

BERICHTE

der Limnologischen Flußstation Freudenthal
Außenstelle der Hydrobiologischen Anstalt
der Max-Planck-Gesellschaft

VIII

1957

Inhaltsverzeichnis

SCHMITZ, Wolfgang	Zur Hydrochemie der Werra	1
SATTLER, Werner	Beobachtungen an den Larven von <i>Crunoecia irrorata</i> CURT. (<i>Trichoptera</i>)	18
MÜLLER, Karl	Zur Biologie des Junglachsens (<i>Salmo salar</i> L.) im Stora und Lilla Lule Älv	33
STEFFAN, August Wilhelm	Vergleichend-ökologische Untersuchungen über Wachstum und Ernährung von zwei <i>Salmo trutta</i> -Populationen des nordschwedischen Waldgebietes	60
SABANEJEW, Peter	Das Plankton des Diemel- und Edersees und sein Einfluß auf die unterhalb liegenden Flußstrecken	94
STEFFAN, August Wilhelm	Der Mikroprojektionstisch	106

Zur Hydrochemie der Werra

(Ca, Mg, Na, HCO₃, Cl, SO₄ im Werrawasser
ohne Berücksichtigung der Brackwasserzone)

Von Wolfgang Schmitz

1. Einleitung

Während auf Grund verschiedener Untersuchungen einiges über den Gehalt an gelösten Mineralstoffen der Fulda und ihrer Nebengewässer bekannt ist (SCHMITZ 1950, 1951, 1956), trifft dies für den anderen Quellfluß der Weser, die Werra, nicht zu. Zwar weiß man über den Ionengehalt des Werrawassers im Bereich der Versalzung durch die Kaliabwässer ziemlich gut Bescheid (vgl. SCHMITZ 1956 a), für den oberhalb liegenden Bereich des Flusses sind jedoch nur wenige vereinzelte Analysenergebnisse vorhanden.

Leider war es auch uns wegen der augenblicklichen Reisebeschränkungen bisher nicht möglich, Untersuchungen im oberen, in Thüringen gelegenen Abschnitt der Werra durchzuführen. Es wurde von uns daher dankbar begrüßt, daß uns vom Institut für Fischerei der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften in Berlin-Friedrichshagen Wasserprobenmaterial zur Bearbeitung überlassen wurde, das im Rahmen von Untersuchungsfahrten des Institutes, die die fischereiwirtschaftliche Bonitierung der oberen und mittleren Werra zum Ziel hatten, eingesammelt worden war. Es lagen insgesamt drei Probenserien, nämlich vom Juni und September 1952, sowie vom März 1953 vor. Es konnten dabei jedoch nur beschränkte Mengen Probenvolumina transportiert werden, so daß nur eine bestimmte Auswahl von Ionen bestimmt werden konnten, nämlich solche, welche im Hinblick auf eine zur gleichen Zeit durchgeführte Untersuchung der Diatomeenflora der Werra (SCHEELE 1956) ökologisch besonders wichtig erschienen, vorausgesetzt daß eine Untersuchung nach längerem Transport der Proben überhaupt noch möglich war.

Die Bestimmung der Alkalinität (Hydrogenkarbonat) erfolgte sofort an Ort und Stelle in der üblichen Weise. Es sind hier die uns übermittelten und von uns im Labor nochmals überprüften Werte wiedergegeben. Im übrigen wurden die Wasserproben in Polyäthylflaschen eingefüllt und uns übersandt, sodaß eine Bestimmung der Alkalien (Methode: SCHMITZ 1951) und Erdalka-

lien (Methode: SCHMITZ 1952) nachträglich noch möglich war. Sulfat wurde gravimetrisch (Methode: Standard Methods 1946) und Chlorid konduktometrisch mit Silbernitrat bestimmt.

2. Ionengehalte des Wassers der oberen Werra

Der hier betrachtete Flußabschnitt der „oberen Werra“ umfaßt die Werra-strecke von der Quelle bis zum Beginn des Kaliindustrieggebietes (Abb. 1), von wo an durch die Abwässer der Chemismus des Flußwassers grundlegend geändert und die Werra in einen Brackwasserfluß verwandelt wird (Abb. 6). Die Ionengehalte des Wassers in diesem oberen Abschnitt sind im folgenden in einer Reihe von Konzentrationsprofilen (Abszisse: Flußkilometer — Ordinate: Ionenkonzentration) dargestellt (Abb. 3—6). Zur Orientierung sind nachstehend die Entfernungen der einzelnen Untersuchungsstationen von der Quelle angegeben:

Station:	Ort:	Flußkilometer:
1	Werraquelle	0
2	dicht unterhalb Werraquelle	
3	2 km unterhalb Werraquelle	2
4	oberhalb Sophienau	4
5	unterhalb Sophienau	6
6	oberhalb Eisfeld	10
7	unterhalb Eisfeld	12
8	Harras	15
9	Schackendorf	20
10	Birkenfeld	26
11	Häselrieth	30
12	Kloster Veßra	44
Nebenfl. Schleuse		
13	Themar	48
14	Einhausen	60
Nebenfl. Hasel		
15	Grimmenthal	62
16	oberhalb Meiningen	67
17	unterhalb Meiningen	69
18	Walldorf	75
19	Schwallungen	87
Nebenfl. Schmalkalde		
20	Niederschmalkalden	91
21	Salzungen	106
Nebenfl. Felda		
23	Dorndorf	124

Stationen im Brackwasserabschnitt

25	Philippsthal	131
26	Heimboldshausen	135
27	Lengers	139
28	Heringen	143
29	Widdershausen	147
30	Berka	154
31	Wommen	167
32	Herleshausen	173
33	Hörschel	179
34	Spichra	182
35	Creutzburg	188
36	Treffurt	211
37	Heldra	214
38	Wanfried	221
39	Frieda	225
40	Eschwege	232
41	Jestädt	237
42	Albungen	241
43	Klein Vach	245
44	Bad Sooden-Allendorf	250
45	Ludwigstein	264
46	Witzenhausen	274

Die Lage der Stationen ist aus der Karte Abb. 2 ersichtlich.

