©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Mitteilungen für Naturkunde und Naturschutz

Neue Folge, Band 5, Heft 6 **1. September 1952**

Über den Mechanismus der Donauversinkung und der Aachquelle

(Mit 2 Abbildungen)

Von Ludwig Erb, Freiburg i. Br.

Das in der geologischen, hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Literatur so oft besprochene Problem der Donauversinkung hat in einer schon vor zwanzig Jahren erschienenen Veröffentlichung eine Behandlung erfahren, deren hervorragende Bedeutung in einem krassen Mißverhältnis zu ihrer geringen Beachtung steht. Allerdings dürfte dies nur an der fehlenden Verbreitung dieser halbamtlichen Schrift liegen (Türk, W.: Wesen und Wirken der Donauversinkung. — Als Manuskript gedruckt, Karlsruhe 1932). Es erscheint deshalb angezeigt, die wesentlichen Ergebnisse von Türks durchaus origineller Analyse und Synthese über das berühmte Studien- und Lehrobjekt an leichter zugänglicher Stelle kurz zusammenzufassen. Zugleich bietet sich dabei die Gelegenheit, die gewonnenen Vorstellungen in die geologische Wirklichkeit hineinzufügen, was wiederum erhebliche Änderungen der hydraulischen Annahmen von Türk zur Folge hat. Türks geologische Deutung ist nämlich unmöglich; das aber setzt den Wert seiner Erkenntnisse über die Steuerung des Versinkungsvorganges nicht herab, was ausdrücklich betont sei. Von den nahezu 100 graphischen Darstellungen der sorgfältig gesammelten und geistreich ausgewerteten Grundlagen des Werkes und den Dutzenden von Tabellen kann hier nichts wiedergegeben werden.

Dem Referat über die Türk'schen Ergebnisse wird eine Einführung in die Topographie und Geologie vorangestellt unter Beigabe einer Skizze. Nach dem referierenden Teil, in dem viele Formulierungen wörtlich übernommen sind, folgt ein Abschnitt, welcher die Hydraulik der Vorgänge mit den geologischen Tatsachen in Einklang zu bringen sucht; diesem Teil sind zwei geologisch-hydrologische Schnitte beigegeben.

Die topographischen und geologischen Verhältnisse

In dem Flußabschnitt zwischen den Pegelstationen Kirchen-Hausen und Beuron verliert die Donau von der im Mittel gegen 20 cbm pro Sekunde beigebrachten Gesamtwassermenge einen erheblichen Teil durch Versinkung in durchlässigen Kalken des Malms. Das geschieht teils im Flußbett selbst, teils über das Grundwasser. Die Hauptversinkungsstellen liegen im Gewann Brühl nahe unterhalb Immendingen — wo zeitweise Vollversinkung eintritt — und in der

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Flußschleife unterhalb Fridingen. Auch im Immendinger Wehr sind Schlucklöcher vorhanden. Durch den im Jahr 1924 erfolgten Kraftwerkbau bei Fridingen, welcher eine Wassermenge von 10 m^3/s durch einen Stollen ableitet und damit den Schlucklöchern fernhält, sind die natürlichen Verhältnisse dort gestört. Nur zur Zeit höherer Wasserführung findet in der Fridinger Schleife noch eine Versinkung unmittelbar aus dem sonst leeren Flußbett statt; was in der Zeit des leeren Flußbetts aus dem Grundwasser den dortigen Spalten zukommt, bleibt dem Auge verborgen.

Das an den erwähnten und an verschiedenen anderen Stellen versunkene Donauwasser tritt geschlossen in der Aachquelle, also im rheinischen Bereich wieder zutage, jedoch vermehrt um das dem übrigen Einzugsbereich der Aachquelle entstammenden Wasser; die durchschnittliche Spende der Aachquelle beträgt nahezu 10 m^3/s (Min. 1,32 m^3/s; Max. 24,8 m^3/s). Davon entstammt ein Teil dem eigenen Einzugsbereich der Aachquelle rechts der Donau (Abb. 1). Es umfaßt 220 km^2, wovon ein schmaler Streifen zeitweise zur Donau entwässert. Rechnet man mit 200 km^2 und mit einer Spende von 10 $l/s/km^2$ (Türk, S. 35), so ergeben sich 2 m^3/s. Ein weiterer, schwer zu fassender Teil kommt unterirdisch von dem links der Donau liegenden Gebiet als Grundwasser bei (vgl. die schematischen Schnitte Abb. 2).

Die nachstehenden Höhenangaben liefern eine ungefähre Vorstellung über die Gefällsverhältnisse der unterirdischen Wasserwege.

Schlucklöcher am Brühl	655 m
Schlucklöcher in der Fridinger Schleife	617 m
Aachquelle	481 m

Für den unterirdischen Wasserweg Brühl—Aach ergibt sich ein Gefälle von 14,9 ‰ (174 m Gefälle auf 11,7 km Luftlinie), für die Strecke Fridingen—Aach von 7 ‰ (136 m Gefälle auf 19,5 km Luftlinie). Diese Werte sind nicht absolut richtig, da die unterirdischen Wasserwege in horizontaler und vertikaler Richtung gewunden sind, also nicht mit der Luftlinie übereinstimmen.

Die etwa 400 m mächtigen Malmschichten werden folgendermaßen gegliedert (Spitz 1930, Tobien 1948):

ma 6	(zeta 3)	Hangende Bankkalke	über 100 m
ma 5	(zeta 2)	Obere Malmmergel (Zementmergel)	50 m
ma 4^0	(zeta 1) (epsilon)	Ulmensisschichten „Loch-Epsilon“ („Massenkalk“)	60 m
ma 4^u	(delta)	Quaderkalke	12 m
ma 3	(gamma)	Mittlere Malmmergel	40 m
ma 2	(beta)	Wohlgeschichtete Kalke	90 m
ma 1	(alpha)	Untere Malmmergel	60 m

Von diesen Abteilungen sind die unteren, mittleren und oberen Malmmergel im Gegensatz zu den kalkigen Schichtgliedern wasserundurchlässig, soweit nicht rein kalkige Schwammstozen in den mittleren Mergeln gewisse vertikale Wasserwege zwischen dem Hangenden und Liegenden bieten. Andererseits können mergelig ausgebildete Stotzen wasserabschließend wirken, so in der mittleren Partie der sonst besonders durchlässigen Wohlgeschichteten Kalke. Besonders aber im „Massenkalk“ sind Schwammstotzen weit verbreitet und erzeugen dort eine weitgehende Komplikation der hydraulischen Verhältnisse.

