Zeitschrift: Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Herausgeber: Vereinigung Schweizerischer Petroleum-Geologen und -Ingenieure
Band: 42 (1975-1976)
Heft: 103

Artikel: Übertiefe Grundwässer im süddeutschen Alpenvorland
Autor: Lemcke, Kurt
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-200721

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing., Vol. 42, Nr. 103, November 1976, S. 9–18

Übertiefe Grundwässer im süddeutschen Alpenvorland

von KURT LEMCKE, München [1,2])

Mit 4 Figuren im Text

Zusammenfassung

Anknüpfend an schon 1956 von Lemcke & Tunn im VSP-Bulletin Nr. 64 mitgeteilte Beobachtungen über Tiefenwässer im Untergrund des süddeutschen Alpenvorlandes wird mit zusätzlichen Daten aus inzwischen abgeteuften Bohrungen das damalige Bild vom Druckniveau des gespannten Malmkarstwassers unter Molasse und Kreide vervollständigt und modifiziert, dies vor allem durch die erst heute mögliche Berücksichtigung des als Störkörper wirkenden Landshut-Neuöttinger Hochs in Ostbayern. Die durch den Unterdruck im Malm verursachte säkulare Abwärtsbewegung der Porenwässer in den Hangend-Formationen wird durch Neukartierung der heutigen obersten Süss-/Salzwassergrenze bestätigt, ihre Folgen werden diskutiert. Den Abschluss bilden Gedanken über mögliche Porenwasserbewegungen im Prä-Malm des westlichen Alpenvorlandes.

Abstract

In continuation of the observations on subterranean waters in the subsurface below the South German Alpine Foreland published by Lemcke & Tunn already in 1956 in the VSP bulletin No. 64, the picture given at that time of the pressure level of the entrapped Malm karst water below Molasse and Cretaceous could be completed and modified by using additional data from wells drilled in the meantime and particularly by taking the Landshut-Neuötting high in Eastern Bavaria acting as interfering body into account, which has become possible only now. The secular sinking of the pore waters in the overlying formations caused by the reduced pressure in the Malm has been confirmed by new mapping of the present uppermost fresh/salt water contact; the consequences thereof are discussed here. Considerations on possible pore water movement in the Pre-Malm of the western Alpine Foreland follow as conclusion.

Einleitung

Bekanntlich steht der Poreninhalt speicherfähiger Horizonte in den erreichbaren Teufen eines Sedimentbeckens normalerweise etwa unter *hydrostatischem* Druck, d.h. unter dem Druck einer der betr. Teufe entsprechenden Wassersäule mit dem für das Becken im Durchschnitt kennzeichnenden NaCl-Gehalt, die man sich wohl als eine das ganze Hangende durchädernde Imprägnierung mit Porenwasser vorstellen kann. Bei der 1948 begonnenen systematischen Öl- und Gassuche im süddeutschen Alpenvorland zeigte sich demgegenüber schon bald, dass dort in dem unter der tertiären Molasse bzw. der Kreide (Lemcke 1974, Fig. 2) liegenden, vor dem Oligozän verkarsteten Malm Druckverhältnisse herrschen,

---

1) Anschrift: Prof. Dr. K. Lemcke (Gewerkschaften Brigitta und Elwerath Betriebsführungsges. mbH Hannover, Geol. Büro München), Fritz-Reuter-Strasse 19a, D 8000 München 60.

2) Nach einem Vortrag, gehalten am 10.2.1976 im Geol. Institut der Universität München auf einem Kolloquium des Instituts für Radiohydrometrie der Ges. für Strahlen- und Umweltforschung mbH. sowie am 19.6.1976 auf der 43. Jahresversammlung der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure in Neuchâtel.

die dieser Erfahrung nicht entsprechen (Lemcke & Tunn 1956, 45). Das in jener Formation enthaltene Wasser – vorwiegend Süsswasser – kommuniziert vielmehr druckmässig etwa mit dem jeweils nächstgelegenen tiefsten freien Karstwasserspiegel, der von Tuttlingen bis Regensburg annähernd von dem Hauptvorfluter des Alpenvorlandes, der Donau, gebildet wird. Daraus ergibt sich für das Malmwasser meist ein *Unterdruck,* dessen Defizit gegenüber dem hydrostatischen Druck dem jeweiligen topographischen Höhenunterschied Erdoberfläche/Donauspiegel ungefähr entspricht. Es liessen sich schon damals Linien gleicher Steighöhe des Malmwassers, also gewissermassen Isobaren des Karstwasserdruckniveaus, zeichnen, die etwa konzentrisch zum absolut tiefsten Karstwasserspiegel bei Regensburg verliefen, wo die Donau den Malm endgültig verlässt. Über die Rolle des in Ostbayern gelegenen, aus Kristallin und Paläozoikum (Oschmann 1963, Fig. 9) bestehenden Landshut-Neuöttinger Hochs in diesem System war noch nichts bekannt, da sich erst später herausstellte, dass auf ihm das Mesozoikum fehlt.

Ähnliche Verhältnisse wurden in der genannten Publikation (1956) auch für den Einflussbereich des zweiten grossen Vorfluters, des Hochrheins, vermutet, mit einem dem Tiefpunkt Regensburg entsprechenden Druckminimum am Rheinfall von Schaffhausen und einer Druckwasserscheide gegenüber der Donau etwa zwischen deren Versickerung bei Tuttlingen und dem Allgäu, annähernd parallel zum Bodensee verlaufend.

1. Das Druckniveau des Malmkarstwassers

Seitdem sind in den letzten 20 Jahren mit dem Fortschreiten der Exploration aus den vielen inzwischen abgeteuften Tiefbohrungen zahlreiche Daten zu diesem Thema hinzugekommen, die das damalige Bild modifizieren und vervollständigen. Sie stammen nicht alle aus dem Malm, der ja kaum ein Aufschlussobjekt darstellt, sondern vielfach auch aus den unterchattischen Bausteinschichten und den Gaultsanden Ostbayerns, die direkt oder fast direkt auf ihm liegen. Bei ihrer Auswahl wurde sehr darauf geachtet, nur wirklich sichere Werte zu verwenden, also entweder Ruhespiegel bei bekannter Bohrlochfüllung oder voll aufgebaute Schliessdrücke, die sich leicht in Spiegelhöhen zu NN (m) umrechnen lassen. Trotzdem verbleiben nicht vermeidbare Unsicherheiten, da in den Messgeräten gewisse Ungenauigkeiten auftreten können. – Einige Beobachtungspunkte nordwestlich des Bodensees sind ferner einer freundlicherweise zur Verfügung gestellten Manuskriptkarte von Herrn Dr. E. Villinger/Freiburg entnommen.

