

TEKTONIK UND ALTER DER FALKENSTEINER HÖHLE

Andreas Hoydem

Inhaltsangabe

1. Übersicht über die tektonische Entwicklung der Mittleren Schwäbischen Alb
2. Das tektonische Inventar der Falkensteiner Höhle
3. Schichtlagerung und Höhlenverlauf
4. Das Bildungsalter der Falkensteiner Höhle
5. Literatur

1. Übersicht über die tektonische Entwicklung der Mittleren Schwäbischen Alb

In dem langen Zeitraum seit der oberjurassischen Festlandsbildung hat die Mittlere Schwäbische Alb mehrere tektonische Beanspruchungsphasen durchlaufen. Da känozoische Sedimente kaum vorhanden sind, ist man bei der Ermittlung von tektonischen Phasen

auf die Auswertung kleintektonischer Überprägungen angewiesen (HOYDEM 1985). Zur Erfassung des tektonischen Inventars wurden zwischen Jusi und Randecker Maar neben etwa 60 000 Klüften alle auffindbaren Abschiebungen, Horizontalverschiebungen, Harnischflächen und -lineare, calcitverfüllte Klüfte und Horizontalstylolithen aufgenommen (HOYDEM 1991). Insgesamt konnten - neben den Klüften - damit mehrere tausend meist kleintektonische Elemente analysiert werden.

Aus den Überprägungen tektonischer Elemente wie Störungen und Horizontalstylolithen ergibt sich eine relative Altersabfolge, aus der sich anhand bekannter regionaltektonischer Entwicklungsphasen auch eine zeitliche Altersentwicklung ableiten läßt. Die postjurassischen Spannungsfelder sind in folgender relativer Reihenfolge nacheinander aufgetreten:

(alt) 120° - 20° - 45° - 70° - 140° (rezent)

Zeitlich betrachtet wurde das vermutlich kreidezeitliche Streßfeld um 120° vom eozänen bis oligozänen Maximum der Horizontalkompression in NNE-Richtung abgelöst. Nach einer Rotation des Spannungsfelds über ein 45°-Maximum prägte bis zum mittleren Miozän ein Streßfeld mit einem horizontalen Druckmaximum um 70 das Untersuchungsgebiet. Seit dem Oberpliozän weist das heute noch aktive Streßfeld eine SE-Orientierung auf (GREINER 1978, SCHNEIDER 1980). Mit einer zeitlichen Zuordnung der Phasen größten Horizontaldrucks kann auch die Entstehung von Störungen und insbesondere von Abschiebungen im Gebiet um Urach zeitlich eingeordnet, zumindest jedoch eingengt werden. Damit lassen sich auch Karstformen, die an solchen Trennflächen orientiert sind, zeitlich einordnen.