Schon dieser Umstand der faziell wechselnden Zusammensetzung ein und desselben stratigraphischen Horizontes zwingt zur Vorstellung gewundener

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

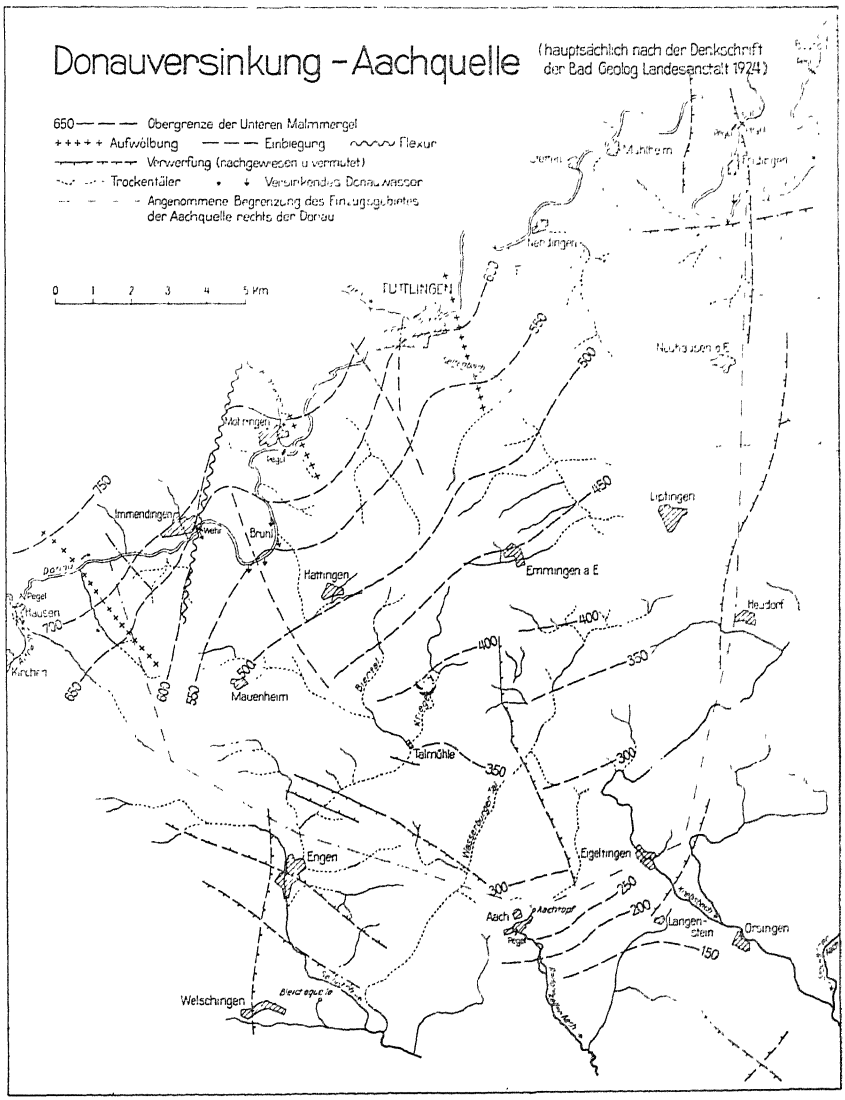

Abb. 1

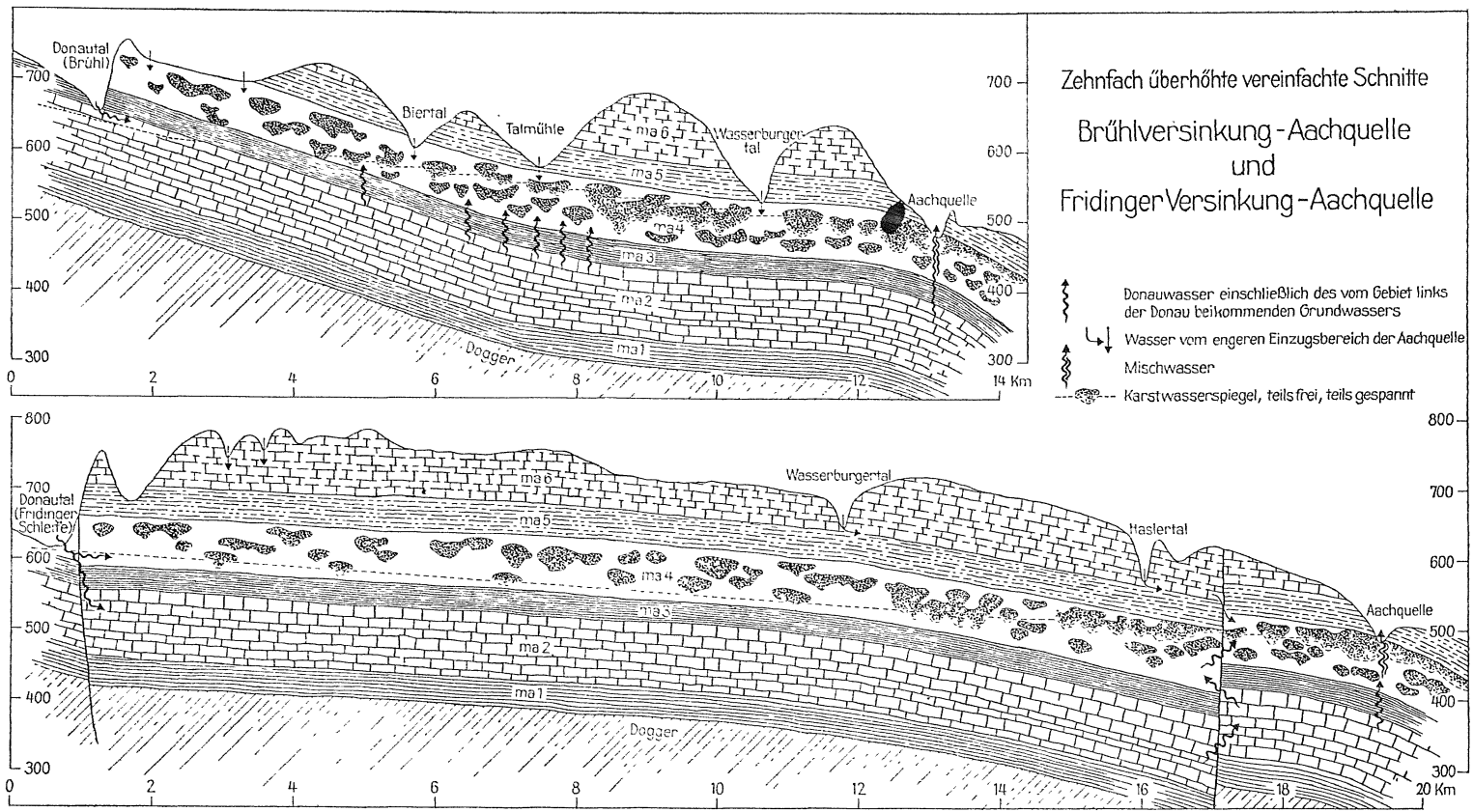

Abb. 2

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V., download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Wasserwege; es sei gleich bemerkt, daß eine andere Eigenschaft, die im Gefolge der gebirgsbildenden Vorgänge vorhandene Zerklüftung und lokale Zerschlagung des Gesteins — besonders in der Nähe von Verwerfungen — noch viel stärker zu diesen Komplikationen beiträgt.