Die Ionengehalte der Nebenflüsse sind in Punktsignaturen in die Diagramme eingetragen.

a) Der Gesamtionengehalt

Abb. 3 stellt den Gesamtionengehalt der Werra in der Serie vom September 1952 dar. Im Kurvenverlauf ist ein oberer Abschnitt mit einem Kationen- bzw. Anionengehalt von ca. 0,5 mval/l und darunter zu erkennen. Es folgt darauf ein Abschnitt mit zunächst rascher, dann aber allmählich langsamerer Zunahme der Ionenkonzentration bis zu einem Wert von 4,5 mval/l. Nach erneutem steilem Anstieg der Konzentration auf 6 mval/l fällt diese allmählich wieder etwas ab. Eine erhebliche Verdünnung der gelösten Mineralstoffe bewirken die Nebenflüsse Schleuse und Hasel. Auf der Strecke zwischen diesen beiden Nebenflüssen wird das Werrawasser wieder erheblich mit Ionen angereichert. Auch unterhalb der Haselmündung nimmt die Ionenkonzentration im Werrawasser, wenn auch nicht so schnell wie zuvor, erneut zu, wobei Konzentrationen von 6 mval/l Kationen- bzw. Anionengehalt wieder überschritten werden.

b) Die Konzentrationen der einzelnen Ionen

Die Tendenz der Kurve der Schwankungen der Gesamtionenkonzentration im Längsverlauf des Flusses kehrt in den entsprechenden Kurven vieler einzelner Ionen wieder (Abb. 4a-c u. 5a-c). Die Kurven der Gesamthärte (Ca + Mg) bzw. des Kalziumgehaltes verlaufen in den Grundzügen parallel zu den Kurven des Hydrogenkarbonat-Gehaltes, wie es im Falle der Auflösung von Kalziumkarbonat aus Böden und Gesteinen des Einzugsgebietes der Fall zu sein pflegt. Nicht nur die Gesamthärte, sondern bereits die Kalziumgehalte liegen jedoch durchweg höher als die entsprechenden Hydrogenkarbonatgehalte des Wassers. Wie die Kurve der Sulfatgehalte (Abb. 4c) zeigt, die im großen ganzen ebenfalls dem Verlaufe der anderen Kurven folgt, ist die Mineralstoffanreicherung im Werrawasser zum ebenso großen Teil, teilweise sogar bevorzugt auf Lösung von Kalziumsulfat aus Gesteinen zurückzuführen. Oberhalb der Schleusemündung sind die Sulfatgehalte etwas geringer als die Hydrogenkarbonatgehalte, unterhalb übertreffen sie diese zum Teil erheblich. Die Magnesiumgehalte bleiben abgesehen davon, daß sie im obersten Werrabereich gleichfalls sehr niedrig sind, über den weiteren Flußverlauf hin verhältnismäßig konstant, so daß die Kurven der Kalziumgehalte und der Gesamthärte fast überall nahezu parallel verlaufen.

Das Werrawasser reichert sich von der Quelle flußabwärts ebenfalls mit Chlorid- und Natriumionen an. Die Kurven beider Ionengehalte (Abb. 5a-c) verlaufen nahezu parallel, wobei die Natriumgehalte etwas geringer sind als die Chloridgehalte. Auch die Konzentration dieser Ionen steigt streckenweise besonders stark an. Die steil aufwärts verlaufenden Kurvenabschnitte decken sich nur zum Teil, und hierbei sicher nicht in ursächlichem Zusammenhang, mit entsprechenden steilen Anstiegen der Kalzium-, Hydrogenkarbonat- und Sulfatkurven. Auffällig erhöhen sich die Chlorid- und Natriumkonzentrationen zwischen den Kilometern 26 und 30 und zwischen 67 und 69. Auf diesen Strecken des Flusses liegen die Städte Hildburghausen und Meiningen, deren Abwassereinleitungen sich offenbar in einem Anstieg des Natriumchloridgehaltes deutlich bemerkbar machen. Die Einmündung der Schleuse setzt Natrium- und Chloridionenkonzentrationen wieder merklich herab. Durch den Zufluß der Hasel, die selbst etwas größere Chlorid- und Natriummengen führt, tritt keine Verminderung dieser Ionen in der Werra ein. Etwa 90 km unterhalb der Quelle beginnt in der Gegend von Allendorf-Salzungen ein Anstieg der Chlorid- und Natriumgehalte auf ein Vielfaches der bisherigen Konzentration, und schließlich beginnt, wie schon erwähnt, mit der Einleitung der Abwässer der Kaliindustrie die Brackwasserzone (Abb. 6).

c) Die jahreszeitlichen Schwankungen der Ionengehalte

Die Ionengehalte des Werrawassers wurden zu drei verschiedenen Zeiten, nämlich im Juni und September (1952) und im März (1953) untersucht. Die Profilkurven der Ionengehalte des Wassers zeigen in ihrem Verlaufe alle etwa die gleiche Tendenz. Die absoluten Konzentrationen sind jedoch jahreszeitlich verschieden. Im Frühjahr sind sie am niedrigsten und in den Sommermonaten bzw. zum Herbst hin am höchsten. Die den Kurven beigegebenen Abflußdaten der Werra und ihrer Nebenflüsse lassen erkennen, daß die Ionenkonzentrationen um so niedriger sind, je geringer der zur Zeit herrschende Abfluß ist. Im Abschnitt oberhalb der Einmündung der Schleuse wurden dementsprechend die höchsten Ionenkonzentrationen bei der Untersuchung im September festgestellt. Die Schleuse führte zu dieser Zeit gegenüber der Juniuntersuchung relativ viel Wasser mit wesentlich geringeren Ionenkonzentrationen als die Werra, so daß als Folge davon die Ionengehalte des Werrawassers unterhalb der Schleusemündung gegenüber dem Stand vom Juni etwas herabgesetzt sind.

