Über die physikalisch-chemischen und bakteriologischen Vorgänge und Veränderungen des bei Immendingen-Fridingen versinkenden Donauwassers bis zur Aachquelle

Joseph Mauz, Konstanz

Wasser ist als ständiger Begleiter aller Lebensvorgänge ein Rohstoff geworden, der in zunehmendem Maße qualitative und quantitative Probleme aufwirft. Die Bedeutung und einmalige Stellung des Wassers im Naturgeschehen wird erst dann richtig erkannt, wenn es zur Mangelware wird. Industrie und Wirtschaft müssen seit geraumer Zeit ihren Standort nach dem Angebot an Grund- und Oberflächenwasser ausrichten.

Jedes Wasser (Niederschlagswasser, Abwasser etc.) ist bei der Bodenpassage physikalisch-chemischen und bakteriologisch-biologischen Prozessen unterworfen. Die verschiedenartige Filterkraft jeder Bodenart ist bei diesen Vorgängen entscheidend für die Beschaffenheit und die chemische Zusammensetzung des von zumeist unlöslichen Begleitstoffen nunmehr befreiten echten Grundwassers.

Soweit die bisherigen Erkenntnisse und Erfahrungen ausreichen, kann gesagt werden, daß das bei Immendingen-Fridingen versinkende Donauwasser weniger durch Bodenfiltration gereinigt wird, da es durch Klüfte und Spalten direkt den Karstgerinnen und Karsthöhlen zufließt, bis es nach 50 bis 70 Stunden Verweilzeit an der Aachquelle wieder zum Vorschein kommt.

Es war daher angebracht, die Beschaffenheit des bei Immendingen (Brühl) = I und bei Fridingen = F (Waldgelände unterhalb Gaststätte Bergesteig) versinkenden Donauwasseres mit dem bei der Aachquelle = A (Enteneinstieg) ankommenden Wasser in seiner chemisch-physikalischen Veränderung vergleichend zu überprüfen.

Die bei diesen Untersuchungen angewandten Methoden sind in den Deutschen Einheitsverfahren für Wasseruntersuchungen niedergelegt.

Die Untersuchungen wurden im Jahre 1953 begonnen und nach Tabelle 1 zunächst nur auf die Veränderungen im Härtehaushalt ausgerichtet. Vom Jahre 1964 an wurden in Reihenuntersuchungen Tabelle 2 – 5 (2) und in Einzeluntersuchungen Tabelle 6 – 9 (3) chemische Vollanalysen erstellt, welche vor allem in Form von Reihenuntersuchungen gute Einblicke in die unterirdischen Geschehnisse bieten. Die Wasserproben an der Aachquelle wurden 2–3 Tage nach der Entnahme an den Versickerungsstellen erhoben. In orientierenden Untersuchungen von Wasserproben, welche an 3 verschiedenen Stellen im Aachtopf entnommen worden waren, wurde festgestellt, daß die Entnahmestelle A = Enteneinstieg als repräsentativ zu betrachten ist.

Temperatur: Nach Tabelle 13, welche eine Zusammenfassung aller vergleichbaren Untersuchungsergebnisse bringt, geht die Temperatur, welche für die Schnelligkeit der chemisch-biologischen Prozesse mitbestimmend ist, von 16,6 ° (J) bzw. 18,3 ° (F) auf 12,9 ° bei A zurück. Diese Aussage ist insofern nicht allgemeingültig, als der größte Teil der Proben während der warmen Jahreszeit erhoben wurde. In 11 vergleichenden Temperaturmessungen aus dem Winter 1956/1957 ergab sich ein Temperaturanstieg von 1,7 ° bei J auf 5,5 ° bei A.

Reaktion pH Wert: Dieser mit physikalischen Meßmethoden ermittelte Wert bietet Einblicke in die neutrale (pH 7), saure (pH unter 7) oder alkalische Reaktion

(pH Wert größer als 7) des betr. Wassers. Die pH Werte bei A sinken gegenüber den Werten bei J und F bedeutend ab. Diese Erscheinung ist vor allem auf die Zunahme der Kohlensäure als Gradmesser der organischen Abbauvorgänge zurückzuführen.

Leitfähigkeit: Mit der Messung der Leitfähigkeit gewinnt man Hinweise für die Zu- oder Abnahme der gelösten ionenbildenden anorganischen Elemente und der damit zusammenhängenden Mineralisationsvorgänge. Schon auf der oberirdischen Fließstrecke der Donau von J nach F nimmt der Wert der Leitfähigkeit zu. Ebenso besitzt das bei A ankommende Wasser stets einen höheren Wert gegenüber J. Diese Erscheinung ist vornehmlich auf das verbesserte Auflösungsvermögen von Calciumkarbonat zurückzuführen. Obwohl eine endgültige Aussage noch nicht möglich ist, sei erwähnt, daß starke Niederschläge sich nicht immer verdünnend auswirken, sondern sogar gelegentlich zu einer Erhöhung des Gesamtionengehalts führen können.