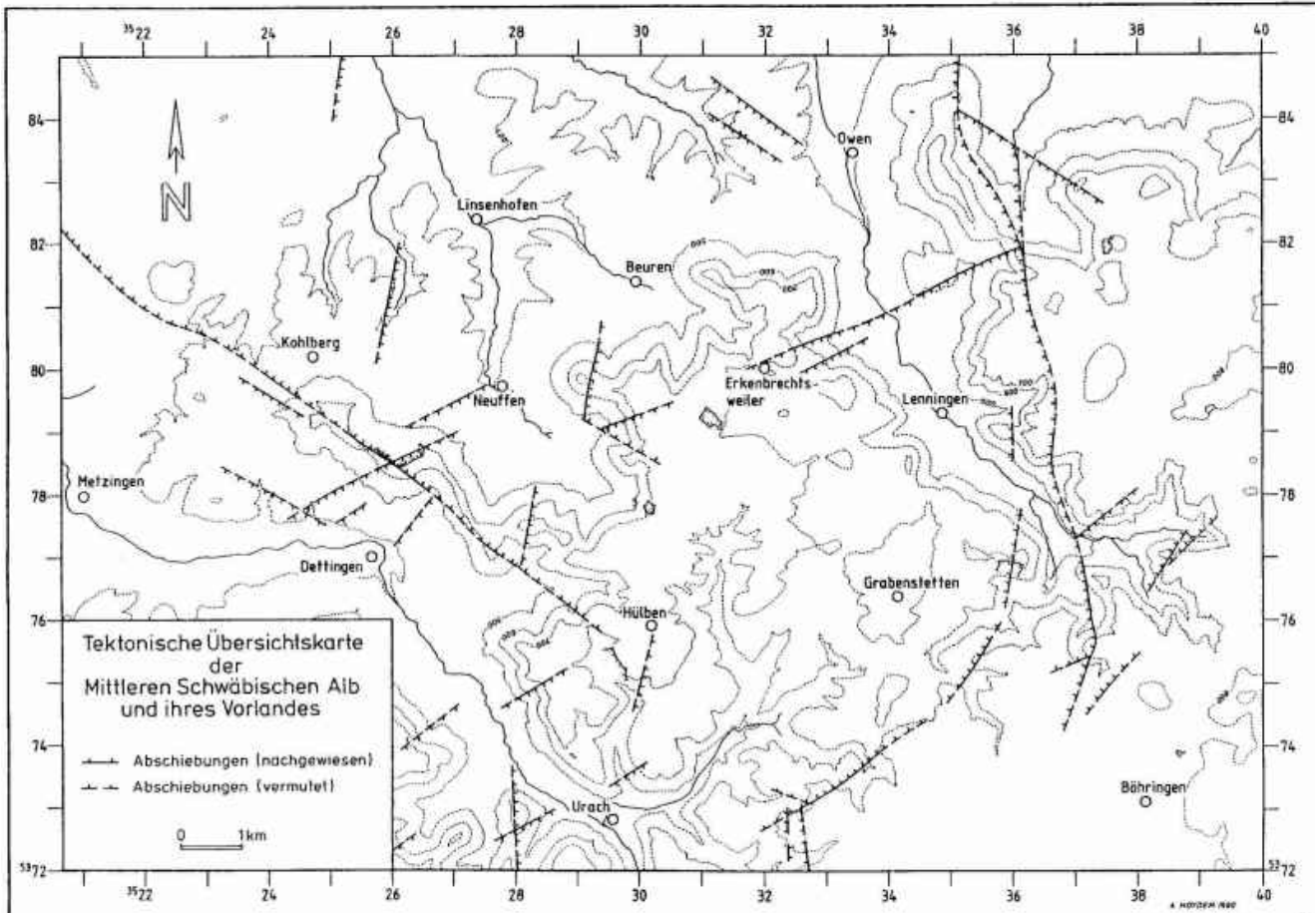


Abb. 1

Diese postjurassischen Spannungsfelder führten durch eine intensive Zerbrechung und Mehrfachüberprägung des Gebiets zu einem sehr komplexen tektonischen Struktur, in der die Senkungsstruktur der "Uracher Mulde" entstand. Ihre Entstehung war vermutlich präpliozän abgeschlossen. Inwieweit der obermiozäne Vulkanismus die Entstehung dieser Senke mitgefördert hat, läßt sich nicht eindeutig feststellen (GWINNER 1961, MAIER 1988). HOYDEM (1991) konnte durch statistische Untersuchungen nachweisen, daß sich der Aufstieg des vulkanischen Tuffs an präexistente bruchtektonische Strukturen (Klüften, Störungen) orientierte. Im Nordteil der Uracher Mulde, und zwar im Bereich der Erkenbrechtsweiler Halbinsel, treffen sich Ausläufer des Fildergrabens ($115^{\circ} - 135^{\circ}$, z. B. die Jusistörung) mit rheinisch gerichteten Bruchstrukturen ($0^{\circ} - 20^{\circ}$, z. B. die Teckverwerfung) und Begleitstörungen des Schwäbischen Lineaments ($60^{\circ} - 75^{\circ}$, z. B. die Bauerlochstörung). Die Trennflächensysteme dieser Hauptrichtungen bestimmen im entscheidenden Maße das bruchtektonische Inventar zwischen Jusi und Randecker Maar (Abb. 1).

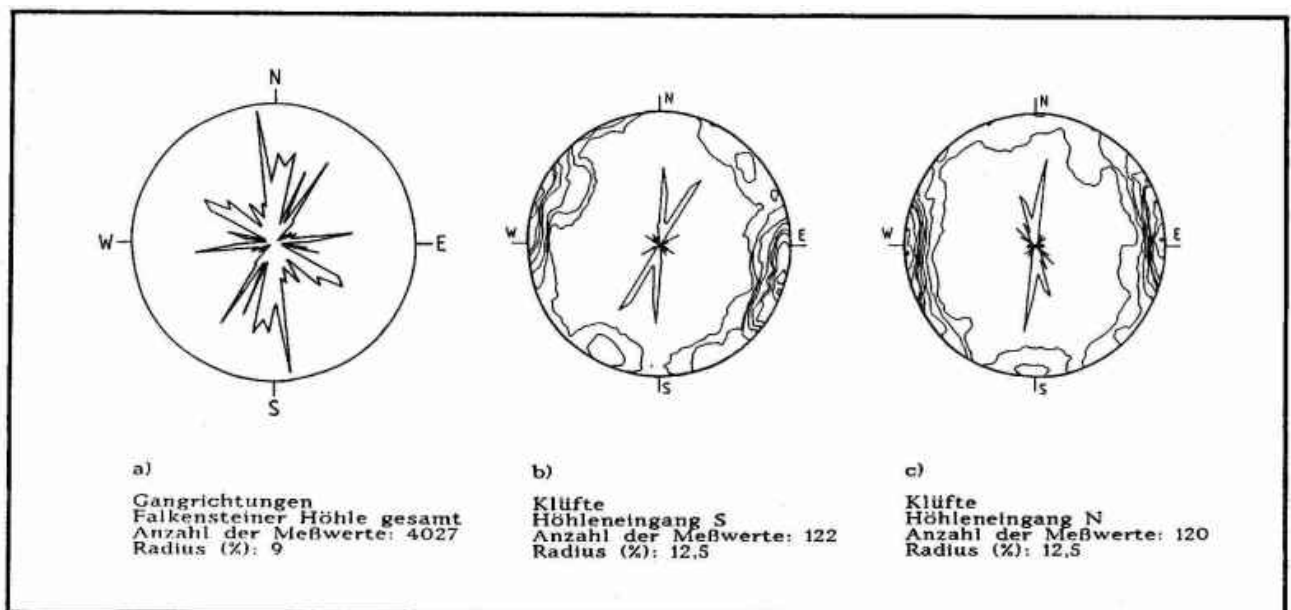


Abb. 2: Vergleich zwischen der Gangrose der Falkensteiner Höhle (HOYDEM 1991) mit Kluftrosen aus dem Eingangsbereich (SPANGENBERG 1986).