Vergleicht man die Abflußwerte vom Datum der Probenentnahme mit den Hauptzahlen der Abflüsse (Jahrbuch für Gewässerkunde der DDR), so ergibt sich folgendes: Während der Untersuchung im Juni und September 1952 herrschten fast durchweg Niedrigwasserverhältnisse. Der Abfluß der Werra oberhalb der Schleuseeinmündung war etwa so groß wie das mittlere sommerliche Niedrigwasser (MNQ) bzw. im Juni um ca. 50% höher. Da der Fluß bei niedrigstem Niedrigwasser (NQ) wesentlich weniger Wasser führt, ist anzunehmen, daß die ermittelten Ionenkonzentrationen für diesen Abschnitt noch nicht den oberen Extremzustand darstellen. Die Abflußwerte der Schleuse lagen im Juni und September 1952 wesentlich unter dem mittleren Niedrigwasser (MNQ), jedoch auch immerhin noch erheblich über den Werten des niedrigsten Niedrigwassers (NQ). Je nach dem Verhältnis ihrer Wasserführung zur Werra wird daher die Schleuse bald einen geringeren oder bald einen stärkeren Verdünnungseffekt auf die Ionenkonzentration des Werrawassers ausüben. Die Abflußwerte der Hasel lagen im Juni und September 1952 wesentlich über dem mittleren Niedrigwasser (MNQ), jedoch immer noch erheblich unter dem sommerlichen Mittelwasser (MQ).

Bei der Untersuchung im März 1953 herrschten keine extrem hohen Abflußverhältnisse in der Werra und ihren Nebenflüssen. Das mittlere jährliche Hochwasser liegt für die oberste Werra und die Schleuse etwa 5-6fach höher, für die Hasel etwa 4fach, und für die Höchstwässer (HQ) ist das Verhältnis noch extremer. Zweifellos werden daher die Werra und ihre Nebenflüsse bisweilen noch merklich niedrigere Ionenkonzentrationen aufweisen, als es bei der Untersuchung im März 1953 der Fall war. Es ist auch zu erwarten, daß unter Höchstwasserbedingungen die Unterschiede in der Ionenkonzentration einzelner Abschnitte der Werra noch stärker verwischt werden.

3. Die geologischen Grundlagen des Wasserchemismus der oberen Werra

Die Werra empfängt ihre Wassermassen hauptsächlich vom Thüringer Wald, dessen südwestliche Abflüsse sie aufnimmt. Vom Nordteil des Thüringer Waldes werden ihr auch durch die Hörsel noch die nordöstlichen Abflüsse zugeführt. Die Hörsel mündet bereits in den Brackwasserabschnitt der Werra ein. Von links erhält die Werra eine Reihe von Zuflüssen aus der östlichen und nördlichen Rhön, von denen die größten Zubringer, Felda und Ulster auf der Strecke in die Werra einmünden, wo diese schon Abwässer der Kaliindustrie führt.

Das Quellgebiet der Werra, sowie Teile des Einzugsgebietes der Schleuse liegen im Thüringer Schiefergebirge, das sich nach Südosten an den Thüringer Wald anschließt und dessen Tonschiefer, Grauwacken und Quarzite (algonkisch) kaum wasser aufnehmenfähig sind. Die Mineralbestandteile dieser Gesteine sind, abgesehen von den Grauwacken, nur wenig angreifbar. Deshalb ist das abfließende Wasser sehr weich mit einer Gesamthärte von ca. 0,5 mval/l. Chlorid- und Sulfatgehalt liegen im allgemeinen unter 10 mg/l. Infolge der geringen Pufferung enthalten die Wässer aggressive Kohlensäure und reagieren sauer.

Der Thüringer Wald selbst ist weitgehend aus Konglomeraten, Sandsteinen und Tonen des Rotliegenden in großer Mächtigkeit aufgebaut, daneben sind kristalline Erstarrungsgesteine dieser Formation, teils Melaphyre, teils Porphyre und Porphyrite am Aufbau beteiligt. Auch die Gesteine des Rotliegenden sind im allgemeinen arm an auflösbaren Stoffen. Das abfließende Wasser ist weich mit einer Gesamthärte von im allgemeinen weniger als 1 mval/l. Chlorid- und Sulfatgehalt sind in der Regel gleichfalls gering. Dies gilt sowohl für die kristallinen wie die Trümmergesteine der Formation.

Weich und elektrolytarm ist ferner häufig das Wasser im mittleren und unteren Buntsandstein, der im Werragebiet zwischen den Gebirgshöhen des Thüringer Waldes und der Rhön eine weite Verbreitung besitzt. Die Gesamthärten dieser Wässer schwanken von etwa 0,7 mval/l bei Quarzsandsteinen mit kieselig-tonigem Bindemittel bis zu 1,5—3,5 mval/l bei feldspathhaltigen (insbes. Kalkfeldspat) Sandsteinen oder 3,5—6,5 mval/l bei karbonatischem Bindemittel. Auf die Besonderheiten der Buntsandsteinwässer in Salzauslaugungsgebieten kommen wir noch weiter unten zu sprechen.

Dem geschilderten Aufbau des Thüringer Waldes und des Thüringer Waldes und des Thüringer Schiefergebirges entsprechend führen die Werra in ihrem Quellgebiet, sowie die Oberläufe ihrer rechtsseitigen Zuflüsse alle Wasser, welches arm an gelösten Mineralstoffen, weich, nur schwach gepuffert und daher von saurer Reaktion ist. Wie die Kurven der Ionengehalte des Werrawassers erkennen lassen (Abb. 4 u. 5), sind derart niedrige Konzentrationen an gelösten Stoffen auf den obersten Abschnitt der Werra, der Mittelgebirgsbachcharakter trägt, beschränkt.