Die Chloridionen entwickeln sich keineswegs einheitlich. Im Durchschnitt gleichen sich die Werte bei J und A an, während bei F stets weniger Chloridionen anzutreffen sind. Der am 26. 8. 69 bei J angestellte Versuch mit Kochsalz tritt am 29. 8. 69 bei A deutlich, jedoch am 2. 9. 69 nicht mehr in Erscheinung.

Stickstoffverbindungen: Die Stickstoffsituation ist dadurch gekennzeichnet, daß das Versickerungswasser bei J und F infolge fäkalischer Belastung hohe Ammoniakwerte aufweist. Während der unterirdischen Verweildauer oxidiert der ursprünglich gelegentlich sogar im Überschuß vorhandene Sauerstoff den größten Teil dieser Ammoniakverbindungen über Nitrit zu Nitrat. Entsprechend sind bei A nur noch Spuren an Nitriten und Ammoniakverbindungen, dagegen höhere Nitratanteile anzutreffen. Wenn man alle anorganischen Stickstoffverbindungen durch Umrechnen auf Stickstoff = N bilanzmäßig erfaßt, so enthält das bei A ankommende Wasser 2,83 mg/L, das bei J eingesickerte Wasser = 2,22, das Wasser bei F = 2,62 mg N/Liter. Soweit diese Stickstoffbilanz nicht durch nachträglich eingesickertes Grundwasser beeinflußt wurde, ist die Annahme berechtigt, daß auch organische Substanz, z. B. Eiweißverbindungen, ebenfalls oxidiert wurden.

Die Phosphatwerte schwanken bei allen 3 Entnahmestellen stark. Diese Erscheinung ist auf die unterschiedliche Wasserführung sowie auf die Benützung der oberen Donau als Vorflut für Abwässer von ca. 100 000 Einwohnern mit teilweise fehlender oder ungenügender Reinigung zurückzuführen. Hinzukommt, daß alle Flüsse durch Düngemittelphosphat vor allem bei Abschwemmung durch Starkregen beeinflußt werden. Durch die Waschmittelphosphate, die heute in derselben Menge in das Abwasser eingebracht werden, wie das von Fäkalabgängen stammende Phosphat, wird ein zusätzliches Phosphatdepot geschaffen. Die in den Waschmitteln vorhandenen Polyphosphate sind je nach den Milieuverhältnissen verschiedenen Um- und Abbauprozessen unterworfen, bis sie von der angewandten Untersuchungsmethodik analytisch erfaßt werden. Wenn das in der Aachquelle ankommende Wasser im Durchschnitt nur noch die Hälfte des Betrages an Orthophosphat aufweist wie an der Versickerungsstelle, so hängt dies nicht mit der Bildung und Deponierung von Phosphat in organischer Substanz, z. B. Phytoplankton, zusammen, da das Wachstum dieser Organismen an das Vorhandensein von Licht gebunden ist. Der Rückgang der Bakterien und des Verbrauchs an Kaliumpermanganat geben klare Hinweise dafür, daß die Organismen und organischen Verbindungen abgenommen haben. Zur Erklärung für die Phosphatminderung von J und F nach A kann die als allgemein gültige Feststellung dienen, die besagt, daß kalkreiche Grundwasser phos-

phatarm, kalkarme Gewässer (z. B. Schwarzwaldgebirgswässer) dagegen ausgesprochen phosphatreich sind. Es ist daher mit Sicherheit anzunehmen, daß nicht zuletzt, durch die Kalkaufhärtung bedingt, ein Teil des vorhandenen und sich aus Polyphosphat gebildeten Orthophosphates durch adsorptive oder chemische Bindung an Kalk- oder Eisenverbindungen unlöslich geworden ist und als Sediment aus dem Wasser ausscheidet. Diese negative Phospatbilanz ist um so erfreulicher, da Phosphat, über die Radolfzeller Aach in den Bodensee-Zellersee eingebracht, stets als Initialzündung für eine den See allgemein belastende vermehrte Planktonentwicklung dienen kann.