Die nach diesen Unterlagen mit Isolinien von 10 zu 10 m entworfene Darstellung des Druckniveaus (Fig. 1) zeigt im Westen, ausgehend von dem Versickerungsgebiet der Donau bei Tuttlingen, eine ausgeprägte *Druckwasserscheide* zwischen Rhein und Donau, die zunächst ähnlich verläuft wie 1956 angenommen und dann nach SE abbiegt. Auffällig ist ihre annähernde Kongruenz mit der Europäischen Wasserscheide (Hinweis von Dr. E. Villinger). Südlich von ihr sind die Isolinien erwartungsgemäss auf den Hochrhein bezogen. Sie scharen sich im Westen zu dessen bei ca. +330 m NN liegenden Durchbruch durch den Tafeljura oberhalb Waldshut als zu dem tiefsten freien Karstwasserspiegel und deuten südlich des Rheins einen Wiederanstieg des Druckniveaus nach S an. Aachquelle und Rheinfall bilden in diesem System anscheinend nur relativ kleine Löcher.

Auf der anderen Seite der Druckwasserscheide treten die Isolinien entsprechend der viel grösseren Entfernung zum tiefsten freien Karstwasserspiegel weiter auseinander, obwohl die Höhendifferenz bis Regensburg (etwa +330 m NN) fast die gleiche ist wie die bis zum Hochrheindurchbruch. In Ostbayern macht sich das Landshut-Neuöttinger Hoch als Sperre bzw. Störkörper entscheidend bemerkbar. Südlich von ihm liegt ein nach SE gerichtetes Drucktal, in das ein seltsamer Druckberg von E her hineinragt. Südlich der Donau

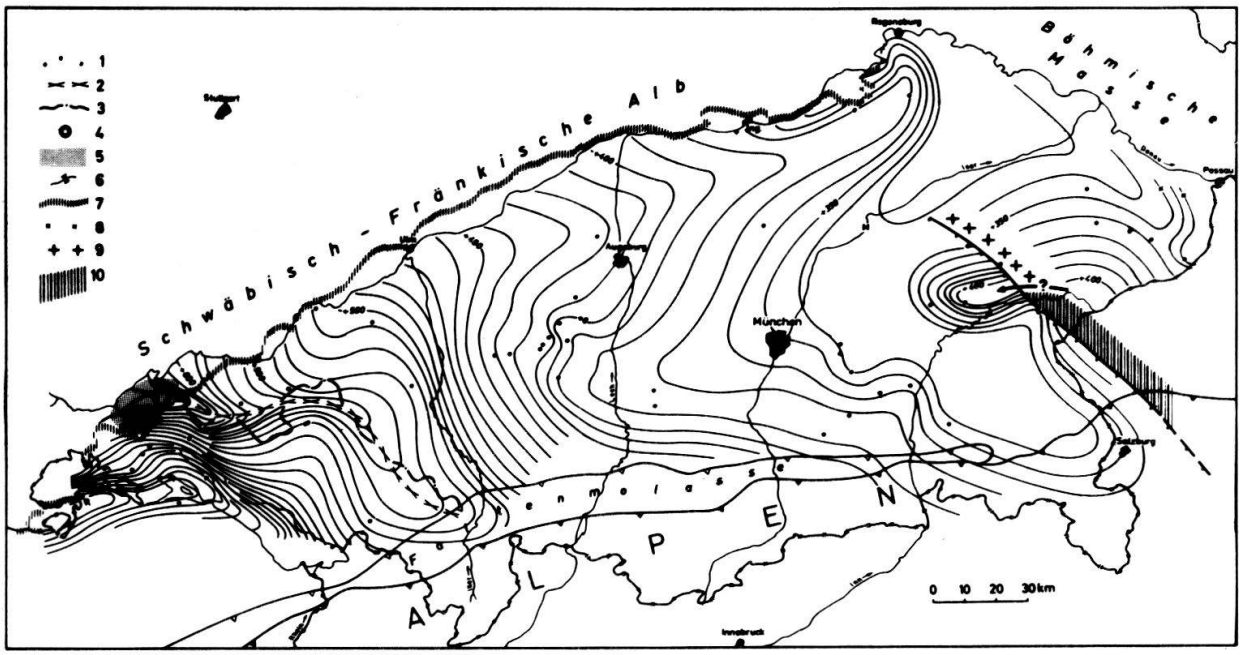

Fig. 1 Linien gleicher Spiegelhöhe des gespannten Malm-Karstwassers (m üb. NN). – 1 = Beobachtungspunkte (meist Tiefbohrungen) für die Spiegelhöhen, 2 = Druckwasserscheide im gespannten Malmkarstwasser, 3 = Europäische Wasserscheide, 4 = Aachquelle, 5 = Karsthydrographisches Einzugsgebiet der Aachquelle (n. Batsche et al. 1970, Taf. I), 6 = Rheinfall von Schaffhausen, 7 = Südostrand des anstehenden Malm der Alb, 8 = Anstehender Malm westl. Passau, 9 = Kristallin unter Molasse im Landshut-Neuöttinger Hoch, 10 = Paläozoikum unter Molasse im Landshut-Neuöttinger Hoch.

unterhalb Ulm sind die Druckgleichen des gespannten Karstwassers weit nach E vorgetrieben (vgl. Andres & Claus 1964, 206, 207), was man vielleicht auf eine Art Stauwirkung vom offenen Karst der Alb her (Andres & Claus 1964, 204; Apel 1971, 333) zurückführen könnte. Die auffälligen Karstwasser-Arteser bei Ingolstadt (Traub 1971, 359) dürften damit zusammenhängen.