Bei den Betrachtungen über die Wasserwege von der Donau zur Aachquelle scheiden die beiden oberen Zonen der vorstehend gegebenen Schichtenfolge völlig aus, denn die Schlucklöcher liegen am Brühl in den Wohlgeschichteten Kalken (nahe deren Obergrenze) und an der Fridinger Schleife in den Quaderkalken, während die Aachquelle in verschwammtem Massenkalk (nahe dessen Obergrenze) austritt. Auf dem Weg vom Brühl zur Aachquelle muß das versunkene Wasser also durch die im ganzen undurchlässigen Mittleren Malmmergel nach oben durchstoßen.

Die Lagerungsverhältnisse zeigen erhebliche Störungen in dem im allgemeinen mit einigen Grad nach SO geneigten Schichtenkomplex. Besonders wichtig für die hier behandelte Frage ist die Lage der Versinkungen am Brühl in einer tektonischen Mulde, die von Immendinger Wehr in einer Flexur und die der Fridinger Versinkung in einer durch Verwerfungen versenkten Scholle. Andererseits liegt die Aachquelle dort, wo sich das Schichtfallen beachtlich verstärkt („Hegauflexur"), wo also Gelegenheit zum Aufplatzen von tiefgreifenden Klüften war. Außerdem zieht eine Bruchzone, welche nördlich von Engen nachweisbar ist, unmittelbar auf die Aachquelle hin und erzeugt dort sichtbare Klüfte. Diese Tatsachen zeigen zweifelsfrei, daß die Entstehung des Donau-Aachsystems nicht auf Zerkarstung von der Oberfläche her zurückzuführen ist, sondern auf tektonisch vorgebildete Wasserzirkulationswege. Lösungserscheinungen sind nur nebenher von Bedeutung geworden durch Erweiterung dieser Wege. Diese Erweiterung wird bis zu einem gewissen Grade registriert durch die Härtezunahme, welche das versunkene Donauwasser bis zum Austritt aus der Aachquelle erleidet. Doch muß die Berechnung unsicher bleiben, weil auch Niederschlagswasser aus dem eigenen Einzugsbereich der Aachquelle bedeutend beteiligt ist, das seine Härte aus den höheren Malmschichten mitbringt, ganz zu schweigen von den starken Härteschwankungen des Donauwassers, worüber keine langen Bestimmungsreihen vorliegen. So gehen die Berechnungen weit auseinander. Die Denkschrift der Badischen Geologischen Landesanstalt kommt auf rund 9 000 m^3 jährliche Lösung von Kalk im Gebirgsinnern, bemerkt allerdings, daß wahrscheinlich eine starke Überschätzung vorliegt, während SCHAUFELBERGER mit rund 3500 m^3 rechnet.

Wie die erwähnte Denkschrift hervorhebt, spricht die Härtezunahme um einige Grad deutscher Härte für eine große Berührungsfläche Wasser gegen Gestein. Damit wird die in älteren Darstellungen enthaltene Vorstellung über das Vorhandensein weiter Höhlen und geschlossener unterirdischer Bäche hinfällig, und an ihre Stelle tritt das Bild eines anastomosierenden Fachwerks zahlreicher Spalten und Klüftchen, das allein eine große Berührungs- und damit Lösungsfläche bietet. Daß innerhalb dieses Systems weit durchziehende Schläuche vorhanden sein können, soll nicht geleugnet werden. Vielmehr zeigen die angestellten Färbungs- und Salzungsversuche[1]) eine relativ große Geschwindigkeit des unterirdischen Wassers, die nur mit leicht passierbaren Wegen in Einklang zu bringen ist. Bei den Färbungsversuchen brauchte das Wasser 60 Stunden, um den 11,7 km langen Weg vom Brühl zur Aach-

[1]) Diese Versuche wurden durchweg bei Vollversinkung ausgeführt, geben also ein etwas einseitiges Bild.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

quelle zurückzulegen, was eine Geschwindigkeit von 5,4 cm/s ergibt. Wollte man das als Beleg für den Charakter eines unterirdischen Flusses verwenden, so ließe sich dagegen einwenden, daß das Gefälle außergewöhnlich groß ist. Die beim Salzungsversuch vom Jahr 1877 (KNOP 1878) anscheinend vorhandene erste Salzwelle schon nach 24 Stunden ist nicht ganz glaubwürdig; es besteht der Verdacht, daß die geringe Erhöhung des Chloridgehaltes um das Doppelte nach 24 Stunden auf normalen Schwankungen dieses sehr wechselnden Bestandteils beruht, wobei noch die Fehlergrenze der Titriermethode mitspielen mag. Nach 90 Stunden war alles Salz in der Aachquelle wieder zutage gekommen. Die ausgeprägte Spitze der Versalzungskurve, ihr steiler Anstieg und noch steilerer Abfall sprechen ebenfalls für relativ glatten Weg, bezogen auf Zeiten der Vollversinkung.

Die an der Fridinger Schleife vorgenommenen Färbungs- und Salzungsversuche ergaben eine Geschwindigkeit von 2,7 cm/s (BERZ 1928, S. 53); auch hier sind beim Salzen angeblich zwei schwache Vorwellen beobachtet worden, welche hinsichtlich ihrer Realität Zweifel erregen. Besonders bemerkenswert bei diesem Salzungsversuch ist die Feststellung, daß in der Aachquelle nahezu doppelt soviel Chloride zutage kamen, als in die Versinkungsstelle eingeschüttet worden waren. Das wurde mit Düngergraben im Einzugsgebiet erklärt, was wohl richtig ist, aber vor allzu weitgehenden Schlüssen aus den Versuchsergebnissen warnt.