Der Phosphatstoffwechsel hängt eng mit dem *Eisenstoffwechsel* zusammen. Der Rückgang des Eisens von J nach A bestätigt die oben angeführten Erwägungen, da beim Zusammentreffen von Eisen- und Phosphationen bei Gegenwart von Sauerstoff unlösliches Ferriphosphat sich niederschlägt.

Der sehr starke Rückgang der Werte für den Verbrauch an *Kaliumpermanganat* von 48,9 (J) und 18,5 (F) auf 13,3 (A) macht deutlich, welch große Abbauleistung allgemein an organischer Substanz auf der unterirdischen Fließstrecke geleistet wird. Obwohl der für den Abbau benötigte *Sauerstoff* von 9,8 (J) und 11,8 (F) auf 8,0 (A) abnimmt und von der pflanzlichen Assimilation kein Sauerstoffnachschub zu erwarten ist, gerät das Wasser nie in den Bereich des sauerstoffarmen oder reduzierten Zustandes. Dies bedeutet, daß alle chemischen Vorgänge im günstigen Sinne ablaufen. So führt z. B. die Oxidation des organisch gebundenen Kohlenstoffs stets zu *Kohlensäure*, welche zu Lasten des Sauerstoffs zunimmt. Die starken Schwankungen der freien Kohlensäure in Oberflächengewässern als Folge der pflanzlichen Assimilation wird anhand der Tageslinie im Bereich der Versinkungsstelle bei J und F am 1. 7. 68 (Tabelle 2) deutlich. Die Einzelwerte an freier Kohlensäure pendeln zwischen 0—5,5 mg/Liter, wobei der Sauerstoff sich zumeist gegensätzlich entwickelt. Die freie Kohlensäure des bei A eintreffenden Wassers ist um das dreifache erhöht und im Vergleich zu dem Versinkungswasser nahezu ausgeglichen. Diese Erscheinung besagt, daß das einsickernde Donauwasser während der Fließstrecke stark durchmischt wird.

Im Gegensatz zu dem Wasser an den Versinkungsstellen besitzt das bei A ankommende Wasser überschüssige d. h. aggressive und damit kalkauflösende Kohlensäure. Eine entsprechende Aufhärtung ist die natürliche Folge dieses auf den oxidativen Abbau des organisch gebundenen Kohlenstoffs beruhenden Prozesses. Die Aufhärtung beschränkt sich nahezu allein auf das an Calcium gebundene Karbonat, während Magnesiumkarbonat kaum an diesen Reaktionen beteiligt ist. Ebenso ist keine wesentliche Zunahme an der Sulfathärte zu verzeichnen. Über die Schnelligkeit der sauerstoffverbrauchenden Abbauvorgänge geben einige Sauerstoffbestimmungen nach 2 bzw. 5 Tagen Aufschluß. *Die Sauerstoffzehrung* ist im Aachwasser erheblich verzögert gegenüber den bei J entnommenen Proben. Dies ist als ein Zeichen einer Verbesserung zu werten.

Das Ergebnis der bakteriologischen Untersuchungen, welche auf die Belange der Trinkwasserbeurteilung ausgerichtet waren, besagt, daß die Zahl der auf Gelatine wachsenden Bakterien während der unterirdischen Verweilzeit stark zurückgegangen ist. Auch die anderen für die Trinkwasserqualität wichtigen bakteriologischen Leitelemente wie z. B. coliforme Bakterien, Gelatineverflüssiger oder Säurebildner (Enterokokken) nehmen ab, so daß man von einer erheblichen Verbesserung sprechen kann. Bei diesen Prozessen können Alterungserscheinungen, Lichtmangel, Temperaturwechsel und pH Änderungen eine Rolle spielen. Ebenso ist eine Mitbeteiligung

bakterienabschwächender oder bakterienabtötender Abbau- und Ausscheidungsstoffe von biologischen Organismen nicht auszuschließen.

In der Untersuchungsserie vom 1.–9. Juli 1968 wurde auch das Wasser der Kohlerbzw. Bleicherquelle (K) Gemarkung Welschingen einbezogen. In den am 4. und 5. 7. 1968 entnommenen Proben lag ein anderer Wassertypus vor, der keine direkten Vergleiche zu dem bei J, F und A angetroffenen Wasserkörper zuließ. Ob eine Mitbeteiligung des Versickerungswassers an dem Wasser der Kohlerquelle und dem in unmittelbarer Nähe erschlossenen artesischen Brunnen vorliegt, kann erst im Zusammenhang mit den vom Geologischen Landesamt angestellten Versuchen vom August 1969 erörtert werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß das bei Immendingen und Fridingen einsickernde abwasserbelastete Wasser auf der Fließstrecke (Luftlinie J–A 11,8 km) sich chemisch und bakteriologisch im günstigen Sinne verändert und sich bedeutsam erholt.