2. Das tektonische Inventar der Falkensteiner Höhle

Die Falkensteiner Höhle weist ein sehr komplexes tektonisches Inventar auf. Ein Vergleich von Kluftdiagrammen (Abb. 2 b,c), die sowohl im Eingangsbereich als auch in der Umgebung der Höhle aufgenommen wurden, mit der Gangrichtungsrose der Falkensteiner Höhle (Abb. 2 a) zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Hauptrichtungen. Ein Großteil der Gänge zeigt eine enge Abhängigkeit vom bruchtektonischen Inventar.

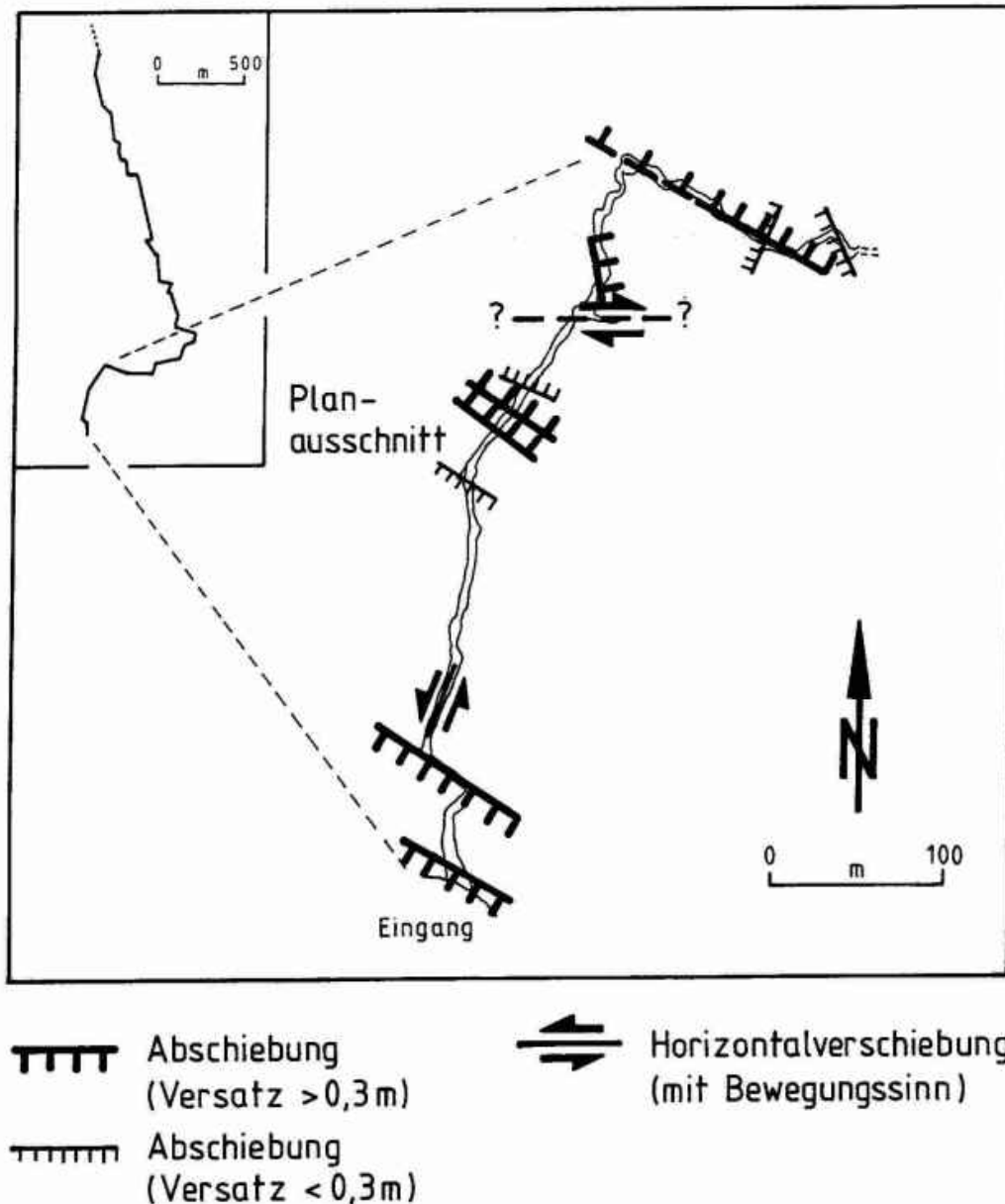


Abb. 3: Das Störungsinventar der Falkensteiner Höhle zwischen Eingang (B 106) und Wasserfallstrecke (B 51).

Die Falkensteiner Höhle ist im wesentlichen NNE und NNW orientiert. Diese Richtungen bilden bei den Kluftrichtungsrosen die Maxima 1. Ordnung. Sie werden durch Großklüfte, teilweise auch durch Klufscharen und Abschiebungen bestimmt.

Das Gangrichtungsmaximum 2. Ordnung liegt in 120°-Richtung und ist im Kluftdiagramm nicht repräsentiert. In der Höhle wird dieser Gangverlauf von gang- und raumbestimmenden ESE-Abschiebungen bestimmt, die teilweise durch Horizontalbewegungen überprägt sind. Beispiele hierfür sind zum einen etwa 150 m der Wasserfallstrecke hinter der Reutlinger Halle, zum anderen die Strecke zwischen Schluckloch 1 und 2 (vgl. Abb. 3).

