon überstiegen wurde. Offen blieb allerdings, ob diese Erscheinung auf eine Erhöhung der Abwassermengen aus dem Bereich der Stadt Schweinfurt oder auf die Wirkung des Stauens Garstadt zurückgeführt werden mußte, da ja durch den neuen Aufstau hier veränderte Vorflutbedingungen geschaffen worden waren. Es wurde vermutet, daß wahrscheinlich beide Faktoren gleichsinnig wirkten. Gleichzeitig hat man aber ausgeführt, daß diese Situation durch die Staueinrichtung nur in geringem Umfang bedingt sein könne, da die festgestellte Verschlechterung etwa bis oberhalb Würzburg gleichblieb. Auf dieser gesamten Flußstrecke sei also eine Verschlechterung nachweisbar. Der Main wurde daher für die Strecke unterhalb der Stadt Schweinfurt, als über das tragbare Maß hinaus belastet, bezeichnet. Auffällig war, daß sich auch bei dieser Untersuchung die Überbelastung mit durch die starken Faulschlammablagerungen kennzeichnete und daß außerdem im Raum Bergrheinfeld trotz der warmen Jahreszeit ein Sphaerotilus-Pilztreiben zu erkennen war. Diese Überbelastung im Raum Schweinfurt führte im folgenden Flußabschnitt zu Wasserblütenbildungen mit ihren unerwünschten Nebenerscheinungen. Des weiteren wurde die Einleitung Würzburg besprochen, die wiederum zu einer Steigerung des Saprobiegrades führte, aber doch noch, als unterhalb der Grenze der tragbaren Belastung liegend, bezeichnet wurde. Erst weiter unterhalb Würzburg sei dann die Belastung wesentlich angestiegen.

Der darauffolgende Flußabschnitt wurde nicht näher erläutert. Die Bundesanstalt geht in ihrem Gutachten erst wieder auf das Gütebild im Raum Obernburg ein, in dem die durch die Glanzstoffwerke bedingte Verschlechterung immer noch zu erkennen war. Der Boden und das rechte Ufer des Flusses waren wiederum auf weite Strecken nahezu völlig verödet. Eingehendere Untersuchungen auch des linken Mainufers hatten dazu noch ergeben, daß das Abwasser des Werkes zwar verdünnt, aber doch noch wirksam auch das linke Ufer erreichte und auch hier zu einer Verminderung der biologischen Besiedlung führte, die sich allerdings nicht als deutliche Verödung, sondern nur als Verarmung kennzeichnete.

Auch unterhalb Aschaffenburg wurde dann wiederum die Abwasserbelastung eindeutig festgestellt, die zu einer Verschiebung nach der polysaprobien- bzw. alphamesosaprobien-Stufe führte. Nach wie vor war der Main

Chemisch-biologisches Zustandsbild des Mains vom 15. - 20. Juli 1957



Mündung in den Rhein

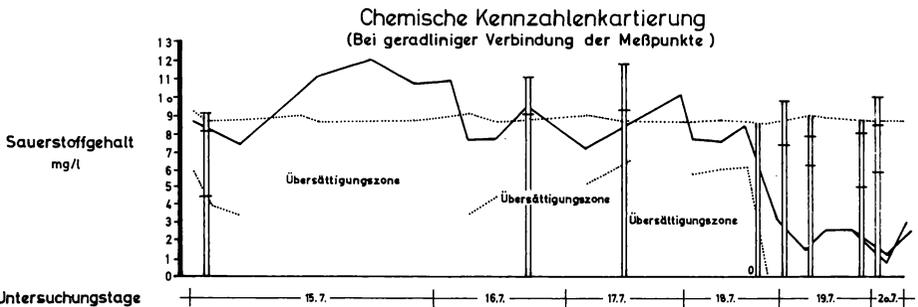
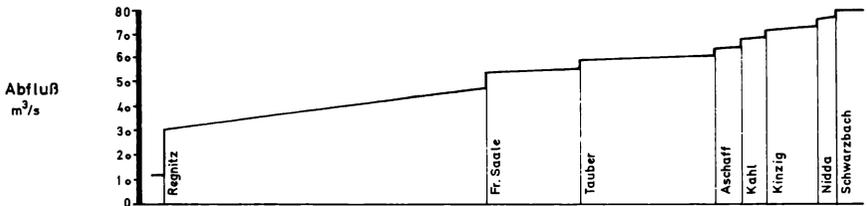
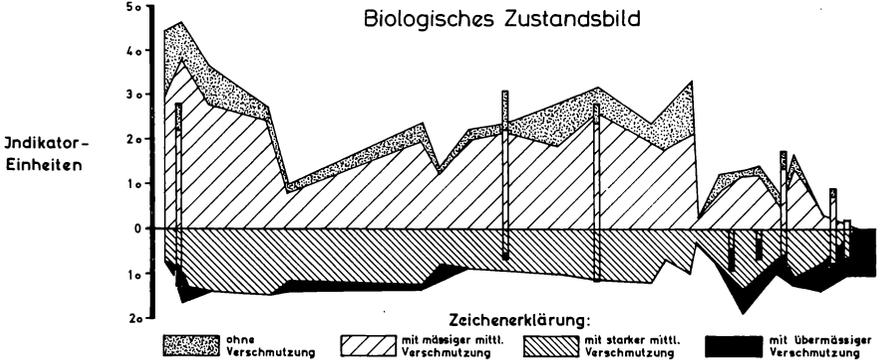


Abb. 9

in diesem Raum sowie unterhalb Hanau und unterhalb Frankfurt über das tragbare Maß hinaus mit schädlichem Abwasser belastet.

In dem Flußabschnitt unterhalb Aschaffenburg ist auch die Zahl der Zellulosefasern untersucht worden. Dabei hat man festgestellt, daß die Menge etwas niedriger als 1954 lag.

In ihren Ausführungen ging die Bundesanstalt auch eingehender auf den Sauerstoffhaushalt des Mains ein. Es wurde ausgeführt, daß die im Diagramm festgehaltene, unter chemischer Kennzahlenkartierung eingetragene Linie des Sauerstoffgehaltes, Schwingungen aufwies und somit den täglichen Gang der Sauerstoffproduktion durch Wasserpflanzen, also die Assimilationstätigkeit deutlich gemacht habe. Dies zeigte sich dadurch, daß jeweils die ersten an jedem Tag entnommenen Sauerstoffproben ein Defizit zum Sättigungswert hin erkennen ließen, wogegen sie zu Mittag die Sättigungsgrenze erreichten und in den Nachmittagsstunden sogar eine Übersättigung an einigen Stellen zeigten. Zur Kenntlichmachung hat die Bundesanstalt unter die chemische Kennzahlenkartierung des Sauerstoffgehaltes noch die Untersuchungstage aufgetragen, so daß der Tagesgang ersichtlich ist. Die gefundenen Sauerstoffwerte seien daher wegen des Einflusses des Phytoplanktons nicht als charakteristisches Sauerstoffprofil anzusehen gewesen. Trotzdem ließen diese Kurven doch gewisse Hinweise erkennen, die von Bedeutung waren. Die Bundesanstalt schloß nämlich daraus, daß am Ober- und Mittelmain im warmen Sommer mit Tag- und Nachtschwankungen des Sauerstoffgehaltes von mindestens 5 mg/l O₂ gerechnet werden müßte. Nach dem Bild der Besiedlung waren diese Schwankungen jedoch nicht als bedenklich anzusehen. Es wurde aber darauf hingewiesen, daß in dem Augenblick, in dem zusätzliche neuere Belastungen mit organischen Abwasserstoffen den Mittelwert des Sauerstoffgehaltes von Bamberg bis unterhalb Würzburg weiter hinabdrücken würden, eine akute Gefahr entstehen könnte.

4. 2. 1. e) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchungen des Staatlichen Chemischen Untersuchungsamtes in Wiesbaden vom 20.—22. 4. 1959 (Abb. 10)

Diese Untersuchung der Mainwasserqualität wurde nach Ausführung des Staatl. Chemischen Untersuchungsamtes Wiesbaden bei knapper Mittelwasserführung durchgeführt. Die Probeentnahmen begannen oberhalb der Glanzstoffwerke in Obernburg. Weitere Probeentnahmen erfolgten oberhalb Aschaffenburg, dann bei Seligenstadt, anschließend kurz vor der Einmündung der Kahl in den Main sowie im Oberwasser der Staustufe Großkrotzenburg, bei Hanau, bei Mainkur, bei den Farbwerken der Casella-Werke, bei den Maingaswerken und weitere flußabwärts bis in den Rhein. In der graphischen Darstellung sind die chemischen und biologischen Unter-

suchungsergebnisse wiedergegeben. Dazu wurde ausgeführt, daß der Main oberhalb von Aschaffenburg zwar durch Abwassereinleitungen gedüngt, jedoch nicht als übermäßig stark verunreinigt anzusehen ist. Er konnte noch der Wassergüteklasse II, also mäßig verunreinigt zugeordnet werden. Die Oxydierbarkeit mit 12 mg/l KMnO_4 -Verbrauch war relativ gering, ebenfalls die Sauerstoffzehrung mit 2 mg/l. Das Chemische Untersuchungsamt Wiesbaden führte weiterhin aus, daß der Main anschließend durch die Abwässer der Stadt Aschaffenburg und insbesondere durch die Abwässer der Zellstoff-Fabriken Aschaffenburg und Stockstadt eine Verschlechterung seiner Wasserqualität aufweise. Der Main war unterhalb Aschaffenburg nur noch der Güteklasse III, nämlich stark verunreinigt, zuzuordnen. Als Uferbesatz sowie im Plankton wurden große Mengen von Abwasserpilzen nachgewiesen. Die Oxydierbarkeit war auf 52,5 mg/l Kaliumpermanganatverbrauch angestiegen, die Sauerstoffzehrung auf 4,6 mg/l. Damit waren diese Werte gegenüber den Proben oberhalb der Stadt Aschaffenburg sehr stark erhöht. Die biologischen und chemischen Verhältnisse zeigten anschließend flußabwärts bei den weiteren Untersuchungen keine wesentlichen Änderungen, weder in der Staustufe Großwelzheim noch in der Staustufe Großkrotzenburg. Erstaunlich war, daß anschließend in den Staustufen Kesselstadt und Mainkur durch das Staatl. Chemische Untersuchungsamt Wiesbaden damals eine Verbesserung der Gewässerqualität auf die Güteklasse II—III festgestellt worden war. Es wurde dies auf die dort bestehende Selbstreinigung des Flusses zurückgeführt. Die Oxydierbarkeit und die Sauerstoffzehrung zeigten bessere Werte als bei Stockstadt oder Großwelzheim an. Erst weiter flußabwärts kam es zu weiteren schweren Belastungen.

Sehr interessant sind dann die weiteren Ausführungen des Staatlichen Chemischen Untersuchungsamtes, die nämlich einen Vergleich der biologischen Ergebnisse der Untersuchungen des Jahres 1955 mit denen des Jahres 1959 beinhalten. Im Jahre 1955 gehörten noch 65% der Mainstrecke im hessischen Gebiet zur Güteklasse II—III und III und 35% der Mainstrecke zur Güteklasse III—IV und IV. Bei den Untersuchungen des Jahres 1958 ergab sich insofern eine Veränderung, als der Güteklasse II—III und II nur noch 61% zuzuordnen waren, wogegen die Gewässergüteklassen III—IV und IV auf 39% angestiegen sind. Damit hätte sich der Gesamtzustand des unteren Mains seit dem Jahre 1955 nicht wesentlich verändert bzw. wesentlich verschlechtert. Innerhalb der Güteklassen II—III und III sowie III—IV und IV sei jedoch eine auffällige Verschiebung festzustellen gewesen. Im einzelnen ergab sich, daß im Jahre 1955 nur 10% der untersuchten Mainstrecke der Güteklasse II—III zuzuordnen waren und 55% der Güteklasse III, dagegen im Jahre 1959 40% der entsprechenden Anteile der Güteklasse II—III und 21% der Güteklasse III. Diese Verbesserung der Mainwasserqualität, wie sie von dem Staatlich-Chemischen

Gütebild des Mains

Untersuchung vom 20.-22. 4. 1959

Biologie

Chemie

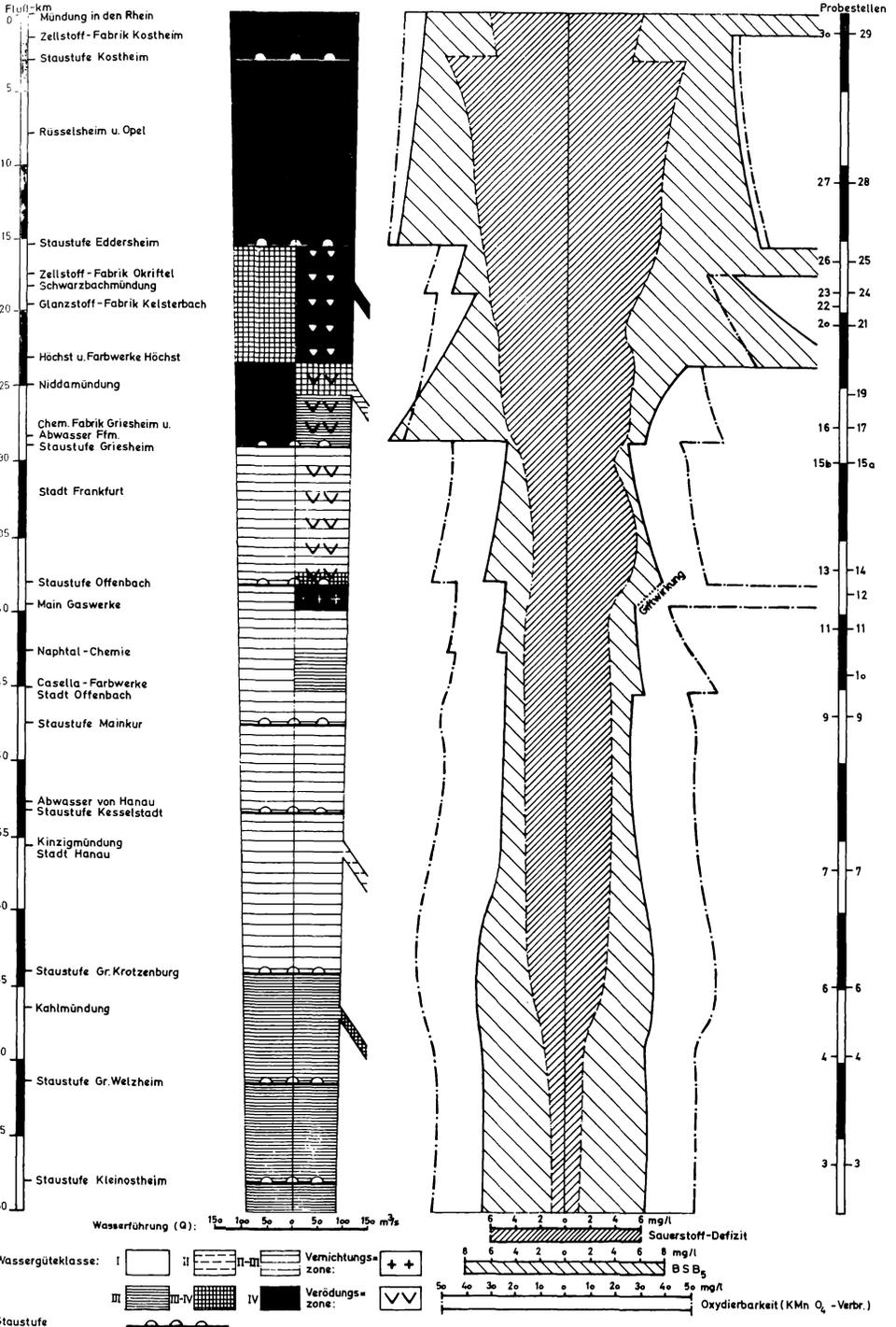


Abb. 10

Untersuchungsamt gefunden wurde, betrifft die Strecke von der bayerisch-hessischen Landesgrenze bis zur Staustufe Griesheim. Von der unmittelbaren Umgebung der Abwassereinleitungen selbst abgesehen, wie beispielsweise in Aschaffenburg oder in Stockstadt beim Zellstoffwerk, betrug hier die Sauerstoffzehrung 40—60% des Anfangssauerstoffgehaltes und der BSB₅ lag unter 10 mg/l. Die Verbesserung der Verhältnisse im Gewässer Main in dieser Strecke wurde vom Untersuchungsamt auf eine gewisse Verminderung der Abwasserbelastung aus dem Raum von Aschaffenburg zurückgeführt. Zum anderen wurden auch die Abwässer der Stadt Offenbach nun nicht oberhalb Griesheim, sondern erst unterhalb der Staustufe Griesheim in den Main geleitet. Diese Mitteilung ist insofern wichtig, als sie Rückschlüsse über die Bemühungen der Abwasserreinigung bei den beiden Zellstoffwerken in Aschaffenburg zuläßt. Abschließend äußerte sich das Staatliche Chemische Untersuchungsamt Wiesbaden zu dieser uns hier interessierenden Strecke des Mains noch dahingehend, daß dieser Flußabschnitt noch immer als fischereilich stark beeinträchtigt zu bezeichnen war. In diesem Flußabschnitt sei deshalb bei Niederwasser und sommerlich hohen Wassertemperaturen auf jeden Fall auch weiterhin die Gefahr von Fischsterben durch Sauerstoffmangel gegeben.

4. 2. 1. f) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchung der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken, Würzburg, Teilabschnitt des Maines von Kitzingen bis Marktbreit, im Mai 1960 (Abb. 11)

Als ein weiteres Beispiel einer kleinräumigen Untersuchung bzw. eines kleinräumigen Gewässergütelängsschnittes sei hier die Untersuchung des Jahres 1960 im Teilabschnitt zwischen Kitzingen und Marktbreit dargestellt. Aus den hier zusammengestellten Diagrammen, die den Sauerstoffhaushalt, den Kaliumpermanganatverbrauch und das Chlorid, sowie Ammonium und Nitrat beinhalten, und aus dem biologischen Gütebild der untersuchten Strecke kann man deutlich erkennen, daß ausgehend von einer Probeentnahme oberhalb Kitzingen bis zur Staustufe Marktbreit, eine Verschlechterung der Gewässergüte zu verzeichnen war. Dies zeigte sich einmal im Sauerstoffgehalt, der an sich relativ niedrig lag, aber doch oberhalb der Stadt Kitzingen noch einigermaßen günstige Werte ergab. Unterhalb Kitzingen, im Stau Marktbreit, sank er aber unter 4 mg/l. Damit wurde die von der Abwassereinleitung des Schwerpunktes Kitzingen herkommende Fernwirkung erkennbar. Diese verursachte durch die flußabwärts zunehmende Ablagerung und Faulschlammbildung und durch die Zehrungsvorgänge der Selbstreinigung ein stetiges Absinken des Sauerstoffgehaltes, was vor allem im Oberwasser Marktbreit, oberhalb der Wehre, verstärkt durch auftreibenden Faulschlamm, zum Tiefstand führte. Auch das dort

Gewässergütelängsprofil des Teilabschnittes Main: Kitzingen-Marktbreit (Mai 1960)

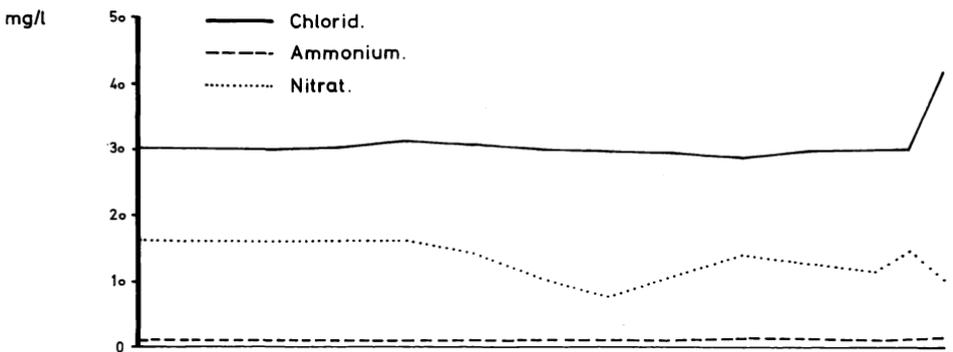
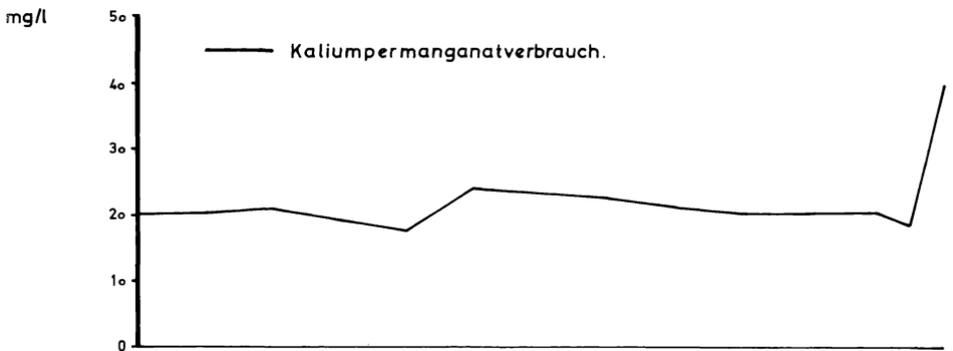
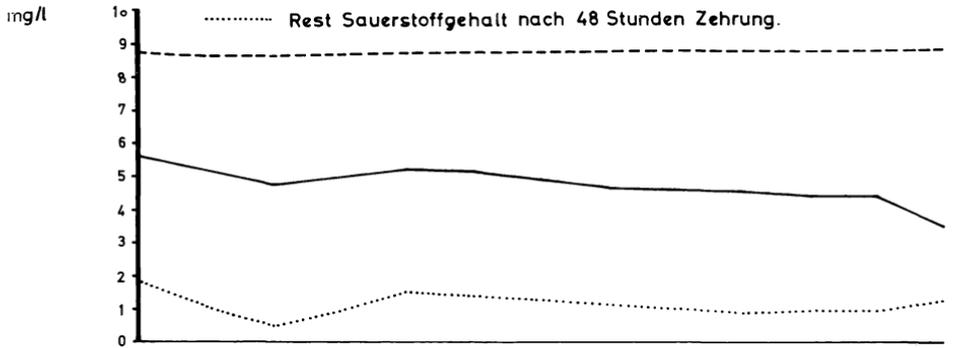


Wasserführung rd. 60 m³/s

Staustufe
Kitzingen

Staustufe
Marktbreit

- Sauerstoffsättigung.
- Sauerstoffgehalt.
- Rest Sauerstoffgehalt nach 48 Stunden Zehrung.



Biologisches Gütebild.

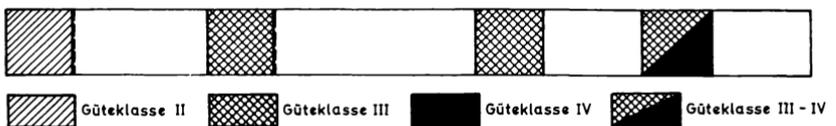


Abb. 11

gefundene relativ starke Ansteigen des Kaliumpermanganatverbrauches ist auf die zuletzt genannte Schlammwirkung zurückzuführen gewesen.

Noch deutlicher als die Sauerstoffverhältnisse zeigen die biologischen Untersuchungen die Verschlechterungen an. Es ist ein krasser Unterschied zwischen der biologischen Güteklasse oberhalb der Stadt Kitzingen, dem darauffolgenden Flußabschnitt unterhalb Kitzingen und dem Stauraum der Staustufe Marktbreit zu erkennen. Der engere Stauraum zeigte mit der vorgefundenen stärkeren Faulschlamm-Bildung eine eindeutige Tendenz zur Polysaprobien-Zone und ist aufgrund der biologischen Analysen als der Güteklasse III—IV zugehörig, zu werten. Der übrige Flußabschnitt unterhalb der Abwassereinleitungen Kitzingen war mit Güteklasse III einzustufen und lag damit um eine Güteklasse schlechter als oberhalb Kitzingen, wo noch die Güteklasse II vorherrschte.

4. 2. 1. g 1) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchung der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, vom 25. bis 30. Juni 1962 (Abb. 12 und Abb. 13)

Im Sommer 1962 fiel die Untersuchung der Bundesanstalt für Gewässerkunde deren Gutachten zufolge in eine ausgesprochene Trockenperiode. Nur an einem einzigen Untersuchungstage waren damals Störungen durch kurze Schauer zu verzeichnen. Auch vor dem Untersuchungszeitpunkt waren keine Niederschläge gefallen. Die Wasserführung lag für eine chemisch-biologische Untersuchung sehr günstig, da die Wassermengen bei Schweinfurt (km 338) nur rund 41,3 cbm/sec., bei Steinbach (km 200) rund 62,1 cbm/sec., bei Faulbach (km 147) rund 58,6 cbm/sec. und bei Frankfurt (km 35) nur 94,7 cbm/sec. betragen. Diese Abflußwerte lagen laut Mitteilung der Bundesanstalt etwa 25 % über dem mittleren Niederwasser der Jahresreihe 1911—1955. Das Mittelwasser des Pegels Schweinfurt von 1911—1955 betrug 33,8 cbm/sec. Die Wasserführung lag damit aber höher als im Jahre 1957. Bei dieser Untersuchung wurde von der Bundesanstalt an den Probenentnahmestellen, die bisher keine Wasserblütenbildung zeigten, auch der biochemische Sauerstoffbedarf bestimmt. Gleichzeitig wurden zur Sicherheit bei allen Bestimmungen der Sauerstoffzehrung und des biologischen Sauerstoffbedarfes Parallelversuche mit dem Hell-Dunkeltest angesetzt.