Weiter unterhalb nimmt der Mineralgehalt merklich zu. Diese Anreicherung vollzieht sich erst in tieferen Geländelagen und ist bedingt durch die hier abgelagerten Sedimentgesteine mit wesentlich löslicheren und stärker angreifbaren mineralischen Bestandteilen. Als solche spielen hier im Gebiet besonders die Ablagerungen aus dem Zechstein, Muschelkalk und oberem Buntsandstein (Röt) eine größere Rolle. Ein Zechsteinsaum umzieht auf weite Strecken den Rand des Thüringer Waldes und wird von vielen Nebenflüssen der Werra durchschnitten. Im übrigen ist das Gebiet zwischen Thüringer Wald und Rhön mit den Ablagerungen des Buntsandsteins und Muschelkalkes angefüllt.

Die Zechsteinablagerungen, hauptsächlich Kalksteine, Dolomite, Letten und Mergel mit Gips- und Salzeinlagerungen können erheblich zur Ionenreicherung des Wassers beitragen. Die Gesamthärte des Quell- und Grundwassers im Zechstein liegt meist über 7 mval/l, die Karbonathärte beträgt 5,5 mval/l und mehr. Noch höhere Härtegrade werden im gipsführenden oberen Zechstein erreicht, die dann auf Auflösung des Kalziumsulfates zurückzuführen sind.

Die Wässer des Muschelkalkes besitzen in der Regel eine Gesamthärte von 6,5—9 mval/l, wobei der größte Teil davon auf die Karbonathärte entfällt. Die Chloridgehalte sind verhältnismäßig gering (10—20 mg/l), der Sulfatgehalt beträgt zwischen 0,5—1 mval/. Im mittleren Muschelkalk kann er unter Einfluß von Gipsen, ebenso wie natürlich in diesem Fall die Gesamthärte, höher liegen.

Sehr hohe Härtegrade weist Wasser vom Röt (oberer Buntsandstein) auf, hervorgerufen durch die Gipseinschaltungen in den Schiefermergeln. Die Schiefertone und -mergel des Röt führen allerdings kein Grundwasser, lediglich in Klüften und Spalten ist eine Wasseransammlung möglich. Wasser vom Röt liefern daher in der Regel nur Hangschuttquellen, die Wasser führen, das am Horizont Muschelkalk-Röt aus dem Gebirge austritt, sich aber zunächst weiterhin unter dem Hangschutt auf undurchlässigem Rötuntergrund fortbewegt, bis es unterhalb zum Austritt kommt. Die Schichtgrenze Muschelkalk-Röt bildet im Bereich der Mittelgebirge mit Aufbau aus Triasschichten den wichtigsten Quellhorizont, der reichlich Wasser mit erheblichem Ionengehalt, insbesondere mit hoher Karbonathärte spendet.

Um einen Überblick über die verschiedenen Ionengehalte im Grund- und Quellwasser des Einzugsgebietes der oberen Werra zu geben, wurde unter Benutzung der hydrogeologischen Karte von Thüringen (HOPPE 1952) als Kartengrundlage die Verbreitung von verschiedenen chemischen Grundwassertypen in die Flußnetzkarte des Werragebietes eingetragen. Im nicht angelegten Bereich der Karte (Abb. 7) liegen elektrolytarmer, weiche Wässer vor. In verschiedenen Schraffuren angelegt sind die Grundwassergebiete des Muschelkalkes (mit vorwiegender Karbonathärte), des Zechsteins (mit hartem

und sehr hartem Wasser, zum Teil dabei mit hoher bleibender Härte) und des Röt (mit ebenfalls hartem und sehr hartem Wasser, sowie mit vorherrschend bleibender Härte). Der Vergleich der Ionengehaltsprofile der Werra mit dieser Karte läßt die wesentlichsten Ursachen für die Schwankungen im Kurvenverlauf erkennen.

Im Verlaufe im Schiefergebirge bis Sophienau (Station 5) ist das Wasser elektrolytarm und sehr weich, die pH-Werte liegen unter 7. Von hier an abwärts schneidet die Werra teils in den unteren Muschelkalk, teils in den Röt ein, was sich in zunehmender Anreicherung von Kalzium, Magnesium, Hydrogenkarbonat und Sulfat im Wasser bis unterhalb Hildburghausen (Station 11) und Anstieg der pH-Werte ins Alkalische bemerkbar macht. Von hier an bis zur Schleusenmündung führen eine Reihe kleinerer aus dem mittleren Buntsandstein kommender Bäche der Werra weiches Wasser zu, wohingegen im Südwesten die Schichtgrenze Muschelkalk-Röt sich in naher Entfernung zum Fluß parallel zum Werralauf hinzieht. In summa bleiben die Ionenkonzentrationen der Werra hier dieselben oder vermindern sich etwas.

Die Schleuse, deren Flußgebiet zum größten Teil im Bereiche weiches Wasser führender Schichten der Ablagerungen und kristallinen Gesteine des Rotliegenden und vorpaläozoischer Schiefer liegt und deren Wasserführung die der Werra vor ihrer Einmündung übertrifft, setzt die Ionenkonzentration wieder dementsprechend herab.

Erneut reichert sich das Wasser in der weiteren in den Muschelkalk und Röt eingeschnittenen Werrastrecke an. Diese Anreicherung muß der Lage der Gesteinsschichten und der Ausbildung des Gewässernetzes entsprechend hauptsächlich durch versteckte Grundwasserzufuhr erfolgen.