Im Verlauf des Gangs zwischen dem Schluckloch 1 und 2 wird der Höhlenbach an der Verwerfungszone rezent tiefergelegt. Die Bindung an 120°-Abschiebungen ist in der Höhle ziemlich häufig, da diese Richtung in Bezug auf die Schichtlagerung eine wichtige Entwässerungsfunktion hat. Auch in NNE- und NNW-Richtungen folgt der Gang häufig kleineren Abschiebungen bzw. Horizontalverschiebungen, so z.B. zwischen B 40 und B 44 (Abb. 4).

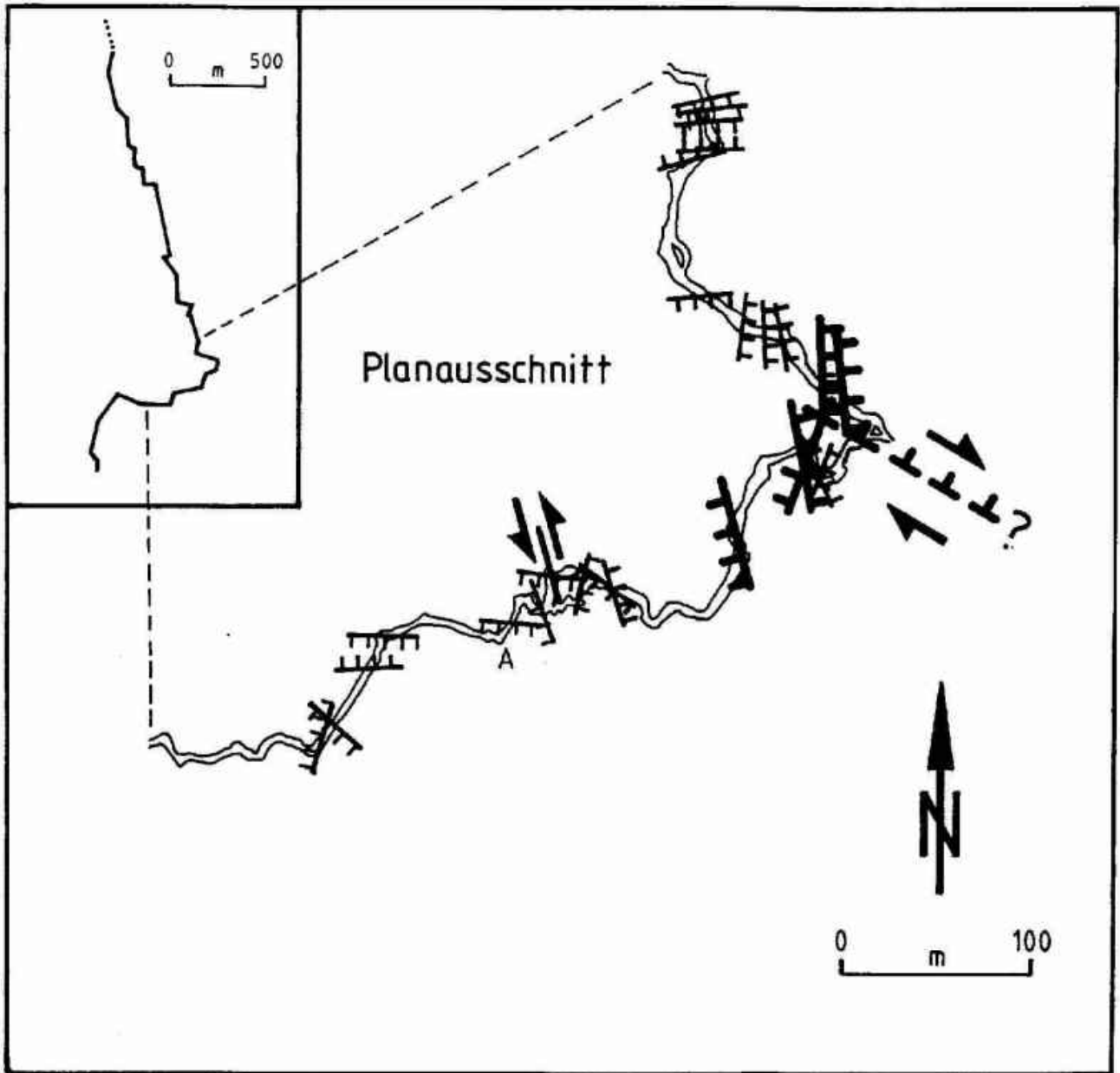


Abb. 4: Das Störungsinventar der Falkensteiner Höhle zwischen Wasserfallstrecke (B 51) und A 129. A = Bereich, in dem aus darstellerischen Gründen nicht alle Verwerfungen eingezeichnet sind (Legende s. Abb. 3).

Abschiebungen in 70° -Richtung treten aufgrund der regionalen Gebundenheit des Gangs an das Schichtenfallen meist nur gangquerend auf. Nur auf kurzen Teilstrecken, so zwischen A 127 und A 123, wird dieser Richtung gefolgt (Abb. 5). Bei A 123 kreuzen sich sogar zwei Störungen, hier kam es aufgrund der Gesteinsauflockerung zu Verbrüchen. Soweit von unten erkennbar, ist durch eine Blattverschiebung auf einer NNE-streichenden Verwerfung ($5^\circ/90^\circ$) eine Abschiebung in $70^\circ/75^\circ$ S versetzt worden.