In Verbindung mit diesen Fragen mag auch die in der älteren Literatur mehrfach vorgebrachte Vermutung erwähnt werden, daß außer der Aachquelle noch weitere Quellen Donauwasser zutage fördern. Besonders die Bleichequelle südlich von Engen, welche bis zu 80 l/s liefert, ist damit gemeint gewesen. Diese und einige benachbarte Quellen von geringer Spende entspringen als Aufstoßquellen einem weit ausgedehnten würmeiszeitlichen Kiesfeld. Sieht man sich das Einzugsgebiet an, so ergibt sich, daß dieses sehr wohl imstande ist, an einer Querschnittsverengung des Grundwasserträgers diese Wassermenge zu liefern. Es besteht deshalb keine Veranlassung, an einen Zusammenhang mit der Donauversinkung zu denken. Es scheint auch, als würde die Zerklüftung der Malmkalke im Bereich südöstlich der Aachquelle nachlassen, denn an keiner Stelle sind dort nennenswerte Wasseraustritte vorhanden. Besonders spricht dafür auch die Tatsache, daß eine Tiefbohrung auf Eisenerz zwischen Langenstein und Orsingen, welche den ganzen Malm durchteuft hat, kein artesisches Wasser geliefert hat. All das spricht dafür, daß das versunkene Donauwasser in der Aachquelle r e s t l o s wieder zutage tritt.[2])

Kurz seien noch einige Färbungsversuche im echten Oberflächenkarst erwähnt (SCHAUFELBERGER 1929, S. 66—70). Sie wurden ausgeführt, um den Zusammenhang von versickerndem Bachwasser des eigenen Einzugsbereichs der Aachquelle mit dieser nachzuweisen und fanden statt im Wasserburgertal (3 km nördlich der Aachquelle), bei Emmingen ab Egg (9 km nördlich der Aachquelle) und im Kriegertal (7 km nordnordwestlich der Aachquelle). Dabei konnten folgende Fließgeschwindigkeiten ermittelt werden: 8,6 cm/s, 4 cm/s und 2,7 cm/s.

---

[2]) Bei der Farbversenkung am Brühl vom August 1907 sollen sich äußerst schwache Spuren von Fluoreszenz im Krebsbach (Eigeltingen) gezeigt haben (BERZ 1928, S. 52). Das würde auf eine geringfügige Kommunikation hinweisen, wenn man nicht skeptisch ist: Bei Farbversenkungen genügen Spuren des staubenden Pulvers am Anzug oder auf der Haut, um ungewollt am Untersuchungsort Färbung zu erzeugen.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Die Untersuchungergebnisse von W. Türk (Referat)

Mehrere Unstimmigkeiten gaben dem Verfasser Veranlassung, an Stelle der alten summarischen Behandlung des Problems die inneren Vorgänge bei der Donauversinkung einer Analyse zu unterziehen. So war schon lange der im langjährigen Mittel der Sommerhalbjahre beobachtete Parallelgang von Vollversinkungsdauer und Niederschlagszunahme — wo man doch das Gegenteil erwarten sollte — ein Rätsel. In gleichem Maße unverständlich war die Wasserbilanz der Fridinger Versinkung, die im langjährigen Mittel fast keine Verluste erkennen läßt, während bei höheren Wasserständen doch mehrere m^3/s und über 4 m^3/s während ganzer Monate einzelner Jahre als Versinkung gebucht wurden.

Um es gleich vorweg zu nehmen: Türk findet die Lösung durch den Nachweis eines intermittierenden Abflusses der Aachquelle. Bekanntlich werden die in Karstgebieten vorkommenden intermittierenden Quellen (sprunghaftes Zu- und Abnehmen der Schüttung, bei manchen Quellen auch völliges Aussetzen) mit gewundenen Schlauchwegen in Zusammenhang gebracht, bei denen Heberwirkungen zustandekommen und wieder abbrechen je nach dem Wasserdruck oder den Unterschieden der Pressung zwischen der Atmosphäre und dem Luft-Wasserdampfgemisch in den Hohlräumen des Gebirgsinnern.[3]) —

Im einzelnen entwickelt Türk folgende Gedankengänge:

1. Versinkungsvorgang. Die Schluckfähigkeit der Spalten im Abschnitt Kirchen-Hausen bis Möhringen beträgt im mittleren Sommer 16 m^3/s. Da die mittlere Versinkungsmenge dort nur 7 m^3/s beträgt (zehnjähriges Mittel 1922—1931), die mittlere Wasserführung der Donau jedoch 14 m^3/s, so erhebt sich die Frage, warum denn eigentlich nicht dauernd alles Wasser versinkt, abgesehen von den Hochwasserzeiten. Ein Vergleich mit den Ganglinien von Luftdruck und Temperatur bringt nun das überraschende Ergebnis, daß die Schluckfähigkeit so sehr und in allen Einzelheiten von diesen beiden Faktoren abhängt, daß sie als die eigentlichen Regulatoren der Versinkung gelten müssen.

Besonders deutlich zeichnen sich auch die inneren Druckverhältnisse ab, und zwar beim Vergleich von Versinkungsmenge und Quellschüttung der Aach. So kann sich eine Hochwasserwelle der Donau durch unmittelbares Ansteigen der Aachschüttung — längst bevor das Versinkungsplus an der Aachquelle angekommen ist — bemerkbar machen. Das ist nur durch Fernwirkung, d. h. durch verstärkten Druck in den Spaltenzügen möglich. Außerdem beobachtet man, daß in einem solchen Fall die Mehrschüttung der Aach ein Vielfaches der Mehrversinkung ausmachen kann; es muß also durch einen Auslösungsvorgang — innere Druckänderung — ein unterirdisches Speicherbecken zur Entleerung gebracht worden sein, wobei Türk an Saugheberwirkungen denkt wie bei den intermittierenden Quellen. Tatsächlich zeigt die Ganglinie der Aach eine Treppenform, d. h. gekappte Spitzen, als Ausdruck für die stufenweise zum Füllen bzw. zum Entleeren gebrachten Speicherterrassen im Gebirgsinnern. Auch die rein zahlenmäßige Abflußtabelle der Aach zeigt mit dem serienweisen Auftreten gleicher Schüttungszahlen diesen Umstand auf den ersten Blick an.

2. Luftdruck und Versinkung. Durch die nach Türk saugheber-

---

[3]) Allerdings wird die Möglichkeit von Saugheberwirkungen in klüftigem Gebirge bestritten (Prinz & Kampe 1934, S. 60). Im nächsten Kapitel werden wir sehen, daß wir anstelle von Heber — mit Dükerwirkungen auskommen können, zu deren Funktionieren kein absolut dichter Abschluß erforderlich ist, und deren Mechanismus auch nicht so eng begrenzt ist wie die geringe Saughöhe eines Hebers.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

artigen Entleerungen entsteht ein Unterdruck an der Versinkung, also vermehrte Versinkung. Ein Brunnen im Donautal beim Brühl, der in das Grundwasser der Wohlgeschichteten Kalke hineinschneidet, zeigt dieses Verhalten wie ein Manometer an. Im Luftraum zwischen dem Heber und der Aachquelle aber entsteht eine Druckvermehrung, also eine Verstärkung der Schüttung. Neben der schon erwähnten Fernwirkung gibt es noch eine andere, nämlich die jetzt erklärbare Gegenläufigkeit der Versinkungen am Brühl und bei Fridingen. Die soeben abgeleitete Druckvermehrung im Aachtopf pflanzt sich selbstverständlich zur Fridinger Versinkung hinauf fort, nicht aber der Unterdruck an der Versinkung im Brühl, denn die beiden Versinkungen liegen ja in verschiedenen geologischen Niveaus und in der Luftlinie 15 km voneinander entfernt.

