

Diskussionsbeitrag zum Forum-Artikel «Zur Morphogenese der Zürichseetalung» von R. HANTKE & A.E. SCHEIDEGGER

NAZARIO PAVONI, Adliswil

Es ist eine sehr schwierige Aufgabe, die Morphogenese einer Landschaft wirklich zu verstehen und zu erklären. Zum mindesten müsste eine genaue, lückenlose Kenntnis der Geologie des in Frage stehenden Gebietes vorausgesetzt werden, was für die Zürichseetalung sicherlich nicht zutrifft. Infolge der schlechten Aufschlussverhältnisse und der Monotonie des Gesteins sind wir auch heute noch nur lokal mit den Details der Molassestrukturen bekannt. Dazu kommt, dass unsere Aussagen über geologische Abläufe angesichts der grossen Zeiträume und der Vielfalt der einzelnen Prozesse notgedrungen unzulänglich und schematisch sind. Im Zusammenhang mit der Tektonik des Zürichseegebietes wird im oben erwähnten Artikel auf meine Arbeiten aus den fünfziger Jahren (PAVONI, 1953, 1957) hingewiesen. Seither sind neue Erkenntnisse über die Geologie und die Seismotektonik des Zürichseegebietes hinzugekommen und auch veröffentlicht

worden. Der Nachweis dreier verschiedenaltiger Bentonit-Horizonte sowie einer vermehrten Anzahl limnischer Niveaus in der Zürcher Molasse (PAVONI & SCHINDLER, 1981) erlaubte eine beträchtliche Vereinfachung des tektonischen Modells im Gebiet zwischen Zürichseetal und Reusstal, indem z.B. die Albisverwerfung im zürcherischen Sihltal nicht mehr notwendigerweise angenommen werden musste, zumindest aber die angenommene Sprunghöhe von 150 m wesentlich reduziert werden konnte, womit einige Aussagen zum Bruchsystem im unteren Zürichseetal (Grabenbruch) relativiert wurden. Andererseits haben die seismologischen Untersuchungen der letzten 30 Jahre den klaren Nachweis erbracht, dass junge und aktive Bruchtektonik im Zürichseegebiet zweifellos vorhanden ist (s. unten, PAVONI, 1987).

... Als Beitrag zur Diskussion und als Ergänzung werden im Folgenden ein paar Bemerkungen zur Tektonik und Seismo-

