

Diss. ETH Nr. 12400

**Räumliche Beziehungen der Karstsysteme zu den tektonisch-  
geologischen Strukturen im Gebiet der Weissenstein- und  
Farisbergantiklinale (Solothurner Jura)**

Tektonik - Karst - Hydrochemie - Isotope

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

**Thilo Herold**

Geologe dipl. Phil. II (Universität Basel)  
geboren am 14. Januar 1965  
aus Deutschland

Angenommen auf Antrag von:

PD Dr. W. Balderer, Referent  
PD Dr. P. Jordan, Korreferent  
Prof. Dr. F. Zwahlen, Korreferent  
Prof. Dr. S. Löw, Korreferent

1997

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit untersucht die Zusammenhänge zwischen tektonischen Strukturen im Bereich von Antiklinalstrukturen und den darin ausgebildeten Karstsystemen. Dazu wurde das Gebiet der Weissenstein- und Farisbergkette ausgesucht.

Während der Faltung des WSW-ESE verlaufenden Antiklinal- und Synklinalkomplexes der Weissenstein- und Farisbergantiklinale im Gebiet des Faltenjuras führte der Einfluss präexistenter Störungszonen wie rheintalisch streichende (NNE-SSW) Abschiebungen, WE-verlaufende Flexuren und die damals herrschende Hauptspannungsrichtung zu den tektonisch komplizierten Baustilen der beiden Juraketten. Ihre Geometrie ist primär durch eine Rücküberschiebung geprägt, deren Entstehung dazu führte, dass ältere Strukturen wie nordvergente Überschiebungen oder rheintalisch streichende (NNE-SSW) Störungszonen mitverfaltet wurden. Vor allem die präexistenten NNE-SSW verlaufenden Störungszonen führten während der Faltung zu einem mehrfachen Umknicken der Weissensteinantiklinalen. Dadurch kam es zur Ausbildung von kompressiven Zonen in den einknickenden Bereichen der Flanken und zu extensiven Zonen in den sich öffnenden Bereichen. Während der Faltung, in einer relativ späten Phase, kam es auch zur Ausbildung von kleinen südvergenten und W-E verlaufenden Fault-propagation folds oder Fault-bend folds in der Weissensteinnordflanke.

Aufgrund der geologischen Situation befinden sich in der Weissenstein- und Farisbergantiklinale die grössten Karstaquifere in den Kalken des Kimmeridgien bzw. Sequan (Malmkalke, ca. 150 m) und denen des Haupttrogensteines (ca. 110 m). Kleinere lokale Karstsysteme treten in den bis zu 30 m mächtigen Birmensdorfer Kalken, in den mächtigen Kalkbänken innerhalb der Effinger - Schichten oder innerhalb des Keupers auf. Die beiden mächtigsten Aquifere der Weissensteinkette werden von vier grossen Quellen entwässert. Drei dieser Quellen liegen am Nordhang der Antiklinale (Malmkalke) und eine in der Klus von Oensingen-Balsthal (Haupttrogenstein). Sie werden vorwiegend aus tieferen Karstsystemen gespiesen.

Wie die Multitracerexperimente zeigten, wird die W-E verlaufende Hauptentwässerungsrichtung der Karstsysteme in den beiden Antiklinalen durch die NNE-SSW verlaufenden Bruchzonen massgebend beeinflusst:

- In den Karstsystemen der Malmkalke, an den Flanken der Antiklinalen, wird die allgemeine Entwässerungsrichtung von W nach E durch die Bruchzonen immer wieder unterbrochen. Diese wirken als laterale Drainagen dieser Karstsysteme.
- Die Karstsysteme im Haupttrogenstein der Antiklinale sind bis auf eine grosse Höhe in undurchlässige Schichten eingebettet. Dadurch ist der drainierende Einfluss der NNE-SWW verlaufenden Bruchzonen deutlich abgeschwächt. Es kann eine kontinuierliche Zunahme der Fliessgeschwindigkeit der Tracer mit zunehmender Distanz beobachtet werden. Die Geschwindigkeit strebt asymptotisch gegen einen bestimmten Wert (700 m/d).
- In den geöffneten Bereichen der Antiklinale mit dilatativen tektonischen Verhältnissen kommt es zu einer geringen Entwässerung der Karstsysteme aus dem Haupttrogenstein heraus in die Malmkalke hinein. Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass ein Teil der in den Haupttrogenstein eingegebenen Tracer auch im Grundwasserkörper (Alluvialschottern) des Dünnerngäus (südlich der Weissensteinkette) wieder austreten.