Von Oberösterreich-Niederbayern aus neigt sich die Druckniveaufläche ebenfalls auf Regensburg zu, vom übrigen Becken durch das Landshut-Neuöttinger Hoch getrennt. Es erscheint denkbar, dass dieses irgendwo, vielleicht im Grenzbereich zwischen Kristallin und Paläozoikum, "undicht" ist, so dass dort Wasser von Niederbayern in das vorgenannte Drucktal hineinquillt und dort jenen lokalen Druckberg aufbaut. Hierfür würden die beiderseits des Hochs gleichen Steighöhen von +400 m NN sprechen, vor allem aber der Umstand, dass der Malm im Druckberg Süsswasser wie in Niederbayern enthält, während sonst das Malmwasser Ostbayerns sich durch schwachen NaCl-Gehalt auszeichnet, den man vielleicht auf das freilich weitgehend ausgelaugte salinare Purbeck dieses Raumes zurückführen kann (Udluft 1975, 13).

In Niederbayern könnte das Malmwasser wohl irgendwie vom Rand der Böhmischen Masse zusetzen (Nathan 1949, 56; Cramer 1953a, 166), so dass es hier – infolge annähernder Kongruenz von Erdoberfläche und Druckniveau – vor allem in den Tälern oft hydrostatischen bis schwach überhydrostatischen Druck besitzt (Nathan, l.c.). Im übrigen Gebiet dürfte das Malmwasser im wesentlichen durch unauffällige Wasserverluste der Donau unterhalb Nendingen (b. Tuttlingen) gespeist werden, die sich mit ihr nach langsamstem Lauf durch den Untergrund schliesslich spätestens bei Regensburg wieder vereinigen. Für erhebliche Zuflüsse aus dem Südrandbereich der Kalkalpen über tiefreichende Kluftbahnen (Udluft 1975, 23) fehlen alle Hinweise; läge dort wirklich ein nennenswertes Einzugsgebiet für das Malmwasser Ostbayerns, müssten die Druckgleichen wohl nach N und

nicht nach S ausgebuchtet sein. Ihr Verlauf könnte aber von einem anderen Mechanismus beeinflusst werden, worauf noch zurückzukommen ist.

Schon frühzeitig wurde der Frage nachgegangen, seit wann sich der Unterdruck im Malm herausgebildet hat und was für Folgen er für das Hangende, also Molasse und Kreide, gehabt haben mag oder noch hat (Lemcke & Tunn 1956, 47 ff). Als die Donau im Pliozän noch auf der Hochfläche der Alb floss, werden im Molassebecken, das quasi "gestrichen voll" war, noch hydrostatische Verhältnisse geherrscht haben. Als sie sich dann – wie auch der Rhein – jedoch ab Oberpliozän infolge zunehmender Heraushebung Südwestdeutschlands immer mehr in die Malmkalke der Alb einschnitt, musste sich der Druck im Karstwasser im Untergrund des Molassebeckens auf sie einspiegeln und gleichlaufend mit diesem, von flächenhafter Abtragung der Molasse begleiteten Einschneiden allmählich absinken (Lemcke 1973, 17, Abb. 3). Die Druckabsenkung ist demnach ein geologisch junger Vorgang.

2. Porenwasserbewegungen oberhalb des Malm

Da Donau und Rhein für das Alpenvorland die Vorfluter bilden, wird (ausser meist in Niederbayern, S. 11), fast überall der Vertikalabstand *Erdoberfläche*/Malm – und damit die Höhe der Porenwassersäule über dem Malm – grösser sein als der jeweils zugehörige Vertikalabstand *Vorfluter*/Malm. Der auf dem Malm lastende hydrostatische Druck wird also fast an jedem Punkt *grösser* sein als der Druck in seinem auf die Vorfluter eingespiegelten Karstwasser, was etwa einem U-Rohr-System mit ungleich hohen Schenkeln entspricht. Die Folge ist ein allmähliches Herabsinken des hangenden Porenwassers zum Malm hin als dem Druckminimum, von wo aus es mit dem langsam abfliessenden Karstwasser schliesslich zum Vorfluter gelangt. Dies geht infolge der geringen Durchlässigkeit der vielen Tonpakete in der Molasse sicher nur recht langsam vor sich, hört aber nie auf, weil ständig Tageswässer von oben nachsickern, und hat auf diese Weise schon zu einer sehr merkbaren Verschiebung der ursprünglichen Poreninhalte zur Tertiärbasis hin geführt. Ein eindrucksvoller Indikator für diesen säkularen Vorgang ist das Herunterwandern der ursprünglich salzigen Porenwässer der Oberen Meeresmolasse (OMM) um hunderte von Metern (Lemcke 1973, Abb. 3), das sich unter geeigneten Umständen in elektrischen Bohrlochsmessungen erkennen lässt und auch durch Förderversuche bestätigt wurde (Lemcke & Tunn 1956, 36 ff).

Vor 20 Jahren entworfene Streichlinien auf die Oberkante dieser herabgesunkenen Salzwässer, also auf die *heutige* Süss-/Salzwassergrenze, verlaufen annähernd parallel zu denen der OMM-Oberkante, also der *ursprünglichen* Süss-/Salzwassergrenze (Lemcke & Tunn 1956, Abb. 5). Für diesen ersten Kartierungsversuch standen damals aber nur Werte aus dem Nordflügel der grossen voralpinen Mulde zur Verfügung, zu der, wie wir heute wissen, die Obere Meeresmolasse durch junge seitliche Einengung verbogen worden ist und die von den Streichlinien der OMM-Oberkante sehr eindrucksvoll wiedergegeben wird (Lemcke 1972, Fig. 1 u. S.33; 1973, Abb. 5). War die damalige Vermutung über abwärts gerichtete Porenwasserbewegungen richtig, so konnte man erwarten, dass auch die Streichlinien der ja erst in jüngster Vergangenheit heruntergewanderten Süss-/Salzwassergrenze diese Muldenform irgendwie nachzeichnen würden. Das Ergebnis entsprechender Untersuchungen an zahlreichen neueren Bohrprofilen, besonders auch in der früher in dieser Hinsicht etwas vernachlässigten Ostmolasse, zeigt Fig. 2: Die Muldenform ist zwischen Iller und Inn klar zu erkennen, so dass man heute wohl die Überlegungen von 1956 als bestätigt ansehen kann.