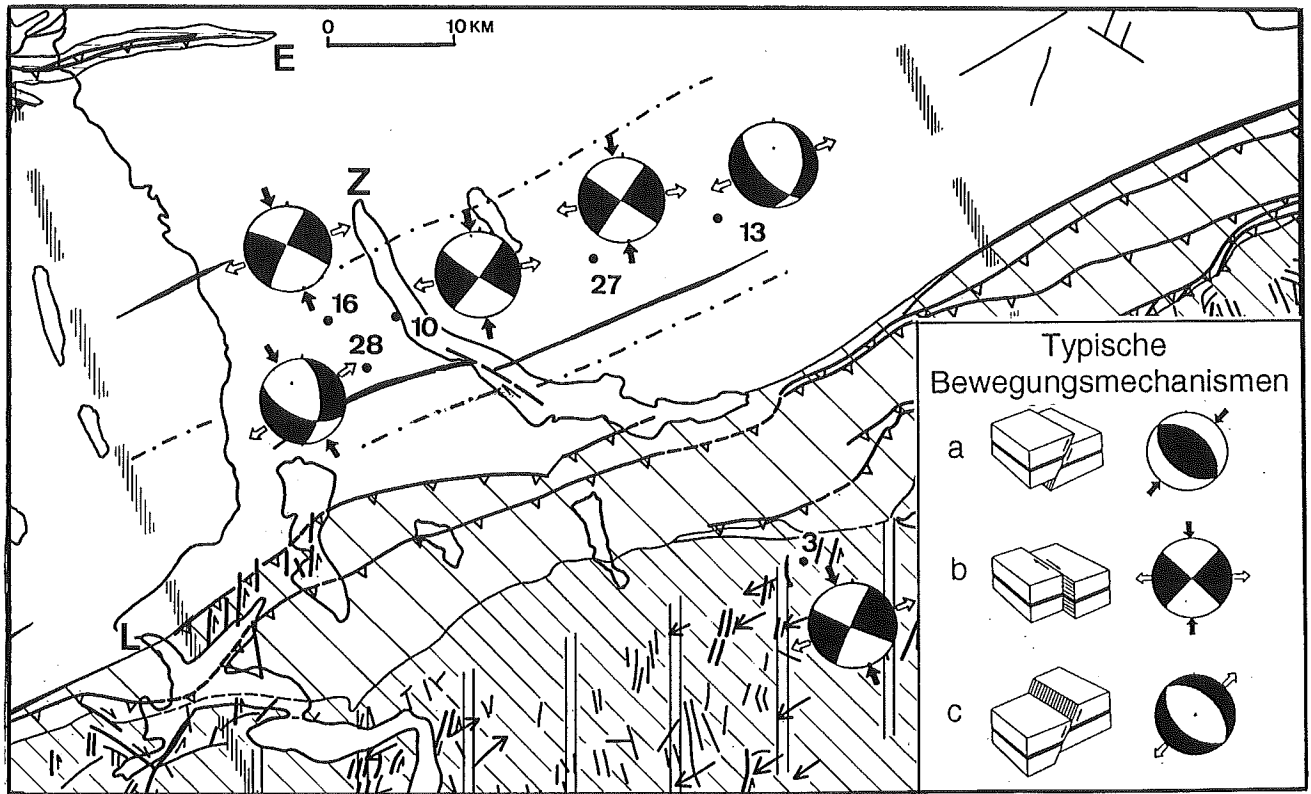


Abb. 1. Herdmechanismen von Erdbeben und Tektonik im Gebiet des Zürichsees und seiner Umgebung. Ausschnitt aus der seismotektonischen Karte der Nordschweiz. Z: Zürich, L: Luzern, E: Ende Faltenjura (Lägern).

Tektonische Gliederung: Faltenjura; Mittelländische Molasse (ohne Schraffur); Subalpine Molasse (weite, schiefe Schraffur); Alpine Decken (enge, schiefe Schraffur).

Signaturen in der Molasse: Antiklinalachsen (ausgezogene Linien); Synklinalachsen (strichpunktierte Linien); Auf- und Überschiebungen (gezähnte Linien).

Herdmechanismen: Dargestellt sind die Herdlösungen (P-Wellenabstrahlung, untere Halbkugel, Kompressionsquadrant schwarz) von fünf Erdbeben, nämlich 10 = Horgen, 1977, 13 = Bäretswil, 1978, 16 = Albis, 1979, 27 = Wetzikon, 1984, 28 = Süd-Albis, 1984.

Legende: Blockdiagramm und Herdlösung: a = Aufschiebung; b = Horizontalverschiebung; c = Abschiebung. Weitere Erläuterungen s. Text und PAVONI (1987).

tektonik, zur Geomorphologie des Zürichseetales und zum Thema Klüfte hinzugefügt.

Tektonische Gliederung

Der Zürichsee liegt in der flachgelagerten, mittelländischen Molasse. Die mittelländische Molasse (Abb. 1) wird im NW durch den Faltenjura und im SE durch die subalpine Molasse begrenzt. In der kompressiven Spätphase der alpinen Gebirgsbildung wurde die Molasse des Zürichseegebietes leicht gefaltet. Besonders zu erwähnen sind:

- (1) Die Käpfnach-Grünigen Antiklinale (Faltengewölbe), deren Scheitel aus dem Gebiet von Grünigen in WSW Richtung über Männedorf, den mittleren Zürichsee, Käpfnach/Horgen ins Sihltal bei der Station Sihlbrugg und unter den Albis zieht. (2) Die Wädenswil Synklinale (Faltenmul-

de), deren Achse von Stäfa über den Zürichsee in das Gebiet von Wädenswil verfolgt werden kann. Beide Strukturen erstrecken sich über rund 40 km und verlaufen parallel zum alpinen Streichen (WSW-ENE). (3) Der aufgebogene Süd- rand des mittelländischen Molassetroges mit den gegen SSE ansteigenden Molasseschichten südlich der Wädenswil Synklinale bis zum tektonischen Kontakt mit der subalpinen Molasse (Hohronen – Etzel – Ricken).

Die spätalpine Tektonik führte im Zürichseegebiet somit zu einer NNW-SSE orientierten maximalen horizontalen Krustenverkürzung und, wie die Beobachtung von horizontalen Rutschharnischen (dextrale Verschiebungen an NW-SE streichenden, sinistrale Verschiebungen an NE-SW streichenden steilen Bruchflächen) zeigt, zugleich zu einer ENE-WSW orientierten maximalen horizontalen Streckung.

Erdbeben und Seismotektonik

Die tektonischen Bewegungen sind tatsächlich noch keineswegs abgeschlossen. Den eindrucklichen Beweis für diese Aussage liefern die lokalen Erdbeben im Gebiet des Zürichsees (WANNER, 1945; PAVONI, 1977, 1987; Jahresberichte des Schweizerischen Erdbebendienstes). Mit Hilfe des gut ausgebauten seismischen Stationsnetzes ist es heute möglich, auch schwache Erdbeben auf etwa einen Kilometer genau zu lokalisieren. Ebenso ist es möglich, Aussagen zu machen über den Verschiebungsvorgang im Herd, der das Beben auslöste.

Die seismologischen Untersuchungen bestätigen in eindrücklicher Weise die geologischen Befunde (Abb. 1). Die Herdmechanismen der Erdbeben im Zürichseegebiet sind überwiegend vom Horizontalverschiebungstypus oder vom Abschiebungstypus (PAVONI, 1987). Die P-Achsen, d. h. die Achsen der stärksten Verkürzung im Herd, sind NNW-SSE orientiert und stimmen somit gut mit der Orientierung der oben erwähnten, regionaltektonisch abgeleiteten, maximalen horizontalen Krustenverkürzung überein. Die T-Achsen, d. h. die Achsen der maximalen Extension im Herd, sind ENE-WSW orientiert. Sie stehen damit in guter Übereinstimmung mit der neotektonischen Extension. Das Spannungsfeld, welches heute die Erdbeben verursacht, ist in seiner Orientierung sehr ähnlich dem Spannungsfeld vor 10–5 Mio. Jahren, welches die neotektonischen Deformationen erzeugte. Wie die Verteilung der Herdtiefen zeigt, erfasst es die ganze Kruste des Alpenvorlandes bis in 30 km Tiefe.

Geomorphologische Gliederung der Zürichseetalung

Das Tal des Zürichsees lässt sich in drei Abschnitte gliedern: (1) In den NNW-SSE (N160E) verlaufenden Talabschnitt, der den unteren Zürichsee zwischen Zürich und Horgen/Feldmeilen umfasst. Dieser Abschnitt verläuft orthogonal zu den Faltenachsen und zur Überschiebungsfrent der subalpinen Molasse. Die NNW-SSE-Orientierung steht in guter Übereinstimmung mit dem Streichen der herdmechanisch bestimmten Abschiebungen (Herdflächenlösungen Nrn. 13 und 28 in Abb. 1), also offenbar in engem Zusammenhang mit der ENE-WSW-Extension.