Den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Chemischen Untersuchungsamtes der Stadt Konstanz und der Wasserabteilung Konstanz der Chemischen Landesuntersuchungsanstalt Offenburg habe ich für die Erstellung der Analysen während der Jahre 1953–1968 zu danken.

Tabelle 1
Reihenuntersuchung über die Entwicklung der Härteverhältnisse bei der Donauversickerung zwischen Immendingen (I) und Aachquelle (A). Durchschnittswerte

Entnahmedatum:	18. 9. 53 — 2. 10. 53		13. 10. 53 — 23. 6. 54		2. 8. 56 — 8. 2. 57	
Zahl der Einzeluntersuchungen:	I 15	A 15	I 29	A 31	I 23	A 24
Calciumhärte (° d. H.)			6,5	9,2	6,0	8,4
Magnesiumhärte (° d. H.):			2,1	2,0	1,6	1,5
Gesamthärte (° d. H.):	11,5	12,4	8,6	11,2	7,6	9,9
Karbonathärte (° d. H.):	7,2	8,6	5,9	8,2	5,4	7,8
Nichtkarbonathärte (° d. H.) berechnet:	4,3	3,8	2,7	3,0	2,2	2,1

Tabelle 2
(Reihenuntersuchungen)
Donauversinkung Immendingen (I), Fridingen (F), Aachquelle (A), Kohlerquelle (K)
(Welschingen)

Entnahmedatum:	1. Juli 1968							2. Juli 1968	
Witterung vor Entnahme:	vom 24. 6. bis 5. 7. 1968 war im ganzen Erfassungsbereich schönes Wetter								
Entnahmestelle:	(I)	(I)	(I)	(I)	(I)	(I)	(I)	(I)	(I)
Uhrzeit:	8,15	11,20	12,45	14,05	16,30	18,30	20,30	1,00	6,00
Wassertemp. ° Cels.:	20,3	21,2	21,7	22,0	22,4	22,2	21,9	21,2	20,0
Reaktion pH (Glaselektrode):	8,1	8,6	8,5	8,6	8,7	8,6	8,5	8,3	8,1
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20° C):	370	370	380	385	380	380	380	395	370
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	32	32	36	36	26	36	36	28	44
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	9	8	5	11	8	10	10	10	7
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,62
Ammonium-Ion (NH_4^+ mg/l):	0,25	0,25	0,25	0,25	0,40	0,25	0,25	0,25	0,25
Calciumhärte (komplexom., ° d. H.):	6,5	6,5	6,6	6,5	6,6	6,7	6,5	6,4	6,8
Magnesiumhärte (komplexom., ° d. H.):	3,7	3,7	3,6	3,8	3,7	3,6	3,8	4,6	4,7
Gesamthärte (komplexom., ° d. H.):	10,2	10,2	10,2	10,3	10,3	10,3	10,3	11,0	11,5
Karbonathärte (° d. H.):	7,6	7,6	7,6	7,8	7,8	7,8	7,8	8,1	8,4
Nichtkarbonathärte (° d. H.):	2,6	2,6	2,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,9	3,1
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	10,6	11,2	11,8	11,3	11,0	11,0	9,4	10,4	6,9
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	4,4	1,1	1,1	1,1	0	0	3,3	4,4	5,5

Tabelle 3
(Reihenuntersuchungen)
Donauversinkung Immendingen (I), Fridingen (F), Aachquelle (A), Kohlerquelle (K)
(Welschingen)

Entnahmedatum:	1. 7. 1968		2. 7. 1968		4. 7. 1968		5. 7. 1968
Entnahmestelle:	(F)	(F)	(F)	(F)	(K)	(K)	(K)
Uhrzeit:	10,20	15,30	19,30	8,30	8,45	15,45	12.00
Wassertemp. ° Cels.:	21,2	24,6	23,6	18,8	10,2	10,8	11 1
Reaktion pH (Glaselektrode):	8,7	8,9	8,7	7,9	7,5	7,6	7,6
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20° C):	420	395	405	445	610	590	590
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	24	16	28	34	24	22	22
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	5	5	9	5	30	30	30
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	0,62	0,62	0,68	0,68	0,05	0,05	0,05
Ammonium-Ion (NH_4^+ mg/l):	0,20	0,25	0,25	0,25	0,05	0,05	0,05
Calciumhärte (komplexom., ° d. H.):	9,2	9,2	9,4	9,8	12,4	12,4	12,4
Magnesiumhärte (komplexom., ° d. H):	3,9	3,6	3,3	3,4	6,4	6,4	6,4
Gesamthärte (komplexom., ° d. H.):	13,1	12,8	12,7	13,2	18,8	18,8	18,8
Karbonathärte (° d. H.):	12,6	12,0	12,3	12,9	16,2	16,2	16,2
Nichtkarbonathärte (° d. H.):	0,5	0,8	0,4	0,3	2,6	2,6	2,6
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	13,2	14,7	9,7	5,6	8,1	9,1	8,8
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	0	0	0	5,5	37,0	33,0	33,0