Im Raum Hallstadt, also oberhalb von Bamberg wurde der Sauerstoffgehalt mit 76 % des Sättigungswertes als gut bezeichnet, wogegen die Sauerstoffzehrung mit 48 % des Anfangssauerstoffes sowie der BSB₅ mit 5,9 mg/l als erhöht angesehen wurden. Die Oxydierbarkeit mit 22 mg/l wurde als Hinweis auf leicht abbaubare organische Abwasserstoffe gewertet. Die gefundene fortgeschrittene Mineralisierung zeigte an, daß die im Oberlauf des Mains eingeleiteten häuslichen Abwasserstoffe schon weitgehend abgebaut waren. Nach der Einleitung der in dem Gutachten der Bundes-

anstalt als mäßig bis stark verunreinigt bezeichneten Regnitz waren wiederum Sauerstoffgehalte mit 73% bis 121% des Sättigungswertes zu finden und BSB₅-Werte von 4,5—5,9 mg/l. Die Einleitung der Regnitz macht sich somit im Mainwasser wiederum bemerkbar, wobei auch ein Ansteigen des Ammoniakstickstoffes auf 3,5 mg/l festgestellt worden war. Ab dem Raum Bergrheinfeld, also unterhalb Schweinfurt bis Würzburg-Heidingsfeld traten dann wiederum starke Sauerstoffübersättigungen auf. Man hatte daher von der Prüfung der Sauerstoffzehrung und der Feststellung des fünftägigen biologischen Sauerstoffbedarfs abgesehen. Die vorgenommenen Hell-Dunkel-Teste zeigten ganz deutlich das Auftreten des störenden Phytoplanktons an. Aufgrund dieser Untersuchung bewertete die Bundesanstalt den schiffbaren Obermain, also von Bamberg bis Würzburg-Heidingsfeld als ziemlich gleichmäßig in seiner Güte und als mäßig verunreinigt. Dies änderte sich wiederum unterhalb Würzburg, wo, durch die erneuten Abwassereinleitungen bedingt, eine Wassergüteklassifizierung von mäßig stark bis stark verunreinigt erfolgte. Auch der Mainabschnitt unterhalb Würzburg bis unterhalb Himmelstadt war gekennzeichnet durch Sauerstoffübersättigung als Folge von Algenblüten. Die Bundesanstalt schloß daraus, daß sich die Abwasserstoffe von Würzburg bis etwa Himmelstadt zum größten Teil abgebaut hätten, so daß anschließend eine merkliche Besserung der Wasserqualität vorzufinden war. Erst wieder in Obernburg trat die schon bekannte auffällige Veränderung ein. Neben dem Anstieg bestimmter chemischer Faktoren ergab sich die größte Veränderung im Sulfatgehalt, der in Obernburg von 107 mg/l auf 187 mg/l anstieg. Dies war die Folge der Einleitung der Obernburger Glanzstoffwerke.

Ab der Einmündung der Aschaff unterhalb Stockstadt änderte sich die Gewässergüte des Mains wiederum ganz auffällig sowohl im Chemismus als auch in der Biologie. Diese starke Belastung war wieder im gesamten unteren Mainabschnitt zu erkennen. Die gefundenen 25 mg/l des biochemischen Sauerstoffbedarfs, sowie die 41% des Sättigungswertes und auch die Oxydierbarkeit mit 76 mg/l waren als außergewöhnlich stark erhöht zu bezeichnen.

Die industriellen Abwasserbelastungen aus den Zellstoffwerken Aschaffenburg machten sich wiederum etwa noch bis Mainkur bemerkbar. Der Sauerstoffgehalt sank immer mehr durch die Selbsteinigungsverfahren und erniedrigte sich bei Hanau auf 26% und bei Mainkur auf 23% des Sättigungswertes. Eine entsprechende Tendenz zeigte der BSB₅, der im Laufe dieser Fließstrecke bis Mainkur abnahm. Die dort gefundene noch stark erhöhte chemische Oxydierbarkeit mit 112 und 118 mg/l wurde auf die schwer abbaubaren Abwasserstoffe der Zellstoffindustrie zurückgeführt. Der unterhalb Mainkur folgende letzte Stromabschnitt bis zur Mündung, der sich durch das dicht besiedelte, stark industrialisierte Untermaingebiet zieht, war durch akuten Sauerstoffmangel des Mainwassers und sehr hohe Werte

Chemisches Gütelängsprofil des Mains vom 25. - 30. Juni 1962

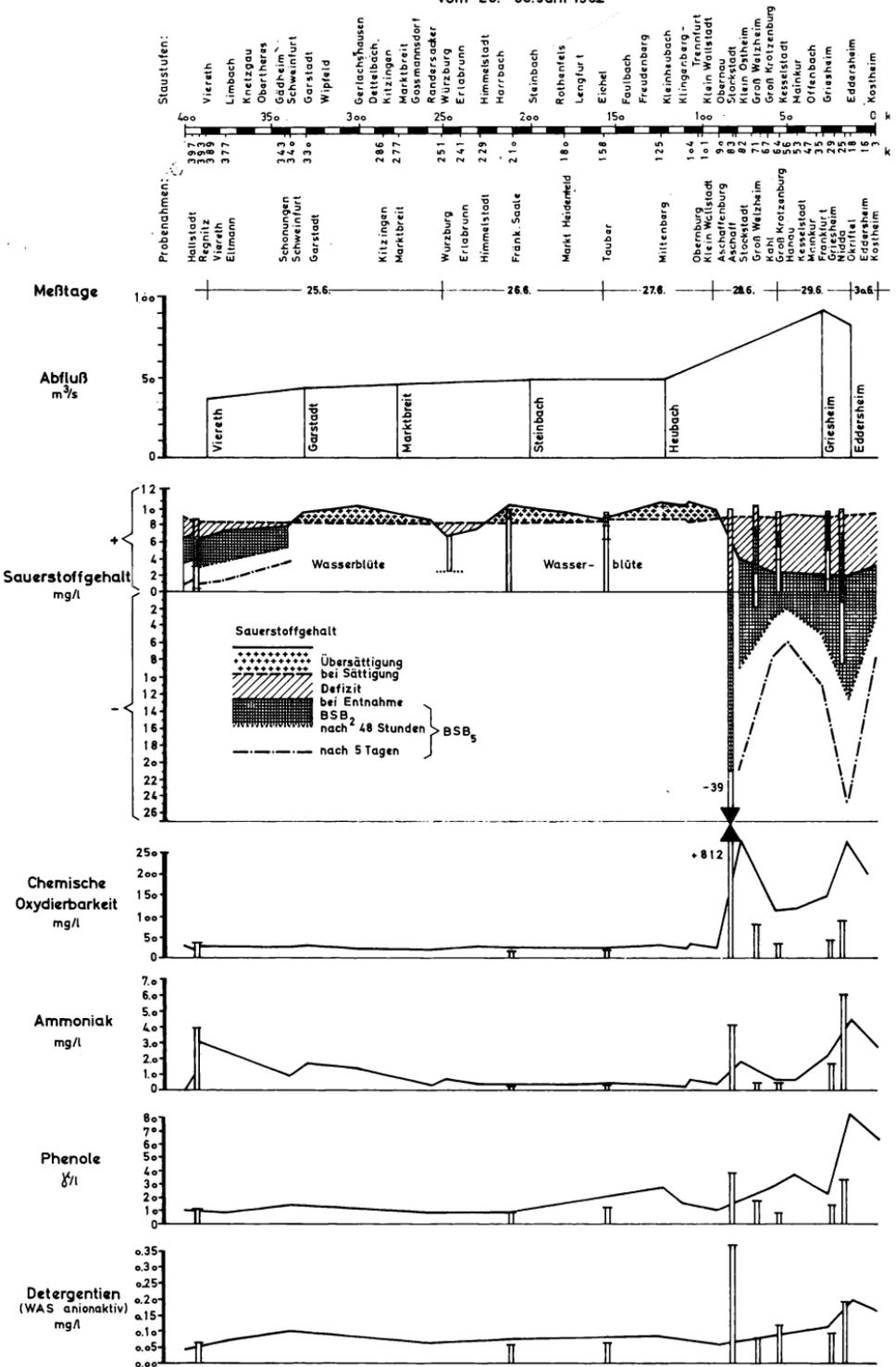
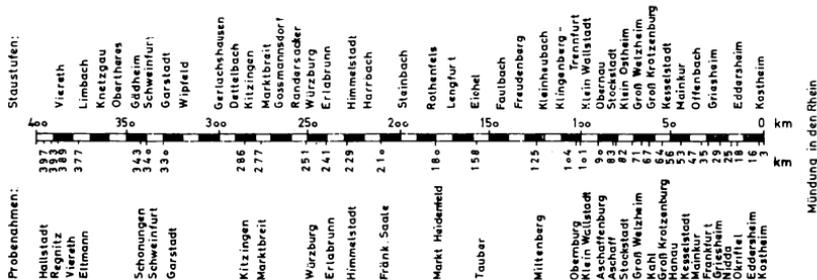


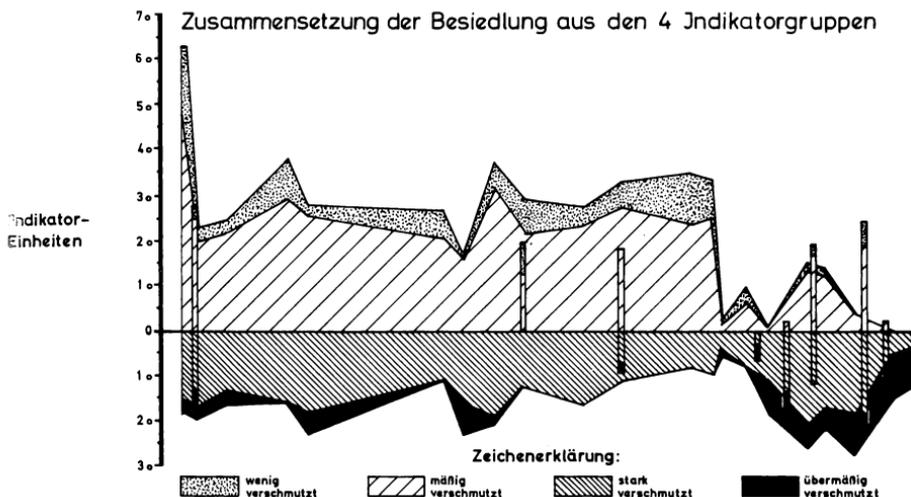
Abb. 12

Biologisches Zustandsbild des Mains

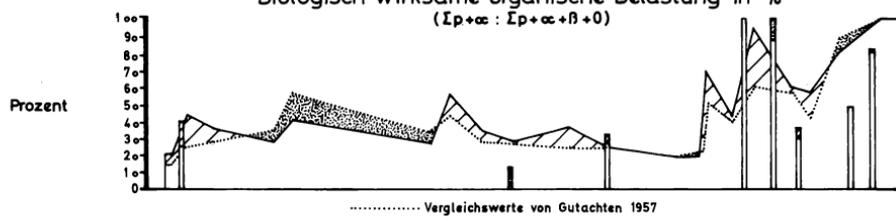
vom 24.-30. Juni 1962



Mündung in den Rhein



Biologisch wirksame organische Belastung in % ($I_p + \alpha : I_p + \alpha + \beta + 0$)



Artenfehlbetrag in % (Artenstandard= 27)

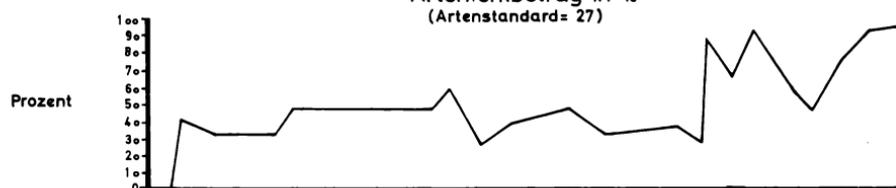


Abb. 13

der Belastung gekennzeichnet. Es handelt sich bei diesem Flußabschnitt, dem Gutachten der Bundesanstalt zufolge, immer noch um ein außerordentlich stark verunreinigtes Gewässer.

4. 2. 1. g 2) Gewässergütelängsprofil:

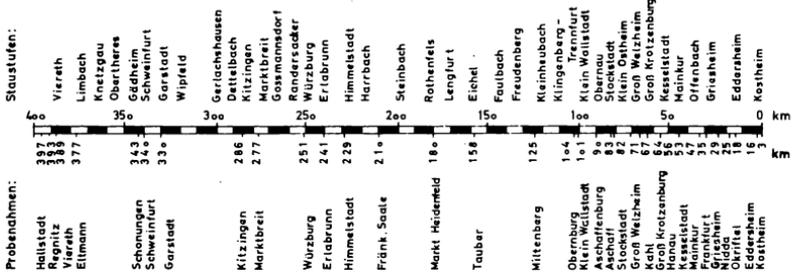
Untersuchung der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz vom 3.—8. Dezember 1962 (Abb. 14 und Abb. 15)

Zu Beginn des Winters 1962 wurde als Ergänzung der Sommeruntersuchungen des gleichen Jahres eine weitere Untersuchung gestartet. Dazu wurde ausgeführt, daß sich die Winteruntersuchung besonders zur Feststellung des Chemismus der den Vorfluter belastenden organischen, häuslichen und gewerblichen Abfallstoffe eigne, da die bei den Sommeruntersuchungen aufgetretenen Beeinflussungen durch Assimilations- und Dissimilationsvorgänge weitgehend ausgeschaltet seien. Die Untersuchung umfaßte wiederum die gesamte Mainstrecke von Hallstadt bis zur Mündung in den Rhein. Die Proben wurden an den gleichen Stellen wie bei den vorgehenden Untersuchungen der Bundesanstalt entnommen. Die Witterung war trocken, sonnig und kalt. Auch die Vortage dieser Untersuchung fielen in eine sehr kalte Trockenperiode. Auf der gesamten Untersuchungsstrecke hatte man während der Probeentnahmen ein starkes Eistreiben festgestellt. In einigen Abschnitten herrschte sogar Eisstand. Die Wasserführung war sehr günstig, da es sich um ein ausgesprochenes Niederwasser gehandelt hatte. Bei Schweinfurt (km 338) betrug die Wasserführung rund 29,5 cbm/sec., bei Steinbach (km 200) rund 39 cbm/sec. und bei Griesheim (km 28) rund 50 cbm/sec. Diese Abflußwerte lagen 4% unter dem mittleren Niederwasser der Jahresreihe 1911 bis 1960, das am Pegel Schweinfurt 33,5 cbm/sec. betrug.

Die Sauerstoffverhältnisse zwischen Hallstadt und Würzburg waren auf Grund der gefundenen Sauerstoffwerte von 10,5—10,7 mg/l als sehr gut zu bezeichnen. Der biochemische Sauerstoffbedarf zeigte am Obermain Werte von 3,1—4,4 mg/l. Der stagnierende biochemische Abbau hatte sich besonders bei diesen niedrigen Wassertemperaturen im Stickstoffgehalt bemerkbar gemacht. Der Ammoniumstickstoff, der im Sommer im Bereich von 0,1—3 mg/l lag, stieg bei diesen Verhältnissen auf 2—7 mg/l an. Sehr aufschlußreich war bei dieser Winteruntersuchung, daß eine Probeentnahme bei Zeil, bei km 367,5, keine Veränderungen zeigte, obzwar in dieser Zeit die dortige Zuckerfabrik voll arbeitete. Ebenfalls interessant war, daß es bei dieser Winteruntersuchung möglich war, die Auswirkungen der organischen Abwasserstoffe der Obernburger Glanzstoffwerke voll zu erfassen. In den Sommermonaten konnte man hier wegen der bestehenden Algenblüte keinen BSB₅ bestimmen. Die Abwasserstoffe des Obernburger Werkes verursachten nun während der Winteruntersuchung im Gewässer eine merk-

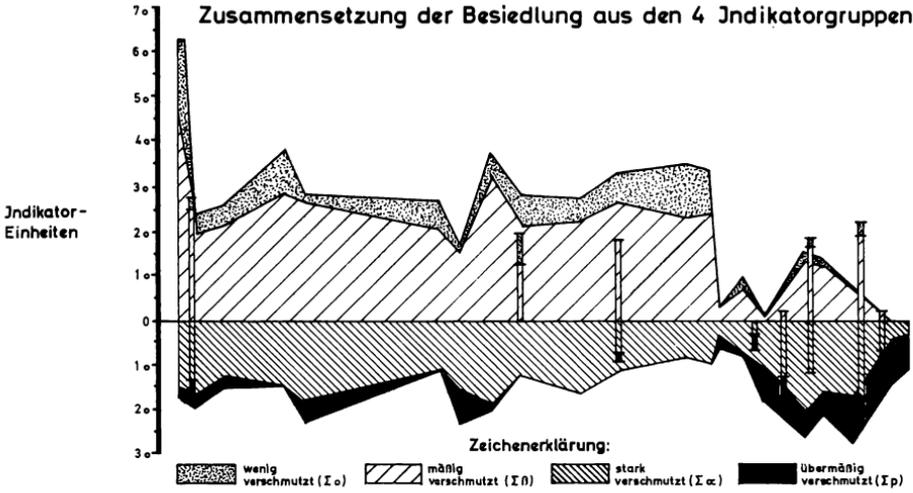
Biologisches Zustandsbild des Mains

vom 3. - 8.12.1962



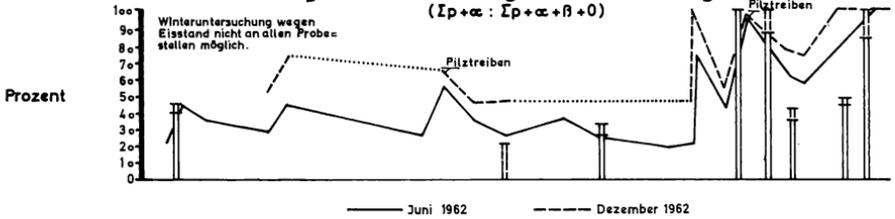
Mündung in den Rhein

Zusammensetzung der Besiedlung aus den 4 Indikatorgruppen



Biologisch wirksame organische Belastung in %

$$(I_{\rho} + \alpha : I_{\rho} + \alpha + \beta + 0)$$



Artenfehlbetrag in %

$$(Artenstandard = 27)$$

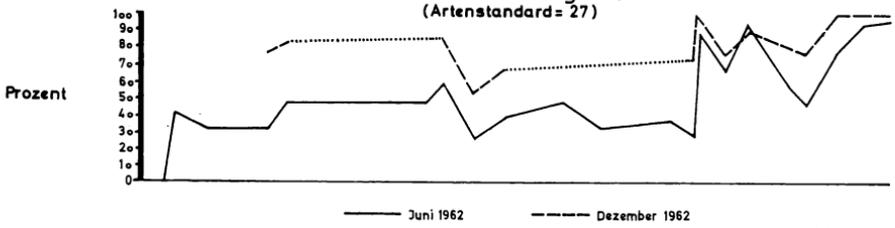


Abb. 14

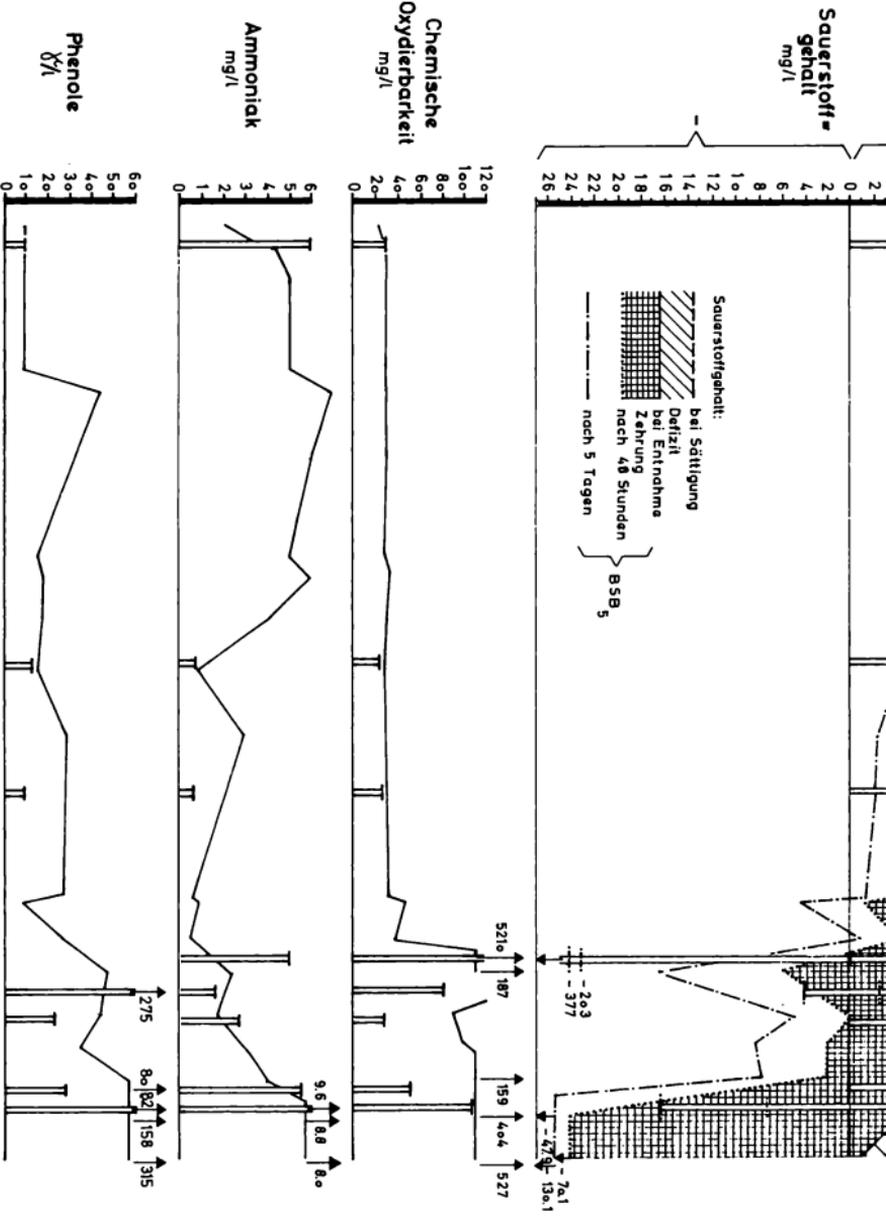


Abb. 15

liche Erhöhung des BSB₅. Der BSB₅, der oberhalb Obernburg 6,5 mg/l betrug, stieg unterhalb der Einleitung der Glanzstoffwerke schlagartig auf 12 mg/l an. Ebenso erhöhte sich die Oxydierbarkeit von 34 mg/l auf 43 mg/l. Sehr groß war auch während der Winteruntersuchung wiederum der Anstieg des Sulfatgehaltes an dieser Stelle, wobei Werte von 131 mg/l oberhalb und 203 mg/l unterhalb des Glanzstoffwerkes gefunden wurden. Der Flußabschnitt oberhalb Obernburg wurde aufgrund der Winteruntersuchungen als „mäßig verunreinigt“ eingestuft, wogegen sich unterhalb des Glanzstoffwerkes eindeutig eine stark verunreinigte Wasserqualität ergeben hatte. Die Bundesanstalt wies in diesem Zusammenhang darauf hin, daß die chemischen Untersuchungsergebnisse im Winter erstmalig weitgehend dem biologischen Zustandsbild entsprochen hätten. Bei den Sommeruntersuchungen seien die wichtigen organischen Abwasserstoffe durch die schon bekannten Störungen nicht erfassbar. Unterhalb Aschaffenburg, im stark belasteten Flußabschnitt, war während der Winteruntersuchung ein besserer Sauerstoffgehalt zu finden. Die Sauerstoffwerte lagen wesentlich höher als im Sommer.

Die mit den chemischen Untersuchungen am Main gleichzeitig durchgeführte biologische Überprüfung wurde durch den Kälteeinbruch erheblich behindert. Das winterliche Besiedlungsbild wurde daher von der Bundesanstalt als ungeeignet für Schlußfolgerungen über die Gewässergüte gewertet.

4. 2. 1. h) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchung der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken, Würzburg, vom 4.—10. September 1963
(Abb. 16 und Abb. 17)

Bei Beginn der bekannten Trockenperiode im September 1963 wurde eine Untersuchung des Mains angesetzt, bei der die Probeentnahmen nicht mehr allein auf die alten Probestellen beschränkt waren, sondern in einer größeren Anzahl noch auf das übrige, bisher freigebliebene Gebiet des Mains verteilt wurden. Damit wurde jede Stauhaltung am Main einzeln untersucht.