Auch die äußeren Luftdruckwirkungen lassen sich in allen Einzelheiten nachweisen. Die Spaltenzüge sind ja ein mit Luft, Wasserdampf und Wasser erfülltes Hohlraumsystem, das einerseits durch den Donauspiegel, andererseits durch den Aachtopf mit der Außenluft in Verbindung steht und sonst zwar nicht absolut, aber doch bis zu einem gewissen Grade luftdicht abgeschlossen ist. Bei diesem nur relativen Abschluß wird sich nicht so sehr die absolute Höhe des Luftdruckes, sondern mehr die Größe und Geschwindigkeit seiner Änderung bemerkbar machen: bei raschem Steigen durch eine Vermehrung der Versinkung infolge der Zusammendrückbarkeit der inneren Luft, am Aachtopf aber auch durch eine Abflußminderung infolge der stärkeren Pressung der Außenluft auf das Quellauge (vgl. Quellsilberbarometer). Mit aller wünschenswerten Eindeutigkeit weist Türk folgendes nach:

1. Die mehrtägigen Schwankungen der Aach zeigen die Gegenläufigkeit von Aachschüttung und Barometerstand.
2. Die mehrtägigen Schwankungen der Versinkung im Brühl sind gleichlaufend mit dem Barometerstand.
3. Bei lang anhaltender tiefer Temperatur des Donauwassers in strengen Wintern findet eine Abkühlung des Gebirgsinnern statt; dadurch erleiden die dort eingeschlossenen Luft- und Dampfmassen eine bedeutende Zusammenziehung, was wiederum vermehrte Versinkung erzeugt. Beim Eintritt wärmeren Wetters folgt eine Umkehr dieses Vorganges. Im März 1938 wurde dabei sogar der Fall beobachtet, daß nicht nur überhaupt nichts mehr versank, sondern am Pegel Möhringen während meherer Tage doppelt soviel Wasser abfloß, als von oben her zukam, was durch Speisung aus den Vorräten der unterirdischen Brühlmulde infolge des verstärkten Innendrucks zu erklären ist.

Auch die täglichen Perioden der Versinkungen gehen parallel mit der bekannten täglichen Periode des Luftdrucks, die sich auch — vereinfacht und modifiziert durch die Temperaturen des Donauwassers — in der Aachschüttung abzeichnet.

Bei der Betrachtung des jährlichen Gangs ist zu beachten, daß während fünf Monaten (Mai bis September) durch das Donauwasser eine Wärmezufuhr zum Gebirgsinnern stattfindet, dessen Mitteltemperatur (1925—1931) bei 9,93° liegt; während sieben Monaten aber gibt das Gebirge Wärme an das durchfließende Wasser ab, so daß auch im Winter die Temperatur des Aachwassers nie unter 5,2° sinkt. Nicht weniger als 0,42° der Aufheizung des Gebirgsinnern kommen auf Rechnung der Energievernichtung der rund 180 m Niveau verlierenden Wassermassen (425 Millionen m^3), und ein ähnlicher Betrag dürfte vom Luftdruckwechsel im Gebirgsinnern erzeugt werden. Auch ein Vergleich

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

mit dem jährlichen Gang der Versinkung zeigt, daß die Regelung der Versinkung fast ausschließlich durch Luftdruck und Temperatur erfolgt.

3. Der Wasserhaushalt der Versinkung. Aus dem 7jährigen Durchschnitt der hydrologischen Jahre 1925—1931 ergibt sich folgende Bilanz: Die Donau bringt bei Kirchen-Hausen 13,46 m^3/s, die Bära 1,70 m^3/s, zusammen gibt das 15,16 m^3/s. Bei Beuron fließen ab 9,93 m^3/s, was einen Unterschied von 15,16 — 9,93 = 5,23 m^3/s ergibt. Da die Aachquelle 9,48 m^3/s spendet, muß der Betrag von 9,48 — 5,23 = 4,25 m^3/s aus dem mehrere 100 km^2 großen, von den Pegelstationen an der Donau nicht erfaßten Zwischengebiet und linksseitigen, teilweise unterirdischen Einzugsgebiet stammen. Auf den Teilabschnitt Möhringen—Fridingen fallen davon 1,49 m^3/s (hier sind vielleicht Zweifel erlaubt bezüglich der genauen Berechenbarkeit der kleineren Teileinzugsgebiete); da in der Fridinger Schleife aus dem Fluß selbst nur die außerordentlich geringe Menge von 0,09 m^3/s versinkt (im 7jährigen Durchschnitt), muß die genannte Wassermenge größtenteils als Grundwasserstrom an die Fridinger Spalten herankommen, soweit sie nicht schon vorher an nicht sichtbaren Stellen versinkt. Die schon erwähnte Beherrschung der Fridinger Versinkung durch die inneren Druckverhältnisse, welche dem Versinkungsvorgang am Brühl folgen, sei noch durch ein besonders markantes Beispiel illustriert. Die regelmäßigen November-Hochwasser erzeugen bei Fridingen im Gegensatz zur übrigen Jahreszeit nicht eine Vermehrung, sondern einen unvermittelten Rückgang der Versinkung.

Durch die bei Fridingen seit 1924 bestehende Umleitung von 10 m^3/s tritt dort seit dieser Zeit eine Wenigerversinkung von 1,5 m^3/s in der ersten Jahreshälfte ein, während im zweiten Halbjahr durch den im Gebirgsinnern entstandenen Gegendruck eine Mehrversinkung auch vor der Umleitung verhindert worden ist.

Das Immendinger Wehr. Bekanntlich sind in dem Stau des Immendinger Wehrs einige gut erkennbare Schlucklöcher vorhanden. Türk kommt zu dem Ergebnis, daß zwischen dem Wehr und der etwas flußabwärts liegenden Versinkung am Brühl eine unterirdische Verbindung vorhanden ist, die im Frühjahr einen großen Teil der scheinbaren Versinkung im Wehr im Brühl wieder zutage treten läßt. Wie groß der Einfluß der Barometerschwankungen sein kann, zeigt ein Beispiel von der Wehrwaage; so hat im Oktober 1930 eine Schwankung von 4 mm genügt, um innerhalb von 18 Stunden einen Versinkungsunterschied von nicht weniger als 1,5 $m/^3$ zu erzeugen.