Tabelle 4
(Reihenuntersuchungen)
Donauversinkung Immendingen (I), Fridingen (F), Aachquelle (A), Kohlerquelle (K)
(Welschingen)

Entnahmedatum:	3. 7. 68			4. 7. 68			5. 7. 68	9. 7. 68	
Entnahmestelle:	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
Uhrzeit:	17,00	19,00	20,00	6,10	9,45	12,45	17,00	12,00	17,00
Wassertemp. ° Cels.:	15,0	14,9	15,2	15,1	15,2	15,2	15,3	15,6	—
Reaktion pH (Glaselektrode):	7,7	7,6	7,5	7,7	7,8	7,8	7,6	7,7	7,7
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20° C):	420	425	425	410	425	435	390	420	425
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	43	43	44	42	42	43	41	44	42
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	13	13	24	15	15	15	15	9	10
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	0,35	0,35	0,35	0,35	0,40	0,40	0,35	0,35	0,30
Ammonium-Ion (NH_4^+ mg/l):	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Calciumhärte (komplexom., ° d. H.):	8,2	8,2	8,2	8,1	8,2	8,3	8,1	8,0	8,2
Magnesiumhärte (komplexom., ° d. H.):	4,2	4,1	4,2	4,1	4,1	4,1	4,0	4,1	4,1
Gesamthärte (komplexom., ° d. H.):	12,4	12,3	12,4	12,2	12,3	12,4	12,1	12,1	12,3
Karbonathärte (° d. H.):	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,5	9,5	9,8
Nichtkarbonathärte (° d. H.):	2,6	2,5	2,6	2,4	2,5	2,6	2,6	2,6	2,5
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	8,1	8,4	8,1	8,4	8,3	7,5	8,4	7,7	7,3
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	15,4	14,3	14,3	15,4	15,4	17,6	19,8	17,6	15,4

Tabelle 5
(Reihenuntersuchungen)
Donauversinkung Immendingen (I), Fridingen (F), Aachquelle (A)

Entnahmedatum:	9. 6. 69					12. 6. 1969		
Entnahmestelle:	(I)	(I)	(I)	(F)	(F)	(A)	(A)	(A)
Uhrzeit:	11,00	14,30	16,00	9,00	17,30	9,00	12,00	19,00
Wassertemp. ° Cels.:	13,4	14,3	14,8	12,2	14,7	10,8	11,3	11,6
Reaktion pH (Glaselektrode):	7,7	7,9	8,1	7,8	8,1	7,0	7,0	7,2
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20° C):	306	297	306	346	364	396	416	396
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	10,0	9,5	9,5	8,5	9,5	11,0	10,6	10,1
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	7,0	8,0	7,0	9,0	9,0	10,0	9,0	9,0
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	2,00	0,60	0,55	0,65	0,75	0,18	0,15	0,16
Ammonium-Ion (NH_4^+ mg/l):	0,80	0,40	0,40	0,40	0,60	0,13	0,14	0,14
Calciumhärte (komplexom., ° d. H.):	6,2	6,7	7,3	8,4	9,00	9,5	9,5	9,5
Magnesiumhärte (komplexom., ° d. H.):	1,8	1,6	1,1	0,9	0,9	1,5	1,5	0,9
Gesamthärte (komplexom., ° d. H.):	8,0	8,3	8,4	9,3	9,9	11,0	11,0	10,4
Karbonathärte (° d. H.):	6,1	6,1	6,1	7,5	8,4	8,9	8,9	8,7
Nichtkarbonathärte (° d. H.):	1,9	2,2	2,3	1,8	1,5	2,1	2,1	1,7
Kaliumpermanganatverbrauch ($KMnO_4$ mg/l):	20,8	20,5	19,6	18,9	19,3	8,5	9,8	8,5
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	8,9	9,2	9,3	9,4	9,7	8,4	8,0	8,3
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	4,4	5,5	4,4	4,4	6,6	19,8	15,4	17,6
Sauerstoffgehalt nach 2 Tagen:	7,9	8,2	9,0	—	—	7,8	7,9	—
nach 5 Tagen:	5,7	7,2	7,8	7,3	6,4	7,3	—	7,8