Die Ergebnisse des biologischen Teiles der Untersuchung zeigten, daß die bereits genau bekannten Belastungsschwerpunkte am Main im wesentlichen unverändert geblieben waren. Der Main floß, von Hallstadt herkommend, in das Gebiet von Bamberg mit der Güteklasse II ein und wies nach dem Zusammenfluß mit der Regnitz eine Verschlechterung auf. Diese Verschlechterung, die durch ein Absinken der Gewässergüteklasse nach II—III zu verzeichnen war, reichte etwa bis nach Schweinfurt. In Schweinfurt erfolgte eine neue Belastung. Im Gegensatz zu früheren Jahren war aber hier bereits die mechanische Kläranlage der Stadt Schweinfurt in Betrieb. Trotz dieser schon bestehenden Reinigung in der Größenordnung von etwa 40%

war der Main unterhalb Schweinfurt noch relativ schwer belastet, so daß er dort eindeutige Verhältnisse der Güteklasse III zeigte. In dem darauffolgenden Abschnitt bis Gerlachshausen machte sich bereits die Selbstreinigung wieder deutlich bemerkbar, die hier zu einer Verbesserung zur Güteklasse II—III führte. Unterhalb Gerlachshausen hatte sich der Main so weit wieder selbst gereinigt, daß die Güteklasse II bestimmend war. Die nächste Belastung trat im Raum Kitzingen—Marktbreit deutlich in Erscheinung, wo eine Verschlechterung zur Güteklasse III gefunden wurde. Auffällig dabei war, daß sich diese Verschlechterung in einer verhältnismäßig weiten Fließstrecke feststellen ließ, und die Gewässerqualität erst bei Randersacker wieder Güteverhältnisse der Güteklasse II erreichte. Unterhalb Würzburg mußte dann der Main in die Güteklasse III bis IV eingestuft werden. Diese sehr schlechte Zone reichte bei langsamer Besserung fast bis unterhalb der Staustufe Himmelstadt. Anschließend war eine Verbesserung zur Güteklasse II—III feststellbar. Unterhalb der Saalemündung wurde die Güteklasse II wieder erreicht. Dieser Bereich der Güteklasse II dehnte sich nun sehr weit flußabwärts aus. Trotz der vorhandenen Einleitungen von ungereinigtem Abwasser, die aus Lohr, aus Marktheidenfeld und anderen größeren Orten stammten und sich jeweils in Abwasserfahnen mit örtlichen Verschlechterungen bemerkbar machten, war die Selbstreinigungskraft des Gewässers doch noch so stark gewesen, daß hier die Güteklasse II als dominierend anzusehen war. Erst bei Obernburg zeigte sich eine Veränderung. Hier konnte noch immer eine Verarmung festgestellt werden. Unterhalb der Aschaffmündung und unterhalb Stockstadt wurde nur noch eine Güteklasse III—IV gefunden, die sich etwa bis Hanau hin verfolgen ließ.

Von den chemischen Kennzahlen, die bei diesen Untersuchungen zur Bewertung mit herangezogen wurden, seien hier nur der Kaliumpermanganatverbrauch, Ammonium, Nitrit und Nitrat, für eine Teilstrecke das Phosphat und vor allen Dingen der Sauerstoffgehalt und die Zehrung genannt und dargestellt. Der Kaliumpermanganatverbrauch war auf der gesamten Flußstrecke dauernden Schwankungen unterworfen. Erst ab Stockstadt bzw. ab Aschaffenburg war ein sehr starkes Ansteigen zu erkennen. Bei den Sauerstoffwerten war auffällig, daß sich hier zwei große Zonen unterschieden, nämlich eine Zone mit einem Rückgang des Sauerstoffgehaltes teilweise bis zu 5 mg/l, und ein anderer Abschnitt, in dem eine sehr starke Sauerstoffübersättigung vorherrschend war. Der Abschnitt mit der Sauerstoffanreicherung begann ab der Mündung der Fränkischen Saale und reichte fast bis Aschaffenburg. Besonders groß war dabei die Sauerstoffanreicherung in der Strecke von Faulbach bis Aschaffenburg.

In den Stauhaltungen von Gemünden bis Aschaffenburg bzw. Stockstadt war somit zur Zeit der Untersuchung eine eindeutige Algenblüte vorhanden. Unterhalb Stockstadt, in der Zone der schweren Belastung, sank dann der

Gewässergütelängsprofil des Mains - (Saprobiegrad)

Untersuchung vom 4. - 10.9.1963

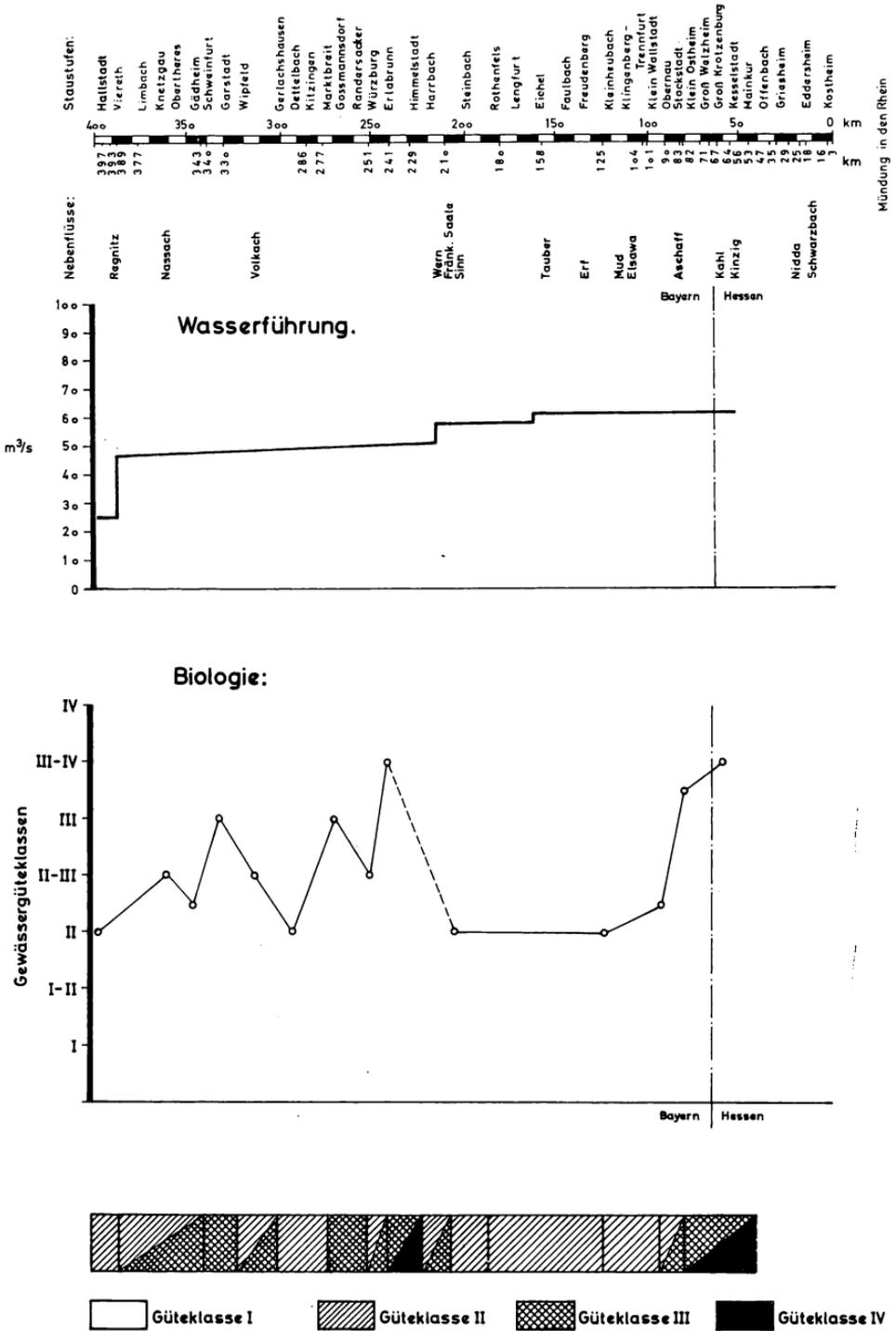


Abb. 16

Gewässergütelängsprofil des Mains - (Chemische Werte)

Untersuchung vom 4.-10.9.1963

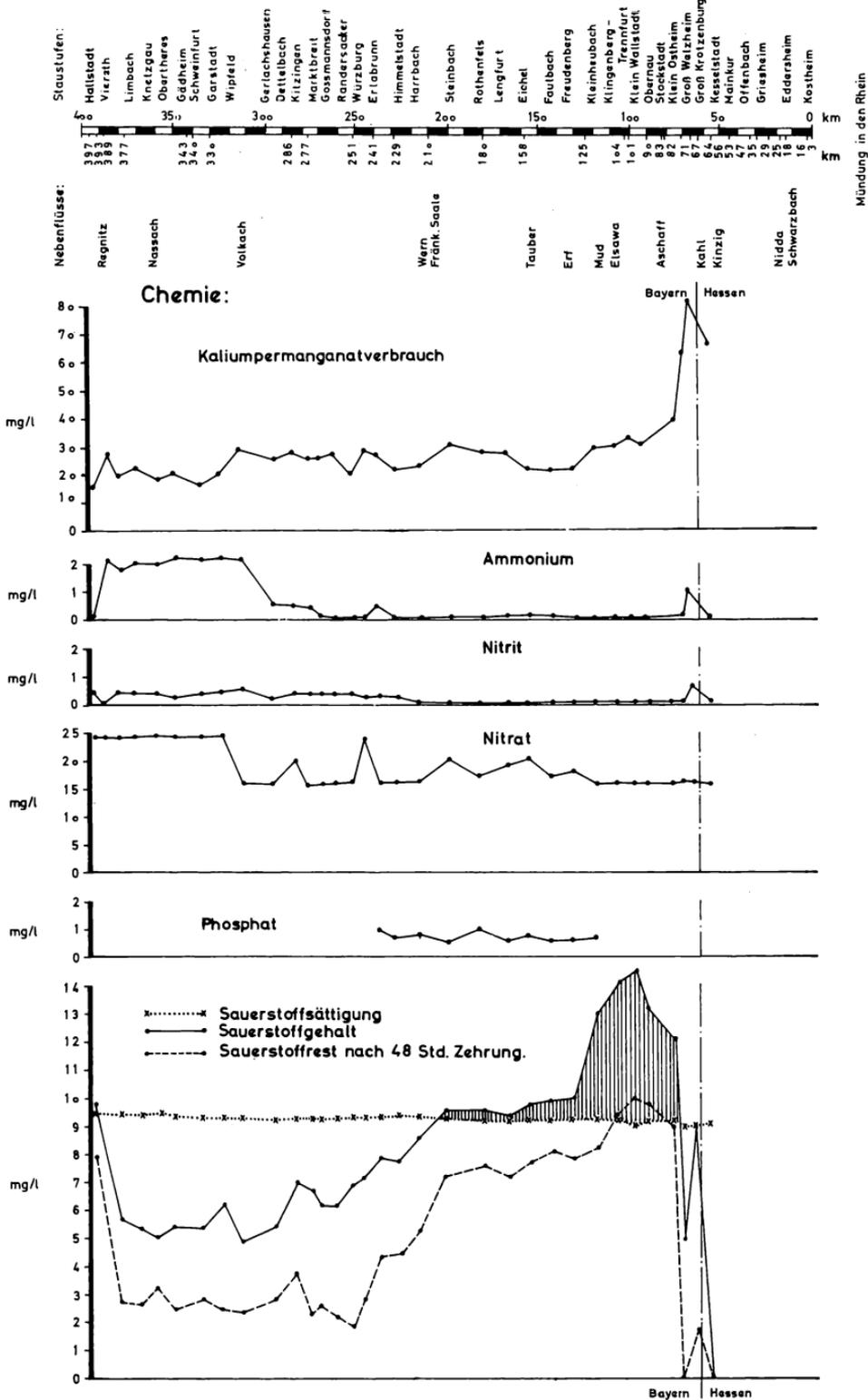


Abb. 17

Sauerstoffgehalt wieder ab. Die Zehrung zeigte derart hohe Werte, daß teilweise ein vollständiger Verbrauch des Sauerstoffes eintrat.

4. 2. 1. i) Gewässergütelängsprofil:

Untersuchungen der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken Würzburg — Sauerstofflängsprofile am Main vom Februar 1963 bis April 1964 (Abb. 18)

Mit Beginn des Jahres 1963 wurde versucht, mehrmals im Jahr die Sauerstoffverhältnisse in der gesamten unterfränkischen Mainstrecke an möglichst ein oder zwei Tagen zu ermitteln. Die Sauerstoffproben wurden dabei von Land, aus einer Tiefe von ca. 1 m genommen. Dabei hatte man festgestellt, daß im Verlauf dieses Jahres, zu unterschiedlichen Zeiten und örtlich verschieden, Algenblüten auftraten. Auffällig dabei war, daß die Algenblüten sich nicht in allen Stauhaltungen zur gleichen Jahreszeit bemerkbar machten. Es sei hier auf den Monat Juli 1963 verwiesen, in dem sich in der oberen Hälfte der bayerischen Mainstrecke, also von Viereth bis Würzburg, in einigen Stauhaltungen, oberhalb Schweinfurt und zwischen Wipfeld und Würzburg, Sauerstoffübersättigungen gezeigt haben. Aber auch im unteren Abschnitt des Mains war eine gewisse Tendenz zur Übersättigung bemerkbar, die sich in kleinen Übersättigungsspitzen äußerte. Im September dagegen ist im oberen Abschnitt des unterfränkischen Mains der Sauerstoffgehalt wesentlich zurückgegangen, und keine Tendenz zu einer Algenblüte mehr erkennbar. Dagegen dominiert aber im Abschnitt zwischen Harrbach, also unterhalb der Einmündung der Fränkischen Saale, bis Aschaffenburg die Übersättigung. Betrachten wir dann noch die Untersuchung vom April 1964, bei der aus technischen Gründen leider nur gewisse Streckenabschnitte erfaßt wurden, so zeigt sich, daß schon im April mit starken Algenentwicklungen, also mit Algenblüten gerechnet werden muß.

Interessant ist auch der Vergleich der Sauerstoffkurven der Wintermonate, wobei hier besonders auf den Februar 1963 hingewiesen sei. Dazu ist auszuführen, daß im Winter 1962/1963 eine sehr lange Frostperiode bestand. Der Main war infolge seiner geringen Fließgeschwindigkeit schon ab Dezember 1962 fast vollständig zugefroren. Die geschlossene Eisdecke im Main hielt sich bis Ende Februar 1963 und zeigte teilweise noch im März, in einigen Stauhaltungen Eisbildung.

Man kann daher davon sprechen, daß in diesem Winter der Main 2½ Monate vollständig zugefroren war. Die Oberflächenbelüftung ist damit ausgeblieben. Außerdem herrschten unter dem Eis, durch den aufliegenden Schnee ungünstige Lichtverhältnisse. Der Sauerstoffgehalt ging enorm zurück, wie die Februarkurve zeigt. Im Oberlauf ist noch ein Sauerstoffgehalt über 5 mg/l vorgefunden worden. Schon unterhalb Knetzgau aber war ein laufendes Absinken festzustellen. Die Sauerstoffkurve erreicht im Raum von

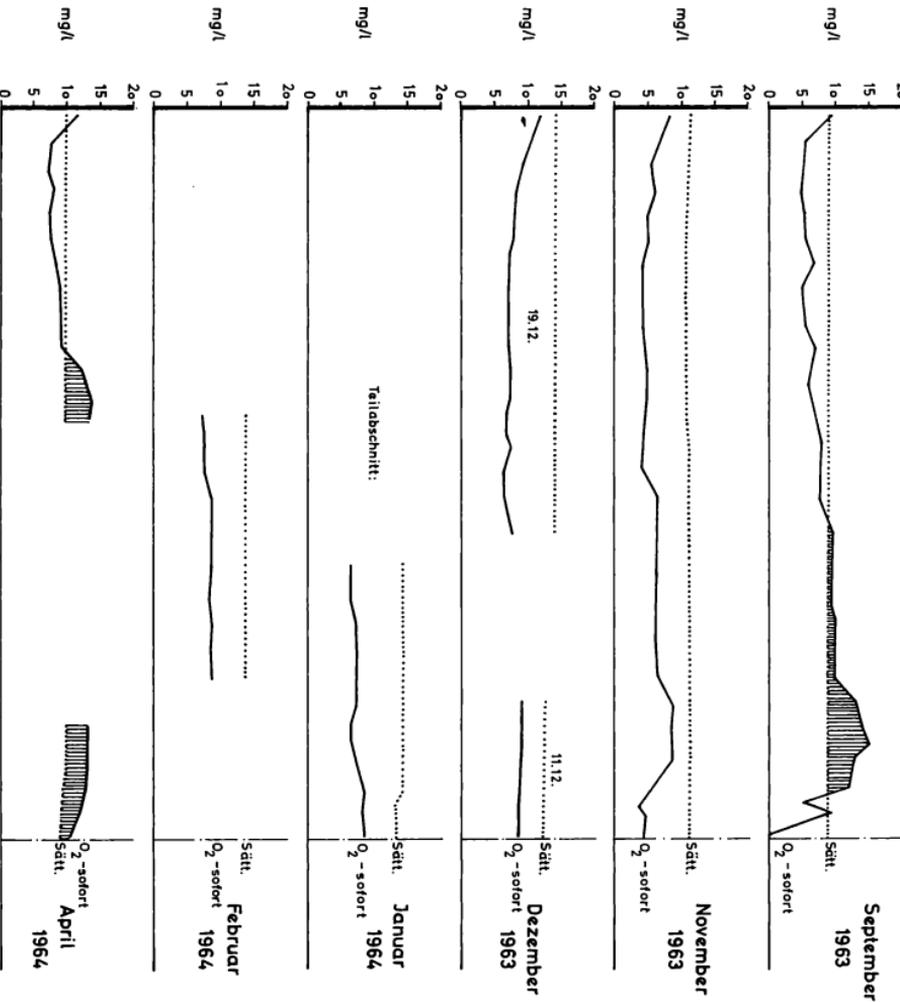
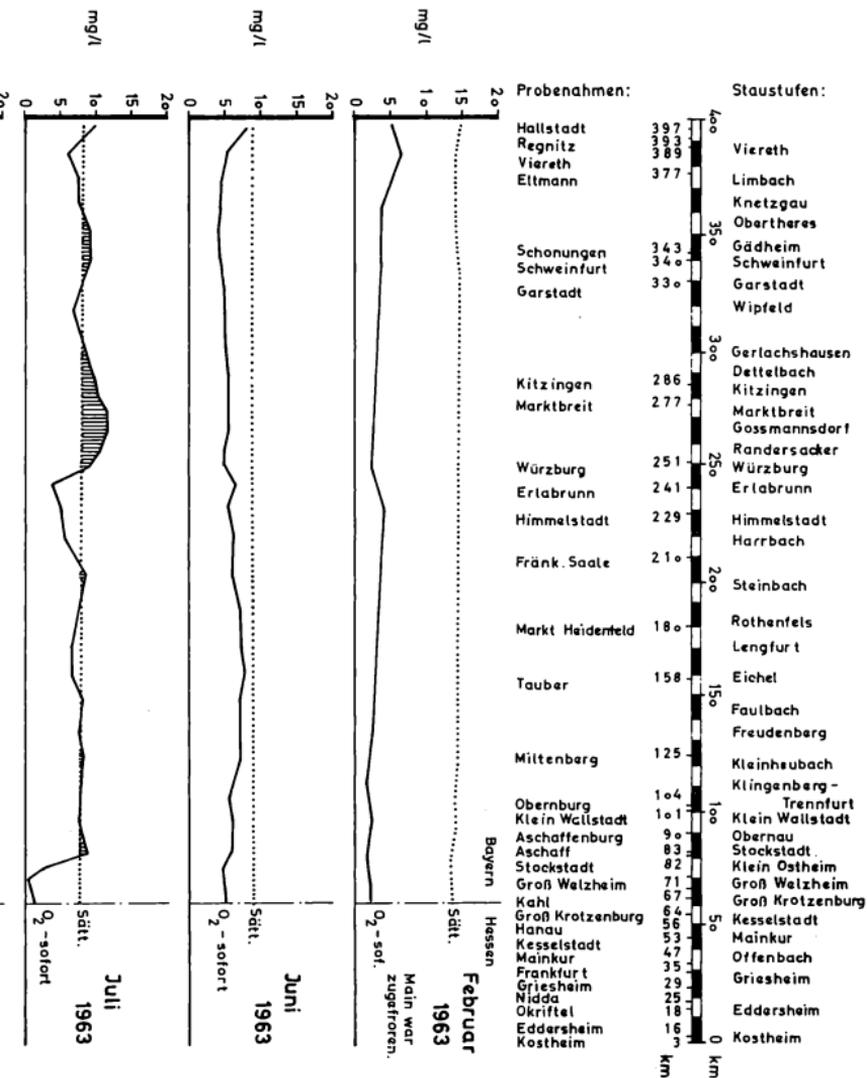


Abb. 18

Sauerstofflängsprofile im Main

Untersuchungen im Jahre 1963 u. 1964



Klingenberg ihren Tiefstand, und zeigt hier Sauerstoffwerte, die nur um 2mg/l lagen.

Gewisse Anzeichen bei dieser Untersuchung lassen den Schluß zu, daß in diesem Winter bei geschlossener Eisdecke im Main, unerkannt, ein großes Fischsterben abgelaufen ist, dem vermutlich größere Bestände zum Opfer gefallen sind. Dieses Untersuchungsergebnis zeigt eindeutig, daß allein aufgrund der Güteuntersuchungen, die in den Sommermonaten durchgeführt werden, eine genaue Beurteilung dieses gestauten Fließgewässers nicht durchgeführt werden kann. Selbst die Strecken, die der Güteklasse II zuzuordnen waren, also als mäßig verunreinigt angesehen werden mußten, zeigten zur Zeit der Vereisung und der dadurch bedingten physikalischen und chemischen Folgewirkungen ein Milieu, das einem schwerst verunreinigtem Gewässer entspräche. Das Gewässer Main konnte somit, die Abwasserlast, die ihm aus einigen Schwerpunkten zugeführt wurde, bei dieser Vereisung nicht mehr bewältigen.

Mit diesem Übergang von reinen Gütelängsuntersuchungen, die ein oder zweimal im Jahr durchgeführt wurden, zu regelmäßigen Untersuchungen, die in ein Meßprogramm einmünden, soll hier der Absatz über die Gewässergütelängsprofile abgeschlossen werden.