Insgesamt konnten zwischen Eingang und dem 2. Siphon nach der Bänischhalle etwa 100 meist kleinere Störungen gefunden werden (Aufnahme: A. Hoydem, J. Werchau), wobei die Verwerfungsdichte nach hinten zunimmt. Es besteht, wie auch in anderen Höhlen der Mittleren Alb (HOYDEM 1988), ein enger Zusammenhang des Verlaufs der Falkensteiner Höhle mit Verwerfungen und Großklüften. Wenn aber der Höhlengang entlang einer Störungsfläche bzw. Großklüft verläuft, so folgt daraus zwingend, daß diese Trennfläche vor der Bildung der Höhle angelegt wurde. Weil die jüngsten Abschiebungen, denen der Höhlengang folgt, zur 70° -Richtung gehören, bedeutet dies, daß die Höhle ein postuntermiozänes Alter hat.

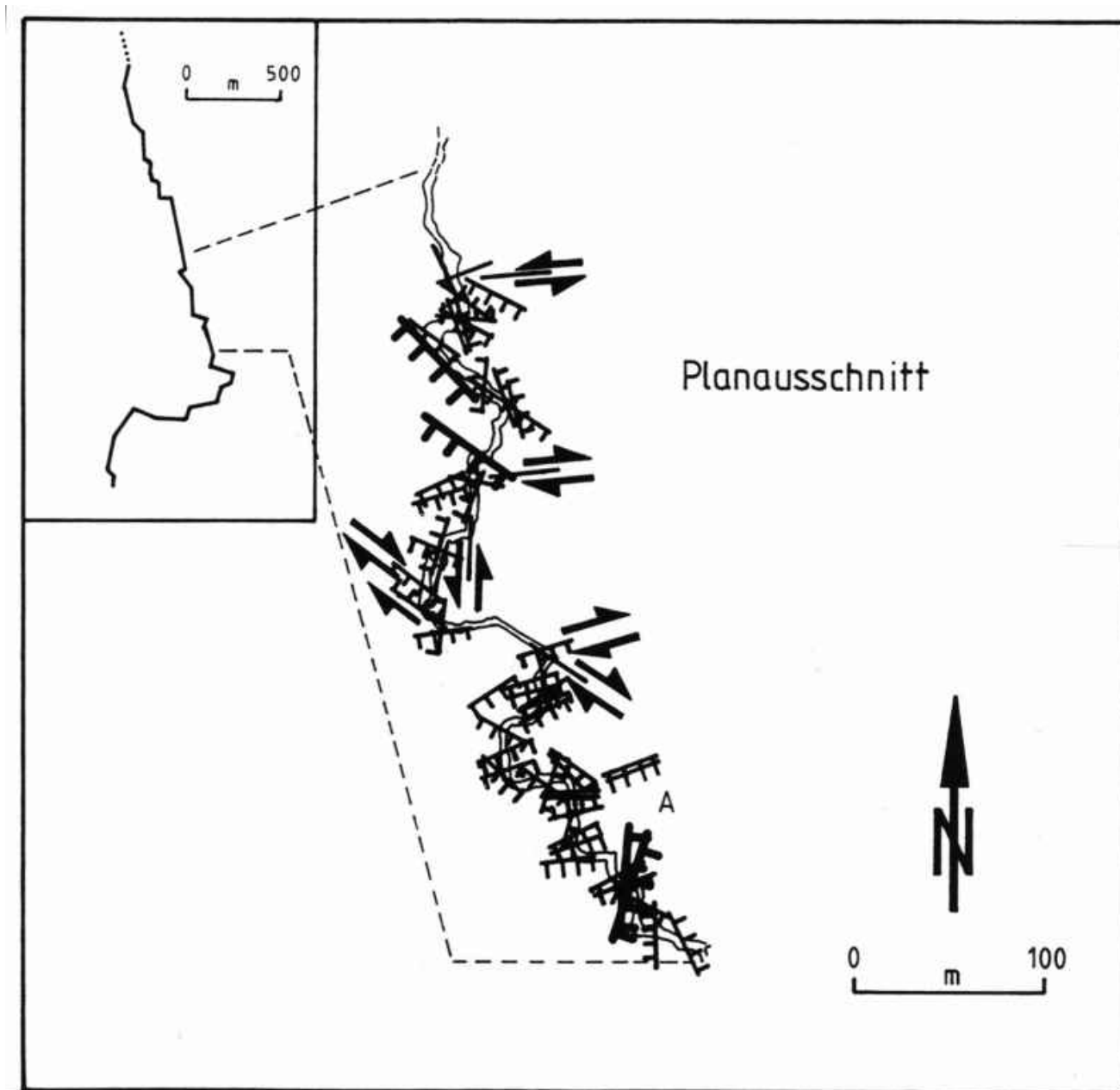


Abb. 5: Das Störungsinventar der Falkensteiner Höhle zwischen A 129 und dem 2. Siphon (A 71). A = Bereich, in dem aus darstellerischen Gründen nicht alle Verwerfungen eingezeichnet sind (Legende s. Abb. 3).