Der Zufluß der Hasel, deren Oberläufe hauptsächlich kristallinen Gesteinen des Thüringer Waldes entspringen, bringt wiederum eine gewisse Verdünnung mit sich, jedoch nicht mehr in dem gleichen Ausmaß, wie sie die Schleuse hervorruft, da der Unterlauf der Hasel sowie einige Nebenbäche auf eine beträchtliche Strecke in den Röt und Muschelkalk einschneiden.

Die nun folgenden kleineren Nebenbäche der Werra, die ihr von Westen zuströmen, sowie später die Felda und die Ulster führen vorwiegend elektrolytreiches, hartes Wasser. Der Ionengehalt der Werra bleibt daher weiterhin beträchtlich hoch, obwohl die Werra selbst inmitten des Grundwassergebietes des mittleren und unteren Buntsandsteins mit weichem Grundwasser verläuft.

Bei den rechtsseitigen Zuflüssen, wie z. B. der Schmalkalde, machen sich im Ionengehalt die Auslaugungen vom Zechstein am Rande des Thüringer Waldes bemerkbar. Im Gebiet der industriellen Versalzung der Werra erfolgt außerdem auch bereits eine natürliche Versalzung. Es kommt hier verschiedentlich im Buntsandstein zum Aufstieg versalzenen und gipshaltigen Wassers durch die Spalten des salzführenden Zechsteins, wobei örtlich im Quell- und

Grundwasser Chloridgehalte von mehreren tausend Milligramm im Liter auftreten können. Die natürliche Versalzung setzt bereits etwas oberhalb der industriellen Brackwasserzone ein. Nach ihrem Chloridgehalt beurteilt, besitzt die Werra vier deutlich voneinander abgesetzte Konzentrationszonen (Abb. 6).

Um den Einfluß der natürlichen Versalzung zu verdeutlichen, seien hier noch einige ältere Analysendaten aus der Zeit vor dem Beginn der Einleitung der Kaliabwässer angeführt (VOGEL 1913). Abgesehen von den natürlichen Salzzutritten erwies sich die Saline Salzungen von Einfluß auf den Chloridgehalt der Werra.

Werra				
bei Immelborn	Ca	Mg	Cl	SO ₄ (mval/l)
5. 11. 1909	2,3	0,94	0,6	—
11. 8. 1911	4,65	1,35	1,4	—
1. 11. 1911	4,5	1,25	1,7	—
bei Salzungen oberh. der Saline				
10. 10. 1903	2,25	0,85	0,88	—
5. 11. 1909	2,6	0,8	0,71	—
bei Tiefenort unterh. Saline Salzungen				
11. 5. 1901	3,9	0,8	1,75	0,92
15. 8. 1902	4,5	1,09	3,65	2,1
4. 11. 1902	8,9	0,3	2,57	1,8
5. 11. 1902	8,5	0,3	2,3	2,2
11. 8. 1911	3,9	1,29	1,2	—

Zur Beurteilung der natürlichen Ionengehalte einiger weiterer Nebenflüsse der Werra, die heute in ihrem Chemismus z. T. ebenfalls industriell beeinflusst werden, seien hier noch weitere Analysenangaben aus der Literatur angeführt (TJADEN 1915, VOGEL 1913):

	Ca	Mg	Cl	SO ₄ (mval/l)
Ulster 16. 7. 1910	3,0	1,5	0,59	0,92
12. 6. 1912	3,3	0,9	0,56	1,25
Hörsel Herbst 1912	9,4	2,15	0,96	8,8
Frieda „ „	7,5	2,2	0,56	6,4
Wehra „ „	7,85	2,65	0,28	7,3

Diese Nebengewässer sind alle elektrolytreich. Unter natürlichen Verhältnissen würde daher die Werra in ihrem weiteren Verlauf ähnlich hohe Ionenkonzentrationen aufweisen wie dicht oberhalb des heutigen Kaliindustriegebietes.

4. Zusammenfassung

Es wurden drei Serien von Wasserproben aus der Werra vom Quellgebiet bis Dorndorf (124 km flußabwärts) auf Gehalt an Ca, Mg, Na, HCO_3 , Cl und SO_4 untersucht. Die Untersuchungsergebnisse wurden in Profilkurven dargestellt (Abb. 3-5).

Im Längsverlauf des Flusses treten charakteristische Unterschiede in der Konzentration der einzelnen Ionen auf. Die Profilkurven der zu verschiedenen Jahreszeiten (Juni und September 1952, März 1953) entnommenen Probenreihen verlaufen ähnlich. Die absolute Höhe der Ionenkonzentration ist abhängig vom Abfluß, wobei mit steigendem Abfluß die Ionenkonzentration abnimmt.