4. Die Vollversinkungstage. Die Anzahl der Vollversinkungstage im Jahr ist schon frühzeitig aufgezeichnet worden, denn das zeitweise Trockenfallen der Donau unterhalb vom Brühl hat von jeher Aufsehen erregt. Infolgedessen liegt über die Vollversinkungsdauer die längste Beobachtungsreihe vor. Deren Wert ist aber bedeutend überschätzt worden, was vielfach zu falschen Schlüssen geführt hat. Vergleicht man z. B. die Jahre 1928 und 1931, so ergibt sich folgendes: Die Vollversinkungstage 1928 (177 Tage) besagen, daß an diesen Tagen bei weniger als 7 m^3/s Wasserführung alles Wasser versunken ist bei einer durchschnittlichen Wasserführung von 9,2 m^3/s. Im Jahr 1931 (31) war die Wasserführung aber doppelt so groß, und Vollversinkung trat ebenfalls schon bei 7 m^3/s ein (immer nur bezogen auf die Tage stattgehabter Vollversinkung, denn es gibt Tage mit geringerer Wasserführung ohne Vollversinkung). Ein anderes Beispiel: In den drei Jahren 1923—1925 (148, 149, 298) betrug der Zufluß im Mittel 13,4 m^3/s und an den Tagen mit einer Wasserführung von weniger als 9,8 m^3/s kam es zur Vollversinkung. Im trocke-

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

nen Jahr 1928 (177) dagegen trat schon bei mehr als 6,5 m^3/s keine Vollversinkung mehr ein. Andererseits kamen 1929 (189) nur rund 4,5 m^3/s zur Versinkung. Aus all dem geht klar hervor, daß der Begriff „Anzahl der Vollversinkungstage" kein Maß für die absolute Größe der versunkenen Wassermengen darstellt. Die Vollversinkung besagt nur, daß an einem solchen Tag die Schluckfähigkeit der Spalten größer als die Wassermenge der Donau am Brühl war. Da nun die Schluckfähigkeit der Spalten vom Luftdruck und von der Temperatur abhängt (und im Sommer durchschnittlich dreimal so groß wie im Winter ist), gleichzeitig aber auch die Niederschläge und damit die Wasserführung der Donau mit denselben meteorologischen Faktoren in gleichsinnigem Zusammenhang stehen, so muß die mittlere Anzahl der jährlichen Vollversinkungstage mit dem mittleren Gang der Niederschläge in längeren Jahresreihen gleichlaufend sein und nicht gegenläufig. Man muß sich klar machen, daß hohe Barometerstände und hohe Temperaturen sowohl große Schluckfähigkeit als auch — worüber man sich nicht täuschen darf — große Niederschläge bringen. Eine gewisse Gegenläufigkeit zeigen nur die Maximalwerte der Vollversinkungstage und die Minimalwerte der Niederschläge.

Die Größe der Versinkungsmenge hängt also überhaupt nicht von der Vollversinkungsdauer, sondern nur von der Verteilung der Niederschläge über den Lauf des Jahres ab, schlucken doch die Spalten im mittleren Sommer 16 m^3/s, während im Winter schon bei der kleinen Wassermenge von 5 m^3/s im Durchschnitt keine Vollversinkung zustande kommt.

Die früher vorgenommenen Vergleiche zwischen Vollversinkungsdauer und Versinkungsmengen sind daher als arbeitsmethodisch unbrauchbar zu bezeichnen.

Zusammenfassend sei noch einmal betont, daß der Versinkungsvorgang von den Pulsationen im Untergrund gesteuert wird, welche im Winter stärker sind als im Sommer, entsprechend den größeren täglichen und mehrtägigen Barometer- und Temperaturschwankungen in der kälteren Jahreszeit, wodurch ein der Versinkung entgegenwirkender innerer Überdruck entsteht.

Korrektur der geologischen Vorstellungen Türks

Dükerwirkungen statt Heberwirkungen. Freispiegelschlote als Speicherterrassen

Die aus dem intermittierenden Verhalten der Aachquelle gefolgerte Vorstellung von Saugheberwirkungen im Gebirgsinnern hat Türk veranlaßt, auf den Strecken Brühl—Aach und Fridingen—Aach eine Faltung der Malmschichten etwa parallel zum Streichen anzunehmen. Er spricht zwar nur von Flexuren, seine Vorstellung und seine zeichnerischen Darstellungen arbeiten aber mit regelrechten Falten, welche nach der Aachquelle hin den längeren und nach den Versinkungen hin den kürzeren Schenkel des Hebers bilden. Solche Falten sind aber bestimmt nicht vorhanden, wenn man von der schwachen, weitspannigen Verbiegung senkrecht zum Streichen absieht, welche kein Hebersystem zu erzeugen vermag. Türk nimmt sogar zur Erklärung der verschiedenen, aus der Ganglinie der Aach erschlossenen Speicherterrassen an, daß die einzelnen Gesteinsbänke innerhalb der Faltung gegeneinander durch Mergellagen und durch zusätzliche Abdichtung mittels der Wassertrübe so dicht sind, daß sie getrennt als Heber zu funktionieren vermögen. Das ist natürlich noch viel unmöglicher, ganz abgesehen davon, daß die Aachquelle trübt, wenn das Donauwasser trübe ist und auch, wenn es in ihrem eigenen Einzugsbereich regnet (Denkschr. Bad.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

G. L. A., S. 19—20), woraus hervorgeht, daß die Sinkstoffe nicht zurückgehalten werden.

Es handelt sich also darum, diesen Fehler an der TÜRK'schen Deutung auszumerzen. Das ist nicht schwer. Auf die im ganzen vorhandene Abdichtung der Mittleren Malmmergel gegen das durch Schichtfugen und senkrechte Risse sehr gut wasserdurchlässige Liegende und das auch wasserdurchlässige Hangende wurde schon hingewiesen, ebenso auf die Kommunikationsmöglichkeit zwischen diesen beiden Wasserhorizonten durch lokal vorhandene mergelfreie Stotzen in den Mittleren Malmmergeln und besonders durch Klüfte im Gefolge der tektonischen Störungen. So kann man senkrechte Wasserwege, welche eine hydraulische Verbindung der beiden wasserführenden Horizonte ermöglichen, ohne die TÜRK'sche Faltung mit guten Gründen annehmen. Wenn man an die löcherige Ausbildung des „Loch-Epsilon" (SPITZ 1930, S. 32), an die nach Süden zu mehr und mehr stotziger werdende Entwicklung des Massenkalks (TOBIEN 1948, S. 29) und die mannigfaltige Verflechtung dieser Fazies mit der durchlässigen geschichteten Ausbildung denkt, so häufen sich die Möglichkeiten von differenziertem Verhalten ins Unübersehbare. Man betrachte nur die Aachquelle selbst, die im obersten Teil des Massenkalks entspringt, aber in einer mergelig entwickelten, undurchlässigen Stotzenpartie. Das Gestein selbst spannt das Druckwasser in der Tiefe völlig ein, und nur dank der vorhandenen Gebirgsklüfte findet es hier den Weg nach oben.