Tabelle 6
Donauversickerung – chemische Einzeluntersuchungen
I = Versickerung Immendingen, F = Versickerung Fridingen, A = Aachquelle

Entnahmedatum:	11. 9. 1964	21. 9. 1964	11. 5. 1965	13. 5. 1965	14. 5. 1965	18. 5. 1965	20. 5. 1965
Entnahmestelle:	(I)	(A)	(I)	(A)	(A)	(I)	(A)
Wassertemp. ° Cels.:	—	—	8,7	11,5	11,5	13,2	—
Reaktion pH (Glaselektrode):	8,1	7,5	7,5	7,1	—	8,2	7,9
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20° C):	475	475	215	360	360	260	340
Bikarbonat-Ion (HCO_3' mval):	—	—	1,7	3,3	3,3	2,3	3,4
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	48,1	38,0	12,0	36,4	26,2	23,1	21,4
Nitrit-Ion (NO_2' mg/l):	0,340	0,006	0,086	0,002	0,002	0,067	0,022
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	8,3	12,9	6,5	11,5	11,5	8,8	9,4
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	1,30	1,35	0,025	0,025	0,025	0,380	0,140
Ammonium-Ion (NH_4' mg/l):	1,50	—	0,11	0,06	0,05	0,26	0,13
Eisen-Ion (Fe'' mg/l):	—	0,051	0,02	0,02	0,02	—	—
Calciumhärte (komplexom., ° d. H.):	—	—	3,7	4,5	4,0	4,6	8,0
Magnesiumhärte (komplexom., ° d. H.):	—	—	2,1	6,5	6,7	2,4	3,7
Gesamthärte (komplexom., ° d. H.):	—	—	5,8	11,0	10,7	7,0	11,7
Karbonathärte (° d. H.):	—	—	4,8	9,2	9,2	6,4	9,5
Nichtkarbonathärte (° d. H.):	—	—	1,0	1,8	1,5	0,7	2,2
Kaliumpermanganatverbrauch ($KMnO_4$ mg/l):	15,9	9,8	50,0	6,3	5,4	57,0	8,5
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	10,4	7,7	10,1	9,6	—	9,5	4,3
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	—	—	4,4	11,6	—	4,4	4,4

Tabelle 7
Donauversickerung – chemische Einzeluntersuchungen
I = Versickerung Immendingen, F = Versickerung Fridingen, A = Aachquelle

Entnahmedatum:	9. 6. 1965	11. 6. 1965	7. 7. 1965	9. 7. 1965	26. 7. 1965	28. 7. 1965
Witterung vor Entnahme:	viel Regen		schön		Regen	
Entnahmestelle:	(I)	(A)	(I)	(A)	(I)	(A)
Wassertemp. ° Cels.:	10,5	9,6	12,5	12,0	15,0	12,5
Reaktion pH (Glaselektrode):	7,6	7,4	8,05	7,6	7,9	6,9
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20° C):	245	510	360	420	350	405
Bikarbonat-Ion (HCO_3' mval):	2,8	4,1	3,0	3,7	2,8	3,8
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	23,5	16,2	74,2	36,2	14,2	12,5
Nitrit-Ion (NO_2' mg/l):	0,002	0,002	0,002	0,002	0,023	0,002
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	5,8	13,5	10,5	13,5	9,0	12,5
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	0,070	0,035	0,11	0,26	0,17	0,200
Ammonium-Ion (NH_4' mg/l):	0,09	0,06	0,40	0,01	0,26	0,02
Eisen-Ion (Fe'' mg/l):	0,20	0,02	0,80	0,02	0,21	0,08
Calciumhärte (komplexom., ° d. H.):	5,0	5,5	7,8	9,7	6,3	9,8
Magnesiumhärte (komplexom., ° d. H.):	4,5	8,1	3,5	3,3	4,2	8,3
Gesamthärte (komplexom., ° d. H.):	9,5	13,6	11,3	13,0	10,5	18,1
Karbonathärte (° d. H.):	7,8	11,8	8,4	10,3	7,8	10,6
Nichtkarbonathärte (° d. H.):	1,7	1,8	2,9	2,7	2,7	7,5
Kaliumpermanganatverbrauch ($KMnO_4$ mg/l):	65,0	9,7	8,0	19,5	67,0	21,0
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	7,8	9,0	8,9	8,2	9,2	8,5
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	7,7	24,2	8,8	17,6	6,6	—