Ein weiteres entscheidendes tektonisches Instrument zur Altersbestimmung stellen die jungen Horizontalverschiebungen dar. Wie aus den tektonischen Untersuchungen in Süddeutschland hervorgeht, ist die intensive horizontale Zerschörung um 70° bis 90° (schwäbische Richtung) - und insbesondere um 170° bis 20° (rheinische Richtung) - seit dem oberen Pliozän entstanden und auf das heute noch aktive Stressfeld zurückzuführen, dessen horizontale Hauptkompressionsrichtung etwa 140° gerichtet ist.

Wie sich aus den Untersuchungen in Übertageaufschlüssen ableiten läßt, stellen viele der Kleinstörungen unter 0,3 m Versatz in Wirklichkeit Horizontalverschiebungen dar. Sie mußten in den Abbildungen 3 bis 5 mangels besserer Aufschlußverhältnisse als Abschiebungen dargestellt werden. Durch Korrosion der Horizontalharnischfläche bleibt in der Höhle nur ein scheinbarer Versatz erkennbar. Deutlich wird die Horizontalbewegung, wenn durch eine Schrägkomponente der Horizontalbewegung von einer Gangseite zur anderen jeweils die andere Scholle abgeschoben erscheint.

Wenn aber eine Horizontalverschiebung, die jünger ist als die Entstehung des betreffenden Bereichs, einen Höhlengang quert, so muß sie die Wände gegeneinander versetzen. Ein Versatz der Gangwände ist jedoch an keiner der über 40 Horizontalverschiebungen innerhalb der Höhle feststellbar - und das gilt auch für heute inaktive Bereiche mehrere Meter über dem Höhlenbach. Falls man nicht eine sehr rasche - und unwahrscheinliche - Korrosion bei Überflutungsphasen der Höhle annimmt, woraus natürlich auch ein sehr junges Alter der Höhle resultieren würde, muß die Korrosion dieser Horizontalharnischflächen über der Gangsohle ein geologisch junges, postoberpliozänes Alter haben.

Ein weiteres Altersindiz liefert die Verfüllung NNE-ausgerichteter Horizontalharnischflächen. Teilweise trifft man korrodierte Hohlräume an Horizontalverschiebungen an, die mehrere Meter über der Gangsohle durch Lehm plombiert sind. Auch hier ist kein Versatz, der ja durch den Lehm vor der Korrosion geschützt worden wäre, zu sehen. Damit haben aber die Höhlengänge ab der Zeit ihrer Plombierung keine horizontale Verschiebung mehr erlebt. Unwahrscheinlich ist auf jeden Fall eine vollständige Korrosion einer durch Horizontalverschiebung herausragenden Fläche unter Lehmüberdeckung. Alles deutet somit darauf hin, daß die horizontal bewegten Flächen schon vor der Plombierungsphase der Höhle im heutigen Zustand vorhanden waren und subrezent nicht mehr bewegt wurden.

Zwei Beispiele von Höhlengängen in tektonisch stark zerrütteten Bereichen sollen hier noch kurz dargestellt werden. Zum einen

der Bereich vor dem Fuchsbau: hinter dem verstürzten Abstieg zum Fuchsbau quert eine große Verwerfung in 90° - bis 120° -Richtung die Höhle. Die Schichten des hier aufgeschlossenen oberen Weißen Jura d 4 sind um etwa 5 - 10 m nach N abgeschoben worden. Diese nur schlecht aufgeschlossene Störungszone ist horizontal überprägt worden, wie die stark zerscherte Zone vor dem Fuchsbau zeigt. Hier findet man zahlreiche Horizontalharnischflächen und brecciöse Bereiche. Die intensive tektonische Zerrüttung dieser Zone ist Ursache für die großen Verbrüche vor dem Fuchsbau. Auch hier finden sich allerdings keine Spuren eines Versatzes von Wandpartien.

Ein zweiter, intensiv tektonisch beanspruchter Bereich ist der Goldgräberstollen vor dem 1. Siphon. Die Decke in dieser etwa 90° streichenden Beanspruchungszone wird von oft verlehmt Breccie gebildet, ein Vertikalversatz ist nicht erkennbar. Der Goldgräberstollen muß ebenfalls als große Horizontalverschiebung gedeutet werden, die zusätzlich noch stark verkarstet ist. Möglicherweise ist auf die laterale Verschiebung auch das Durchhängen der Schichten beim 1. Siphon zurückzuführen. Das Maximum der Horizontalbewegungen des heute noch aktiven Streßfelds mit Horizontalkompression unter 140° ist vermutlich ins ältere Quartär zu stellen. Rezent scheinen Bewegungen hauptsächlich in größeren, alt angelegten Bruchzonen abzulaufen. In der großen Ruschelzone des Fuchsbaus sind Lateralbewegungen quer zum Gang daher auch nach der Höhlenbildung nicht völlig auszuschließen. In diesem Fall hätten Verbruchvorgänge Horizontalversätze der Wände vertuscht.

3. Schichtlagerung und Höhlenverlauf

Die Grabenstetter Großhöhle ist auf einen Vorfluter im Südwesten ausgerichtet. Regional verläuft das Höhlensystem recht genau in Richtung des Schichtfallens (Abb. 6). Die einzelnen Gangteile sind zwar an lokale tektonische Strukturen gebunden, aber nur in Richtungen, die dem Wasser einen kürzeren bzw. besser benutzbaren Weg zum Vorfluter bieten. Das belegt die Bindung der Verkarstung an präexistente bruchtektonische Flächen.