4. 2. 2. Gewässergütemeßreihen:

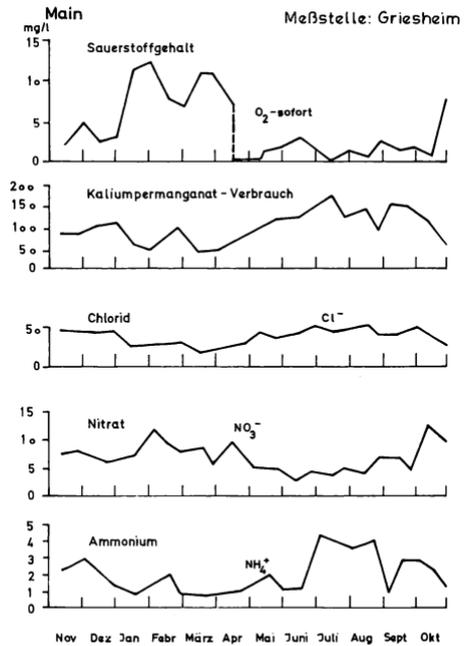
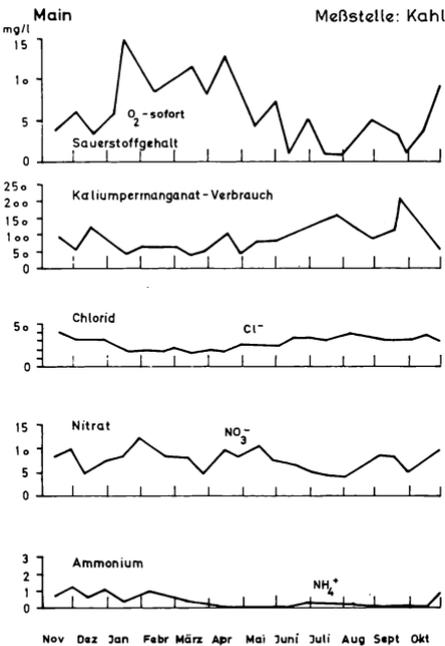
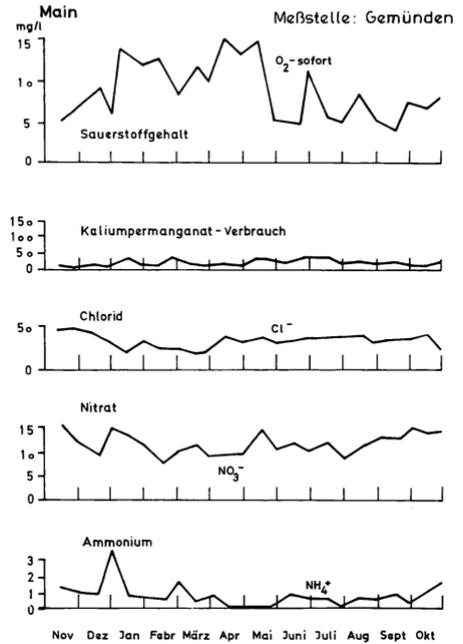
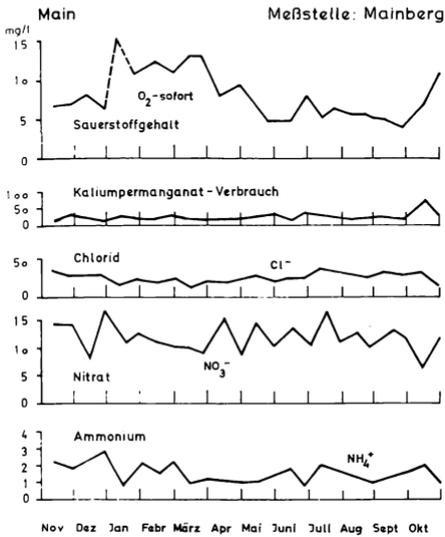
4. 2. 2. a) Untersuchungen der Wasserstraßenverwaltung in den Jahren 1960 bis 1962 (Abb. 19, 20, 21)

Im Jahre 1960 begann die Wasserschiffahrtsverwaltung am Main damit,, an einigen Stellen auf der gesamten Mainstrecke von Bamberg bis zur Mündung in den Rhein alle zwei Wochen Wasserproben zu entnehmen, die entsprechend untersucht wurden. Als erste Meßstelle wurde ein Meßpunkt in Mainberg oberhalb Schweinfurt, zweitens eine Meßstelle in Gemünden, drittens eine Meßstelle in Kahl und viertens eine Meßstelle in Griesheim festgelegt, an chemischen Faktoren wurden der Sauerstoffgehalt, der Kaliumpermanganatverbrauch, der Chloridwert, das Ammonium und das Nitrat untersucht. Die Messungen begannen im Jahre 1959 im November und sind in den folgenden dreiseitigen Diagrammen immer für ein Jahr dargestellt. Im Jahre 1960 war an der ersten Meßstelle in Mainberg im Sauerstoffgehalt ein ausgeprägter Jahresgang zu beobachten, der mit Sicherheit im Zusammenhang mit der Wassertemperatur stand. In den Sommermonaten ist damals keine Übersättigung gefunden worden. Weit ausgeglichener wirkte der Kaliumpermanganatverbrauch. Auch der Chloridwert zeigte nur Schwankungen in einer Größenordnung von etwa 15 mg/l. Das Ammonium war ebenfalls sehr stark schwankend, was auch für das Nitrat zutrifft. Ein Jahresgang wie beim Sauerstoffgehalt ist hier nicht feststellbar.

An der nächsten Meßstelle in Gemünden ist die Kurve des Sauerstoffes wohl ähnlich der der Meßstelle Mainberg, doch sind hier zeitweilig gewisse Spitzen erkennbar, die eindeutig auf Algenblüten, das heißt auf eine Sauerstoffüberproduktion durch pflanzliche Mikroorganismen, zurückgeführt werden konnten. Es handelte sich dabei vor allen Dingen um die Spitzen im März, April und im Juni. Der Kaliumpermanganatverbrauch war wieder mehr oder weniger gleichförmig, ebenso das Chlorid. Die beiden Faktoren, Ammonium und Nitrat, zeigten hier andere Verhältnisse als an der Meßstelle in Mainberg, so daß man annehmen kann, daß die Meßstelle in Gemünden in einem Bereich lag, in dem die Stickstoffverbindungen schon wesentlich weiter abgebaut waren als an der Meßstelle in Mainberg. Als nächstes interessiert uns, soweit es die bayerische Mainstrecke betrifft, nur noch die Meßstelle in Kahl. Auch an dieser Stelle verläuft die Sauerstoffkurve eigenartigerweise fast im Gegensatz zu den Erwartungen, die man aufgrund der vorher gemachten Gewässergütelängsschnitte hegen könnte, in etwa gleicher Form wie in der Meßstelle Mainberg. Sie dürfte damit wohl ebenso wie die Meßstelle Mainberg mehr oder weniger als Folge der Temperaturverhältnisse angesehen werden und keine Übersättigungen, bedingt durch Algenblütenbildungen, aufweisen. Der Kaliumpermanganatverbrauch war an dieser Meßstelle im Gegensatz zu den beiden vorher genannten wesentlich höher und zeigte besonders im Spätsommer und in den Herbstmonaten einen sehr starken Anstieg, der mit der spätsommerlichen und herbstlichen Niederwasserführung im Zusammenhang stehen dürfte. Der Chloridwert ist wiederum ähnlich der Meßstelle Mainberg und zeigte nur eine geringe Erhöhung an. Das Ammonium und das Nitrat sind aber wesentlich niedriger gewesen als in Mainberg und in Gemünden und gleichförmiger im Kurvenverlauf.

Die Meßreihen des Jahres 1961 zeigten ähnliche Verhältnisse wie 1960. Die Sauerstoffkurven weisen fast den gleichen Charakter auf, nur ist in diesem Jahr eine wesentlich ausgeglichene Sauerstoffmenge vorhanden als 1960. An keiner der drei Meßstellen sind so große Schwankungen feststellbar gewesen, wie sie die Werte von 1960 zeigten. Bei den Ganglinien 1961 ist auch eine Kurve der Wasserführung am Pegel Schweinfurt eingezeichnet. Die chemischen Faktoren, mit der Wasserführung in Vergleich gesetzt, zeigten nun keinen eindeutigen Zusammenhang, was hauptsächlich für den Sauerstoffgehalt und auch für das Nitrat gilt, wogegen man beim Chlorid und auch beim Ammonium den Eindruck hat, als ob die hohe Wasserführung im Monat Februar dazu geführt hätte, daß beide Werte etwas erniedrigt wurden. Eine eindeutige Korrelation ist aber auch hier nicht ohne weiteres feststellbar. Im übrigen muß hier erwähnt werden, daß das Material derartiger Ganglinien oder Meßreihen noch zu gering ist, um anhand von statistischen Auswertungen bestimmte Korrelationen eindeutig nachweisen zu können. Die Ganglinien vom Jahre 1962 verhalten sich etwas anders als in den

Ganglinien für chemische Werte von 1960



Ganglinien für chemische Werte von 1961

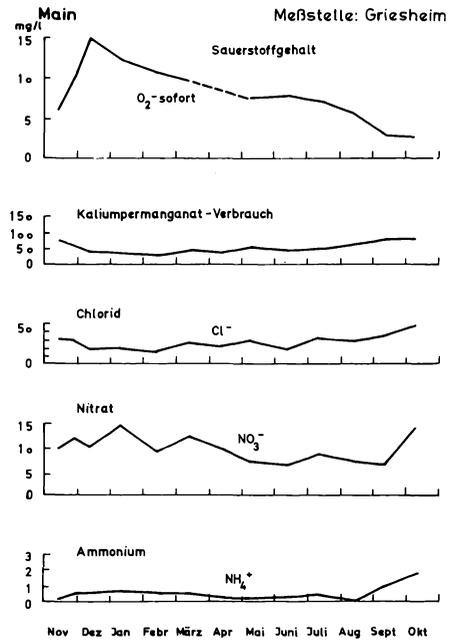
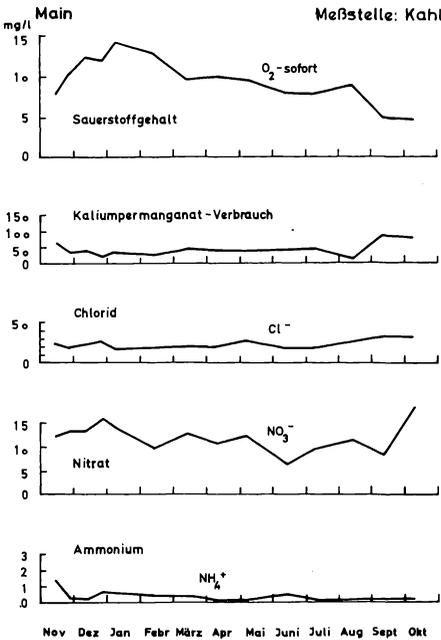
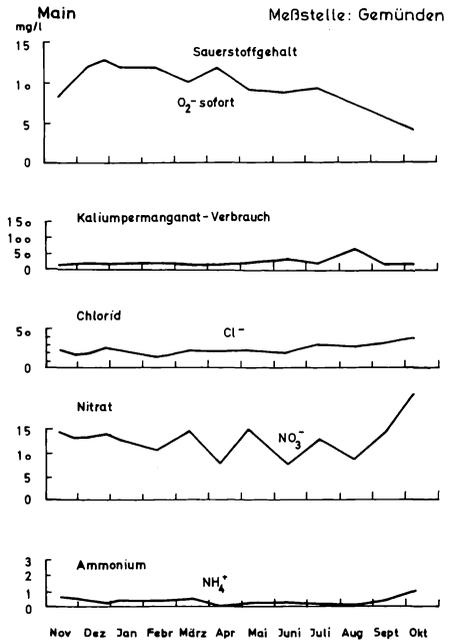
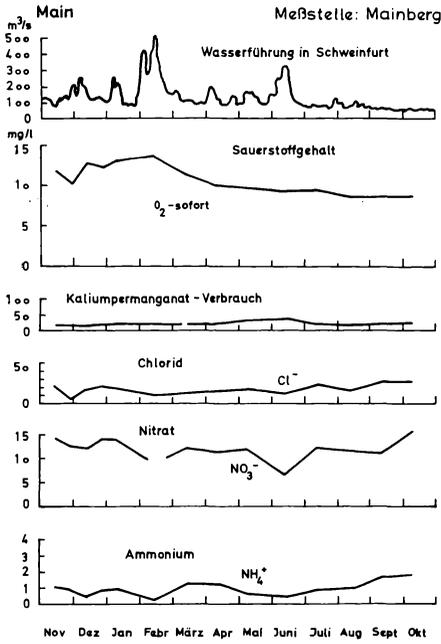
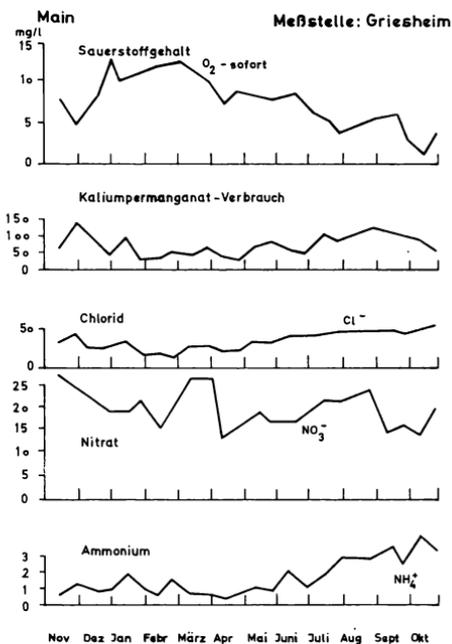
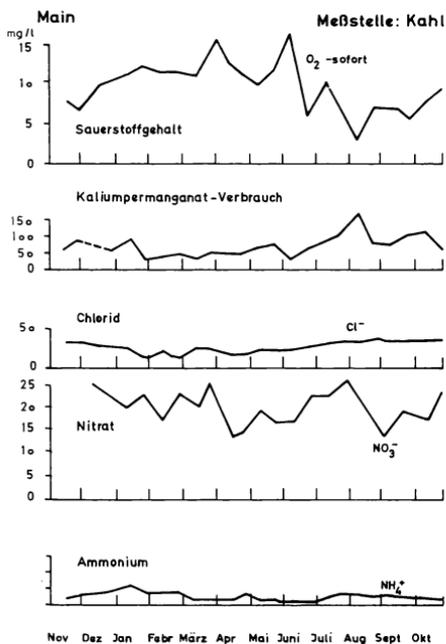
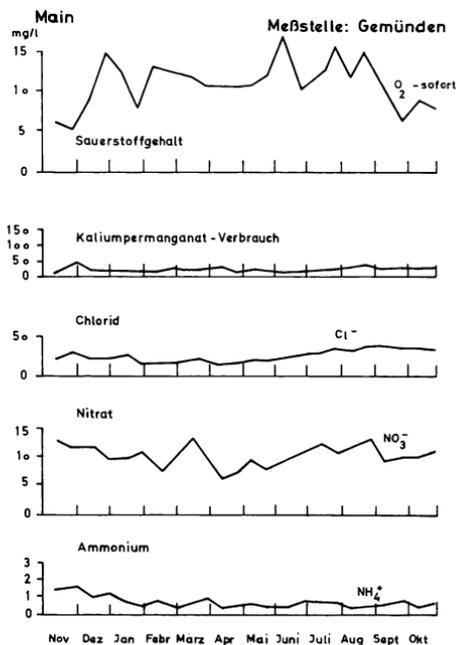
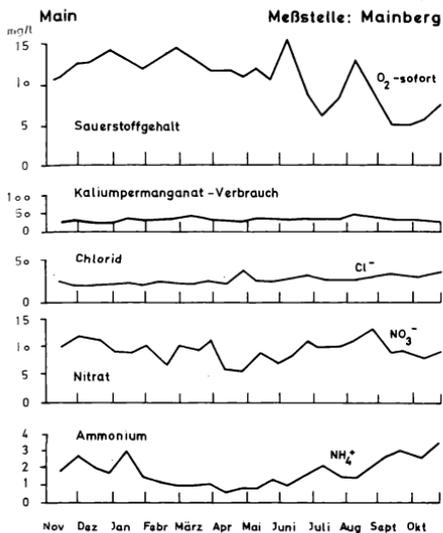


Abb. 20

Ganglinien für chemische Werte von 1962



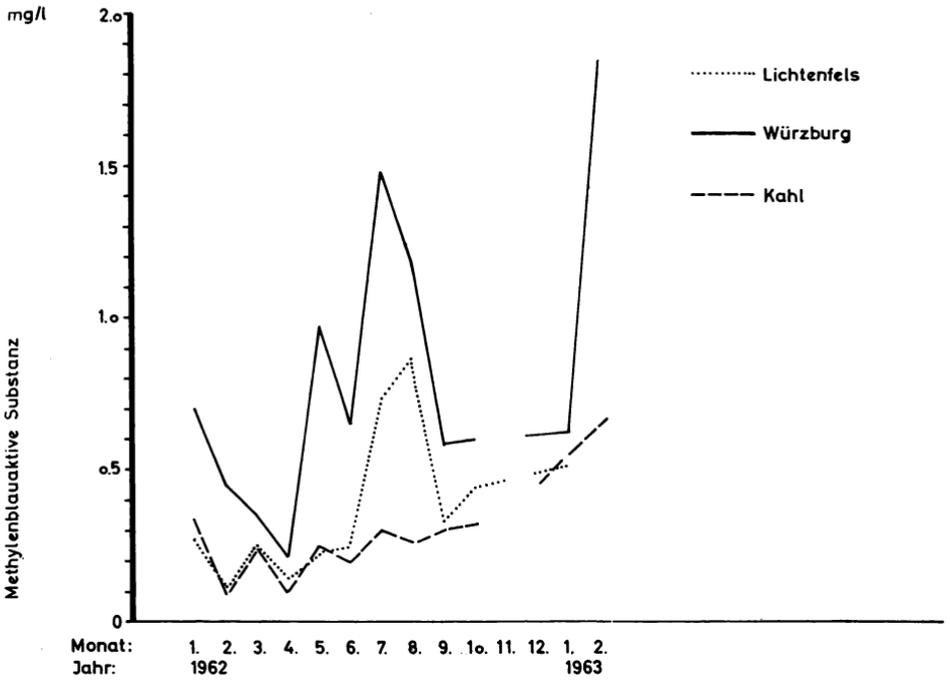
beiden vorgenannten Jahren. Dies gilt vor allen Dingen für den Sauerstoffgehalt. Diese Kurven zeigen zwar ebenfalls wieder einen gewissen Jahresgang mit sicher temperaturbedingten höheren Sauerstoffwerten im Winter und mit einem Absinken des Sauerstoffs im Spätsommer und im Herbst. Doch ist in diesen drei Sauerstoffkurven, vor allem an den Meßstellen in Mainberg und in Gemünden eindeutig feststellbar, daß hier in den Sommermonaten und auch im Frühjahr eine starke Vermehrung von Mikroorganismen stattgefunden haben muß. Das hat zu einer nicht mehr temperaturbedingten Erhöhung der Sauerstoffwerte geführt. Die beiden Kurven der Meßstellen Mainberg und Gemünden zeigen daher vom April bis zum September das Bild einer Übersättigung, damit also die Folgewirkungen der Algenblüten. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß die mit der Tätigkeit der Mikroorganismen doch ebenfalls in enger Beziehung stehenden Werte des Ammoniums und Nitrats eigentlich nicht ein entsprechendes Verhältnis aufweisen, aus dem eine erhöhte Tätigkeit der Mikroorganismen geschlossen werden könnte. So sind die Nitratwerte der Wintermonate fast identisch mit denen der Sommer- und Herbstmonate. Interessant ist dann noch die Sauerstoffkurve an der Meßstelle in Kahl. Für den Bereich der Meßstelle in Kahl war man bisher der Meinung, daß aufgrund der bekannten Untersuchungsergebnisse der Gewässergütelängsprofile eine derart hohe Abwasserlast bestünde, daß es in den Sommermonaten hier nicht zu Algenblüten und damit zu einer Überproduktion von Sauerstoff kommen könne, da in diesem Abschnitt doch sehr stark reduzierende Vorgänge vorherrschten. Die Sauerstoffkurve im Jahre 1962 an der Meßstelle Kahl zeigt aber eindeutig, daß in den Monaten Mai und Juni Algenblüten bestanden haben müssen, die hier zu einer eindeutigen Übersättigung führten. Auch die Sauerstoffwerte im Juli sind so hoch, daß sie nur die Folgewirkung einer Algenblüte sein können, wenn auch keine Übersättigung vorhanden war.

4. 2. 2. b) Gewässergütemeßreihen:

Untersuchungen der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt München über den Detergentiengehalt im Jahre 1962 (Abb. 22)

Die Bayer. Biologische Versuchsanstalt hat für diese Untersuchung drei Probenentnahmestellen berücksichtigt, die hinsichtlich ihrer Belastung gewisse Unterschiede zeigten. Es wurde als auffallend angesehen, daß bereits im Oberlauf bei Lichtenfels eine hohe Belastung des Mains mit waschaktiven Substanzen im Mittel mit 0,38 mg/l vorlag, die weiter flußwärts dann ein Ansteigen bis auf 0,87 mg/l zeigte. Man gab als Ursache dieser verhältnismäßig hohen Werte die Zuführung von größeren Mengen an häuslichen und gewerblichen Abwässern, sowie eine hohe Vorbelastung aus dem oberfränkischen Industriegebiet an. Hierbei seien die oberhalb Lichtenfels mün-

Einjährige Reihenuntersuchung des Detergentiengehaltes im Mainwasser.



dende Steinach und die Rodach als Hauptzufuhrstellen anzusehen gewesen. Unterhalb Würzburg war dann ein weiterer starker Anstieg durch die Abwässer der Stadt Würzburg zu erkennen. Hier traten sogar Maximalwerte bis zu 1,84 mg/l auf. Bei Kahl hatte man wieder eine geringere Konzentration festgestellt.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß in der Veröffentlichung der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt im Sonderdruck „Gas und Wasserfach“, Jahrgang 105, Seite 1221, auch der Versuch gemacht worden war, die ermittelten Tensidkonzentrationen an den einzelnen Stellen im Main in Einklang mit dem allgemeinen Gütezustand des betreffenden Gewässers zu bringen. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse der Bayerischen Biologischen Versuchsanstalt wurde von dieser folgende Zuordnung zu den Güteklassen des Saprobiensystems vorgeschlagen:

- 1) 0—0,6 mg/l = Güteklasse I (oligosaprob),
- 2) von 0,06—0,3 mg/l = Güteklasse II (betamesosaprob),
- 3) von 0,3—0,8 mg/l = Güteklasse III (alphamesosaprob)
- 4) über 0,8 mg/l = Güteklasse IV (polysaprob).

Dabei wurde in dieser Veröffentlichung darauf aufmerksam gemacht, daß die Konzentrationen an anionischen Tensiden bei den derzeitigen Gebrauchsgewohnheiten unter Umständen einen sehr brauchbaren Indikator für Gewässerverunreinigungen durch häusliche Abwässer abgeben würden. Mittels dieser Wertung waren die drei Untersuchungsstellen am Main wie folgt einzustufen: Main in Lichtenfels: Güteklasse II—III, Main in Würzburg: Güteklasse IV, Main in Kahl: Güteklasse III.

4. 2. 2. c) Gewässergütemeßreihen:

Untersuchungen der Wasserwerke Frankfurt vom Jahre 1959 bis 1963 (Abb. 23)

und d) Untersuchungen der Wasserwerke Würzburg vom Jahre 1955 bis 1966

Der Vollständigkeit halber seien zu den vorliegenden Untersuchungsergebnissen der staatlichen Dienststellen auch noch Reihenuntersuchungen zweier Wasserwerke mit aufgeführt, die für den behandelten Flußabschnitt von Bamberg—Kahl (Großkrotzenburg) von gewissem Interesse sind.

Es handelt sich dabei einmal um die Reihenuntersuchungen der Frankfurter Wasserwerke, die ebenfalls an vier Meßstellen das Wasser des Mains laufend untersucht haben. Die Frankfurter Wasserwerke entnahmen dabei Wasser an der Schleuse in Steinbach oberhalb Lohr, dann in Klingenberg, in Kleinwallstadt und in Großwelzheim. Die Darstellung dieser Kurven, die den Kaliumpermanganatverbrauch zeigen, läßt eindeutig den Unterschied der verschiedenen Mainstrecken noch einmal klar erkennen. Die Meßstelle Steinbach, die kurz oberhalb Lohr liegt, die Meßstelle in Klingenberg und in

Kleinwallstadt deuten nur unwesentliche Belastungen des Gewässers mit organischen Substanzen an. Auch im Bereich der Meßstelle Kleinwallstadt, also unterhalb der Glanzstoffwerke Obernburg war keine nennenswerte Erhöhung des Kaliumpermanganatverbrauches zu erkennen. Ganz anders verhält sich aber der Kaliumpermanganatverbrauch an der Meßstelle in Großwelzheim, also in einem Abschnitt des Flusses, der durch die Abwasserableitungen aus den beiden Zellstoff-Fabriken Aschaffenburg und Stockstadt, als die am schwersten belastete Strecke des Mains auf bayerischem Gebiet gilt. Der Kaliumpermanganatverbrauch schwankte dort sehr auffällig bis zu Größenordnungen, die über 150 mg/l lagen.

Des weiteren sind noch Untersuchungen mit aufgeführt und zwar in Form einer tabellarischen Zusammenfassung, die von den Wasserwerken in Würzburg in den Jahren zwischen 1955 und 1966 durchgeführt wurden. Die tabellarische Darstellung der Ergebnisse wurde hier deshalb gewählt, um die von den Wasserwerken Würzburg zur Verfügung gestellten Unterlagen vollständig aufzuzeigen. Dabei muß aber darauf hingewiesen werden, daß diese Untersuchungen als Objekt zwar das Mainwasser beinhalteten, die Proben aber nicht aus dem freien Strom entnommen wurden. Die Proben stammten vielmehr aus einem Vorreinigungsbecken, das vom freien Main durch einen Damm getrennt ist, und nur einen Zulauf hat. Es herrschen daher in diesem „Vorreinigungsbecken“ besondere Verhältnisse, da, bedingt durch die Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit, die zeitweise bis zur Stagnation führt, ein Absetzen der mitgeführten Sedimente eintritt. Es handelt sich somit um eine Stillwasserzone, in der nicht mehr die Verhältnisse wie im freien Main gegeben sind. Es ist auch anzunehmen, daß sich hier gewisse Zehrungsvorgänge, die von den abgesetzten, organisch faulfähigen Substanzen herrühren, bemerkbar machten. Deshalb sind wohl die in der Tabelle aufgeführten Sauerstoffwerte nicht mit der Sauerstoffführung des frei fließenden Mainwassers identisch.

Zur Orientierung sei noch erwähnt, daß diese Meßstelle der Wasserwerke Würzburg zwischen den Gütemeßstellen Marktbreit und Erlabrunn liegt.

Reihenuntersuchungen der Frankfurter Wasserwerke von 1959 bis 1963.