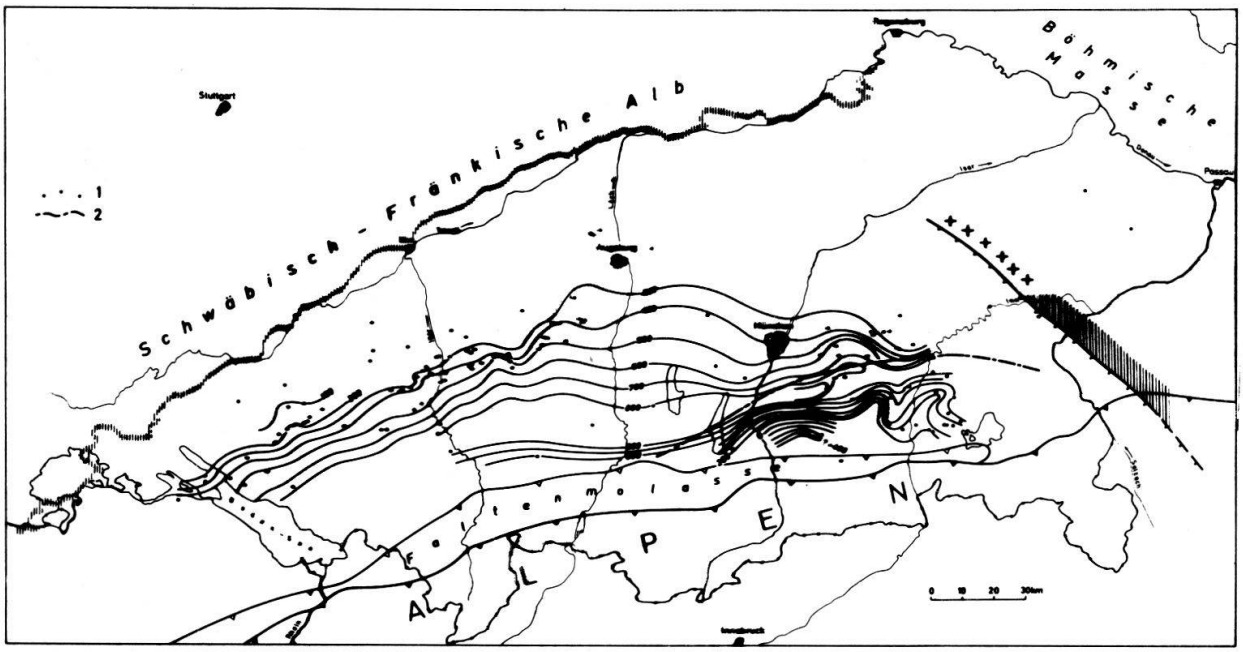

Fig. 2 Streichlinien der heutigen (obersten) Süss-/Salzwassergrenze in m über (+)/unter NN. – 1 = Tiefbohrungen mit Informationen über die Süss-/Salzwassergrenze, 2 = Ungefähre Nordbegrenzung des Vorkommens überhydrostatischer Drücke in der tieferen Molasse. – Übrige Signaturen wie in Fig. 1 .

Darüber hinaus weisen die Streichlinien auf dem Südflügel der Mulde zwischen Isar und Inn eine kräftige Scharung auf und belegen auf kurze Entfernung einen Anstieg der Süss-/Salzwassergrenze von –800 auf +200, vielleicht sogar auf +400 m NN, also um mindestens 1000 m, erheblich steiler, als die Oberkante der OMM dort ansteigt (Fig. 3). Man könnte dies möglicherweise mit den in der tieferen Molasse beobachteten, zu den Alpen zunehmenden und auf heute noch andauernden Stress vom Orogen her zurückgeführten überhydrostatischen Drücken (Lemcke 1973, 36) in Verbindung bringen, in deren Verbreitungsgebiet diese Versteilung vor allem auftritt. Es wäre immerhin denkbar, dass durch die seitliche Kompaktion, die sich ja in den Überdrücken bemerkbar macht, und die damit verbundene Verkleinerung des Porenraumes das Porenwasser hier nach oben gedrückt wird, was den nach unten wirkenden "Karstwassermechanismus" in diesem Gebiet übertönen würde. Denkt man diesen Gedanken weiter, so werden vielleicht auch die oberflächennahen Mineralwässer der südbayerischen Faltenmolasse besser verständlich, die man – entsprechend den in Tiefbohrungen ihres nächsten Vorlandes angetroffenen Verhältnissen – vor allem wegen ihres Jodgehaltes aus dem marinen, meist tonigen Rupel herleiten möchte (Hesse & Schmidt-Thomé 1975, 46, 51, 52), das auch im gefalteten Bereich trotz dessen allgemeiner Heraushebung meist noch recht tief liegt. Ihr Aufsteigen z.T. bis zu Tage könnte man, zumal andere hydrodynamische Mechanismen dort schwer vorstellbar sind, vielleicht am ehesten auf ein Auspressen von Porenwasser aus dieser hier ja besonders stark druckbeanspruchten Gesteinsserie zurückfühen (Druckgradient z.B. in den dicht über dem Rupel liegenden Bausteinschichten von Miesbach 1 = 1,83; Müller 1975/76, 69). In der 1961–63 von Preussag AG abgeteuften und dann vom Bayerischen Staat übernommenen Tiefbohrung Immenstadt 1 südl. Kempten, die über 4 000 m terrestrische Untere Süsswassermolasse (USM) der Faltenmolasse durchbohrt hat, wurden jedenfalls zwischen 3 500 und 3 800 m Teufe mineralisierte Wässer mit 20–26 g/l NaCl und 154 mg/l Jodid angetroffen, die weder aus der USM selbst noch aus einer dort längst abgetragenen OMM stammen können, sondern wohl sicher aus marinen Schichten noch grösserer Tiefe *aufgestiegen* sind.