Tabelle 8
Donauversickerung – chemische Einzeluntersuchungen
Immendingen = I Fridingen = F Aachquelle = A

Entnahmedatum:	29. 9. 1965	2. 10. 1965	13. 10. 1965	15. 10. 1965	26. 8. 1969	Hauptversuch 26. 8. 1969	29. 8. 1969	2. 9. 1969
Witterung vor Entnahme:	schön, trocken		trocken					
Entnahmestelle:	(I)	(A)	(I)	(A)	(I)	(F)	(A)	(A)
Wassertemp. ° Cels.:	—	11,7	—	—	13,3	14,2	12,5	13,0
Reaktion pH (Glaselektrode):	—	—	7,6	7,5	8,1	8,9	7,3	7,4
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20° C):	375	390	390	415	324	423	378	315
Bikarbonat-Ion (HCO_3' mval):	2,7	3,4	3,0	3,7	2,3	4,6	2,9	2,6
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	25,4	18,0	24,0	23,8	14,2	13,1	27,7	9,2
Nitrit-Ion (NO_2' mg/l):	2,200	0,002	0,26	0,005	0,13	0,13	0,002	—
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	3,1	6,5	11,3	10,7	9,2	7,5	9,0	7,5
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	0,808	0,350	0,45	0,35	0,33	0,50	0,25	—
Ammonium-Ion (NH_4^+ mg/l):	0,64	0,02	0,40	0,04	0,02	0,10	0,04	—
Eisen-Ion (Fe^{++} mg/l):	0,18	0,12	0,12	0,02	—	—	—	—
Calciumhärte (komplexom., ° d. H.):	6,2	8,0	7,8	8,4	6,7	12,3	9,0	7,8
Magnesiumhärte (komplexom., ° d. H.):	3,0	3,2	4,5	3,6	1,9	1,2	1,4	1,1
Gesamthärte (komplexom., ° d. H.):	9,2	11,2	12,3	12,0	8,6	13,5	10,4	8,9
Karbonathärte (° d. H.):	7,6	9,5	8,4	10,4	6,4	10,8	8,1	7,3
Nichtkarbonathärte (° d. H.):	1,6	1,7	3,9	1,6	2,2	0,7	2,3	1,6
Kaliumpermanganatverbrauch ($KMnO_4$ mg/l):	73,0	22,0	62,0	16,0	16,7	17,4	17,3	—
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	8,2	7,8	10,6	8,5	10,1	19,7	7,1	7,3
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	—	—	4,4	8,8	0,4	0	15,4	11,0

Tabelle 9
Donauversickerung – chemische Einzeluntersuchungen
I = Versickerung Immendingen, F = Versickerung Fridingen, A = Aachquelle

Entnahmedatum:	8. 11. 1969	8. 11 1969	8. 11. 1969	11. 11. 1969
Witterung vor Entnahme:	Längere Trockenperiode			etwas Regen
Entnahmestelle:	(I)	(F)	(A)	(A)
Wassertemp. ° Cels.:	4,9	7,5	8,8	9,4
Reaktion pH (Glaselektrode):	7,4	7,4	7,2	7,1
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20° C):	472	567	472	432
Bikarbonat-Ion (HCO_3' mval):	2,6	5,1	3,1	2,7
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	29,6	22,6	21,3	24,7
Nitrit-Ion (NO_2' mg/l):	0,05	0,020	0,002	0,036
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	10,0	4,5	10,0	10,0
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	1,17	2,50	1,05	0,95
Ammonium-Ion (NH_4^+ mg/l):	0,30	5,0 !	0,13	0,30
Calciumhärte (komplexom., ° d. H.):	9,0	14,0	10,3	9,0
Magnesiumhärte (komplexom., ° d. H.):	1,8	1,0	2,2	1,2
Gesamthärte (komplexom., ° d. H.):	10,8	15,0	12,2	10,2
Karbonathärte (° d. H.):	7,3	14,3	8,0	7,5
Nichtkarbonathärte (° d. H.):	3,5	0,7	4,2	2,7
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	10,5	12,4	8,6	8,4
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	5,5	13,2	15,4	13,2
Sauerstoff nach 2 Tagen	8,7	8,0	7,7	6,0

Tabelle 10
Donauversickerung – bakteriologische Einzeluntersuchungen
Immendingen = I Fridingen = F Aachquelle = A