- In den dilatativen Bereichen der Weissensteinsüdflanke wurde auch der Übergang eines Farbstoffes aus den Malmkalken in den Hauptrogenstein hinein beobachtet.
- Bei den Quellen, die in den Bereichen mit kompressiven tektonischen Verhältnissen austreten, konnte kein Farbstoffübergang aus dem Kern in die Flanke beobachtet werden.

Die Tracerversuche zeigten zudem, dass sich die Einzugsgebiete der jeweiligen Quellen in den Malmkalken wie auch im Hauptrogenstein teilweise überschneiden.

So konnte für die Karstsysteme des Hauptrogensteins nachgewiesen werden, dass entlang der Weissensteinkette (vom Kurhaus Weissenstein bis zur Klus) ein tieferes Karstsystem entwickelt ist. Es wird teilweise von darüberliegenden lokalen Einzugsgebieten versorgt. Diese dazwischengelegenen lokalen Einzugsgebiete entwässern hauptsächlich in südlicher Richtung bis in das Dünnerngäu.

Mit Hilfe von hydrologischen Bilanzierungen konnte gezeigt werden, dass in den Malmkalken der Weissensteinnordflanke mehr Wasser infiltriert als durch die grossen Quellen ausgetragen wird. Bei der grössten Quelle (Gärbiweiher) aus dem Hauptrogenstein in der Klus von Oensingen-Balsthal wird dagegen mehr Wasser ausgetragen, als überhaupt durch den Regen infiltriert. Dies ist ein weiterer Hinweis dafür, dass ein Teil des Wassers durch die Bruchzonen zwischen den beiden Hauptaquiferen fliesst.

Anhand der Messungen des  $^{18}\text{O}$  von insgesamt 68 Quellen konnte nachgewiesen werden, dass die Höhenabhängigkeit des  $^{18}\text{O}$  von der Schüttungsmenge der Quellen abhängig ist. Bei den grössten Quellen des Untersuchungsgebietes ist keine Höhenabhängigkeit mehr zu erkennen. Die grössten Quellen konnten anhand der Färbversuche und langfristiger Messreihen in verschiedene Quelltypen aufgeteilt werden:

- Gärbi-Typ (Hauptrogenstein):  
Er stellt den Typus eines lokal bedeckten Tiefenkarstsystems dar, das von oberflächennahen lokalen Subsystemen des Hauptrogensteins und Subsystemen aus den Malmkalken gespeisen wird.
- Hammer-Typ (Malmkalke):  
Er stellt einen fast unbeeinflussten Grundabfluss des bedeckten Tiefenkarstes aus dem Malmkalk dar.
- Hun-Typ (Malmkalke):  
Er stellt den Typus eines gemischten (intermediären) Karstsystems dar, mit Wasser aus tiefen Karstsystemen und oberflächennahen Anteilen.
- Chaltbrunnen-Typ (Malmkalke):  
Er stellt ein gemischtes (intermediäres) Karstsystem dar, das zusätzlich aus Karstsystemen aus den Malmkalken gespeisen wird. Sein Grundabfluss wird von direkten lokalen und schnellen Fließwegen immer wieder kurzfristig durchmischt.

Bei der Chaltbrunnenquelle konnten durch zusätzliche Messungen der  $^{18}\text{O}$  Werte während Hochwasserereignissen beobachtet werden, dass kurz vor und während dem Durchgang des Niederschlagswassers hydraulisch ausgepresstes Wasser aus der oberflächennahen Verwitterungszone durch die Quelle austritt.

## ABSTRACT

This study concentrates on a 22 km long and 8 km wide area within the Weissenstein and Farisberg anticline complex of the Jura fold belt in northern Switzerland. The area is confined by the Gänsbrunnen defile and the Weissenstein-tunnel in the West and the two defiles of Oensingen-Balsthal and Balsthal-Mümliwil in the East.

The Jura forms a great convex arc oriented NW-SE. This arc was formed during the late Tertiary as a part of the Alpine orogeny between the Molasse basin, the Rhône-Bresse system and the Rhine Graben system was influenced by various tectonic forces. The Jura area has been affected by pre-orogenic (Oligocene) normal faults, which have been reactivated by Miocene folding in a transtensive or transpressive manner. The strike of the Weissenstein-anticline, for instance, shows an s-shaped bend resulting from a broad dextral shear zone confined by two pre-orogenic normal faults. These faults are crossing the anticline diagonally.