- Meßstelle Großweitzheim IV
- Meßstelle Kleinwallstadt III
- x-x- Meßstelle Klingenberg II
- ... Meßstelle Steinbach/Lohr I

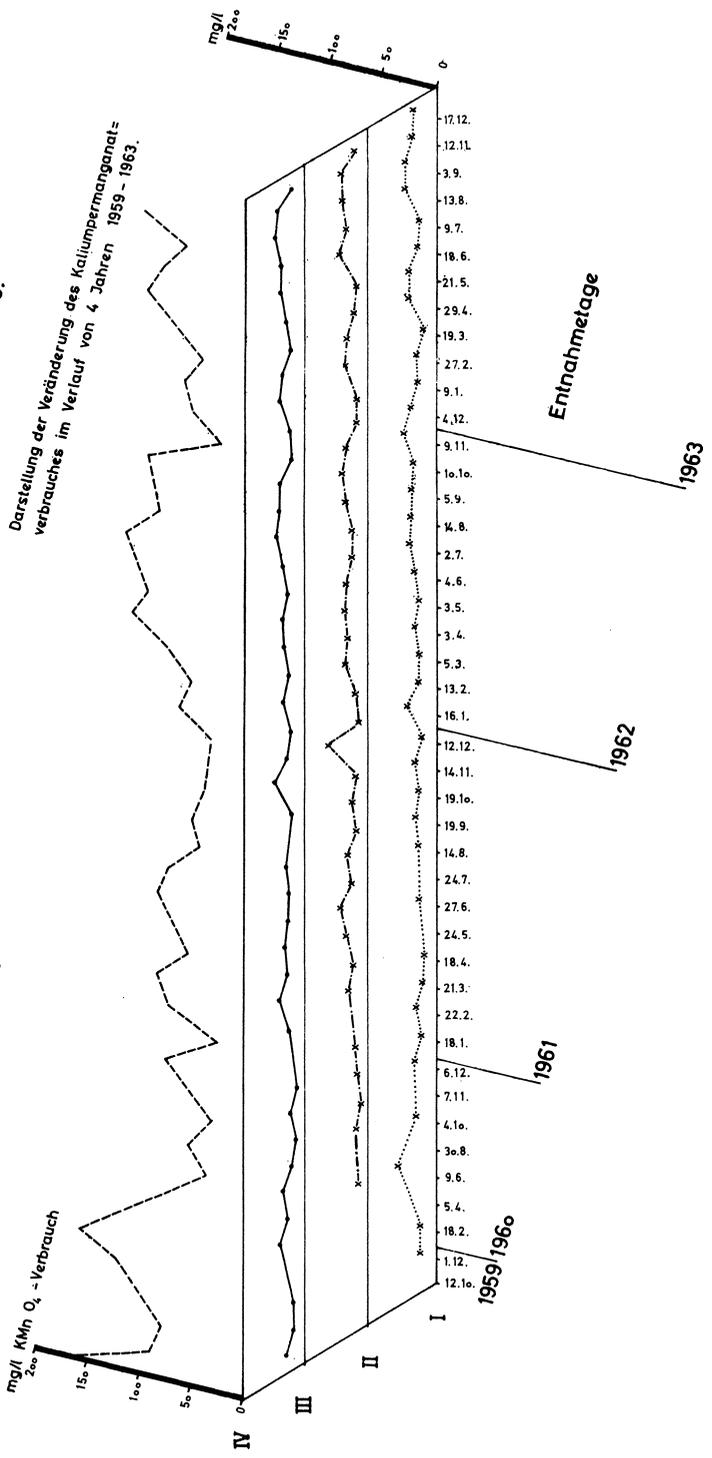


Abb. 23

MAINWASSER - UNTERSUCHUNG
der Wasserwerke Würzburg

Datum	pH	KH °dH	GH °dH	Cl mg/l	NH ₃ mg/l	N ₂ O ₅ mg/l	KMnO ₄ mg/l	O ₂ mg/l	Temp. °C
<i>1956</i>									
26. 9.	7,7	11,9	16,8	27,0	S	15,0	15,2		
16. 10.	7,6	11,9	16,0	23,0			17,8		
15. 11.	7,6	11,1	17,3	20,0	S	12,0	15,2		
19. 12.	7,55	8,8	14,0	18,0	S	15,0	17,05		
<i>1957</i>									
18. 1.	7,65	10,6	17,3	20,6	S	16,0	17,2		
15. 2.	7,78	9,1	15,4	16,4	S	14,0	16,41		7,0
15. 3.	7,82	10,5	17,6	20,0	S	16,0	15,2		9,0
23. 4.	7,92	11,6	18,5	21,4	S	19,0	16,3	13,8	11,2
17. 5.	8,08	12,3	19,9	24,8	S	20,0	19,1	17,4	15,5
7. 6.	8,25	12,7	20,0	25,5	S	14,0	21,4	16,6	17,5
16. 7.	7,69	13,6	20,6	29,8	S	14,0	21,2		21,0
14. 8.	6,95	15,8	28,8	30,4	S	36,0	4,4		12,2
6. 9.	7,64	10,5	16,2	23,4		12,0	18,9		16,1
22. 10.	7,56	11,6	18,5	23,0	S	14,0	17,4	6,95	11,5
22. 11.	7,35	12,2	18,5	27,0	S	17,0	16,3	6,92	5,2
18. 12.	7,41	9,7	15,4	19,8	S	11,0	18,6	10,35	2,6
<i>1958</i>									
21. 1.	7,61	9,7	15,4	19,9	S	19,0	17,8	12,62	2,8
10. 2.	7,79	9,9	16,8	21,5	S	16,0	22,8	11,59	2,5
5. 3.		8,9	15,9	14,2	S	16,0	11,4		4,1
25. 4.	7,62	9,9	15,9	19,5	S	14,0	15,0		9,2
14. 5.	7,59	9,2	16,8	19,8	S	12,0	21,4	7,68	16,8
20. 6.	8,00	12,4	17,9	18,7	S	12,0	18,4		19,9
4. 7.	7,63	8,8	14,3	15,6	S	11,0	41,1		
14. 8.	7,80	12,3	19,3	24,8	S	17,0	22,7		19,9
24. 9.	7,61	12,7	19,8	25,8	S	18,0	18,0		18,1
30. 10.	7,60	9,9	15,5	17,0	S	10,0	18,0	8,7	10,0
27. 11.	7,42	12,3	19,6	26,0	S	16,0	15,5	6,2	11,8
22. 12.	7,62	8,4	15,1	20,0	S	15,0	18,3	7,8	8,1

Datum	pH	KH °dH	GH °dH	Cl mg/l	NH ₃ mg/l	N ₂ O ₅ mg/l	KMnO ₄ mg/l	O ₂ mg/l	Temp. °C
<i>1959</i>									
22. 1.	7,6	10,9	16,8	19,8	S	16,0	12,2	11,3	2,5
19. 2.	7,65	12,2	19,0	22,6	S	18,0	11,2	10,3	3,8
12. 3.	7,65	9,9	15,9	19,8	S	15,0	15,5		6,9
18. 6.	8,3	12,3	18,6	29,0	S	13,0	32,8		19,1
5. 8.	7,9	13,0	19,2	30,4	S	9,0	26,8	9,16	20,0
2. 9.	7,60	11,7	18,9	27,4	S	16,0	19,9	9,63	20,4
12. 11.	7,33	11,5	19,7	28,0	S	18,0	21,3	5,33	8,0
15. 12.	7,50	12,7	19,7	30,4	S	19,0	15,8	5,57	4,2

1960

18. 1.	7,45	9,2	15,6	20,9	S	20,0	14,5	10,28	4,0
18. 2.	7,49	8,3	15,2	20,4	S	20,0	18,6	10,61	2,2
21. 3.	7,50	9,4	16,2	21,9	S	18,0	17,7	8,43	7,0
25. 4.	8,50	10,9	19,4	24,1	S	17,0	26,8	14,92	12,0
23. 5.	7,50	9,5	17,0	26,6	S	17,0	20,8	4,54	19,5
27. 6.	7,75	12,3	18,5	31,8	S	15,0	27,2	8,72	23,6
20. 7.	7,50	12,6	19,6	33,3	S	15,0	23,8	4,45	19,7
18. 8.	7,60	11,6	18,2	29,0	S	17,0	22,9	5,32	19,5
21. 9.	7,70	12,05	18,6	31,2	S	18,0	16,1	4,52	17,2
18. 10.	7,50	7,0	13,3	18,4	S	19,0	21,8	9,72	9,1
17. 11.	7,45	8,6	14,5	20,5	S	17,0	18,2	7,96	8,0
15. 12.	7,51	8,4	14,4	18,4	S	16,0	17,1	11,20	4,5

(S = Spuren)

1961

17. 1.	7,38	9,1	15,8	19,8	S	19,0	16,1	9,52	2,3
21. 2.	8,03	8,7	14,4	17,7	S	15,0	11,7	11,62	6,1
15. 3.	7,50	9,8	17,3	23,2	S	17,0	19,8	8,50	8,9
10. 4.	7,40	8,4	13,3	19,1	S	18,0	13,8	8,35	12,8
16. 5.	7,59	8,0	14,2	16,3	S	20,0	18,3	7,76	13,1
15. 6.	7,53	8,4	14,0	18,4	S	19,0	22,3	8,02	16,0
18. 7.	7,65	12,0	20,4	26,6	S	22,0	17,2	5,48	18,3
17. 8.	7,67	12,1	19,4	26,6	S	16,0	18,3	7,07	18,4
14. 9.	7,53	12,6	19,9	24,4	S	20,6	12,3	5,70	18,4
17. 10.	7,42	12,7	21,8	29,2	1,5	18,0	12,3	4,50	14,1
21. 11.	7,70	12,0	20,8	25,3	1,4	19,0	19,1	8,50	6,3
21. 12.	7,50	8,7	15,4	16,4	1,8	21,0	24,8	12,33	1,8

Datum	pH	KH °dH	GH °dH	Cl mg/l	NH ₃ mg/l	N ₂ O ₅ mg/l	KMnO ₄ mg/l	O ₂ mg/l	Temp. °C
<i>1962</i>									
17. 1.	7,60	8,1	15,7	17,1	3,1	18,5	34,1	12,0	3,0
14. 2.	7,51	9,4	16,2	18,9	1,8	16,0	25,7	11,6	4,0
14. 3.	7,72	10,1	17,3	18,7	1,6	15,0	20,2	11,75	4,5
26. 4.	7,60	9,2	16,5	17,4	0,3	15,9	17,7	11,68	13,1
23. 5.	7,84	10,9	20,1	21,0	0,6	15,5	22,1	9,11	13,8
20. 6.	7,81	11,0	18,5	21,2	0,7	17,0	21,5	9,81	20,0
16. 7.	7,57	12,0	19,7	24,0	0,8	13,0	15,8	7,18	18,1
17. 8.	7,91	11,8	19,0	25,0	0,7	11,5	24,9	9,52	21,2
19. 9.	7,22	11,9	20,4	28,4	0,2	12,0	16,4	6,46	16,5
17. 10.	7,50	12,7	21,0	33,0	0,7	14,5	20,9	5,75	13,0
21. 12.	7,70	10,4	17,6	26,9	3,1	21,0	19,9		2,5

1963

24. 1.	7,18	14,0	23,0	32,0	3,0	11,5	10,4	4,24	3,4
20. 2.	7,35	13,9	21,8	33,6	3,0	13,5	13,7	3,34	1,1
18. 3.	7,51	6,4	10,8	18,1	1,8	15,0	27,4	11,71	3,0
17. 4.	7,45	7,0	12,9	16,5	0,9	13,1	22,4	8,79	10,0
16. 5.	7,91	11,3	20,2	23,5	0,3	12,5	18,3	7,56	15,0
18. 6.	7,48	10,5	16,9	25,5	2,7	11,5	20,2	2,48	18,8
18. 7.	7,62	10,1	17,4	23,2	0,7	9,0	24,6	6,66	22,5
20. 8.	7,58	11,8	19,4	31,9	0,5	11,0	22,8	5,28	18,8
19. 9.	7,80	10,4	17,6	29,1	0,5	11,5	25,6	8,72	19,0
17. 10.	7,41	10,2	18,5	28,4	1,3	12,8	17,1	4,10	11,6
15. 11.	7,42	12,6	19,9	33,0	3,5	12,2	19,0	4,16	9,9
17. 12.	7,30	11,7	21,3	30,5	3,6	13,4	14,2	6,77	1,6

Datum	pH	KH °dH	GH °dH	Cl mg/l	NH ₃ mg/l	N ₂ O ₅ mg/l	KMnO ₄ mg/l	O ₂ mg/l	Temp. °C
<i>1964</i>									
16. 1.	7,40	12,7	22,4	31,6	4,4	11,5	12,9	5,62	0,8
13. 2.	7,49	9,2	15,4	27,0	3,2	13,7	22,1	8,01	2,2
18. 3.	7,48	12,5	19,6	31,6	4,1	12,7	16,4	8,44	2,4
16. 4.	7,82	9,7	17,1	27,7	1,2	13,5	21,2	9,61	9,9
13. 5.	7,90	9,9	17,9	28,3	0,9	11,8	28,2	8,83	18,2
16. 6.	7,60	11,6	21,0	33,6	1,9	8,6	22,3	3,62	23,1
14. 7.	8,00	12,4	21,0	39,0	0,4	10,0	24,7	6,45	21,0
19. 8.	7,78	12,0	20,4	41,8	0,3	12,2	18,6	5,94	20,2
1. 9.	7,61	12,7	19,9	38,6	0,3	12,3	20,2	5,56	20,1
14. 10.	7,55	12,5	19,9	42,8	2,3	12,3	17,0	4,60	12,9
18. 11.	7,59	13,2	20,7	39,0	< 4,0	10,0	24,0	4,29	8,8
11. 12.	7,68	10,2	18,4	32,0	1,8	11,5	18,3	5,32	5,9

1965

20. 1.	7,50	7,0	14,5	22,3	2,0	15,8	28,1	10,06	4,0
17. 2.	7,32	9,7	18,3	31,9	2,0	17,6	15,8	7,11	1,3
16. 3.	7,48	11,1	20,2	38,2	3,3	15,2	14,5	6,95	5,0
21. 4.	7,32	6,9	14,0	18,4	0,3	13,5	15,5	10,28	9,2
17. 5.	7,67	9,0	16,8	21,9	0,2	15,5	12,9	5,73	15,8
21. 6.	7,70	10,4	18,5	23,3	0,2	14,5	18,3	7,48	17,3
22. 7.	7,64	9,5	20,0	27,1	0,2	18,5	20,3	6,02	20,6
17. 8.	7,40	11,8	20,2	26,9	0,3	14,0	14,9	6,97	20,5
21. 9.	7,42	11,8	22,4	22,0	0,4	16,0	17,1	6,08	14,8
25. 10.	7,19	12,6	22,4	34,7	0,9	19,0	26,0	7,96	9,0
22. 11.	7,40	11,5	19,6	29,0	2,0	18,0	19,3	8,59	6,8
20. 12.	7,25	7,8	14,0	17,7	0,5	15,0	22,1	8,02	5,7

1966

17. 1.	7,35	11,5	20,7	21,3	1,0	19,8	13,3	11,74	1,5
14. 2.	7,40	6,7	14,8	14,9	0,6	14,5	21,8	11,64	5,2
15. 3.	7,45	10,9	19,6	19,8	0,6	17,0	9,8	9,60	5,8
19. 4.	7,48	9,0	16,8	19,1	0,6	23,8	18,6	10,30	6,5
16. 5.	7,50	10,9	18,5	21,9	0,3	19,8	18,3	7,90	17,7
13. 6.	7,65	12,6	20,2	26,6	0,4	22,0	17,4	6,80	24,0

4. 2. 2. e) Gewässergütemeßreihen:

Untersuchungen der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken, Würzburg, vom Jahre 1963 bis 1966 (Abb. 24, 25, 26, 27)

Wie schon unter Ziffer 4.2. bei dem Hinweis auf die Darstellung der Untersuchungsergebnisse, sei noch einmal darauf hingewiesen, daß hier vor einer gesonderten Veröffentlichung bereits ein Teil der Untersuchungsergebnisse der neuen Gütemeßreihenuntersuchungen dargestellt wird, soweit diese für die vorliegenden Betrachtungen zweckdienlich erschienen sind. Im Gegensatz zu den Ganglinienuntersuchungen in den Jahren 1960/62 wurde, beginnend mit Juni 1963, das Untersuchungsnetz dieser Gütemeßreihen wesentlich verdichtet. So sind jetzt am Main von Hallstadt bis nach Kahl/Großkrotzenburg nicht nur drei, sondern zehn Meßstellen vorhanden. Diese neuen Meßstellen sind mit den drei älteren Entnahmestellen von 1960 bis 1962 nicht identisch. Die ältere Meßstelle bei Kahl könnte etwa mit der neu festgelegten Meßstelle in Großkrotzenburg verglichen werden. Die anderen beiden älteren Meßstellen oberhalb Schweinfurt und bei Gemünden wurden deshalb nicht mehr beibehalten, weil es sich bei diesen Stellen um Flußstrecken handelt, die am Ende einer vorher bestehenden Belastungszone liegen und daher weitgehend ausgeglichene Verhältnisse zeigen. Außerdem waren diese Meßstellen viel zu weit von den Belastungsstrecken entfernt, als daß anhand der dort gefundenen Untersuchungsergebnisse gewisse Rückschlüsse auf die Reinigungsmaßnahmen oder auf stärkere Belastungen hätten gezogen werden können. Die jetzt vorliegenden Meßstellen sind so gelegt, daß sie jeweils zwar nicht gleich unterhalb der Abwassereinleitungsschwerpunkte, aber im Bereich der Wirkung dieser Abwassereinleitungen liegen. Damit können an diesen Meßstellen Veränderungen festgestellt werden, die sich aus der Änderung der Abwasserlast ergeben. Derartige Stellen, die unter diesem Gesichtspunkt in die engere Wahl des Standortes einer Meßstelle gezogen wurden, fanden sich in folgenden Gewässerstrecken: Viereth, Knetzgau, Garstadt (unterhalb Schweinfurt), Marktbreit (unterhalb der Belastungsstelle Kitzingen), Erlabrunn (unterhalb der Belastungsstrecke Würzburg), Rothenfels (eine unbelastete Meßstelle zum Vergleich), Kleinheubach (unterhalb des Belastungspunktes Miltenberg), Kleinostheim (unterhalb Aschaffenburg und Stockstadt) und Kahl/Großkrotzenburg (eine Meßstelle, die in größerem Abstand unter dem schwersten Belastungspunkt Aschaffenburg liegt. Sie wurde ausgewählt, um die Fernwirkung laufend feststellen zu können).

Aus den Untersuchungsergebnissen wurde von den verschiedenen chemischen Faktoren vorerst nur der Sauerstoffgehalt zur Darstellung herangezogen. Dabei sind die Sauerstoffganglinien jeweils eines ganzen Jahres vom Juni 1963 bis Oktober 1965 dargestellt und die einzelnen Gütemeßstellen in ihrer tatsächlichen Folge am Main untereinandergesetzt.

Aus der Darstellung ist interessanterweise zu entnehmen, daß im Stau Viereth, der bisher als ein Stau im Bereich der Selbstreinigung der Belastungszone Bamberg und Nürnberg angesehen wurde und in dem man mit erhöhter Sauerstoffproduktion durch die pflanzlichen Mikroorganismen rechnen mußte, in diesen trockenen Perioden ein Absinken des Sauerstoffgehaltes eintrat, wobei der Tiefstand im September 1964 erreicht wurde. Im Stau Knetzgau verhält sich die Sauerstofflinie ganz anders und läßt verschiedentlich die Tätigkeit der Mikroorganismen erkennen, vor allem in den zeitigen Frühjahrsmonaten, wie im Februar und März. Im Sommer und Herbst des Jahres 1964 lagen in diesem Stau die Sauerstoffwerte jedoch auch sehr niedrig.

Einen ähnlichen Kurvenlauf wie in Knetzgau zeigte auch die Sauerstoffganglinie im Stau Garstadt. Hier ist zu erkennen, daß wahrscheinlich, bedingt durch die erhöhten Reinigungsbemühungen im Schweinfurter Raum, die Abwasserbelastung des Staus Garstadt nicht mehr so groß sein konnte wie es früher der Fall war. Die dortige Sauerstoffganglinie zeigte im Verhältnis zu den oberhalb liegenden Stauen, in die ja keine bedeutenden Abwasserbelastungsstellen einmündeten und die nur der Fernwirkung des Raumes Nürnberg und Bamberg unterlagen, keine wesentlichen Verschlechterungen des Sauerstoffgehaltes. Dies, obzwar man den Stauraum Garstadt doch als biologisches Nachklärbecken der Abwässer von Schweinfurt ansehen muß, in dem erhöhte Zehrungsvorgänge ablaufen dürften. Trotzdem sind die Sauerstoffwerte nicht wesentlich niedriger als in Viereth und in Knetzgau. An dieser Meßstelle hat sich im Juli/August auch deutlich eine Tendenz zur Algenblüte gezeigt, die aber nicht zu einer Übersättigung führte. In Marktbreit, an der nächsten Meßstelle lagen die Verhältnisse dann schon anders, obwohl interessanterweise die Sauerstoffganglinie fast den gleichen Charakter wie in Knetzgau und Garstadt aufweist. Dabei waren allerdings die Differenzen vom Minimum zum Maximum wesentlich größer. Zweimal im Untersuchungszeitraum, und zwar im Juli 1963 und im März/April 1964 fand man eine eindeutige Übersättigung, die auf die Tätigkeit des Phytoplanktons zurückzuführen war. Nicht ganz eindeutig ist hier der Einfluß der Belastung aus dem Raum Kitzingen zu erkennen, da ansonsten dort wesentlich höhere Zehrungen zu erwarten gewesen wären. Die Sauerstoffganglinie läßt aber vermuten, daß auch in den Zeiten, in denen der Sauerstoffgehalt unter der Sättigungslinie liegt, gewisse Tendenzen zu Sauerstoffanreicherungen durch die Assimilation gegeben sind und damit evtl. erkennbare Reaktionen der in diesem Stauraum herrschenden verstärkten Zehrung verwischen.

Der Stauraum Erlabrunn, in dem die nächste Meßstelle liegt, zeigte wesentliche Abweichungen von den vorherigen Ganglinien.

Interessant ist auch die Sauerstoffganglinie an der nächsten Meßstelle in Rothenfels. Diese Gewässerstrecke kann mit Ausnahme kleinräumiger Be-

lastungen, wie unterhalb Lohr oder unterhalb Marktheidenfeld, als relativ wenig belastet angesehen werden, zumal hier auch eine durch den Einfluß der Saale und Sinn bedingte höhere Wasserführung herrscht. Es sei darauf hingewiesen, daß die Fränkische Saale und die Sinn als mäßig belastete Nebengewässer in den Main einmünden. Sind daher die anderen Meßstellen als Belastungsmeßstellen anzusehen, so kann man bei Rothenfels nicht davon sprechen. Trotzdem ist an dieser Meßstelle eine Fernwirkung der vorher bestehenden Abwasserbelastung erkennbar, da sich in diesem Raum die Algenblüten durch die zeitweilig sehr stark eintretende Übersättigung besonders erkennbar gemacht haben. Dabei lagen diese Übersättigungszeiten, beginnend mit März 1964, fast über den ganzen Sommer hin verteilt und zeigten ein Maximum im Juli. Im Januar und Februar ist trotz des höheren Sättigungswertes kein höherer Sauerstoffgehalt zu erkennen. Es könnte daher mit aller Vorsicht daraus geschlossen werden, daß die Sauerstoffwerte, die sich im Dezember und Januar hier einstellten, eine für diese Meßstelle typische Sauerstoffkonzentration anzeigen und hier den Einfluß der Zehrung der im Winter noch vorhandenen Abwasserinhaltsstoffe erkennen lassen.

Die nächste Gütemeßstelle in Kleinheubach liegt ebenfalls wieder in dem bisher als nur mäßig belastet angesehenen Flußabschnitt von Gemünden bis Obernburg. Trotzdem sind hier und fast noch stärker als in Rothenfels Algenblütentätigkeiten zu beobachten, die zu Übersättigungen geführt haben. Im Gegensatz zu den anderen Meßstellen, mit Ausnahme der Meßstelle Marktbreit, war hier auch im August und September 1963 eine Algenblüte zu erkennen. Im Jahre 1964 trat dann schon ab Februar eine sehr starke Sauerstoffproduktion ein, die fast für den ganzen Sommer Sauerstoffübersättigungen brachte und erst im September zu normalen Verhältnissen führte. Im September bis Anfang Oktober fällt die Sauerstoffganglinie praktisch mit der Sättigungslinie zusammen.