Entnahmedatum:	9. 6. 1964	11. 6. 1964	13. 10. 1964	15. 10. 1964	19. 9. 1964	21. 9. 1964	19. 9. 1964	21. 9. 1964
Entnahmestelle:	(I)	(A)	(I)	(A)	(I)	(A)	(I)	(A)
Keimzahl pro 0,1 ml auf Nährgelatine 22 ° 48 Std.	5000	75	200	200	2000	250	2000	120
Zahl der Verflüssiger pro 0,1 ml	1200	2	50	48	40	122	230	50
Coliforme Bakt. in 1 ml auf Endo 24 Std. bei 37 °	66	14	100	15	45	22	19	7
Andere Kolonien auf Endo in 1 ml	150	9	200	44	35	48	84	21
Säurebildner (Enterokokken) in 1 ml	—	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle 11
Donauversickerung – bakteriologische Einzeluntersuchungen
Immendingen = I Fridingen = F Aachquelle = A

Entnahmedatum:	9. 6. 1965	11. 6. 1965	4. 11. 1969	8. 11. 1969	8. 11. 1969	8. 11. 1969	11. 11. 1969
Entnahmestelle:	(I)	(A)	(I)	(A)	(F)	(I)	(A)
Keimzahl pro 0,1 ml auf Nährgelatine 22 ° 48 Std.	5000	200	1320	80	3500	720	700
Zahl der Verflüssiger pro 0,1 ml	1000	40	40	10	180	60	100
Coliforme Bakt. in 1 ml auf Endo 24 Std. bei 37 °	66	15	60	11	18	85	90
Andere Kolonien auf Endo in 1 ml	150	44	92	10	16	115	30
Säurebildner (Enterokokken) in 1 ml	—	—	20	18	250	195	150

Tabelle 12
Donauversickerung – bakteriologische Einzeluntersuchungen
Immendingen = I Fridingen = F Aachquelle = A

Entnahmedatum:	26. 8. 1969	26. 8. 1969	29. 8. 1969	2. 9. 1969
Entnahmestelle:	(I)	(F)	(A)	(A)
Keimzahl pro 0,1 ml auf Nährgelatine 22 ° 48 Std.	800	1600	1200	400
Zahl der Verflüssiger pro 0,1 ml	40	150	50	40
Coliforme Bakt. in 1 ml auf Endo 24 Std. bei 37 °	120	35	125	43
Andere Kolonien auf Endo in 1 ml	600	500	400	10
Säurebildner (Enterokokken) in 1 ml	19	27	130	57

Tabelle 13
Donauversickerung – chemische Durchschnittswerte aus Tabelle 2 bis 9
Die Zahl der Einzeluntersuchungen wird in Klammer ( ) angeführt
Immendingen = I Fridingen = F Aachquelle = A

Entnahmestelle:	(I)		(F)		(A)	
Wassertemp. ^{0} Cels.:	16,6	(18)	18,3	(8)	12,9	(19)
Reaktion pH (Glaselektrode):	8,1	(21)	8,3	(8)	7,4	(21)
Spez. Leitfähigkeit (Mikro-Siemens, bei 20^0 C):	348	(21)	420	(8)	408	(23)
Bikarbonat-Ion (HCO_3' mval):	2,6	(21)	4,1	(8)	3,4	(21)
Chlorid-Ion (Cl' mg/l):	28,3	(22)	19,4	(8)	29,7	(22)
Nitrit-Ion (NO_2' mg/l):	0,336	(10)	—		0,008	(10)
Nitrat-Ion (NO_3' mg/l):	8,2	(22)	6,7	(8)	12,1	(22)
Phosphat-Ion (PO_4''' mg/l):	0,607	(22)	0,562	(8)	0,348	(22)
Ammonium-Ion (NH_4^+ mg/l):	0,300	(21)	0,88	(8)	0,06	(21)
Eisen-Ion (Fe^{++} mg/l):	0,13	(6)	—		0,06	(6)
Calciumhärte (komplexom., ^{0} d. H.):	6,3	(21)	10,1	(8)	8,1	(21)
Magnesiumhärte (komplexom., ^{0} d. H.):	3,2	(21)	2,2	(8)	3,8	(21)
Gesamthärte (komplexom., ^{0} d. H.):	9,5	(21)	12,3	(8)	11,9	(21)
Karbonathärte (^{0} d. H.):	7,4	(21)	11,7	(8)	9,7	(21)
Nichtkarbonathärte (^{0} d. H.):	2,1	(21)	0,6	(8)	2,2	(21)
Kaliumpermanganatverbrauch ($KMnO_4$ mg/l):	48,9	(11)	18,5	(3)	13,3	(11)
freier Sauerstoff (O_2 mg/l):	9,8	(21)	11,8	(8)	8,0	(21)
freie Kohlensäure (CO_2 mg/l):	3,8	(18)	3,7	(8)	15,3	(18)