Die Ausrichtung und der Profiltyp der Höhlengänge werden durch bruchtektonische Faktoren bestimmt. Die eigentliche Raumausformung wird jedoch durch stratigraphische und lithologische Unterschiede modifiziert. Die vorfluterorientierten wasserführenden Gänge verlaufen - im wesentlichen bestimmt durch Verwerfungen -schichtunabhängig durch die Gesteinsfolge des Weißen Jura d 3 bis in den Massenkalk des Weißen Jura d 4 und zurück, eine Bindung an Bank- und Massenkalkstrukturen ist nicht erkennbar.

Vor allem in ihren südlichen Bereichen folgen sowohl die Falkensteiner Höhle als auch der Elsachbröller als weiteres Teilstück der Grabenstetter Großhöhle (PECHOLD 1977) einem deutlichen Richtungstrend nach SW bis WSW auf eine Spezialmulde innerhalb der Uracher Mulde zu. Damit verläuft die Grabenstetter Großhöhle in der lokalen Einfallrichtung zur Uracher Mulde und nicht im generellen, nach SE gerichteten Schichtenfallen der Alb, das auf die Kippung der Albtafel zurückzuführen ist. Südlich des Büchelbrunner Bröllers verläuft die Büchelbrunner Verwerfung, deren Nordscholle in diesem Bereich um etwa 20 m abgeschoben ist. Nach Südwesten nimmt der Versatzbetrag deutlich zu. Bei diesem Versatzbetrag stellt jedoch die Störung für eine nach Süden gerichtete Entwässerung ein ernsthaftes Hindernis dar. Zudem steigen im Süden der Uracher Mulde die Schichten - eventuell bedingt durch weitere, momentan noch unbekannte Störungen - um bis zu 150 m wieder an. Dem Bachhöhlensystem ist aber damit durch sperrende, nur gering wasserdurchlässige Schichten des tieferen Weißen Juras der weitere Abfluß nach Süden über den Tiefpunkt der Uracher Mulde hinaus versperrt.

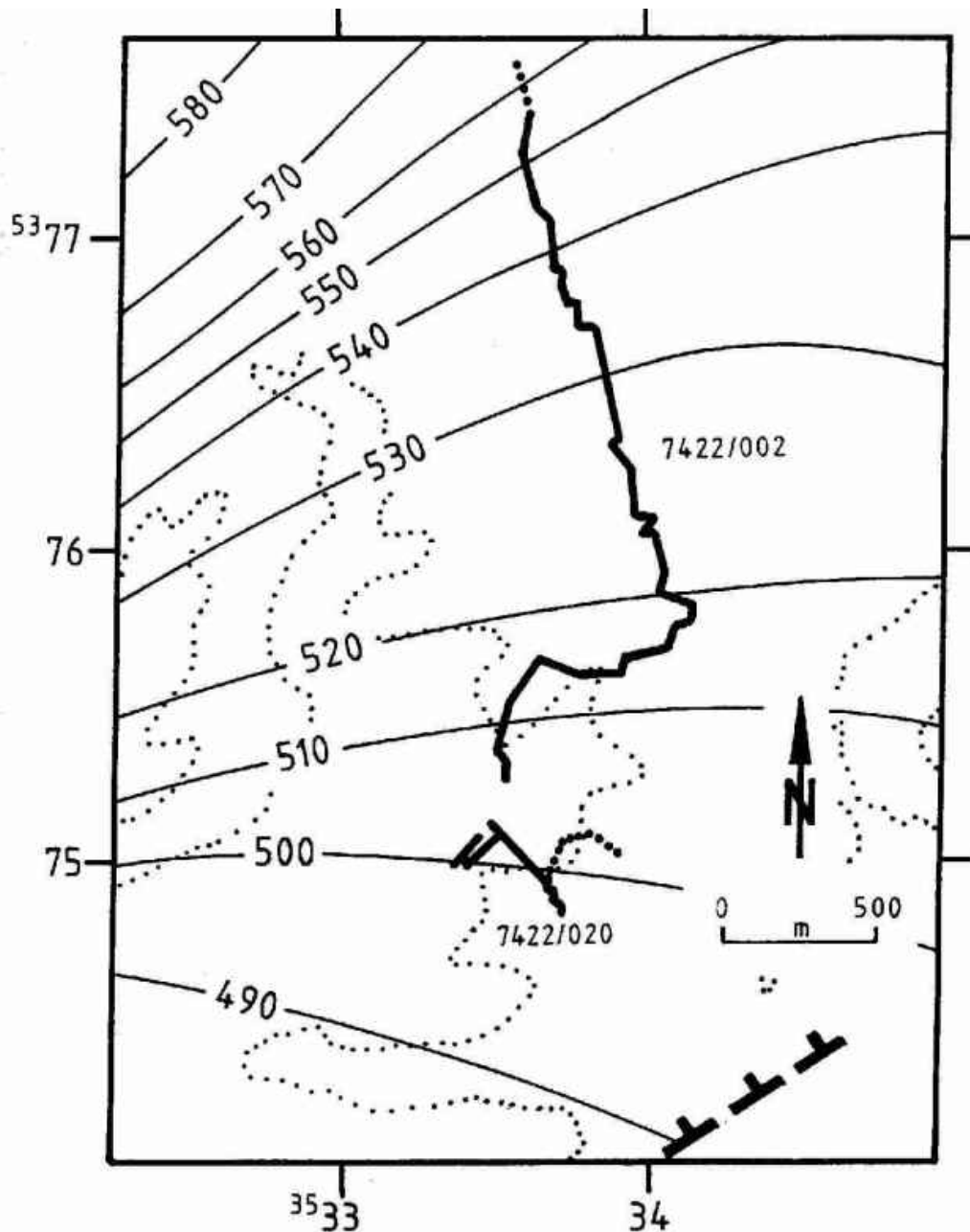


Abb. 6: Schichtlagerung (Grenze Weißer Jura b/g) und Verlauf der Grabenstetter Großhöhle.