Die Sauerstoffganglinie an der Meßstelle in Kleinostheim gibt uns weitere Probleme auf. Abgesehen davon, daß im Spätsommer und Herbst des Jahres 1963, der dort herrschenden schweren Belastung entsprechend, sehr niedrige Sauerstoffwerte gefunden wurden, war im Frühjahr 1964 eine Tendenz zur Algenblüte zu beobachten, die sich durch eine Übersättigung im Monat April deutlich kenntlich machte. In diesem Zusammenhang war es bedauerlich, daß aus technischen Gründen ab Mai 1964 die Meßstelle in Kleinostheim nicht mehr überprüft werden konnte. An der Meßstelle in Großkrotzenburg zeigte sich erstaunlicherweise ein ähnliches Verhalten wie in Kleinostheim. Auch in Großkrotzenburg waren im Spätsommer und Herbst 1963 die charakteristischen tiefen Sauerstoffwerte zu erkennen und der winterlich bedingte Anstieg des Sauerstoffgehaltes. Ab Januar/Februar jedoch äußerte sich die gleiche Tendenz wie in Kleinostheim, was im März und April 1964 bereits zu einer Übersättigung führte. Auch im Stau Groß-

Gewässergütepegel Main - Sauerstoffganglinien

Meßreihen Juni 1963 bis Oktober 1964

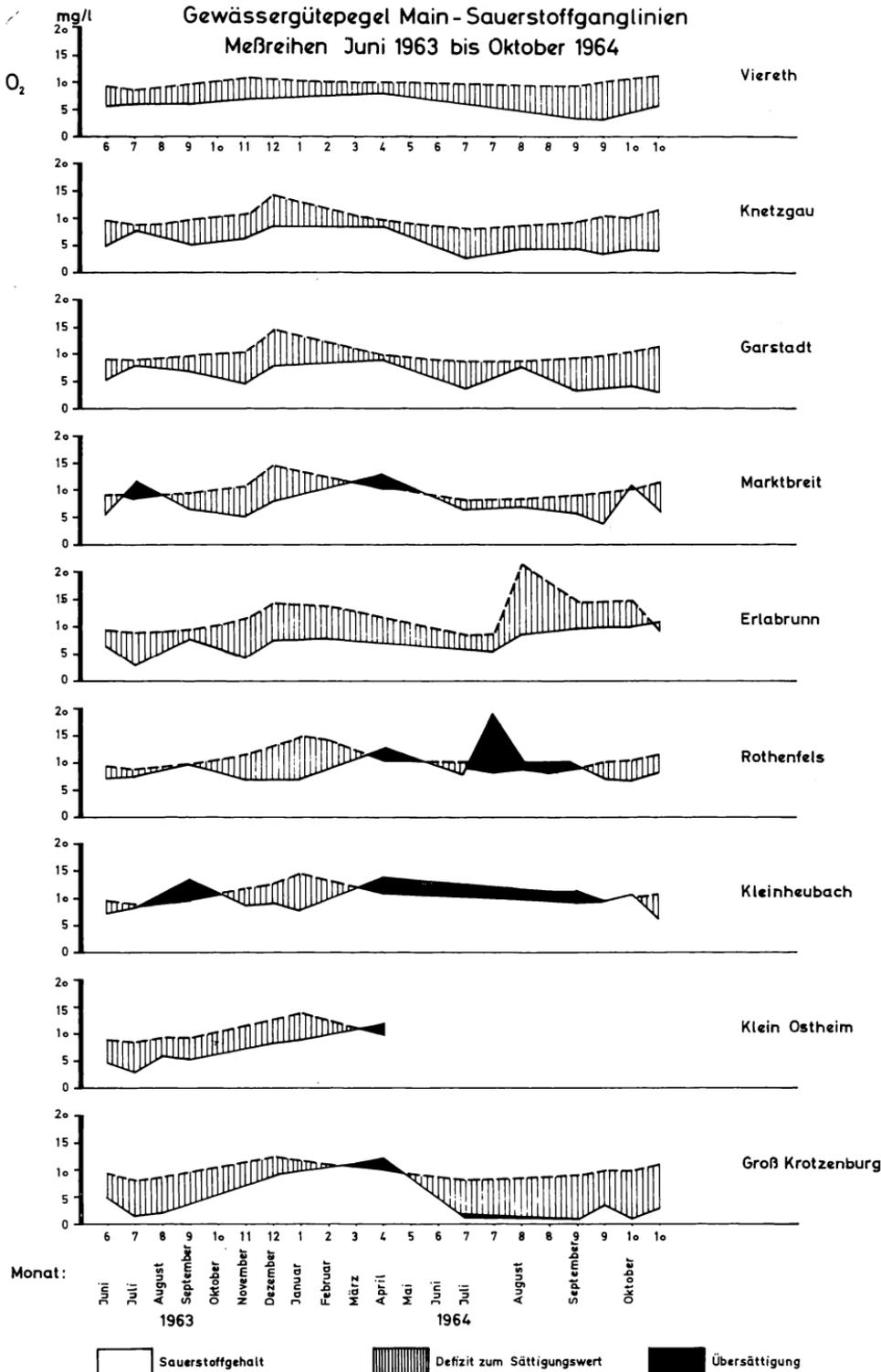
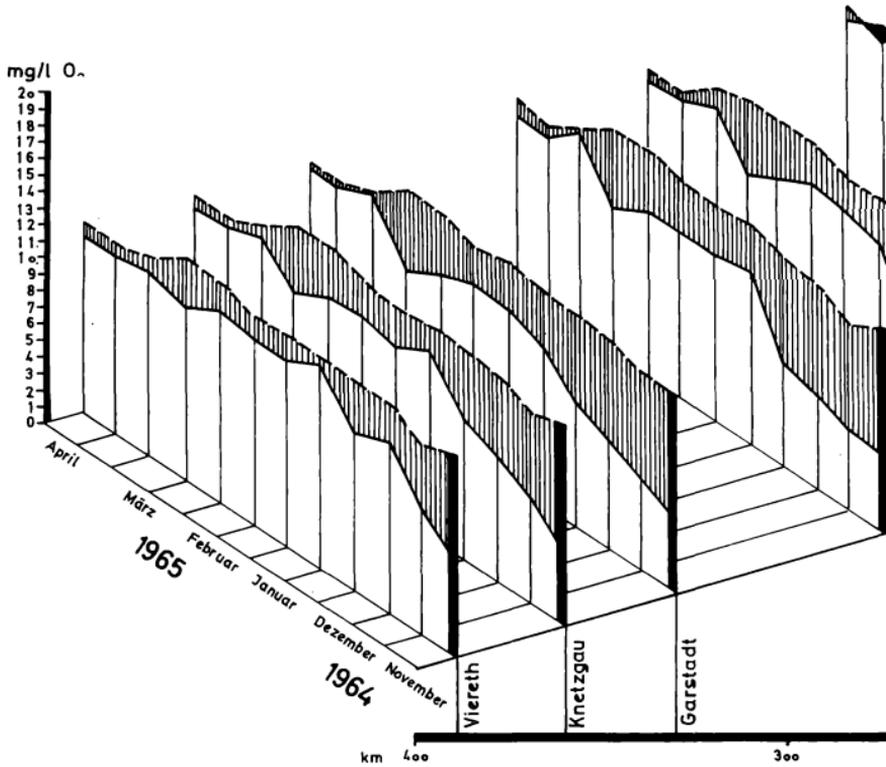
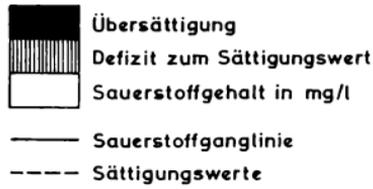


Abb. 24

krotzenburg zeigte sich damit eine bisher dort nicht erwartete Algenblüte. Die eigentliche Ursache dieses interessanten Erscheinungsbildes kann jedoch anhand dieser Diagramme noch nicht geklärt werden, und muß daher einer speziellen Auswertung vorbehalten bleiben. Mit Beginn der warmen Witterung im Juli 1964 war dann wiederum das Absinken des Sauerstoffgehaltes deutlich zu beobachten, was im Sommer 1964 zu extrem niederen Sauerstoffwerten um 1 mg/l geführt hat.

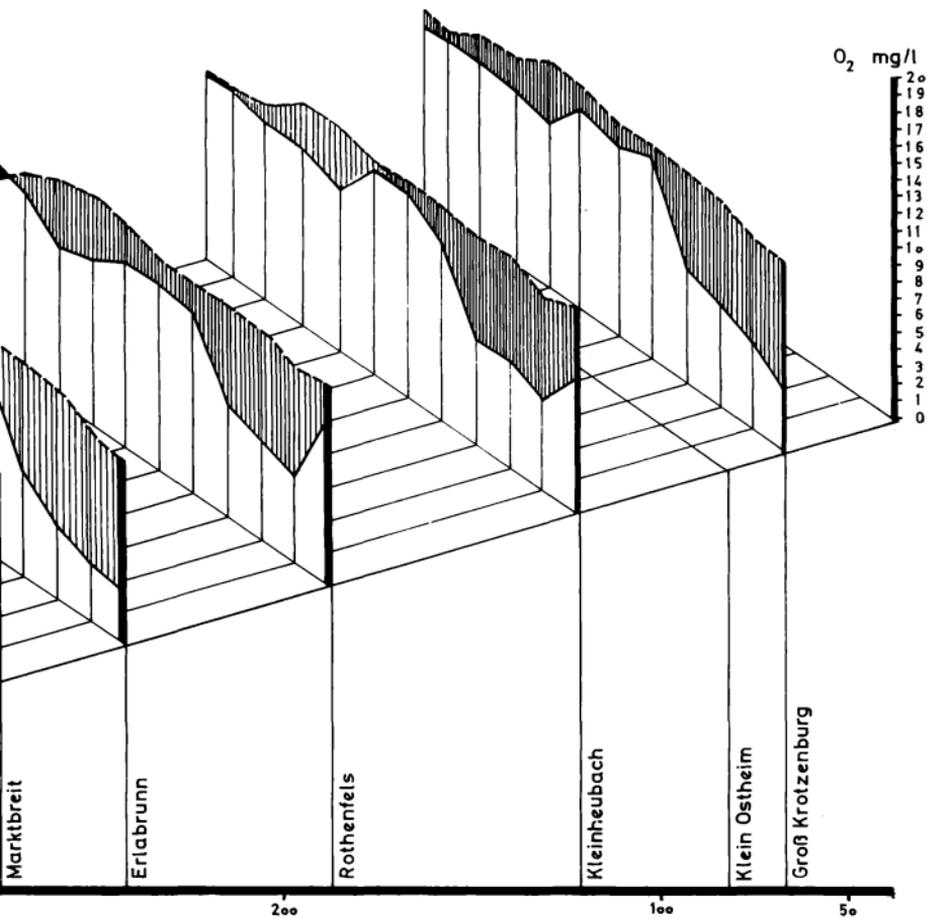
Mit dem nun folgenden drei fortlaufenden Darstellungen (Abb. 25, 26, 27) der Sauerstoffganglinie an den Gewässergütemeßstellen im Main, im Anschluß an die vorherige Darstellung der übereinander angeordneten Meßstellen wurde, beginnend mit November 1964 bis zum April 1966, versucht, die Sauerstoffganglinien an den einzelnen Meßstellen etwas anschaulicher auf die gesamte Mainstrecke zu projizieren. Mit dem Herbst 1964 begann die Witterung umzuschlagen. Auf die trockenen Jahre 1963/64 folgten zwei sehr regennasse Jahre mit wesentlich höheren Wasserführungen. Trotz dieser Tatsache ist aus den Diagrammen der Sauerstoffganglinien ein Jahresgang des Sauerstoffs zu erkennen, der von einem herbstlichen Tiefstand über die winterlichen höheren Konzentrationen zum sommerlichen Absinken oder zu Übersättigungen durch Algenblüten führte. Die physikalisch bedingte, ideale Sauerstoffganglinie würde auf jeden Fall eine Sinuskurve mit einem winterlichen Höchststand und dem spätsommerlichen Tiefstand ergeben. Diesen Grundcharakter der Sauerstoffganglinien zeigen auch die gefundenen Werte. Er wird aber dennoch trotz der erhöhten Wasserführungen und der damit bedingten geringeren Belastungen sowie trotz der geringen Sonnenscheindauer während dieser beiden nassen Jahre dadurch verwischt, da allenthalben aus den Kurven die Tendenz zu Algenblüten zu erkennen ist. Im Stau Rothenfels zeigte sich wiederum im März 1965 der erste Ansatz einer Übersättigung. Diese Übersättigung bzw. die Tätigkeit der Mikroorganismen zog sich bis Ende Juni 1965 hin und erst im August und September sank der Sauerstoffgehalt unter den Sättigungswert. Die oberhalb liegende Meßstelle in Erlabrunn hatte bei dieser Untersuchung interessanterweise auch im Mai und Juni 1965 eine eindeutige Übersättigung gezeigt. Diese hier gefundene Übersättigung ebenso wie die kleinen Übersättigungsspitzen im Frühjahr 1966 im Stauraum Garstadt und Marktbreit, entstanden wohl dadurch, daß durch die hohe Wasserführung eine entsprechende Verdünnung und damit eine verstärkt ablaufende Selbstreinigung in den sehr stark belasteten Gewässerabschnitten gegeben war, so daß es hier nicht zu offenkundig werdenden Zehrungen gekommen ist. Das Phytoplankton fand gute Wachstumsverhältnisse vor. Das gleiche gilt auch für die Meßstelle Großkrotzenburg und Kleinostheim, die ebenfalls im Frühjahr 1966 verschiedentlich Übersättigungen aufwiesen. Die Meßstelle in Kleinheubach hat sich bei dieser ersten Auswertung als der Stauraum mit der stärksten Tendenz zur Algenblütenbildung dargestellt.

Abb. 25



Winterhalbjahr 1964/65

Sauerstoffganglinien



Gewässergütepegel Main – Sommerhalbjahr 1965
Sauerstoffganglinien

- Übersättigung
- Defizit zum Sättigungswert
- Sauerstoffgehalt in mg/l
- Sauerstoffganglinie
- Sättigungswerte

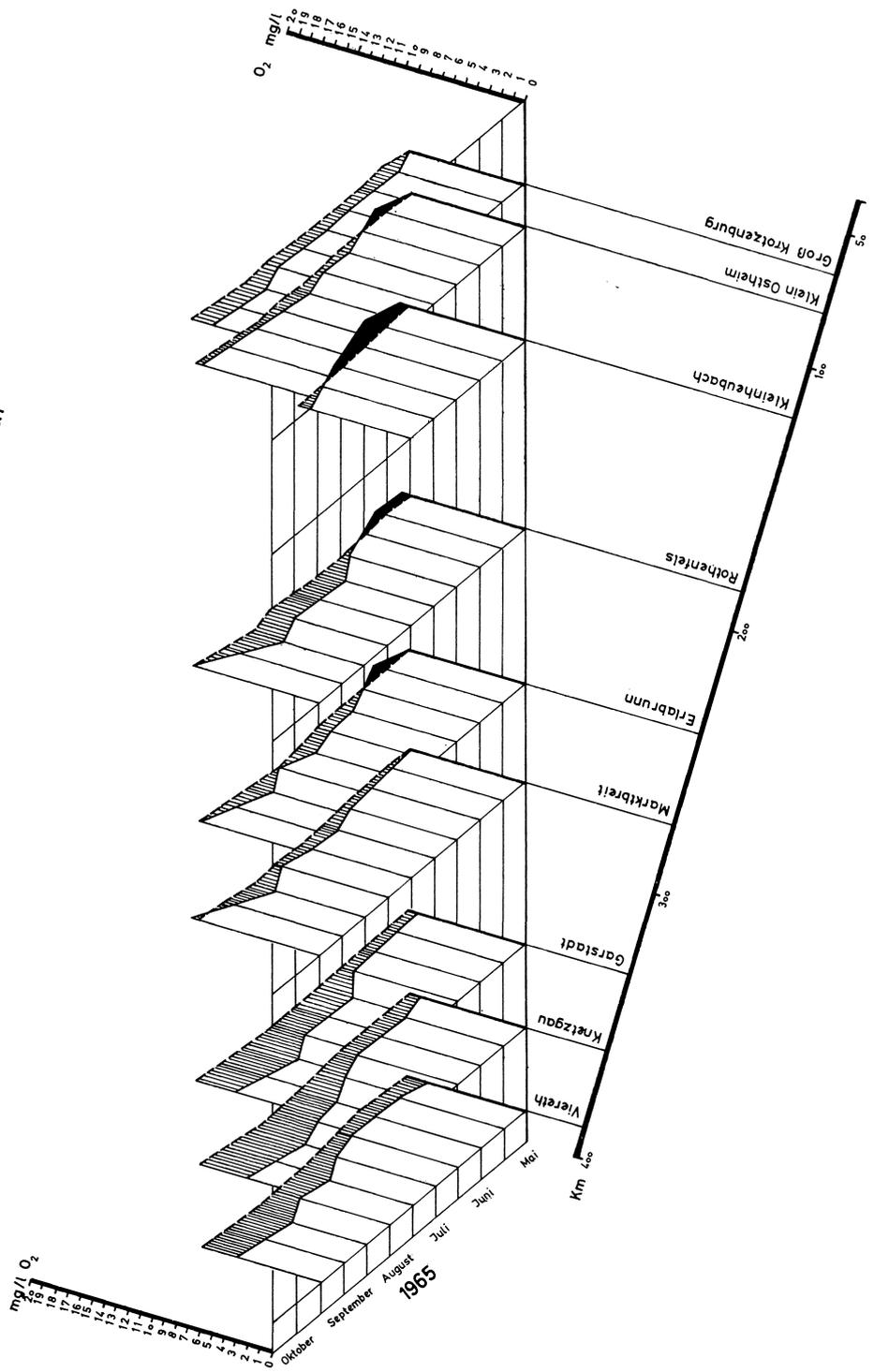
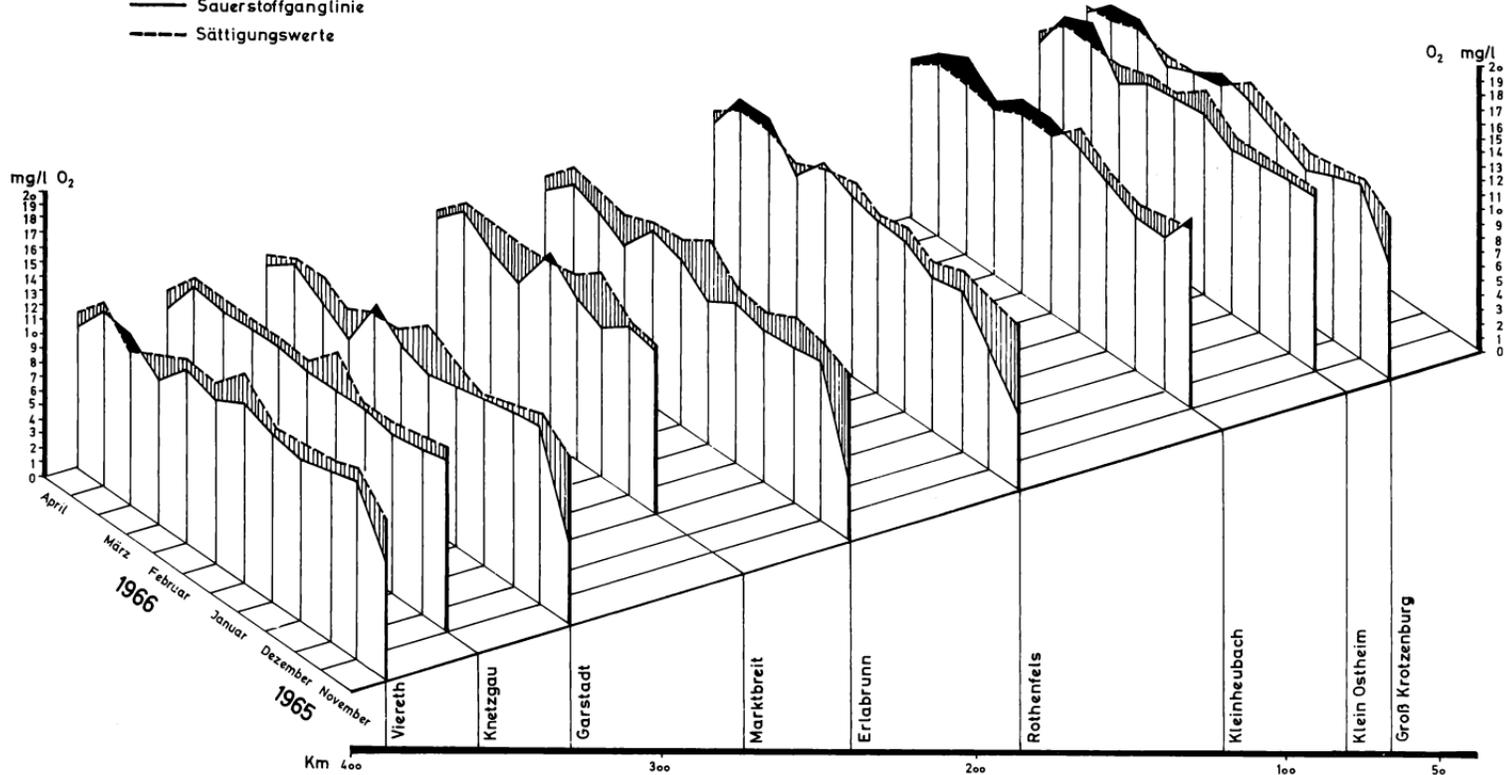


Abb. 26

Gewässergütepegel Main - Winterhalbjahr 1965/66

Sauerstoffganglinien

-  Übersättigung
-  Defizit zum Sättigungswert
-  Sauerstoffgehalt in mg/l
-  Sauerstoffganglinie
-  Sättigungswerte



5. Die Besprechung der Untersuchungsergebnisse

In den vorstehenden Auswertungen und Darstellungen ist in vielen Fällen die gesamte schiffbare Mainstrecke von Bamberg bis zur Mündung in den Rhein erfaßt. Bei der jetzt anschließenden Besprechung wird aber nur gemäß dem Dienstbereich der Gewässergüteaufsicht der Regierung von Unterfranken der Abschnitt von Hallstadt/Bamberg bis Kahl/Großkrotzenburg behandelt.

Betrachtet man die vorliegenden Untersuchungsergebnisse der einzelnen Untersuchungsteams, so erkennt man hinsichtlich der Gewässergüte übereinstimmend eine großräumige Gliederung des Mainlaufes, des schiffbaren Mains auf unterfränkischem Gebiet, die sich im Laufe der Jahre nicht wesentlich verschoben hat. Die Untersuchungsdiagramme zeigen, beginnend am Oberlauf im Raum Hallstadt/Bamberg, als erstes eine Belastungsstrecke größeren Umfangs, die mit der Einmündung der Regnitz in den Main beginnt und sich etwa bis Limbach hinzieht. Unterhalb davon schließt dann wieder eine Flußstrecke an, die ein günstigeres Gewässergütebild zeigt. Erst ab Schweinfurt ist eine erneute Belastungszone im Main bis Wipfeld zu erkennen, die sich etwas weiter flußabwärts ausdehnt und auch weiterhin einige Spätfolgen zeigt. Unterhalb dieser Belastungsstrecke tritt wieder eine gewisse Erholung ein, die einer erneuten Verschlechterung unterhalb der Stadt Kitzingen weicht. Von Kitzingen abwärts wechseln mehrfach die Belastungsstrecken und Erholungsstrecken einander ab, da unterhalb Kitzingen in engerem Abstand neben den häuslichen Abwässern auch ein abwasserintensiver Betrieb, die Zuckerfabrik Ochsenfurt, zur Kampagne den Main stärker belastet. Die Zeit der Kampagne fällt in die Herbstmonate September—November/Dezember und damit in die kritische Niederwasserzeit im September/Okttober. Der Main erreicht anschließend den Raum Würzburg als schwach belasteter Fluß. Diese günstigen Verhältnisse werden ab Würzburg durch eine erneute Belastungsstrecke abgelöst, die etwa bis Himmelstadt/Harrbach reicht. Darauf folgt dann wieder eine Zone der geringeren Belastung, die sich verhältnismäßig weit ausdehnt und fast über 100 km bis Obernburg reicht. Die in dieser Strecke vorhandenen Belastungen haben nur kleinräumige, Bedeutung. In Obernburg löst wiederum eine neue Belastung die vorher relativ gute Gewässergüte ab. Diese Belastung ist nun allerdings etwas anders zu bewerten, als die vorherigen Abwasserbelastungen, da es sich hier weniger um organisch-fäulnisfähige Substanzen handelt, als vielmehr um teilweise toxisch wirkende Einflüsse. Die Ausdehnung dieser Schadstrecke unterhalb Obernburg reicht so weit, daß ihre Spätfolgen noch bei Aschaffenburg festgestellt werden können. Ab Aschaffenburg erhält der Main seine schwerste Belastung. Der Flußabschnitt unterhalb Aschaffenburg muß auch weiterhin als sehr stark belastet bezeichnet werden.

5. 1. Vergleich der biologischen Untersuchungen am Main

Die Darstellungen der biologischen Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit wurden in verschiedenen Auswertungsmethoden an die Ausarbeitungen der einzelnen Untersuchungsteams angelehnt. Sie erscheinen daher als Gütebild, als biologischer Gütelängsschnitt, als relative Belastung, als biologische Gütelinie oder als biologisch wirksame Belastung. Es ist daher eine gewisse Schwierigkeit gegeben, diese Untersuchungsergebnisse miteinander zu vergleichen und daraus Schlüsse über die Veränderung der Gewässergüte im Main ziehen zu wollen. Trotzdem soll der Versuch einer vergleichenden Betrachtung nicht unterlassen werden. Aus den Darstellungen des Gütebildes des Gewässers von 1949—1952 lassen sich die eingangs schon erwähnten Belastungsstellen bzw. Belastungsstrecken, vor allem die Hauptbelastungspunkte wie Viereth, Schweinfurt, Marktbreit, Würzburg, Obernburg und Aschaffenburg deutlich erkennen. Auch der Unterschied in der Größenordnung der Belastung, die vor allen Dingen unterhalb Aschaffenburg besonders stark auftritt ist daraus zu ersehen. Das gleiche Bild bieten die biologischen Gütelängsschnitte, die sich aus der Verbindung der vier Indikatorgruppen ergeben. Noch deutlicher läßt die „Biologische Gütelinie“ oder „Relative Belastung“ die Schwerpunkte erkennen.