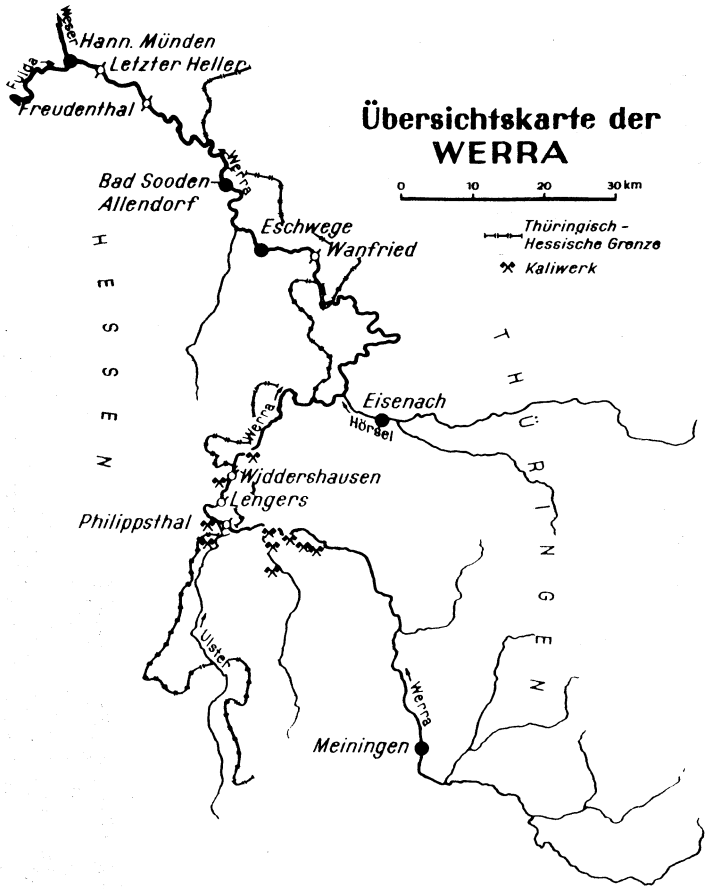
Die örtlichen Schwankungen in der Ionenkonzentration im Werralauf werden durch die Einmündung von Nebenflüssen oder auch durch versteckte Grundwasserzutritte hervorgerufen. Der Verlauf der Profilkurven der Ionengehalte läßt sich durch Vergleich mit den Gesteins- und Grundwasserverhältnissen des Einzugsgebietes verständlich machen. Im Bereich der oberen Werra spielt dabei eine Rolle, daß kristalline Gesteine und Ablagerungen des Rotliegenden, des mittleren und unteren Buntsandsteins (mit weichem Grundwasser) mit Sedimenten des Zechsteins, oberen Buntsandsteins und Muschelkalkes (mit hartem Grundwasser) lokal abwechselnd auftreten (Abb. 7).

Eine Übersicht über die Chloridgehalte der gesamten Werra einschließlich der abwasserbedingten Brackwasserzone gibt Abb. 6. Außerdem werden Analysendaten für die Werra und Nebenflüsse im heutigen Brackwassergebiet aus der Zeit vor der industriellen Versalzung angeführt.

Literatur

- HOPPE, W. — 1952 — Die hydrogeologischen Grundlagen der Wasserversorgung in Thüringen. G. Fischer, Jena.
- Jahrbuch für Gewässerkunde der DDR. Herg.: Meteorologischer und Hydrologischer Dienst der DDR.
- SCHMITZ, W. — 1950 — Der Wasserchemismus der Fulda unter besonderer Berücksichtigung der geologischen Einflüsse. Jber. Limnol. Flußstation Freudenthal 1, 28-36.
- SCHMITZ, W. — 1951 — Flammenphotometrische Analysenverfahren in der Wasseranalyse. Jber. Limnol. Flußstation Freudenthal 2, 45-59.
- SCHMITZ, W. — 1952 — Die Bestimmung von Säurebindungsvermögen, Kalzium und Magnesium im Wasser in einem Titrationsgang mit Dinatrium-äthylen-diamin-tetraacetat. Vom Wasser 19, 146-156.

- SCHMITZ, W. — 1956 — Der Mineralgehalt der Oberflächengewässer des Fulda-Eder-Flußgebietes. Ber. Limnol. Flußstation Freudenthal 7, 43-60.
- SCHMITZ, W. — 1956 a — Salzgehaltsschwankungen in der Werra und ihre fischereilichen Auswirkungen. Vom Wasser 23, 113-136.
- SCHEELE, M. — 1956 — Verbreitung und Ökologie der Kieselalgen der Werra mit besonderer Berücksichtigung der Halophyten. Arch. f. Hydrobiol. 51, 525-456.
- Standard methods for the examination of water and sewage, ninth ed. 1946, Amer. Publ. Health Ass.
- TJADEN — 1915 — Die Kaliindustrie und ihre Abwässer. Gebr. Borntraeger, Berlin.
- VOGEL, H. I. — 1913 — Die Abwässer in der Kaliindustrie. Gebr. Borntraeger, Berlin.



Übersichtskarte der WERRA

0 10 20 30 km

Thüringisch - Hessische Grenze
 x Kaliwerk

Abb. 1: Übersichtskarte der Werra.

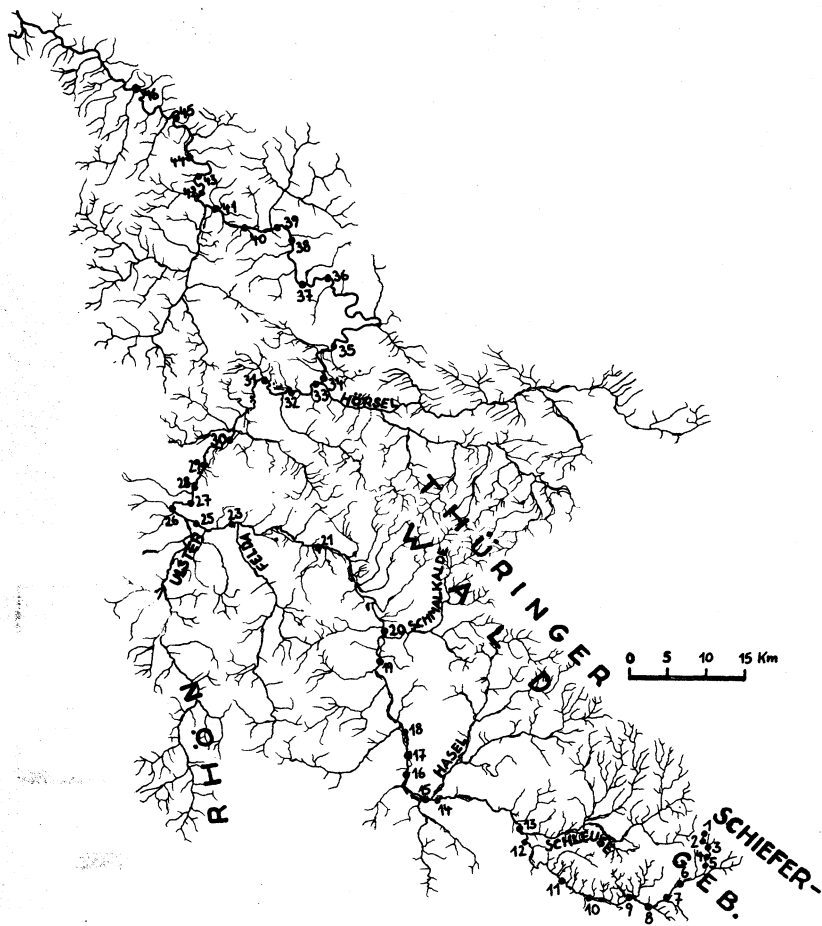


Abb. 2: Lage der Untersuchungsstationen.