Der Abfluß aus dem Bereich der Uracher Mulde heraus konnte erst zu dem Zeitpunkt gebildet werden, als sich durch rhenanische Erosion eine Vorflut bis nahe an das Muldentiefste herangearbeitet hatte. Als sich mit der Ur-Erms eine Entwässerung aus der wohl schon im Obermiozän fertiggestellten tektonischen Absenkungsstruktur herausbildete, war eine Entwicklung der Grabenstetter Großhöhle überhaupt erst möglich. Zudem mußte die Erosion bereits den Weißen Jura d angeschnitten haben, um als Vorflut für das Karstgrundwasser im Umfeld und Einzugsgebiet der Grabenstetter Großhöhle zu schaffen. Die Anzapfung des Kernbereichs der Uracher Mulde durch neckartributäre Täler erfolgte aber frühestens im oberen Pliozän.

4. Das Bildungsalter der Falkensteiner Höhle

Bei der Frage nach der Entstehungszeit der Falkensteiner Höhle - und damit auch der Grabenstetter Großhöhle - kommt man sowohl bei der Untersuchung der Bruchtektonik und der Schichtlagerung als auch der Landschaftsgeschichte zum gleichen Alter. Die Analyse des tektonischen Inventars und seiner Überprägungen ergibt ein maximal oberpliozänes Alter der Falkensteiner Höhle. Berücksichtigt man dazu noch die Schichtlagerung und das rückwärtige Einschneiden der Vorflut in die Uracher Mulde, so wird für die Falkensteiner Höhle ein altquartäres Bildungsalter wahrscheinlich. Ihre mehrphasige Speläogenese ist also maximal in einem Zeitraum von drei bis vier, wahrscheinlicher aber von etwa zwei Millionen Jahren abgelaufen.

5. Literatur

GWINNER, M.P. (1961): Tektonik, Sedimentation und Vulkanismus im Gebiet der "Uracher Mulde" (Schwäbische Alb, Württemberg). - Jber. Mitt. oberhein. geol. Ver., N.F., **43**: 25 - 40, 2 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.

- GREINER, G. (1978): Spannungen in der Erdkruste - Bestimmung und Interpretation am Beispiel von in-situ-Messungen im süddeutschen Raum. - Diss. Univ. Karlsruhe: V + 192 S., 59 Abb., 6 Tab.; Karlsruhe.
- HOYDEM, A. (1985): Geologie und Tektonik des mittleren Lenninger Tals (Schwäbische Alb). - Maschinenschr. Diplomarb. Univ. Karlsruhe: VII + 259 S., 74 Abb., 5 Tab., 6 Taf., 5 Anl.; Karlsruhe.
- HOYDEM, A. (1988): Untersuchungen zur Tektonik und Verkarstung der mittleren Schwäbischen Alb. - Laichinger Höhlenfreund, **23**(1): 21 - 34, 8 Abb.; Laichingen.
- HOYDEM, A. (1991): Die tektonische Entwicklung der Schwäbischen Alb zwischen Jusi und Randecker Maar. - Diss. Univ. Stuttgart, ca. 230 S., 75 Abb., 7 Tab., 4 Taf.; Stuttgart (in Bearbeitung).
- MAIER, R. (1988): Mathematisch-statistische Untersuchungen zum Vulkanismus des Urach-Kirchheimer Vulkangebiets. - Maschinenschr. Diplomarb. Univ. Stuttgart, Tl. 1, 6 + 143 S., 65 Abb., 2 Tab., 1 Kt.; Stuttgart.
- PECHOLD, E. (1977): Die Grabenstettener Großhöhle hat existiert. Neue Entdeckungen im Elsachbröller beweisen früheren Zusammenhang mit der Falkensteiner Höhle. - Karst u. Höhle, 1977: 35 - 45, 2 Abb.; München.
- SCHNEIDER, G. (1980): Seismic Stresses in Southern Germany. - Rock Mech., Suppl., **9**: 69 - 73, 4 Abb.; Wien, New York.
- SPANGENBERG, H. (1986): Die Geologie des Südteils von Blatt 7422 Lenningen unter besonderer Berücksichtigung der Tektonik. - Maschinenschr. Diplomarb. Univ. Karlsruhe: VIII + 533 S., 31 Abb., 8 Tab., 10 Taf., 2 Kt.; Karlsruhe.
- WEPFER, E. & ALDINGER, H. (1967) mit Beitr. von MÄUSSNEST, O.: Blatt 7422 Lenningen. - Geol. Kt. Baden-Württ.; Stuttgart [2., verbesserte Aufl.].

Inhaltsverzeichnis dieses Heftes	Weitere Artikel zu diesem Themengebiet	Vorheriger Artikel
Gesamtübersicht CD-ROM	Weitere Artikel von diesem Autor	Nächster Artikel