Die biologischen Untersuchungen sollen hier hauptsächlich deshalb besprochen werden, weil die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaften in einem Gewässer nicht einem so raschen Wechsel unterliegt wie der Chemismus der fließenden Welle. Diese Eigenschaft erlaubt es, die Untersuchungsergebnisse der biologischen Untersuchungen d. h. die Bestandsaufnahme der Arten und der Artenzahlen leichter miteinander zu vergleichen. So wirkt sich hier vor allem der Faktor der Wasserführung nicht in dem Umfang störend aus wie es bei den chemischen Faktoren der Fall ist. Deswegen besteht auch in vorliegender Ausarbeitung die Schwierigkeit, die chemischen Faktoren bedenkenlos miteinander zu vergleichen. Auf die Biologie macht sich wie bekannt der Einfluß eines Niederwassers erst dann bemerkbar, wenn dieses über längere Zeit bestanden hat. Diesen Zustand könnte beispielweise das Gütelängsprofil der Untersuchung vom 4. bis 10. September 1963 aufweisen. Vor diesem Untersuchungstermin bestand schon längere Zeit infolge andauernder Trockenheit eine niedrige Wasserführung.

Beginnen wir bei unserer Betrachtung mit der Gewässerstrecke oberhalb der Regnitzmündung. Noch bis 1954 konnte dieser Mainabschnitt bei Hallstadt der Güteklasse II zugeordnet werden. Der Vergleich der Diagramme 1957 und 1962 zeigt aber auch hier eine kleine Zunahme der biologisch wirksamen Belastung und zwar eine Erhöhung von 14,2 Prozent im Jahre 1957 und auf 21,6 Prozent im Jahre 1962. Auch im Chemismus des Wassers und zwar bei den Sauerstoffwerten einschließlich der Zehrung ist eine gleiche ungünstige Veränderung gefunden worden. Diese Feststellung

ist insofern von Bedeutung, als ein Vergleich mit der Wasserführung deutlich erkennen läßt, daß im Juni 1962 im Gegensatz zum Juli 1957 eine höhere Wasserführung geherrscht hat. Trotzdem sind die schon erwähnten Veränderungen im Sauerstoffhaushalt deutlich erkennbar gewesen. Im Jahre 1963 waren wieder ganz andere Werte vorgefunden worden, die aber im Verhältnis des Sauerstoffgehaltes zum Sättigungswert eine Algenblüte andeuten. Hier scheint sich die Folge einer zunehmenden Überdüngung vom Oberlauf des Mains her, bemerkbar zu machen.

Bei den den Untersuchungen 1949 bis 1952 und November — Dezember 1953 folgenden Ermittlung traten nicht nur an dieser Stelle, sondern interessanterweise auch in dem Bereich nach der Einmündung der Fränkischen Saale bis Obernburg, in verstärktem Umfang polysaprobe Arten auf. Dies war als Einzelfall auffällig. Bei den späteren Untersuchungen konnte eine derartige Feststellung nicht mehr gemacht werden. Schon bei der Sommeruntersuchung 1954 wurden hier keine polysaprobe Arten mehr gefunden. Der Anteil der oligosaprogenen und betamesosaprogenen Arten war angestiegen, so daß sich damit das Gütebild oder die Gewässergüte zur besseren Seite hin verändert hatte. Dies dürfte in erster Linie wohl damit in Zusammenhang gebracht werden können, daß sich in den Sommermonaten, wohl im gesamten Abschnitt von Hallstadt bis Obernburg, verstärkte Selbstreinigungsvorgänge abspielten, die den polysaprogenen Lebewesen keine oder nur ungenügende Lebensmöglichkeiten ließen.

Zieht man in diesen Vergleich nun das biologische Zustandsbild und die aus dem Gütelängsschnitt sich ergebende relative Belastung oder biologisch wirksame Belastung mit ein, so zeichnet sich deutlich ab, daß im Oberlauf des Mains in der Belastungsstrecke nach der Einmündung der Regnitz, eine gewisse Änderung eingetreten ist, die hier eine neue Bewertung notwendig erscheinen läßt. Die Unterschiede sind zwar nicht sehr auffällig und als gering anzusehen, geben aber doch einen Hinweis, daß hier höhere Belastungsmomente aufgetreten sein müssen. Es ist zu erkennen, daß die sich 1957 andeutende Verschlechterung, im Jahre 1962 noch stärker geworden ist. Es sei gleichzeitig auch der Chemismus des Gewässers noch zur Stützung dieser Ansicht angeführt. Hier ist, wie die Bundesanstalt ausführte, eine Verstärkung des Ammoniumgehaltes von 1,7 mg/l im Jahre 1957 auf 4 mg/l im Jahre 1962 und eine Verdoppelung des Nitrit- und des Nitratgehaltes auffällig. Ähnliches gilt auch für das Sauerstoffdefizit, das im Jahre 1962 fast dreimal so hoch lag wie 1957. Der Vergleich der Kurven der relativen Belastung gibt einen weiteren Hinweis auf die Zunahme der Verunreinigung in diesem Abschnitt, da diese relative Belastung von 25% auf 40% angestiegen ist. Beim Vergleich mit den Verhältnissen oberhalb der Regnitzmündung wird deutlich erkennbar, daß die in der hier besprochenen Flußstrecke gegebene Verschlechterung eindeutig aus der Regnitz stammte. Im Stau Viereth, der unterhalb der Regnitzmündung liegt, konnte

1962 als Folge dieser zunehmenden Verunreinigung eine umfangreiche Schlammablagerung festgestellt werden. Die Bundesanstalt äußerte sich damals dazu, daß ihrer Ansicht nach das Selbstreinigungsvermögen des Flusses hier schon fast überfordert werde. Die Kurve der biologisch wirksamen organischen Belastung, die im Jahre 1957 mit 25,8% festgestellt worden war, zeigte hier eine deutliche Erhöhung auf 45% im Jahre 1962. Die gleiche Tendenz ist bei der Feststellung des Artenfehlbetrages zu sehen, der einen sprunghaften Anstieg auf über 40% nach der Einmündung der Regnitz aufwies. Die Bundesanstalt vertrat die Meinung, daß nahezu die Hälfte aller im Obermain vor der Regnitzmündung vorgefundenen Organismen, aufgrund der veränderten und verschlechterten Verhältnisse unterhalb der Regnitzmündung von der weiteren Besiedlung des Flusses Mains ausgeschlossen würden. Wichtig ist auch der Hinweis, daß dieser Mainabschnitt ohne Zweifel schon 1962 das höchst zulässige Maß der organischen Belastung zu überschreiten beginne. Zieht man nun zu dem Vergleich auch die Untersuchung im September 1963 mit hinzu, so ist zu erkennen, daß die Strecke der Verschlechterung auf Güteklasse II—III schon bis Schweinfurt hin reichte. Im Jahre 1949—1952 wurde nur der Stauraum Viereth mit dieser Gütestufe klassifiziert. Eine wesentliche Verschlechterung des Stauraumes Viereth allein hatte sich 1963 nicht gezeigt. Es ist mehr die Verlängerung der allgemein stärker überdüngten Strecke bis Schweinfurt ersichtlich gewesen. Einschränkend ist aber zu bemerken, daß hier sicherlich ein Einfluß deutlich wurde, der für die Untersuchungsergebnisse des Jahres 1963 allgemein gültig ist und zwar das Bestehen einer länger dauernden niedrigen Wasserführung vor der Untersuchung. Es wurde vorher schon darauf hingewiesen, daß die biologische Besiedlung eines Gewässers nicht einen derart raschen Wechsel zeigt, wie der Chemismus. Im Jahre 1963 aber dürfte eindeutig der heiße Sommer mit hoher Sonnenscheindauer bei überwiegender Niederwasserführung dazu geführt haben, daß infolge der damit eingetretenen höheren Konzentration der chemischen Faktoren im Gewässer, sich das gesamte Milieu verschlechtert hatte und auch die biologische Besiedlung in ihrer Artenzusammensetzung ein anderes, dem schlechteren Zustand sich langsam anpassendes Bild zeigte.

Bei der Betrachtung des nächsten, uns nun schon als Belastungsstrecke bekannten Abschnittes unterhalb Schweinfurt ergab sich ebenfalls eine gewisse Veränderung in der Gewässergüte. Aufgrund der Untersuchungen der Jahre 1949—1952 ist unterhalb Schweinfurt der Stau Garstadt als der Güteklasse III zugehörig eingestuft worden. Die Untersuchungen im Sommer 1954 haben wohl dieses Untersuchungsergebnis in gewisser Beziehung bestätigt. Die biologisch wirksame Belastung lag auch noch im Bereich der mäßigen mittleren Verschmutzung. Das biologische Zustandsbild und die Kurve der biologisch wirksamen Belastung des Jahres 1957 läßt aber schon erhebliche Unterschiede erkennen, die als eine beträchtliche Zunahme der

Verschmutzung unterhalb Schweinfurt im Jahre 1957 gewertet werden müssen. Dies ist auch der Kurve der biologisch wirksamen Belastung aus dem Diagramm des Zustandsbildes des Mains vom Juli 1957 zu entnehmen, in dem punktiert die Belastungskurve des Jahres 1954 mit eingetragen ist. Die Bundesanstalt führte dazu aus, daß damit die tragbare Belastung im Raum unterhalb Schweinfurt bereits überschritten wurde, da die Grenze zwischen dem beta- und alphamesosaprobe Zustand hier schon zur Alphamesosaprobie hin überschritten war. Einschränkend wurde allerdings zum Ausdruck gebracht, daß sich hier unter Umständen nicht alleine eine verstärkte Abwasserbelastung aus Schweinfurt dokumentiert hätte, sondern sich auch eine Folge der neuen Stauhaltung Garstadt bemerkbar machen könnte. Dem würde aber dann das Verhalten des biologischen Zustandsbildes bzw. der wirksamen Belastung nicht ganz entsprechen, da diese Kurve unterhalb der Stauhaltung Garstadt nun nicht gleich wieder in dem betamesosaprobe Bereich absinkt, sondern nur eine langsame Besserung aufzeigt. Erst im Raum oberhalb Kitzingen liegt die Kurve der biologisch wirksamen Belastung wieder unter der Trennlinie von 50%. Sie gelangt damit wieder aus dem Bereich der starken bis übermäßigen Verschmutzung in den Bereich der mäßigen mittleren Verunreinigung.

Bei dem weiteren Vergleich der Ergebnisse des Jahres 1962 mit denen des Jahres 1957 ist zu erkennen, daß sich unterhalb Schweinfurt günstigere Verhältnisse eingestellt hatten. Dies wurde wieder deutlich aus den Kurven der biologisch wirksamen, organischen Belastung ersichtlich, wobei hier unterhalb Schweinfurt eine Abnahme erkennbar ist. Diese deutliche Anzeige einer Besserung durch die biologisch wirksame, organische Belastung kann nur im Zusammenhang mit einer Verminderung der Abwasserlast aus Schweinfurt stehen. Stand beispielsweise die relative Belastung im Jahre 1957 noch bei 57,2%, wie es von der Bundesanstalt angegeben wurde, so zeigte sich 1962 ein Rückgang auf 43,8%. Hier muß noch gesondert darauf hingewiesen werden, daß im Gegensatz zum Jahre 1957, in dem sogar während des Sommers in dieser Strecke unterhalb Schweinfurt ein Pilztreiben beobachtet werden konnte, im Jahre 1962 eine Verbesserung eintrat. Die Zone des Pilztreibens wurde durch eine Zone der Algenblütenbildung abgelöst. Diese Tendenz zu einer Besserung zeigten auch die Bodenablagerungen im Stau Garstadt und unterhalb desselben. Nach den Mitteilungen der Bundesanstalt und der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt wiesen diese Bodenablagerungen früher schwarzen Faulschlamm auf, wogegen im Jahre 1962 nur noch teilweise ein schwarzer gasender Faulschlamm kurz oberhalb des Stauwehres gefunden wurde. Im übrigen Staubereich hatte sich nur ein graugefärbter mineralisierter Schlick gezeigt. Bis zum Jahre 1962 ist somit ein deutlicher Wandel in diesem Flußabschnitt eingetreten. Der Gütezustand hatte sich aus der reduktiven Phase in die oxydative Phase verschoben, was eindeutig als eine Besserung gewertet werden muß. Diese

mit den biologischen Ergebnissen gemachte Feststellung, ist auch in den Werten verschiedener chemischer Faktoren zu erkennen, wie beispielsweise in den Änderungen der Mengenverhältnisse zwischen dem Ammonium und dem Nitrat, sowie im Rückgang des Kaliumpermanganatverbrauches. Die Wassergüteklasse im Jahre 1962 konnte in diesem Raum mit II—III angegeben werden. Vergleicht man nun dagegen die Untersuchung im September 1963, so zeigte sich hier trotz der während der Untersuchung vorhandenen höheren Wasserführung, aber wahrscheinlich, wie schon erwähnt, als Folge der vorgegangenen länger dauernden Niederwasserführung, eine Verschlechterung zur Güteklasse III, der sich dann etwa bis zum Raum Gerlachshausen eine Zone II—III anschließt. In dieser Strecke ist damit gegen das Jahr 1962 wieder eine Verschlechterung eingetreten, da damals diese unterhalb der Belastungszone liegende Strecke noch mit Güteklasse II eingestuft wurde. Daß diese Verschlechterung im Jahre 1963 nicht auf eine stärkere Belastung im Raum Schweinfurt zurückgeführt werden kann, ist bekannt, weil die hier vorhandene ehemalige Größenordnung der Abwasserlast mit der Inbetriebnahme der Sammelkläranlage in Schweinfurt, die infolge einer zusätzlichen Vorbelüftung vor dem Absetzbecken größere Reinigungseffekte bis etwa 40% erzielt, keine nennenswerte Belastungszunahme erfahren hat. Von dieser Überlegung her kann die Verschlechterung, die sich im Jahre 1963 gezeigt hatte, wahrscheinlich nur im Zusammenhang mit dem langedauernden extremen Niederwasser gesehen werden. Sie ist aber, und dies gilt generell für die Untersuchungen des Jahres 1963, ein Hinweis darauf, daß man bei dem jetzt erreichten Reinigungsmaßnahmen in den Belastungsschwerpunkten, zu denen auch der jetzt hier besprochene Raum Schweinfurt gehört, nicht stehen bleiben darf. Die Reinigungsbemühungen müssen unbedingt weiter geführt werden und dürfen ihr Ende erst mit der Inbetriebnahme einer vollbiologischen Ausreinigung, unter Umständen mit dritter Reinigungsstufe finden.

Der folgende Gewässerabschnitt unterhalb Kitzingen ist vorstehend nur mit einer Untersuchung durch ein kleinräumiges Gütelängsprofil dargestellt. Er war aber bereits das Objekt mehrerer Untersuchungen. Dabei und auch durch die Untersuchungsergebnisse an der darunterliegenden Gütemeßstelle in Marktbreit konnte die Tendenz einer zunehmenden Belastung des Gewässers in der Stauhaltung Marktbreit erkennbar werden. In den Jahren 1949—1952 wurde hier noch die Güteklasse II—III vorgefunden. Die Untersuchung des Jahres 1960 zeigte, daß bereits damals der gesamte Stau der Güteklasse III zugeordnet werden mußte. Demzufolge war eine Verschlechterung um eine halbe Güteklasse eingetreten, die nicht mit einer extremen Niederwasserführung im Zusammenhang stand. Daß diese hier erkennbar gewordene negative Entwicklung auch weiterhin fortbesteht, lassen die Untersuchungsergebnisse an der Gütemeßstelle in Marktbreit erkennen.

Der nächste bedeutende Abschnitt einer stärkeren Belastung, die Flußstrecke unterhalb Würzburg, zeigt beim Vergleich der Untersuchungsergebnisse keine wesentlichen Unterschiede. Bei den ersten Untersuchungen von 1949 bis 1952 wurde diese Mainstrecke unterhalb Würzburg der Güteklasse II bis III zugehörig eingestuft. Bei den Sommeruntersuchungen 1954 zeigte sich in der biologischen Gütelinie eine Annäherung an die Grenze zwischen dem Bereich mit mäßig mittlerer Verschmutzung und dem Bereich mit starker mittlerer und übermäßiger Verschmutzung. Die Grenzlinie von 50% wurde aber noch nicht überschritten. Im übertragenen Sinne kann daher diese Strecke im Jahre 1954 wiederum der Güteklasse II—III zugehörig angesehen werden. Auch beim Vergleich der Belastungskurven der Jahre 1954 mit 1957 läßt sich unterhalb Würzburg keine wesentliche Veränderung erkennen. Die Belastungsstrecke die sich hier deutlich im biologischen Zustandsbild zeigt, ist auch 1954 schon zu sehen. Dagegen läßt der Vergleich der Untersuchungen zwischen 1957 und 1962 eine eindeutige Verschlechterung des Gütezustandes unterhalb Würzburg deutlich werden. Die biologisch wirksame organische Belastung, als Indikator dafür, überschreitet die 50%-Grenze und kommt damit in den alphamesosaprobien Bereich hinein. Beim Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen des Jahres 1963 erkennt man eine weitere Verschlechterung, da die Gewässergüte unterhalb Würzburg mit III—IV dargestellt ist. Selbst bei Berücksichtigung der schon erwähnten Tatsache, daß das Jahr 1963 mit seiner extremen Wetterlage durch die vorherrschende Niederwasserführung wahrscheinlich eine Verschlechterungstendenz in der Artenzusammensetzung im gesamten Main bedingt hatte, so ist doch im Vergleich der Ergebnisse erkennbar, daß im Raum unterhalb Würzburg eine stetig zunehmende Verschlechterung der Gewässergüte existent ist. Im Vergleich der Ergebnisse 1962/63 mit den Untersuchungsergebnissen der Jahre 1949—1952 beträgt dies eine ganze Gütestufe. Damit macht sich die zunehmende Belastung, die aus dem Großraum Würzburg dem Main zugeleitet wird, bemerkbar. Hier fehlen bisher die notwendigen höherwertigen Reinigungsmaßnahmen. Die für den Großraum Würzburg geplanten Abwasserreinigungsanlagen sind daher als sehr vordringlich zu bezeichnen und sollten vor manch anderer Reinigungsbemühung Vorrang erhalten. Unterhalb der Staue Erlabrunn und Himmelstadt ist dann im Vergleich zu den ersten Untersuchungen der Jahre 1949 bis 1952 ebenfalls eine steigende Verschlechterung des Gütezustandes zu beobachten. Wurde aufgrund dieser älteren Untersuchungen der Stauroam Himmelstadt und Harrbach noch der Güteklasse II zugeordnet, so sehen wir aus der biologischen, wirksamen Belastung im Jahre 1957 eine Zunahme der Belastung, die sich im Jahre 1962 noch deutlicher erfassen ließ. Im Jahre 1963 mußte die Strecke Himmelstadt—Harrbach sogar der Güteklasse II—III zugerechnet werden, wobei diese Zone eine Ausweitung fast bis Gemünden erkennen ließ.

Waren in den früheren Jahren die kleineren Abwassereinleitungen wie beispielsweise Haßfurt, Karlstadt, Gemünden, Lohr, Marktheidenfeld und Miltenberg bei der seinerzeit bestehenden, noch relativ geringen Belastung, für das gesamte Gewässer wohl von untergeordneter Bedeutung und hatten sich nur durch örtliche Abwässerbänder mit kurzer Verschlechterung der Gewässergüte auf der der Einleitung folgenden Uferzone dargestellt, so gewinnen diese Einleitungen mit der zunehmenden Verschlechterung der vorherigen Flußstrecke an Bedeutung. Der nächste Flußabschnitt, beginnend an der Einmündung der Fränkischen Saale, bis Obernburg wurde übereinstimmend bei allen Untersuchungen ab dem Jahre 1949 als mäßig verunreinigt festgestellt. Der einzige Hinweis auf eine stärkere Belastung ist in der Untersuchung vom 30. 11.—5. 12. 1953 zu erkennen, wo in diesem Gewässerabschnitt im Gegensatz zu den anderen Untersuchungen auch Organismen der polysaprobien Zone, teilweise in größerem Umfang festgestellt worden sind. Man hat daher diese Strecke als die Erholungszone des Mains angesehen, die das Wasser des Flusses nach den vielfältigen Belastungen im Oberlauf und auch im Mittellauf durchfließt, bevor es in den Abschnitt der stärksten Belastung bei Aschaffenburg eintritt. Das war für den Mittellauf das Resultat der biologischen Untersuchungen, vor allem das der biologischen Gütelängsschnitte. Bei Einbeziehung der chemischen Untersuchungsergebnisse, vor allem der Werte des Sauerstoffhaushaltes, besonders bei den Untersuchungen der Sauerstoffganglinien an den Gütemeßstellen ergibt sich aber die Notwendigkeit die Bewertung dieser Flußstrecke doch etwas zu revidieren. Im Jahre 1954 und auch in den Untersuchungen die dieser Sommeruntersuchung voran gingen, waren die Sauerstoffverhältnisse in diesem Flußabschnitt noch als gut und nicht negativ beeinflusst zu bezeichnen. Das gleiche ist auch mit gewisser Einschränkung über die Sauerstofflinie des Gütelängsprofils vom Juli 1957 zu sagen. Schon bei dieser Untersuchung war aber das vermehrte Auftreten von Sauerstoffübersättigungen im Mittellaingebiet auffallend. Das trifft vor allem für die Flußstrecke ab der Taubermündung bis unterhalb Miltenberg zu. Aus diesen Ergebnissen des Jahres 1957 konnte man schon schließen, daß die durch Wasserblütenbildung im Main hervorgerufenen, teils negativen Einwirkungen auf den Sauerstoffhaushalt, unter Umständen eine weitere Zunahme erfahren könnten. Diese Vermutung wurde dann durch die Untersuchung im Juni 1962 bestätigt. Damit war eine Gefährdung für die vorliegende Flußstrecke eingetreten. Schon ab der Einmündung der Fränkischen Saale sehen wir ab 1962 eine sehr deutliche Übersättigung, die bis zur Einmündung der Tauber abklingt, dann aber ein erneutes Ansteigen der Übersättigungsgröße zeigt, und erst oberhalb Aschaffenburg bei Kleinwallstadt wieder ein Absinken erkennen läßt. Betrachten wir weiter die Ergebnisse der Untersuchung des Jahres 1963, so ist der hier besprochene Flußabschnitt, ab der Fränkischen Saale bis Stockstadt, vor allen Dingen

der Raum unterhalb Miltenberg als Übersättigungszone so deutlich zu erkennen, daß man von einer starken Überdüngung sprechen muß. Diese Tatsache wird weiter durch die Untersuchungen im Jahre 1963 und 1964 gestützt, die ebenfalls schon im April 1963 für diesen Raum einen biogen bedingten Sauerstoffanstieg aufweisen. Bereits bei Klingenberg bzw. Kleinheubach ist eine stärkere Übersättigung schon im Frühjahr feststellbar gewesen.