(2) In den WNW-ESE (N120E) orientierten mittleren Talabschnitt, der den Zürichsee zwischen Horgen/Feldmeilen und Wädenswil/Stäfa umfasst. In diesem Abschnitt durchbricht die Zürichseetalung die Käpfnach-Grünigen Antiklinale (Klus von Männedorf), entlang einer WNW-ESE streichenden dextralen Horizontal- bzw. Blattverschiebungszone (PAVONI, 1953, 1957). Dieses Verschiebungssystem ist auch

durch die Herdmechanismen von drei Lokalbeben in diesem Abschnitt (Abb. 1, Nrn. 10, 16, 27) gut belegt.

(3) In den W-E bis WSW-ENE (N75E) orientierten Abschnitt, der den oberen Zürichsee zwischen Wädenswil/Stäfa bis Pfäffikon/Rapperswil sowie den Obersee umfasst. Dieser Abschnitt liegt in der Schichtrippenlandschaft im aufgerichteten Südrand der mittelländischen Molasse. Der Verlauf der Talung ist hier durch die WSW-ENE streichenden Schichtrippen der mittelländischen und der subalpinen Molasse bedingt.

Die Gliederung der Zürichseetalung in lediglich zwei Abschnitte, in einen oberen (südlichen), WSW-ENE verlaufenden Abschnitt und einen unteren (nördlichen), NNW-SSE verlaufenden Abschnitt nach HANTKE & SCHEIDEGGER (1997), bedeutet eine zu starke Vereinfachung, da der mittlere, WNW-ESE verlaufende Talabschnitt im Bereich der Klus von Männedorf unberücksichtigt bleibt. Eine Korrelation mit der Tektonik wird durch diese Vereinfachung erschwert.

Die Terrassen im Gehänge des mittleren und südlichen Zürichseetales sind Schichtterrassen (BRÜCKNER, 1909; PAVONI, 1953, 1957), welche durch glaziale Erosion herauspräpariert wurden. Fluviale und glaziale Erosion haben in der Zürichseelandschaft nachgewiesenermassen eine grosse Rolle gespielt. Im südlichen Albisgebiet zum Beispiel dürfte der Abtrag der oberen Süswassermolasse 500–600 m betragen. Die Front der Hohronenscholle lag ursprünglich um mindestens zwei Kilometer weiter im Norden der heutigen Hohronenkette (PAVONI, 1957, S. 286).

Klüfte und ihre Problematik

Klüfte, d. h. Störungsflächen im Gesteinsverband mit fehlendem oder geringem Versatz entlang der Bruchfläche, sind weitverbreitet und praktisch in jedem Aufschluss zu finden. Aussagen über Entstehung und Entwicklung der Klüfte sind aber mit grossen Schwierigkeiten verbunden, oft unsicher und nicht eindeutig. Eingehende Klüftstudien umfassen systematische Untersuchungen über die geometrische Anordnung der Klüfte und Klüftscharen, die Beschaffenheit der Klüftflächen, die relative Altersabfolge der verschiedenen Klüfte und Klüftscharen sowie die geometrischen Beziehungen der Klüfte zu anderen Strukturen.

Im Laufe der geologischen Entwicklung werden Gesteinskörper vielfach rotiert und deformiert. Schon vorhandene Klüfte werden dabei mitrotiert und mitdeformiert. Klüfte sind meist Schwachstellen im Gestein. In Anpassung an einen geänderten Spannungszustand kann eine schon bestehende Klüft neu bewegt werden (Überprägungen). Aus diesen Überlegungen ergibt sich, dass Aussagen über den De-

formationszustand, die allein auf einer Statistik der Orientierung der Klüftflächen (Fallazimute, Streichrichtungen) beruhen, ungenügend sind.

In der Arbeit von HANTKE & SCHEIDEGGER (1997, Tab. 1, Tab. 2) sind mehr als 1500 Klüftmessungen aus dem Gebiet Zürichsee-Obersee zusammengestellt und ausgewertet. Nach diesen Autoren sind für das gesamte Untersuchungsgebiet die Achse der stärksten horizontalen Kompression ESE-WNW (P: N115E) und die Achse der maximalen horizontalen Extension NNE-SSW (T: N25E) orientiert. Annähernd dieselbe Orientierung der Hauptdeformationsachsen ergibt sich auch für die einzelnen Teilgebiete.