Die Einzelheiten der unterirdischen Wasserwege zu erkennen, ist natürlich nicht möglich. Man wird sich begnügen müssen, ein schematisches Bild zu konstruieren, das die Vorgänge in ihrem Wesen erläutert, wie es die beigegebenen Schnitte tun. Dabei sind folgende Gesichtspunkte hervorzuheben:

1. Das an den einzelnen Schluckstellen im Brühl versinkende Donauwasser wird zunächst einfach unter der Einwirkung der Schwere frei abfließen wie in einer nicht vollen Wasserleitung (Freispiegelleitung).
2. An bestimmten, nicht bekannten und je nach der Wassermenge wechselnden Stellen füllt das Wasser die Hohlräume ganz und unterliegt von hier ab den bei einer Druckrohrleitung wirksamen hydraulischen Gesetzen. Es bildet sich unter den Mittleren Malmmergeln ein Stau aus.
3. Bei Zunahme der Versinkung und stärkerer Füllung der Hohlräume mit Wasser wird sich die gestaute Zone in der Richtung auf die Versinkungsstellen hin verschieben und diese zeitweise vielleicht erreichen. Bei Wiederabnahme wird sie sich gegen die Aachquelle hin wieder verkleinern.
4. Während dieses Wanderns der Grenze Freispiegelleitung/Druckrohrleitung werden nacheinander automatisch verschiedene Möglichkeiten zur Entstehung von Dükerwirkungen eingeschaltet und wieder ausgeschaltet, entsprechend der Veränderung der Druckhöhe des Staus, denn die Mergel haben Perforationen, welche dem Wasser einen Weg zum oberen Wasserhorizont (ma 4) bieten.
5. Die sicherlich gewundenen Wege und rauhen Wandungen der als Düker funktionierenden Durchbrüche vom tieferen zum höheren Wasserhorizont verbrauchen viel Druckgefälle, und zwar je nach Querschnitt und Rauhigkeit verschieden viel. Die Unterschiede in der Differenz Gesamtpressung in ma 2 minus Gesamtpressung in ma 4 bringen es deshalb mit sich, daß die durchgehenden Wassermengen jeweils verschieden groß sind, und daß auch in der Region der funktionierenden Düker ein Teil derselben zeitenweise zum Still-

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

stand kommen kann. In Zusammenhang mit dem Ausfallen und Wiedereinsetzen der Düker im Grenzbereich der Druckzone führt das schon zu einer gewissen Staffelung der Durchgangsmengen.

6. Im Massenkalk bildet sich unter undurchlässigen Stotzen ein gespannter Wasserspiegel aus, der aber in durchlässigen Gebirgsteilen schlotartig nach oben geht und sich hier als freier Spiegel entwickelt.[4]) Er stellt sich gemäß der hydrodynamischen Drucklinie bzw. Druckfläche ein, welche — entsprechend den wechselnden Widerständen des Wegs — keine Gerade bzw. keine ebene Fläche ist. In diesen Freispiegelteilen werden Wässer aus dem eigenen Einzugsbereich sowie die Fridinger Versinkungsmengen aufgenommen; sie erzeugen zusätzliche Druckwirkungen. Dükerwirkungen sind in diesem Horizont weit verbreitet; in einzelnen sehr dichten Teilen mögen auch lokale Saugheber zustande kommen.

7. Die genannten Freispiegelschlote nehmen am Durchflußvorgang nicht gleichmäßig teil, trotzdem sie teilweise durch gewöhnliche Durchlässe miteinander verbunden sein mögen, welche dann das Retentionsvermögen schmälern. Beim Steigen des Spiegels füllen sie sich auf, speichern also Wasser. Beim Fallen geben sie es wieder ab und verstärken die Schüttung der Aachquelle. Sie sind die eigentlichen Speicherterrassen, welche das intermittierende Verhalten der Aachquelle veranlassen, wobei die Steuerung des Vorgangs durch die meteorologisch bedingten Elemente erfolgt. Der Speicherraum ist sehr groß, denn er geht bis zur Fridinger Versinkung hinauf. Rechnet man mit dem Fall von einem Meter durchschnittlichem Spiegelunterschied und mit einer Fläche von 100 km², so ergeben sich 100 Millionen m³ Gestein und bei 5% Hohlraumvolumen nicht weniger als 5 Millionen m³ Wasser. Man denkt dabei unwillkürlich an die Verhältnisse in einem Druckwasserschloß, bei dem der Querschnitt des Schwallraums allerdings ungeheuer groß und mit vielen Widerständen versehen ist, während die Schwingungen des Wasserspiegels klein bleiben. Gerade unter diesen Umständen muß eine starke Tendenz zur Ausbildung von Beharrungzuständen innerhalb der meteorologisch bedingten Schwingungen erwartet werden.

8. Im Schnitt Fridingen—Aach sieht man, daß dort die Versinkung in demselben Horizont stattfindet (ma 4), in welchem die Aachquelle austritt. Zwar sind Verbindungen zu dem hier tiefliegenden unteren Wasserhorizont (ma 2) möglich, besonders an der Verwerfung nahe der Aachquelle, wo sich die beiden Horizonte sogar unmittelbar berühren, wenn die Sprunghöhe der Störung nicht kleiner ist, als bei der Konstruktion des Schnittes angenommen worden ist. Der Nachweis einer wirksamen hydraulischen Verbindung ist aber nicht zu erbringen. Im oberen Horizont besteht infolge der stotzigen Ausbildung die Möglichkeit zur Ausbildung von Freispiegelteilen, gespannten Partien mit Freispiegelschloten, von Dükern und gewöhnlichen Durchlässen.

9. Die Quellschüttung der Aach hängt außer vom Querschnitt der Aachtopfspalten von der Differenz der Pressung im gespannten ma 4-Wasserkörper unter dem Aachtopf minus der Atmosphärenpressung auf das Quellauge ab.

---

[4]) Immer partiell gedacht: das Wasser steht nur in Klüften und anderen Hohlräumen, was auch bei der Betrachtung der in dieser Hinsicht sehr schematischen Schnitte zu beachten ist.

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Da der Querschnitt der Aachtopfspalten infolge ihres wirklich klaffenden Charakters relativ sauber und glatt ist, bleibt die Berührungsfläche Wasser gegen Kalkstein hier klein. Die Vergrößerung des Querschnitts durch Auflösung von Calciumkarbonat wird deshalb auch in längerer Zeit nur gering sein, um so mehr als das Wasser auf dem unterirdischen Weg bis zu dieser Stelle einen Teil seiner Lösungsfähigkeit verloren hat. Die Erweiterung der Hohlräume im Gebirgsinnern hat keinen unmittelbaren Einfluß auf die Aachquelle, jedoch — langfristig gesehen — einen entscheidenden Anteil am Größerwerden des Retentionsvermögens, was auf die Quellschüttung ausgleichend wirkt.