Dies muss jedoch als Ausnahme gelten und ist vermutlich auf den als eine Art "Knautschzone" (Lemcke 1973, 32) aufzufassenden Grenzbereich Alpen gegen Vorland beschränkt. In dem übrigen Gebiet ist, wie dargelegt, mit *Abwärts*bewegung der in der Molasse enthaltenen Porenwässer zu rechnen, wodurch dem gespannten Malm-Karstwasser ständig eine gewisse, wenn auch wohl nicht grosse Wassermenge zugeführt wird, die aber immerhin stellenweise die Konturen der in Fig. 1 wiedergegebenen Druckniveaufläche modifizieren könnte. Es wäre denkbar, dass dies im Bereich der nördlichen Kalkalpen eine besondere Rolle spielt, die man, u.a. dank ihrer teilweisen Verkarstung, als grosses Wasserreservoir ansehen kann (z.B. Cramer 1953b), dessen Spiegel meist hoch über der Vorlandsoberfläche liegt. Durch den dadurch erhöhten hydrostatischen Druck mögen die nach unten zum autochthonen Malm gerichteten Porenwasserbewegungen vielleicht so verstärkt werden, dass der Isobarenverlauf des Druckniveaus zwischen Lech und Inn einen gewissen Zufluss von S andeutet. Eine indirekte Bestätigung hierfür könnte man möglicherweise darin sehen, dass die Druckgleichen dann zwischen Inn und Salzach anscheinend weit unter das Gebirge zurückschwenken, also gerade dort, wo im Salzkammergut die hydrologische Verbindung zwischen Kalkalpen und ihrem Liegenden durch die permotriadische Salzserie des Haselgebirges sehr erschwert sein dürfte. Dies mag noch spekulativ klingen, soll aber besonders angesichts der kürzlich publizierten, überraschend grossen Salzmächtigkeiten in diesem Gebiet (Schauberger et al. 1976, 578) nicht unerwähnt bleiben.

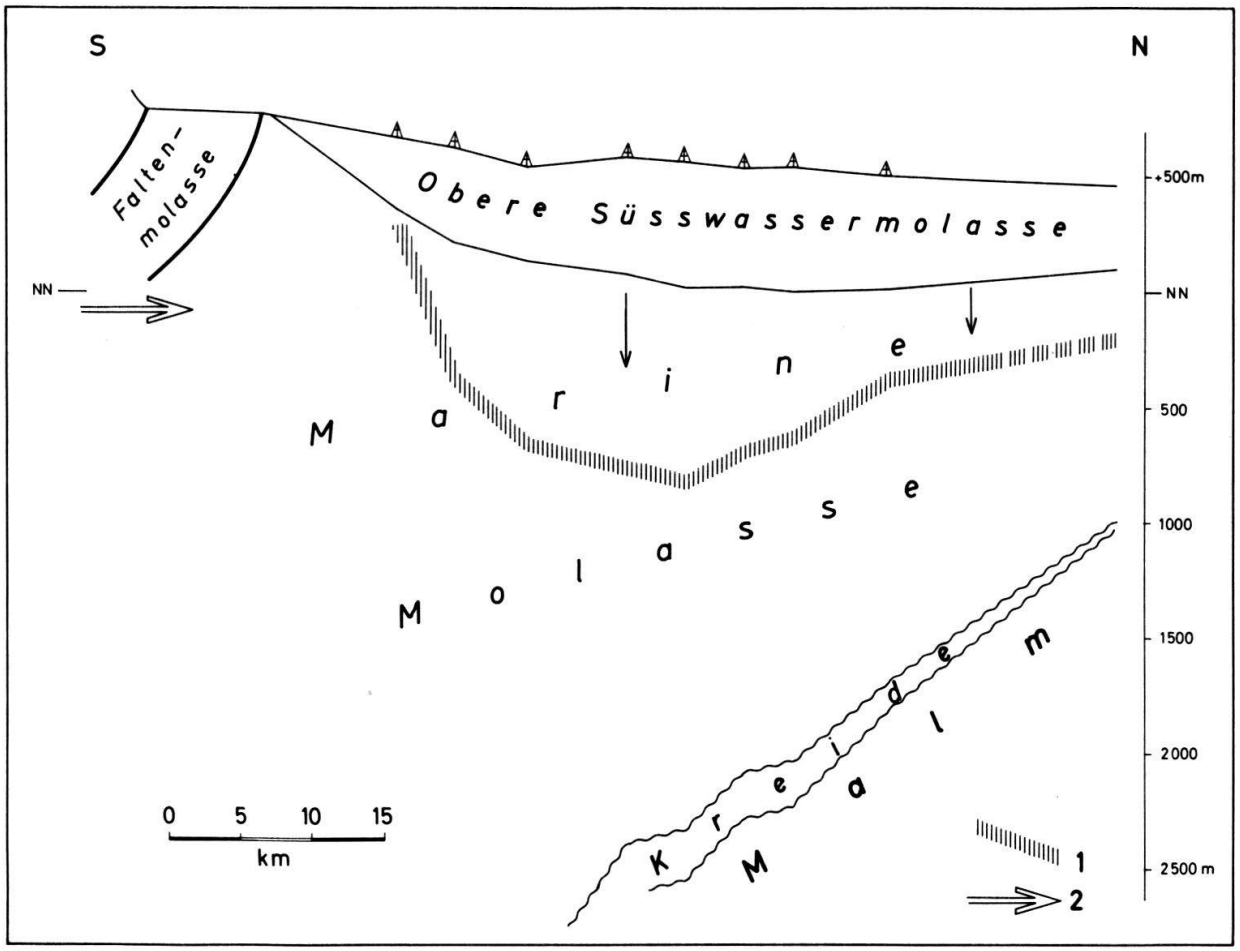

Fig. 3 Profilschnitt östlich München (n. Bohrungen, 16-fach überhöht) zur Demonstration des Herabwanderns der ursprünglich an der Oberkante der marinen Molasse gelegenen Süss-/Salzwassergrenze. – 1 = Heutige Lage der Süss-/Salzwassergrenze, 2 = Ungefähre Richtung des alpinen Schubs.