Wäre dieses weiträumige Deformationsfeld tatsächlich Realität, so müssten die NNW-SSE streichenden Blattverschiebungen im unteren Zürichseegebiet (HANTKE, 1996, Abb. 6) einen sinistralen Verschiebungssinn aufweisen. Die spätalpinen Faltenachsen müssten NNE-SSW verlaufen, die Abschiebungen WNW-ESE streichen! Dies ist nicht der Fall.

Den Autoren erscheint die Morphogenese der Zürichseetalung zwiespältig: Einerseits wird die grossräumige Haupttalung in der Molasse als Folge der alpinen Deckenbewegungen und dem damit verbundenen Auseinanderklaffen der verschiedenen Deckenpakete erklärt, andererseits werden als Ursache für die Genese der kleinräumigen Strukturformen, der Klüfte und Bachsegmente, die «ständig ablaufenden plattentektonischen Bewegungen» angegeben, was immer das heissen mag. Wo liegt die Trennung zwischen grossräumig und kleinräumig? Eine solche Unterscheidung ist tatsächlich zwiespältig und unverständlich. Wie die Autoren selbst nachweisen, zeigt das Phänomen der Klüftung eine weiträumige und gesetzmässige Verbreitung. Klüftung ist tatsächlich so weit verbreitet, wie die Tektonik reicht! Die seismotektonischen Untersuchungen demonstrieren in ein-

drücklicher Weise den direkten Zusammenhang kleinster lokaler Verschiebungen mit dem grossräumigen, neotektonischen Deformationsfeld. Eben solche Zusammenhänge ergeben sich aus den Auswertungen wiederholter geodätischer Präzisionsmessungen.

Die in Abb. 3 der Arbeit von HANTKE & SCHEIDEGGER (1997) dargestellten Klüft-Diagramme des Zürichsee/Obersee-Gebietes lassen durchaus Zusammenhänge mit der regionalen, jungen Tektonik vermuten: Die WSW-ENE orientierten Klüfte korrelieren mit den Faltenachsen und dem alpinen Streichen, die NNW-SSE orientierten Flächen stehen orthogonal zu den Faltenachsen und sind als Querklüfte mit der WSW-ENE Streckung des Gebietes in Beziehung zu bringen. Die NW-SE streichenden Klüftscharen wären in diesem Deformationsbild mit dextralen, die NE-SW streichenden Klüftscharen mit sinistralen Horizontalverschiebungen (Blattverschiebungen) in Beziehung zu bringen. Zur Abklärung solcher Zusammenhänge sind, wie oben erwähnt, systematische Untersuchungen der Klüfte notwendig.

Literatur

In dieser Liste wird nur Literatur aufgeführt, die nicht schon im Forum-Artikel von HANTKE & SCHEIDEGGER (1997) aufgeführt wurde.

PAVONI, N. 1977. Erdbeben im Gebiet der Schweiz. – *Eclogae geol. Helv.* 70 (2), 351–370.

PAVONI, N. 1987. Zur Seismotektonik der Nordschweiz. – *Eclogae geol. Helv.* 80 (2), 461–472.

PAVONI, N. & SCHINDLER, C. 1981. Bentonitvorkommen in der Oberen Süsswassermolasse des Kantons Zürich und damit zusammenhängende Probleme. – *Eclogae geol. Helv.* 74 (1), 53–64.

WANNER, E. 1945. Die Erdbebenherde in der Umgebung von Zürich. – *Eclogae geol. Helv.* 38, 151–161.

Dr. Nazario Pavoni, Sonnenbergstrasse 11, 8134 Adliswil