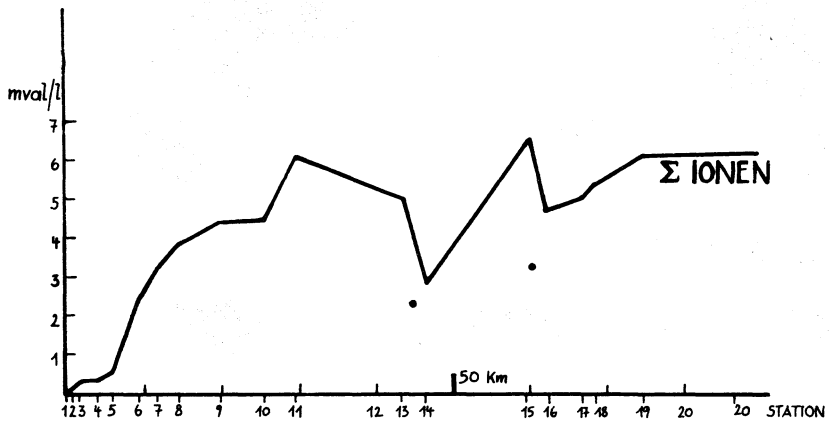


Abb. 3: Gesamtionen-Konzentration des Werrawassers im September 1952.

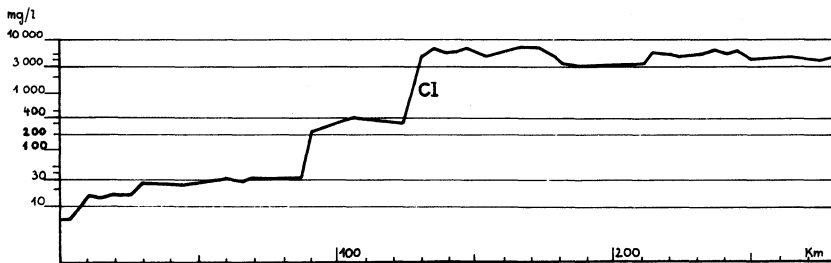


Abb. 6: Chlorid-Konzentrationen im Werrawasser im September 1952.

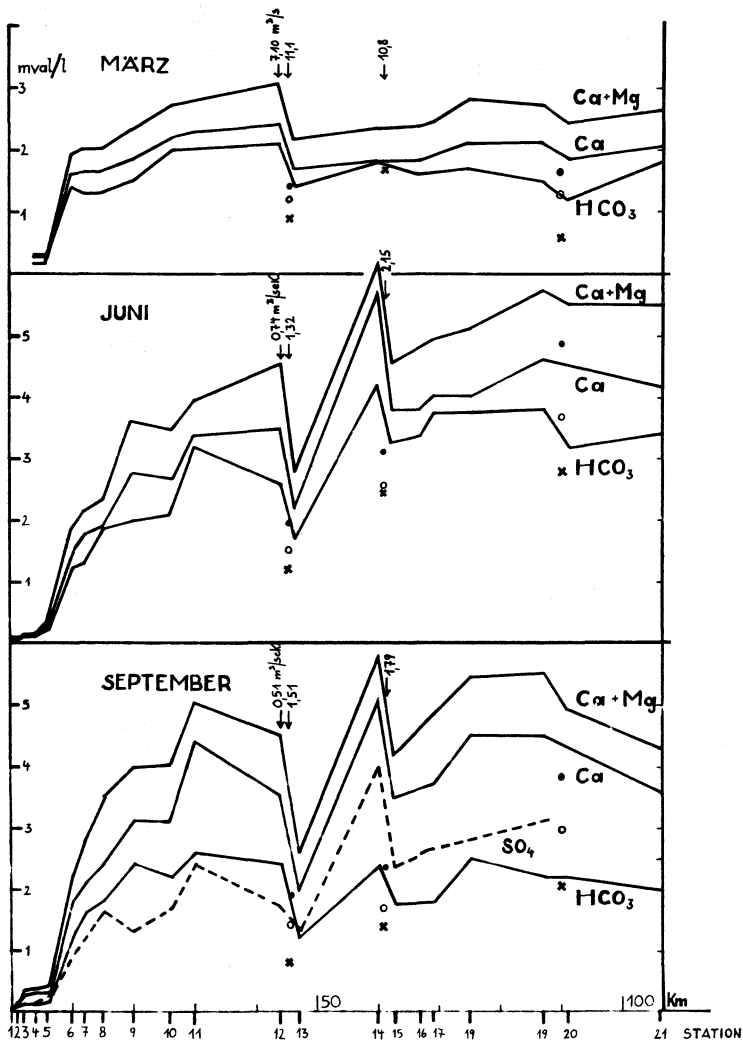


Abb. 4: Gesamthärte, Kalzium- und Hydrogenkarbonat- und Sulfat-Konzentrationen im Werrawasser 1952/53.