Von dem säkularen Absinken der Porenwässer zum Malm hin können bei dem skizzierten Mechanismus auch die zwischen ihm und der Molasse liegenden Sedimente der Kreidemulde Ostbayerns (Lemcke 1970, 30) nicht ausgenommen sein. Hierin liegt möglicherweise die Lösung der alten Frage nach der Herkunft des Süsswassers in den dortigen – vor Lange & Paulus (1971) ins Cenoman gestellten – Gaultsanden (meist erheblich unter 1 g/l NaCl; Kraus 1969, 445). Da der unterlagernde Malm in diesem Gebiet meist schwach salziges Wasser enthält (>g/l NaCl; s.S. 11), kann das Süsswasser der Gaultsande nicht über einen flushing-Effekt, wie oft angenommen (Kraus l.c.), von ihm hergeleitet werden. Denkbar wäre jedoch, dass es sich hier um fossile Tageswässer handelt, die während der langen Expositionszeit der Kreide vor der Obereozän-Transgression in die Schichtenfolge – an den Muldenrändern vielleicht sogar bis zu den Gaultsanden – eingedrungen wären und nun herunterwandern. Dies scheint infolge stärkerer Kompaktion der Kreide freilich langsamer vor sich zu gehen als in der Molasse, so dass man für die Ableitung des Überschusswassers wohl in deren Basissanden mit einer horizontalen Bewegungskomponente zur Umgebung der Mulde hin zu rechnen hätte. Als einen gewissen Hinweis auf den Gesamtvorgang könnte man vielleicht das Vorkommen schwach salzigen Wassers in einem Sandsteinhorizont der Turon-Tonmergel, ca. 90 m über den Gaultsanden, in der Bohrung Zorneding 1 südl. des Gasfeldes Anzing (Köwing, Kraus & Rückert 1968, 135) ansehen, dessen Salzgehalt (1,9 g/l NaCl) recht gut mit den im Rupel und Priabon der gleichen Bohrung beobachteten Salinitäten übereinstimmt, so dass man es für herabgesunkenes Porenwasser aus der dort 35 m höher liegenden Tertiärbasisregion halten möchte.

3. Mögliche Porenwasserbewegungen unterhalb des Malm

Abschliessend noch ein paar Worte zur Hydrogeologie von Trias, Lias und Dogger im westlichen Alpenvorland, über die noch keine näheren Untersuchungen vorliegen, so dass man mehr auf Spekulationen angewiesen ist: A priori ist anzunehmen – was durch die Beobachtungen auch bestätigt wird –, dass in den Speicherhorizonten dieser Formationen ebenfalls unterhydrostatische Drücke herrschen, da ihre Ausbisse im Albtrauf in der Regel tiefer liegen als die Erdoberfläche im Molassebecken (Fig. 4, oben). Dabei wird die Differenz zum hydrostatischen Druck jeweils umso grösser sein, je tiefer man in der Stratigraphie kommt, im Dogger beta z.B. also geringer als im Lias alpha und dort wieder geringer als im Stubensandstein des Mittleren Keupers.

Im Donausystem müssen bei der gegenwärtigen Konstellation – Donauspiegel höher als die Druckspiegel im tieferen Mesozoikum – die Porenwasserbewegungen unterhalb des Malm nach *aussen*, zum Albtrauf hin, gerichtet sein, wo sie wahrscheinlich zur Mineralisierung der dort in den gleichen Horizonten erschlossenen Mineral- und Thermalwässer beitragen (z.B. Bad Überkingen, Carlé 1972, 94ff; Bad Ditzenbach, Carlé & Groschopf 1972). Läge der Albtrauf, wie in geologisch nicht allzu ferner Vergangenheit (Carlé 1972, 92), heute weiter neckarwärts, könnten dank des regionalen Schichtanstiegs in der gleichen Richtung die Ausbisse der älteren Schichten höher als der Donauspiegel liegen, was zur Folge hätte, dass das in ihnen befindliche Porenwasser sich in *umgekehrter* Richtung in den Malm hineinbewegen würde. Dies mag sich im Jungtertiär auch tatsächlich so oder ähnlich abgespielt haben und ist heute möglicherweise am Hochrhein verwirklicht (Fig. 4, unten): Die Ausbisse des Gipskeupers und des salzführenden Mittleren Muschelkalks liegen im Wutachtal höher als der Rheinspiegel bei Eglisau. Dadurch könnten vielleicht salinare Porenwässer von unten her in den Malm und ausnahmsweise sogar in die hier in ihrem obersten, besonders sandigen Abschnitt (Cadisch 1959, Fig. 1) wohl direkt zum