The Weissenstein and Farisberg anticlines contain two main karst aquifers. The lower aquifer in the center of the anticline is composed of Dogger limestones, the upper of Malm limestones. They are separated by and interspersed with marked aquitards and aquicludes (Tertiary shales, Callovien and Effinger marls, Opalinus shales, Lower Dogger marls). Due to erosion the lower karst aquifer (Dogger limestones) outcrops at the crest and the upper aquifer (Malm limestones) is exposed in the limbs of the anticline.

Multi-tracer experiments showed that the reactivated normal faults significantly influence the local hydrogeological regime as they are open (extension) to the convex side of the respective bend of the fold axis:

1. The general W-E flow direction within the karst systems of the Malm limestones is interrupted by fault zones. These act as important lateral drains of the whole system resulting in reduced flow across and in a direction perpendicular to the fault zones. All major springs are related to such faults.
2. Although the karst systems in the core of the anticline (Dogger limestones) are also affected by these tectonic influences, the effects are not as drastic as in the Malm limestones. Also, the continuous increase in velocity with increasing distance as witnessed in the karst systems of the Dogger could not be found in the Malm limestone. This difference may be attributed to the fact that the Hauptrogenstein is sandwiched between aquicludes (Opalinus clay, Effinger member). Discharge does occur along the fault zones but is not sufficiently prominent to interrupt the entire karst system as is the case in the Malm limestones. Therefore, the karst water systems in the Dogger limestones are well developed over a long distance (15.5 km) between the Kurhaus Weissenstein and the Gärbi spring; the maximum flow velocity measured was 700 m/d.
3. The fold axis is bent along two lines. On the stretched part of the anticline these lead to an open pathway for the karst systems both on the surface (Malm limestones) and in the core of the anticline (Dogger limestones), thereby connecting the two systems normally separated by aquicludes. As a result, it is possible for the water to leave the core along flow paths perpendicular to the anticline through otherwise impermeable interlayers and to enter the alluvial deposits of the Dünner valley or Dünnerngäu before reaching the topographically deepest point in the gorge of Oensingen-Balsthal and to discharge in the Gärbi spring. The water of the karst systems

also passes from the flanks (Malm limestones) into the core of the anticline (Dogger limestones).

The tracer tests showed that the catchment areas of several springs in the Malm limestones and in the Hauptrogenstein partially overlap.

Therefore, it was possible to prove that the karst systems of the Hauptrogenstein have developed a lower lying system along the Weissensteinkette (from Kurhaus Weissenstein to the defile). This system is partially fed by overlying local catchment areas. These intervening local catchment areas drain mainly in a southerly direction to the Dünerngäu.

The analysis of the hydrological balance showed that more water infiltrates in the Malm limestones of the northern flank of the Weissenstein than is discharged through the major springs. In contrast, the amount of water discharged from the biggest springs (Gärbiweiher) in the Hauptrogenstein in the defile of Oensingen-Balsthal exceeds the amount of infiltrating precipitation. This is further evidence that part of the water flows through the fault zones between the two main aquifers.

Waters of 68 springs were analysed for  $^{18}\text{O}$ . For the smaller springs the measurements plot along a local gradient which is clearly dependent on altitude. No such dependency is evident for the biggest springs in the study area.

Based on the results of the tracer experiments and measurements of different physical and chemical parameters (e.g.,  $d^{18}\text{O}$ , temperature, conductivity and discharge) collected over long periods of time, the biggest springs may be divided into four main types of karst springs:

- Gärbi type:  
This is a type of deep karst system which is partially covered by other formations. It is fed by local near-surface karst systems of the Dogger and also by subsystems of the Malm limestones.
- Hammer type:  
This type represents a nearly independent base flow of a deep karst system in the Malm limestones.
- Hun type:  
This type is characterised by a mixing of waters from a deep karst system with those of local near-surface karst systems, whereby the local systems are more influential.
- Chaltbrunnen type:  
This type is also of the mixed type with additional influx from karst water of the Malm limestones. Waters from direct, fast and local flow paths sporadically add to the baseflow.

Additional  $^{18}\text{O}$  measurements obtained for extreme precipitation events at the Chaltbrunnen spring showed that hydraulically pressured water from the zone of weathering is discharged shortly before and during the throughflow of the rain water.