Die Sauerstoffganglinien der Gütemeßstellen, und zwar die Meßreihen ab Juni 1963 lassen diese Tendenz wiederum sehr deutlich erkennen. Der Stau Rothenfels beginnt hier schon ab März sich im Bereich der Übersättigung zu bewegen und erreicht seinen Übersättigungsgipfel im Juli. Kleinheubach ist zwar wesentlich ausgeglichener aber beweist uns doch, daß hier praktisch ab März, bis in den Oktober hinein, die Übersättigung durch bestehende Algenblüten gegeben war. Die Untersuchungsergebnisse der Meßreihen 1963 bis 1964 könnten nun unter Umständen als ein Ausnahmefall angesehen werden, da zu dieser Zeit wie bekannt, trockene Witterung herrschte, so daß im Main Niederwasser entstanden war. Dies trifft wohl auch in gewissem Umfang für die Untersuchung im Juni 1962 zu. Zieht man aber die Sauerstoffganglinien der Gewässergütemessungen vom Winterhalbjahr 1964 bis 1966 zur Auswertung hinzu, so erscheint die vorher geäußerte Vermutung, die Ergebnisse vom Juni 1963 bis Oktober 1964 seien nur eine Niederwasserfolge, hinfällig. In den beiden Jahren 1964/65 und 1965/66 herrschte ja bekanntermaßen überwiegend starker Niederschlag. Auch die Sonnenscheindauer war wesentlich herabgesetzt. Trotzdem zeigten die Staue Rothenfels und Kleinheubach wiederum verstärkte Tendenz zur Algenblütenbildung, wobei hier diese Erscheinung überwiegend im Staubereich Kleinheubach vorzufinden war. Geht man von der Tatsache aus, daß diese sogenannte Erholungsstrecke wohl nach den biologischen Untersuchungen der Güteklasse II zuzurechnen ist und die hier bestehenden kleineren Abwassereinleitungen von Gemünden, Lohr, Marktheidenfeld, Wertheim, Faulbach und Miltenberg gewissermaßen nur unterschwellig den Main belasten, so daß sie bei biologischen Untersuchungen im Gesamtbild nicht als wesentliche Verschlechterung in Erscheinung treten, so muß doch dieser Flußabschnitt heute, aufgrund der vorhandenen Untersuchungsergebnisse negativer gewertet werden als bisher. Die in den Gewässern zu findende, allgemein zu beobachtende Überdüngung macht sich demzufolge besonders in diesem Flußabschnitt deutlich bemerkbar. Es ist daher hier vor allem eine Art Fernwirkung der Abwasserlast aus dem Oberlauf und Mittellauf des kanalisierten Mains zu vermuten. Diese Fernwirkung würde hinsichtlich ihrer bisher bestehenden Folgewirkung vielleicht noch nicht als ausgesprochen ungünstig angesehen werden müssen. Bei der Zunahme der Algenblüten aber und der damit verbundenen Übersättigung bei Tag und Sauerstoffzehrung in der Nacht besteht die Gefahr, daß stärkere Sekundärver-

unreinigungen zu einer schlechteren Einstufung der Gewässergüte zwingen könnten. Dabei muß man berücksichtigen, daß mit der Tätigkeit des Phytoplanktons nicht nur der Sauerstoffgehalt im Wasser verändert wird, sondern auch andere Eigenschaften des Flußwassers einer Änderung unterliegen, wie der Gehalt an Kohlendioxyd und Hydrogencarbonat oder der pH-Wert. Diese Flußstrecke von Gemünden bis Obernburg sollte man daher als Gefährdungszone durch Sekundärverunreinigung bezeichnen. Dabei verfügt zwar dieser Flußabschnitt über eine verstärkte Selbstreinigungskraft aber die negativen Aspekte, die sich daraus ergeben, sind nicht zu übersehen und dürfen auch nicht zu gering bewertet werden.

Aus den Gütebildern des Jahres 1949—1952 und ebenfalls in dem Gütebild des Jahres 1963 ist die Belastung von Obernburg hinsichtlich einer Güteverschlechterung, d. h. einer Verschiebung des Saprobitätsgrades zur Alphamesosaprobie bzw. Polysaprobie hin nicht deutlich erkenntlich. Es zeigte sich zwar eine gütemäßige Verschlechterung, aber nicht in einer derartigen Größenordnung wie im darauffolgenden Abschnitt Aschaffenburg. Wenig erkennbar ist nun allerdings in der Darstellung des Gütebildes die Verringerung der Besiedlung, d. h. die Verödung, die sich im Gegensatz dazu bei der Darstellung des biologischen Gütelängsschnittes oder Zustandsbildes wesentlich klarer zeigt. In dem Gütebild ist zwar die Verödungszone durch ein eigenes Kennzeichen charakterisiert, die Größenordnung dieser Verödung ist aber daraus nicht zu ersehen.

Die nächstfolgende Mainstrecke unterhalb Aschaffenburg, die allgemein als die starke Belastungszone des Mains auf bayerischem Gebiet anzusehen ist, zeigt beim Vergleich der einzelnen Untersuchungen, hinsichtlich ihres Gütezustandes, im Laufe der Jahre einige Veränderungen. So ist im Vergleich der Sommeruntersuchung 1954 zur Sommeruntersuchung 1957 unterhalb Aschaffenburg, trotz der, um einige Grade höher liegenden Wassertemperatur, eine Besserung der Sauerstoffverhältnisse zu beobachten gewesen. Auf diese Tatsache wies auch die Bundesanstalt für Gewässerkunde in ihrer entsprechenden Ausarbeitung hin. Damals wurde eine Abnahme der organischen Belastung festgestellt, wobei diese Feststellung nicht allein aus dem Vergleich der einmaligen Sommerbereisung des Jahres 1957 mit dem Jahre 1954 abgeleitet wurde, sondern sich auch auf Ergebnisse einer Daueruntersuchung in den Jahren 1956 und 1957 stützte. Auch im biologischen Zustandsbild und aus der Kurve der biologisch wirksamen Belastung für diese Flußstrecke unterhalb Aschaffenburg ist im Vergleich dieser beiden Jahre eine Verbesserung gegenüber dem früheren Zustand beobachtet worden. Dabei liegen diese Verbesserungen stellenweise gegenüber dem Jahre 1954 in einer Größenordnung von mehr als 20% der biologisch wirksamen Belastung. Hier ist es auch am Platze, die Untersuchungen des Staatlichen Chemischen Untersuchungsamtes in Wiesbaden vom Jahre 1959 mit zum Vergleich hinzuzuziehen. Das Staatlich Chemische Untersuchungsamt fand

beim Vergleich seiner biologischen Ergebnisse von Untersuchungen des Jahres 1955 mit Untersuchungen des Jahres 1959, daß Verbesserungen in der Gewässergüte im Abschnitt unterhalb Aschaffenburg eingetreten waren. Die dort genannte Verbesserung der Mainwasserqualität betrifft vor allen Dingen die Strecke von der bayerisch-hessischen Landesgrenze bis zur Staustufe Griesheim. Diese Mitteilung ist von Wichtigkeit, da sie Rückschlüsse über die Abwasserreinigung bei den Zellstoffwerken in Aschaffenburg zuläßt. In dieser Zeit wurden nämlich von den beiden Zellstoffwerken die Eindampfungs- und Verbrennungsanlagen in Betrieb genommen. Diese Anlagen sind damals eine gewisse Zeit gelaufen, so daß es möglich war, vom Main schon einen großen Anteil der Abwasserlast fernzuhalten, der vormals noch diese Mainstrecke belastet hatte. Nach dieser Probezeit hatten sich dann allerdings gewisse Schwierigkeiten eingestellt. Diese waren die Ursache für die wieder eintretende Verschlechterung, weil erst alle Mängel ausgeräumt und beseitigt werden mußten. Das hat zu zeitweisen, wieder stärkeren Belastungen dieser Flußstrecke geführt. Aufgrund der späteren Untersuchungen, vor allem an der Gütemeßstelle an der Aschaffung vor der Einmündung in den Main, war und ist es möglich, die Veränderung der Belastung der Aschaffung, verursacht durch das Zellstoffwerk Aschaffenburg, laufend zu kontrollieren. Die Untersuchungsergebnisse dieser Meßreihen sowie die laufenden direkten Überprüfungen der Abwassereinleitung dieses Werkes haben ergeben, daß es im Werk Aschaffenburg gelungen ist, die im wasserrechtlichen Bescheid auferlegte Zurückhaltung von etwa 70% der organischen Belastung zu erreichen. Im Werk Stockstadt, in dem die Verbrennungsanlagen für beide Werke installiert sind, waren die Verhältnisse über längere Zeit ungünstiger, da relativ große Umbauten im Werk notwendig waren und außerdem noch die Schwierigkeit dazu kam, daß durch die Verbrennung der Lauge eine stärkere Luftverunreinigung auftrat, die erst durch geeignete Maßnahmen ebenfalls beseitigt werden mußte. Damit wäre die abschnittsweise Betrachtung des Mainlaufes im unterfränkischen Gebiet abgeschlossen.

Im übrigen sei gerade an dieser Stelle auf eine Tatsache hingewiesen, die bei dem intensiven Studium der Untersuchungen am Main aufgefallen ist und die immer wieder beobachtet werden konnte. Es handelt sich dabei um die Probeentnahme für die biologisch-ökologischen Untersuchungen. Der Main als Schifffahrtsstraße wird in seiner Schifffahrtsrinne laufend ausge-meiselt und gesäubert. Es ist daher wegen der tiefgehenden Wirbelwirkung der Schifffschrauben kaum oder nur gering möglich, daß in den durch-fahrenen Flußstrecken größere Schlammablagerungen entstehen können. Derartige Ablagerungen findet man daher auch hauptsächlich in dem etwas ruhigeren Stillwasserzonen oberhalb der Stauwehre. Dort ist es dann ohne weiteres möglich vom Grund des Flußbettes Schlammproben zu holen. In der übrigen Schifffahrtsrinne aber besteht nur eine geringe Möglichkeit von

Tiefenprobenentnahmen, so daß man gezwungen ist, sich auf die Uferregionen zu beschränken. Es gelingt aber nur schwer, aus tieferen Regionen, etwa unterhalb 1 m Tiefe, Steine zur Aufwuchsbestimmung heraufzuholen. Man muß daher diese Untersuchungen in der Uferregion vornehmen, um die an der Steinschüttung des Ufers angesiedelten Lebensgemeinschaften zu studieren. Damit kommt man aber in eine stark belüftete Region, die man als „Schiffahrtsbrandungszone“ bezeichnen könnte. Diese Zone hat eine Hubhöhe von über einem halben Meter und ist wegen der überwiegenden Steinpackung der Ufer als eine sehr stark belüftete Zone zu betrachten. Vor allem jedes bergwärts fahrende Schiff verursacht durch den Druck des Schiffskörpers ein Ansteigen des Wasserspiegels, das zu brecherartigen Wellenbildungen mit starker Gischtentwicklung in der Uferregion führt. Die Folge der starken Belüftung in dieser „Brandungszone“ ist aber, daß in Strecken mit stärkerer Belastung sich hier verstärkte Selbstreinigungsvorgänge abspielen und gewisse Verschiebungen der Lebensgemeinschaften erwarten lassen, wobei mit Verschiebungen zur besseren Beurteilung hin gerechnet werden müßte.

6. Versuch einer Aussage über die Veränderung der Gewässergüte am Main

Bei der Beurteilung der Frage, ob die Gewässergüte am Main im Laufe der Jahre eine Verbesserung oder eine Verschlechterung aufzeigt, darf man nicht von den Untersuchungsergebnissen der Gewässergüteuntersuchungen her allein urteilen. Man muß in diese Betrachtung auf jeden Fall auch die Bemühungen um die Vermeidung einer Abwasserbelastung mit einbeziehen, da beispielsweise bei der Zuckerfabrik in Zeil bereits vor Inbetriebnahme des Werkes die als unbedingt notwendig erachteten Maßnahmen verwirklicht worden waren. Dies hatte zur Folge, daß das Werk nicht eine Rohabwasserlast von ca. 1 Million Einwohnergleichwerten in den Fluß leitet, sondern einen relativ hohen Reinigungseffekt erzielt, so daß die Abwasserbelastung, die noch von dem Werk ausgeht etwa mit 20—30 000 Einwohnergleichwerten anzusetzen ist. Auch bei der Zuckerfabrik in Ochsenfurt liegen ähnliche Verhältnisse vor, wenn auch nicht in dieser Größenordnung, da auch bei der Inbetriebnahme dieses Werkes schon Abwasserreinigungsmaßnahmen zum Tragen gekommen sind, die verhindert hatten, daß hier die gesamte Rohabwasserlast in das Gewässer gelangte. Auch hier ist diese schwere Belastung bereits bis auf etwa 200 000 Einwohnergleichwerten vermindert worden, womit eine Verbesserung oder besser Erhaltung der günstig zu beurteilenden Gewässergüte erreicht ist. Als ein weiteres Beispiel wäre die Dosenmilchfabrik „Glücksklee“ in Marktbreit zu nennen, die ebenfalls eine hochwertige Reinigungsanlage in Betrieb hat. Damit hat man ebenfalls vermieden, daß eine neue Belastungsstelle am Gewässer entstanden ist.

Ferner muß man es positiv werten, daß es an einigen Stellen gelungen ist, durch entsprechende Maßnahmen ein weiteres Ansteigen der schon bestehenden Abwasserbelastung zu verhindern, wenn auch keine effektive Besserung der Gewässergüte dadurch verursacht und feststellbar wurde. Als Beispiel können hier die Städte Bamberg, Schweinfurt, Ochsenfurt, Karlstadt, Gemünden und Aschaffenburg genannt werden. Es ist dort erreicht worden, daß zumindest an fünf bereits lange bestehenden Schwerpunkten kein weiteres wesentliches Ansteigen der Abwasserlast registriert werden mußte. Als weitere Grundlage der Beurteilung sind dann die vorhandenen Untersuchungsergebnisse auszuwerten.

Bei der Prüfung dieser Untersuchungsergebnisse wird eine im Main eingetretene Veränderung auffällig. Man kann bezüglich der Gesamtsituation des Mains wohl davon sprechen, daß die organische Belastung des Gewässers vom Jahre 1949 bis 1966 abgenommen hat. Dies gilt sowohl für den Oberlauf, beginnend ab Hallstadt sowie für den Abschnitt Viereth bis Schweinfurt als auch unterhalb Schweinfurt. Für den schwerst belasteten Abschnitt von Aschaffenburg bis Kahl/Großkrotzenburg ist diese Aussage ebenfalls zutreffend. Diese letztere Feststellung könnte vielleicht Verwunderung erregen. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß die Untersuchungsergebnisse, vor allen Dingen im Vergleich mit den laufenden Überprüfungen der Abwasserableitung der beiden Zellstoffwerke Aschaffenburg und Stockstadt, auf jeden Fall eine nennenswerte Abnahme der Gesamtbelastung ergeben haben. Hierbei sei darauf hingewiesen, daß die beiden Zellstoffwerke alleine, überschlägig eine Abwasserbelastung von über zwei Millionen Einwohnergleichwerten im Rohabwasser ergeben. Von dieser Gesamtbelastung ist immerhin schon ein größerer Prozentsatz herausgenommen der etwa mit 60—70% angesetzt werden kann. Dies hat zur Folge, daß zwar auf der Flußstrecke die noch bayerisches Gebiet berührt, also bis Kahl/Großkrotzenburg, Verbesserungen in der Gewässergüte noch keinesfalls deutlich erkennbar werden können. Es hat sich aber gezeigt, daß bei einwandfreier Funktion der entsprechenden Anlagen in den Zellstoffwerken, die Fernwirkung dadurch verändert wird, daß die Ausdehnung der Abwasserbelastung erkennbar zurückgeht und nur noch eine kürzere Strecke des Mains stark belastet wird. Dies muß demzufolge auf jeden Fall als eine Verbesserung gewertet werden.

Hier sollen auch gleich die Veränderungen bei den Glanzstoffwerken erwähnt werden, wo es durch entsprechende Maßnahmen gelungen ist, ebenfalls einen nennenswerten Prozentsatz der Belastung vom Gewässer fernzuhalten. Auch hier zeigt sich somit eine gewisse Verbesserung, die auch bei den biologischen Untersuchungen dadurch erkennbar wurde, daß unterhalb des Glanzstoffwerkes die toxische Wirkung die zur Verödung führte, nicht mehr in so großem Umfang erkennbar war.

Im Gegensatz zu den vorher festgestellten Abnahmen der organischen Be-

lastung, müssen zwei Stellen genannt werden, die eine deutliche, teilweise stärkere Zunahme der organischen Abwasserbelastung zeigen. Dies sind die Abschnitte unterhalb Kitzingen, also der Stau Marktbreit und der Gewässerabschnitt unterhalb Würzburgs, dessen untere Begrenzung etwa bei Himmelstadt liegt. An beiden Stellen sind die notwendigen Reinigungsmaßnahmen aber bereits eingeleitet.

Dieser positiv zu wertenden Feststellung der Abnahme der organischen Gesamtbelastung steht eine zunehmende Überdüngung gegenüber. Diese Überdüngung, die früher nur unterhalb der stark organisch belasteten Abwasserstrecken bemerkbar war, breitet sich heute in zunehmendem Umfang auf die gesamte unterfränkische Mainstrecke aus. Das gilt vor allen Dingen für den Abschnitt von Bamberg bis Schweinfurt, für die Strecke unterhalb Schweinfurt und überraschender Weise auch für den Gewässerabschnitt von Gemünden bis Obernburg. In diesem Abschnitt dürfte sich damit auch die Fernwirkung der Belastung von Würzburg, sowie die noch bestehenden, Abwasserleitungen aus Lohr, Marktheidenfeld und Miltenberg, die bisher noch keine Reinigung erfahren, mit auswirken. Diese Abwasserleitungen erscheinen bei Untersuchungen nicht so deutlich. Man könnte daher dort von einer unterschweligen Zunahme der organischen Belastung sprechen, die durch die Folgen der Überdüngung überdeckt wird. Diese Situation der Überdüngung, die in Algenblüten sichtbar wird, ist nun durchaus nicht nur auf die Sommermonate beschränkt, sondern tritt bereits im Frühjahr auf und ist bis zum Herbst erkennbar. Diese Überdüngungen sind einerseits auf die Abwasserreinigungsbemühungen zurückzuführen, wobei als Folge einer biologischen Abwasserreinigung zwar immer weniger schädliche, organische Substanzen, dafür aber deren Abbauprodukte Stickstoff- und Phosphorverbindungen als Düngstoffe in das Gewässer gelangen. Die dort vorhandenen Phytoplanktonarten und Unterwasserpflanzen werden dadurch zu starkem Wachstum angeregt. Damit ist die Gefahr gegeben, daß bei einer weiteren Zunahme dieses Faktors mit einer Zunahme von organischen Sekundärverunreinigungen durch absterbende Algenblütenmassen gerechnet werden muß, wodurch unter Umständen an gewissen Stellen, erneut die Folgen einer organischen Belastung auftreten könnten. Bisher ist diese Folgewirkung allerdings noch nicht verzeichnet worden.

Die zweite Ursache dieser Überdüngung muß aber heute auch in der Landwirtschaft gesucht werden, wo in zunehmendem Maße durch die Verwendung von Kunstdünger wie Stickstoff und Phosphor, bei der bereits erkennbaren Abnahme der Humusschicht, eine verstärkte Ausschwemmung dieser Düngstoffe möglich ist. Diese Düngstoffe werden durch Regen in die Gewässer eingeschwemmt.

Man wird aufgrund des Erkennens dieser Tatsachen nun nicht umhin kön-

nen, die noch bestehenden organischen Belastungen am Gewässer Main weiterhin unter verstärkten Bemühungen zu beseitigen bzw. zu vermindern, was durch geeignete vollbiologische Anlagen ermöglicht ist. Des weiteren muß aber der Bau und die Inbetriebnahme sogenannter dritter Reinigungsstufen zur Entfernung von düngenden Substanzen aus dem gereinigten Abwasser, vor allen Dingen für Schwerpunktgebiete als notwendig angesehen werden. Die Gesamtsituation am Main ist daher wohl als positiv, aber noch nicht als zufriedenstellend anzusehen.

Abschließend sei noch gesondert auf vier Verunreinigungsfaktoren spezieller Art, nämlich auf Detergentien, Phenole, Öle und auf die Radioaktivität hingewiesen. Die Belastung des Gewässers Main mit Detergentien oder Phenolen war stets sehr gering, so daß man den Main in Unterfranken nie zu den Gewässern zählen mußte, bei denen höhere Detergentien- oder Phenolkonzentrationen aufgetreten sind. Dies ist deutlich aus den Diagrammen ersichtlich. Hinsichtlich der Schaumwirkung der Detergentien bot der Main auch nie das Erscheinungsbild von Stauhaltungen wie es beispielsweise vom Neckar her bekannt war.

Auch die Verölung des Mains in Unterfranken bewegt sich durchaus noch in erträglichen Grenzen. Für den Raum Schweinfurt hatte die Ableitung von Öl aus Industriezweigen, bei denen das Öl in größerem Umfang für die Fertigung Verwendung findet, allerdings größere Bedeutung, wobei hier neben dem Öl auch noch Ölemulsionen zu nennen wären. Die analytischen Untersuchungen über das Vorkommen von Öl sind nun allerdings am Main so gering, daß es nicht möglich ist, mit diesen Werten hier Vergleiche aufzustellen, aus denen man Besserungen oder Verschlechterungen deutlich erkennen könnte. Hier muß der andere Weg beschritten werden, daß man aus den Maßnahmen, die in den Industriebetrieben getroffen wurden, auf die zu erwartenden Verhältnisse im Gewässer schließt. Da es den Betrieben in Schweinfurt bereits gelungen ist, den reinen Ölanfall überwiegend zurück zu halten und nicht mehr dem Gewässer zuzuführen und des weiteren durch die intensive Forschungsarbeit bereits die Möglichkeit geschaffen wurde, Bohr- und Schleifölemulsionen zu brechen und das Öl zu trennen, darf man daraus schließen, daß auch aus dem Schwerpunktraum Schweinfurt heute auf keinen Fall mehr mit einer derartigen hohen Ölfracht gerechnet werden muß, wie es vielleicht noch vor 5 oder 10 Jahren der Fall war.

Als letztes wäre von den speziellen Faktoren noch die Radioaktivität zu erwähnen, wobei in diesem Zusammenhang nur die Einleitungen radioaktiven Abwassers von Interesse sein kann. Normalerweise ist kaum mit einer Zunahme der Radioaktivität im Gewässer zu rechnen. Dies gilt auch für die beiden Atomkraftwerke, für das Kraftwerk der RWE und den Prüfreaktor der AEG im Raume Kahl/Großwelzheim. Von beiden Werken wurden ausreichende Sicherungsmaßnahmen getroffen, so daß es nicht zur

Ableitung größerer Strahlungsaktivitäten kommen kann. Die betroffenen Gewässerstrecken unterliegen außerdem einer genauen und ständigen Überprüfung durch den radiologischen Meßdienst des Landes, so daß rechtzeitig Veränderungen erkannt werden um die dann notwendigen Maßnahmen ergreifen zu können.

7. Literaturangaben

1. Gutachten der Bayer. Biologischen Versuchsanstalt vom 12. August 1952 Nr. A 980/52.
2. KARELBERG: Denkschrift über Vorschläge zum Reinhalten des Mains Mains von Obernburg bis zur Mündung. Der Regierungspräsident Wiesbaden, Wiesbaden im Mai 1953.
3. H. LIEBMANN: Biologie der Donau und des Mains. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Band II, (1954), Seite 111.
4. F. v. AMMON: Chemische Untersuchungen an Donau und Main. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Band II, (1954), Seite 210.
5. LUDWIG HÄSSLEIN, Lauf: Zur Weichtierfauna des Obernburger Mains. Nachrichten des naturwissenschaftlichen Museums der Stadt Aschaffenburg Nr. 45, (1954), Seite 1—30.
6. Gutachten der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz: vom 30. 6. 1955 — Nr. G 5/1751/3601.
7. H. KNÖPP: Ein neuer Weg zur Darstellung biologischer Vorfluteruntersuchungen, erläutert an einem Gütelängsschnitt des Mains. Wasserwirtschaft, Jahrgang 45, (1955) Heft 1, Seite 9.
8. H. SEEBERGER: Industriestandort und Wasser; dargestellt am Beispiel Unterfranken. Mitteilungen aus dem Institut für Raumforschung, Bad Godesberg (1957), Heft 28.
9. Gutachten der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz: vom 19. November 1957 — Nr. G/1751/3123.
10. K. FELKEL: Biologische Auswirkungen von Stauhaltungen. Wasser — Abwasser, Jahrgang 98 (1957), Heft 26, S. 650.
11. K. OFFHAUS und L. SCHUA: Einleitende Betrachtungen zur Flußwasseraufbereitung für das Grundwasserwerk Würzburg, Mergentheimer Straße. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Band IV, (1958), S. 56.
12. Gutachten des Staatlichen Chemischen Untersuchungsamtes Wiesbaden vom 20. Juli 1959, Nr. A/543—73/59/FW.

13. R. WILCK: Die Wirkung von Glaubersalz als dem Hauptbestandteil des Abwassers der Viskoseindustrie auf Abwasserorganismen. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, Band VI, (1959), S. 44.
14. M. ECKOLDT: Über den Einfluß der Kanalisierung eines Flusses auf die Wassergüte. Die Wasserwirtschaft, Jg. 49, (1959), Nr. 3, S. 57.
15. O. KEIM: Reinhaltungsmaßnahmen Bayerns am Main. Gas- und Wasserfach, Jg. 100, (1959), Heft 36.
16. O. STURZ: Eine Studie über den Chemismus des Mains in den Abflußjahren 1957—1960. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen. Jg. 5, (1961), Heft 6, Seite 135.
17. H. ECKOLDT: Wie ist die zulässige Belastung eines Flusses mit organischen Stoffen. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen. Jg. 6, (1962), Heft 3, S. 57.
18. Gutachten der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz: von 1963 — Nr. G/345—2/615.
19. H. HUBER: Untersuchungen über den Detergentiengehalt wichtiger bayer. Gewässer. Gewässerkundliche Mitteilungen (1963).
20. Gutachten der Bundesanstalt für Gewässerkunde vom 20. Juli 1963, Nr. G 345, 2/4806.
21. Gewässerkundliche Jahrbücher 1961—1964.
22. Der Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen: Die Verunreinigung des Rheins im Lande Nordrhein-Westfalen, 2. Denkschrift, Düsseldorf 1964.
23. L. KIRGES: Wasserwirtschaftliche Überlegungen für den Ballungsraum Main-Regnitz. Die Wasserwirtschaft, Jg. 55, (1965), Heft 6, S. 188.