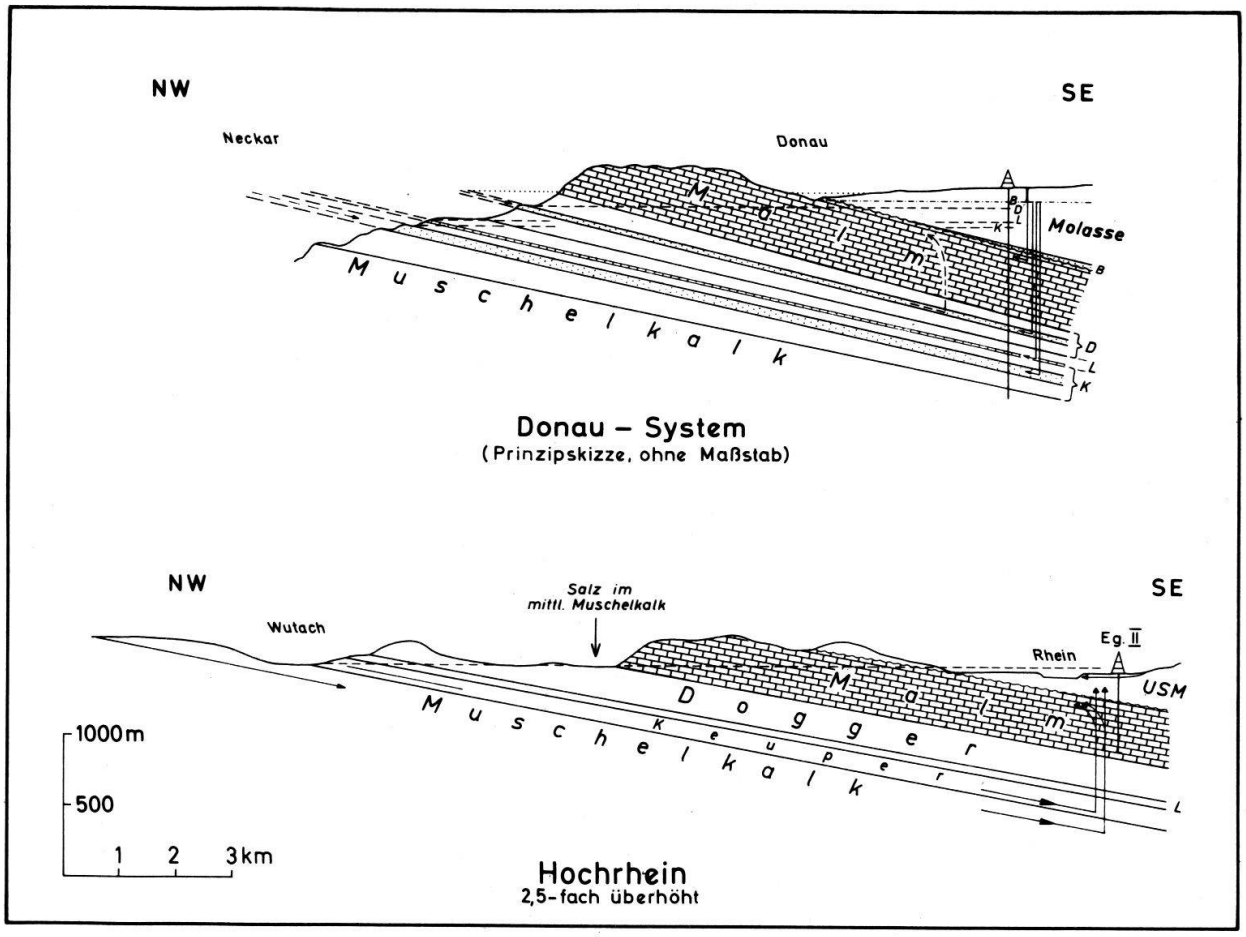

Fig. 4 Mögliche Porenwasserbewegungen in Dogger, Lias und Trias des westlichen Alpenvorlandes. – In der Prinzipskizze des Donausystems: Strichpunktierte Horizontale (B) = Druckniveau der Tertiärbasis bzw. des Malm, gestrichelte Horizontalen = heutige Druckspiegel im Dogger-beta-Sandstein (D), im Lias-alpha-Sandstein (L) und im Stubensandstein des Keupers (K); die ausgezogenen geknickten Pfeile symbolisieren die Porenwasserbewegungen vom Druckniveau des Malm zu den Sandausbissen im Albtrauf, die Verstärkung des Pfeils rechts neben der Bohrung oberhalb des Druckniveaus kennzeichnet den ständigen Nachschub von Tageswässern; die gestrichelte Verlängerung der Sandausbisse nach NW zum Neckar hin deutet eine frühere Lage des Albtraufs an, die eine umgekehrte Bewegungsrichtung der Porenwässer bewirkt haben könnte (gestrichelte Pfeile; punktierte Horizontale = fiktive Lage des zugehörigen Druckspiegels). – In der Hochrhein-Skizze symbolisieren die geknickten Pfeile die wahrscheinlichen Porenwasserbewegungen im und aus dem Gipskeuper und Mittl. Muschelkalk, der oberflächennahe Pfeil bei "Eg. II" die mutmassliche direkte Entwässerung der obersten USM zum Rhein; gestrichelte Linie = Ausbissniveau des Gipskeupers.

Rhein entwässernde USM eindringen, in denen durch die Bohrung Eglisau II Mineralwässer mit nennenswerten Salzgehalten erschlossen wurden (Cadisch 1959, 6; Gübeli 1959).

Wir müssen also wohl damit rechnen, dass auf diese Weise auch in dem Schichtenstoss unter dem Malm Porenwasserbewegungen in der einen oder anderen Richtung stattgefunden haben und noch stattfinden. Sie lassen sich zwar im einzelnen noch nicht recht übersehen, doch mag generell vielleicht schon etwa folgendes gelten: Das herabsinkende Porenwasser *oberhalb* des Malm gelangt in ihm letzten Endes stets zum Vorfluter (Donau oder Rhein; s.S. 12). Die Porenwässer *unterhalb* des Malm werden zum Ausbiss der betr. Schichten wandern, wenn dieser *tiefer* liegt als der nächste freie Malmwasserspiegel im Vorfluter. Liegt er dagegen *höher*, werden die tieferen Porenwässer von unten in den Malm eindringen und dann ebenfalls in ihm zum Vorfluter wandern. Sind sie mit Salz beladen, können sie hierbei zu einer gewissen Versalzung des Malmwassers führen. Vielleicht

bringt dies eine Erklärung dafür, dass die Malmwässer des Donausystems bis auf die ostbayerische Ausnahme süss, die des Rheinsystems jedoch meist schwach salzig sind. In Wirklichkeit wird freilich alles viel komplizierter sein als dieses Denkmodell.

Schlussbemerkung

Im Vergleich mit ähnlich grossen Sedimentbecken erscheint das süddeutsche Alpenvorland somit als Sonderfall: Sein mesozoischer Sockel ist im Albtrauf direkt, seine nachjurassische Füllung seit dem Oberpliozän durch die alte Verkarstung ihrer Malm-Unterlage indirekt geöffnet, seine Formationsdrücke werden auch in grossen Tiefen heute grösstenteils von der Erdoberfläche her gesteuert. Die hierdurch ausgelösten, langsamen vertikalen Porenwasserbewegungen, meist entgegen dem freilich i. a. wohl nur noch schwachen Kompaktionsstrom, haben in geologisch kurzer Zeit bereits erhebliche Verschiebungen der zuvor vorhandenen Porenfüllungen verursacht und tun dies weiterhin, was sich auch auf die Konservierung von Öl- und Gaslagerstätten auswirken könnte (Lemcke & Tunn 1956, 52 ff).

Verf. dankt dem Publikationsausschuss des Wirtschaftsverbandes Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V., Hannover, verbindlichst für die Erlaubnis, die seit 1956 angefallenen Beobachtungsdaten für diesen Aufsatz verwenden zu dürfen.