Zusammenfassung

Von Immendingen bis zur Fridinger Schleife verliert die Donau einen Teil ihrer Wassermenge durch Versinkung in klüftigen Malmkalken. Am Brühl bei Immendingen tritt zeitweise sogar Vollversinkung ein. In der viel tiefer liegenden Aachquelle tritt das Wasser wieder zutage mit einer mittleren Spende von nahezu 10 m^3/s. Davon entstammen etwa zwei Drittel der Donau, der Rest kommt vom eigenen Einzugsgebiet der Aachquelle rechts der Donau und vom Grundwasser links der Donau unterirdisch bei. Der Wasserdurchgang durch das Gebirge ist zeitlich ganz ungleichmäßig. Er wird gesteuert nicht einfach durch die wechselnde Wassermenge der Donau, sondern durch die Änderungen des Luftdrucks und der Temperatur, besonders aber durch die Druck- und Temperaturänderungen im Gebirgsinnern, wobei die sehr veränderliche Temperatur des Donauwassers eine bedeutende Rolle spielt (Türk).

Das intermittierende Verhalten der Aachquelle zwingt zur Vorstellung von einer Art von Stauhaltungen im Gebirgsinnern, für die Türk Verbiegungen der Schichten annimmt, welche Saugheberwirkungen entstehen und wieder abreißen lassen. Im Gegensatz zu dieser geologisch nicht möglichen und auch hydraulisch in diesem Ausmaß anfechtbaren Vorstellung wird wahrscheinlich gemacht, daß Dükerwirkungen zwischen dem unteren und oberen, und besonders Speichermöglichkeiten im oberen Wasserhorizont sowie eine Neigung zur Ausbildung von Beharrungszuständen für die Intermittenzerscheinungen verantwortlich sind, denn die verschiedenen Durchstöße der Wasser vom tieferen Wasserhorizont durch die trennenden Mergel zum höheren Wasserhorizont entsprechen in den geneigten Schichten durchaus einer Schar von Dükern. Auch die Einlagerung von schwer durchlässigen Stotzen im oberen Wasserhorizont ermöglicht die Entstehung von Dükern, lokal vielleicht auch von kleineren Saughebern.

Nach den Gesetzen der Thermodynamik erzeugen die im Winter viel stärkeren und häufigeren Pulsationen im Gebirgsinnern — infolge des stärkeren und häufigeren meteorologischen Wechsels — einen die Versinkung hemmenden inneren Überdruck, so daß die Schluckfähigkeit im Winter durchschnittlich nur ein Drittel der sommerlichen Schluckfähigkeit beträgt (Türk).

Bei starker Belieferung der Aachquelle von der Versinkung am Brühl bei Immendingen, entsteht in dem Luft-Wasserdampfgemisch über dem oberen Wasserhorizont ein Überdruck, wodurch die Versinkung bei Fridingen — welche in diesen Horizont hinein erfolgt — gehemmt wird (Türk).

Die Anzahl der Vollversinkungstage im Jahr kann nicht als Maß für die Größe der Versinkungsmengen verwendet werden (Türk).

©Badischer Landesverein für Naturkunde und Naturschutz e.V.; download unter www.blnn.de/ und www.zobodat.at

Wichtigste Schriften:

Äußerung der Preuß. Landesanstalt für Gewässerkunde zur Denkschrift d. Bad. Geolg. Landesanst. u. zur Erwiderung der Bad. Wasser- u. Straßenbaudir. auf d. Gutachten der Preuß. Landesanst. f. Gewässerkunde v. 15. 8. 1924. — Als Manuskript gedruckt.

Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden. — Heft **8**, Karlsruhe 1893.

BERZ, K. C.: Die Grundwasserverhältnisse im Versinkungsgebiet der oberen Donau. — Mitt. d. geol. Abteil. d. Württ. Stat. Landesamts, **11**, Stuttgart 1928.

Denkschrift der Badischen Geologischen Landesanstalt Freiburg i. Br. über die geologischen Verhältnisse der Donauversinkung zwischen Immendingen und Fridingen. — Als Manuskript gedruckt, 1924.

ENDRISS, K.: Die Versinkung der oberen Donau zu rheinischem Flußgebiet. — Stuttgart 1900.

Erwiderung der Badischen Wasser- u. Straßenbaudirektion auf das Gutachten d. Preuß. Landesanst. f. Gewässerkunde vom 15. 8. 1924 über die Versinkung der Donau. — Als Manuskript gedruckt, 1925.

Gutachten der Landesanstalt für Gewässerkunde im Preuß. Minist. f. Landwirtschaft, Domänen und Forsten vom 15. 8. 1925 über die Versinkung der Donau. — Als Manuskript gedruckt.

KNOP, A.: Über die hydrologischen Beziehungen zwischen der Donau und der Aachquelle im badischen Oberlande. — N. Jahrb. f. Min. usw., 1875, S. 942 und 1878, S. 350.

KÖBLER, K.: Das Problem der Donauversinkung. — Deutsche Wasserwirtschaft, **8**, 1924.

RÖHRER, F.: Donauversinkung und Aachquelle. — Bad. Geol. Abhandl., **2**, 2. Karlsruhe 1930.

PRINZ, E.: Handbuch der Hydrologie. — Berlin 1923.

PRINZ, E. & KAMPE, R.: Handbuch der Hydrologie. Zweiter Band. Quellen. — Berlin 1934.

SCHAUFELBERGER, P.: Geologische und hydrologische Verhältnisse zwischen der Donauversickerung und der Aachquelle. — Mitt. Bad. Geol. Landesanst., **10**, Freiburg i. Br. 1929.

SPITZ, W.: Blatt Möhringen der Geolog. Spezialkarte von Baden mit Erläuterungen. — Freiburg i. Br. 1930.

TOBIEN, H.: Zur Gliederung des Oberen Malms im nördlichen Hegau. — Mitteilungsblatt d. Bad. Geol. Landesanst. f. 1947 Freiburg i. Br. 1948.

TÜRK, W.: Wesen und Wirken der Donauversinkung. — Als Manuspkript gedruckt, Karlsruhe 1932.

WAGNER, G.: Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte. — 2. Aufl., Öhringen 1950.

WILSER, J. L.: Die natürlichen Bedingungen der Donauversinkung und deren wirtschaftliche Nutzung. — Freiburg i. Br. 1924.

Unterlagen für die Kartenskizze:

Kartenskizze i. d. Denkschr. d. Bad. Geol. Landesanstalt. — Blatt Möhringen der Geolog. Spezialkarte von Baden (W. SPITZ). — Manuskriptkarte d. geol. Teilaufnahme von Blatt Eigeltingen (H. TOBIEN). — Manuskriptkarte d. geol. Aufnahme von Blatt Neudingen (O. EISENSTUCK). —

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen des Badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz e.V. Freiburg i. Br.

Jahr/Year: 1948-1952

Band/Volume: NF_5

Autor(en)/Author(s): Erb Ludwig

Artikel/Article: Über den Mechanismus der Donauversinkung und der Aachquelle (1952) 267-280