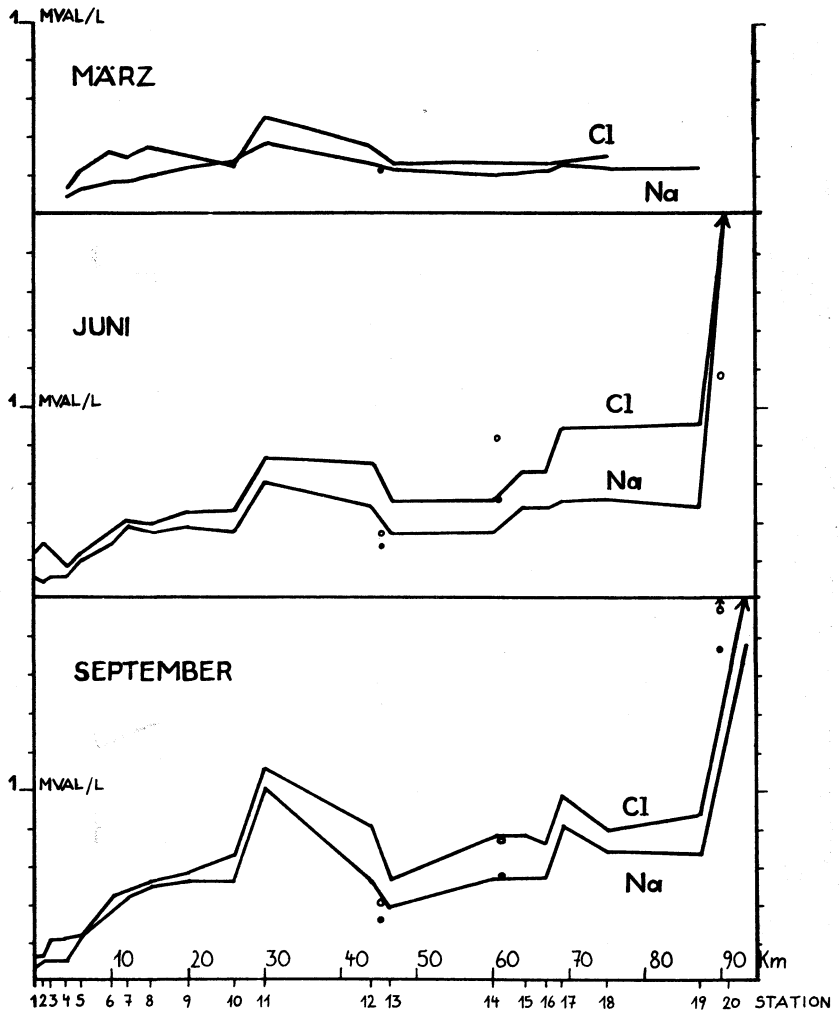


Abb. 5: Chlorid- und Natrium-Konzentrationen im Werrawasser 1952/53.

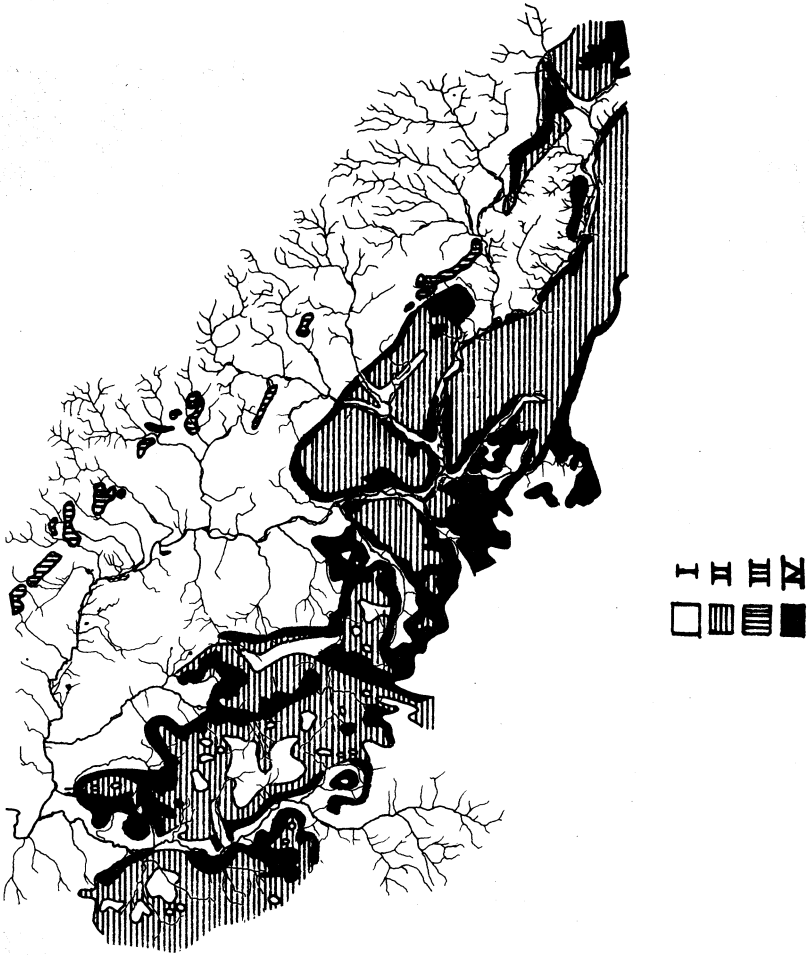


Abb. 7: Karte des Grundwasserchemismus im oberen Werragebiet (Grundlagen HOPPE 1952).

- I: Weiches Wasser (präpaläoz. Schiefer, Rotliegendes, mittlerer u. unterer Buntsandstein kristall. Gesteine).
- II: Hartes u. sehr hartes Wasser, vorwiegend Karbonathärte (Muschelkalk).
- III: Hartes u. sehr hartes Wasser, z. T. hohe bleibende Härte (Zechstein).
- IV: Hartes u. sehr hartes Wasser mit vorherrschend bleibender Härte (oberer Buntsandstein).