Schrifttum

ANDRES, G. & CLAUS, G. (1964): Das Karstwasser in der Südlichen und Mittleren Frankenalb. Geologica Bavarica, 53, 194–208, 4 Abb., 1 Beil., München.

APEL, R. (1971): Hydrogeologische Untersuchungen im Malmkarst der Südlichen und Mittleren Frankenalb. – Geologica Bavarica, 64, 268–355, 20 Abb., 9 Tab., 7 Beil., München.

BATSCHE, H., BAUER, F., BEHREND, H. et al. (1970): Kombinierte Karstwasseruntersuchungen im Gebiet der Donauversickerung (Baden-Württemberg) in den Jahren 1967–1969. – Steir. Beitr. Hydrogeol., Jg. 1970, 5–165, 72 Fig., 5 Taf., Graz.

CADISCH, J. (1959): Geologische Ergebnisse der Mineralquellenbohrung Eglisau II. – Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 26/70, 5–8, 1 Taf., Basel.

CARLÉ, W. (1972): Geologie und Hydrogeologie der Mineral- und Thermalwässer von Bad Überkingen, Landkreis Göppingen, Baden-Württemberg. – Jh. geol. L.A. Baden-Württ., 14, 69–143, 14 Abb., 3 Taf., Freiburg i. Br.

CARLÉ, W. & GROSCHOPF, P. (1972): Geologie und Hydrogeologie der Säuerlinge, Mineralwässer und Thermalwässer von Bad Ditzenbach, Landkreis Göppingen, Baden-Württemberg. – Oberrhein. geol. Abh., 21, 1–42, 1 Taf., Karlsruhe.

CRAMER, H. (1953a): Thermalwasser aus tiefliegenden Karsthöhlen des Bayerischen Innviertels. – Geologica Bavarica, 17, 164–177, München.

– (1953 b): Grundwasser und Quellen des Bayerischen Alpengebietes. – Geologica Bavarica, 17, 150–163, München.

GÜBELI, O. (1959): Zum Chemismus der erbohrten Mineralquellen in Eglisau. – Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 26/70, 9–14, Basel.

HESSE, R. & SCHMIDT-THOMÉ, P. (1975): Neue Jodwasser-Vorkommen im Bereich der bayerischen Alpenrand-Strukturen bei Bad Tölz (aufgrund von Tiefbohrungen 1957–1967). – Geol. Jb., C 11, 31–66, 7 Abb., 4 Tab., 2 Taf., Hannover.

KÖWING, K., KRAUS, L. & RÜCKERT, G. (1968): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt 7837 Markt Schwaben. – 147 S., 19 Abb., 7 Tab., 1 Beil., Bayer. Geol. L.-Amt, München.

KRAUS, L. (1969): Erdöl- und Erdgaslagerstätten im ostbayerischen Molassebecken. – Erdöl-Erdgas-Z., 85, 442–454, 14 Abb., Wien-Hamburg.

LANGE, H. & PAULUS, B. (1971): Stratigraphie und Fazies des Gault und Cenoman der Wasserburger Senke im Bayerischen Molasse-Untergrund. – Erdöl-Erdgas-Z., 87, 150–163, 11 Abb., Wien-Hamburg.

LEMCKE, K. (1970): Epirogenetische Tendenzen im Untergrund und in der Füllung des Molassebekkens nördlich der Alpen. – Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 37/91, 25–34, 10 Fig., Basel.

– (1972): Die Lagerung der jüngsten Molasse im nördlichen Alpenvorland. – Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 39/95, 29–41, 7 Fig., Basel.

– (1973): Zur nachpermischen Geschichte des nördlichen Alpenvorlandes. – Geologica Bavarica, 69, 5–48, 11 Abb., 2 Beil., München.

– (1974): Vertikalbewegungen des vormesozoischen Sockels im nördlichen Alpenvorland vom Perm bis zur Gegenwart. – Ecl. geol. Helv., 67, 121–133, 6 Fig., Basel.

LEMCKE, K. & TUNN, W. (1956): Tiefenwasser in der süddeutschen Molasse und in ihrer verkarsteten Malmunterlage. – Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing., 23/64, 35–56, 7 Abb., 2 Tab., Basel.

MÜLLER, M. (1975/76): Bohrung Miesbach 1: Ergebnisse der ersten im Rahmen des Erdgastiefenaufschlussprogramms der Bundesregierung mit öffentlichen Mitteln geförderten Erdgastiefbohrung. – Compendium 75/76, Erg.-Bd. z. Erdöl u. Kohle, 63–76, 4 Abb., Leinfelden Echterdingen.

NATHAN, H. (1949): Geologische Ergebnisse der Erdölbohrungen im Bayerischen Innviertel. – Geologica Bavarica, 1, 68 S., 5 Abb., 1 Taf., München.

OSCHMANN, F. (1963): Introduction into the Regional Geology of the South German Molasse Basin. – Excursion Guide Book III, 6th World Petrol. Congr. Frankfurt a.M. 1963, 5–17, 10 Fig., Hannover.

SCHAUBERGER, O., ZANKL, H., KÜHN, R., KLAUS, W. (1976): Die geologischen Ergebnisse der Salzbohrungen im Talbecken von Bad Reichenhall. – Geol. Rdsch., 65, 558–579, 6 Abb., 4 Tab., Stuttgart.

TRAUB, F. (1971): Zur Wasserversorgung der Stadt Ingolstadt. – Geologica Bavarica, 64, 356–364, 2 Abb., 1 Taf., München.

UDLUFT, P. (1975): Das tiefere Grundwasser zwischen Vindelicischem Rücken und Alpenrand. – Geol. Jb., C 11, 3–29, 12 Abb., 1 Tab., Hannover.

VILLINGER, E. (1972): Seichter Karst und Tiefer Karst in der Schwäbischen Alb. – Geol. Jb., C 2, 153–188, 9 Abb., Hannover.

– Über Potentialverteilung mit Strömungssystemen im Karstwasser der Schwäbischen Alb (Oberer Jura, SW-Deutschland). – Geol. Jb., in Vorbereitung.