

Zur Morphogenese der Zürichseetalung¹

René Hantke, Stäfa & Adrian E. Scheidegger, Wien

Zusammenfassung

Die Arbeit befasst sich mit der Morphogenese von Zürichsee/Obersee und dessen Einzugsgebiet. Besonderes Augenmerk ist auf die markante Krümmung der Zürichseetalung und auf das augenfällige Durchschneiden der Ufererhebungen durch die Seitenflüsse gerichtet: die Bäche fliessen selten in der Falllinie in den See. Es wird gezeigt, dass die Genese der erwähnten morphologischen Elemente tektonisch bedingt ist: Die Haupttalung wurde durch die Platznahme der Decken vorgezeichnet; die Täler der zufließenden Bäche werden durch die fortschreitende Plattenbewegung ständig weiter modelliert. Diese Tatsache wurde durch einen Vergleich der Orientierungsstruktur der Bäche im Einzugsgebiet mit derjenigen der neotektonischen Klüfte erhärtet.

The morphogenesis of the Lake of Zurich valley

In this study, the morphogenesis of the Lake of Zurich/Upper Lake Zurich region including its drainage area is discussed. Particular attention is paid to the significant curvature of the lakes and the evident transection of the shore-hills by the tributary creeks. The latter flow seldom in the direction of direct, steepest descent. It is shown that the genesis of the mentioned morphological features is caused by tectonics: the main valley was pre-designed by the emplacement of the Alpine nappes, but the direction of the tributary creeks is constantly re-designed by the continuing plate-tectonic movements. This fact was ascertained by a comparison of the orientation structure of the creeks with that of the neotectonic joints.

1 EINLEITUNG

Der Zürichsee bildet ein markantes Landschaftsobjekt am Nordrand der Schweizer Alpen. Seine Genese betrachtete HEIM (1891, 1894) als fluvial angelegte, später ertrunkene Landschaft. BRÜCKNER (1909) sah im Zürichseetal das Resultat der ausräumenden Wirkung des Linthgletschers, wobei die Orientationsstruktur der Zuflussbäche durch Eisrandvorgänge exogenetisch bedingt worden wäre. Unsere Meinung schliesst an jene von PAVONI (1953, 1957) an, wonach sowohl die eigentliche Zürichsee-Haupttalung als auch deren Einzugsgebiet tektonisch vorgezeichnet sind. Dabei erhebt sich die Frage, ob die Vorzeichnung durch die ständige platentektonische Aktivität neotektonisch (wie z. B. bei den Juraklüssen) ständig erfolgt (vgl. HANTKE & SCHEIDEGGER,

1994) oder durch frühere Grossereignisse wie die Platznahme von Decken stattfand. Die vorliegende Studie soll die Diskussion ihrer Genese in Gang bringen.

2 MORPHOLOGIE

Der Zürichsee bildet physiographisch einen Bogen, der sich in einen unteren und einen oberen Abschnitt gliedert (Abb. 1). Als Trennung kann die Synklinale Wädenswil-Stäfa betrachtet werden. An ihr zeichnet sich eine deutliche Änderung der «Richtung» des Sees ab: unterhalb derselben verlaufen die begrenzenden Gebirgszüge NNW-SSE, oberhalb aber WSW-ENE. Am Südufer des Sees findet die Richtungsänderung in der Bucht von Richterswil statt: die Rippen

¹ **Forum:** In der Festschrift zur 250-Jahr-Feier der NGZ, «Mensch und Natur», hat der erste Autor in seinem Aufsatz «Die Veränderungen der Zürcher Naturlandschaft und der Wandel in Ihrer Deutung seit dem Bestehen der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich», pp. 165–175, den letzten Abschnitt der Deutung der Landschaftsentwicklung gewidmet, besonders der Entstehung des Zürichsees. Er kam dabei zum Schluss: «Die Terrassierung der Flanken der Zürichsee-Talung ist nicht fluvial erosiv aus dem Molasserelief ausgeräumt worden, sondern war strukturell vorgezeichnet. Schon bei der Platznahme der helvetischen Decken ist ein Tal mit auseinanderklaffenden Flanken geschaffen worden. Die eiszeitlichen Gletscher flossen bereits durch Täler.» Diese Deutung der Landschaftsgeschichte erweckte den Widerspruch einiger Geologen-Kollegen. Ich fragte deshalb Herrn Hantke, ob er diesen Teil des oben erwähnten Aufsatzes nicht etwas ausführlicher mit Daten belegen könnte und in der Vierteljahrsschrift nochmals zur Diskussion stellen würde. Er war damit sofort einverstanden, unter der Bedingung, dass er dabei mit seinem Kollegen Scheidegger zusammenarbeiten könne. Ihr Diskussionsbeitrag liegt hier vor.

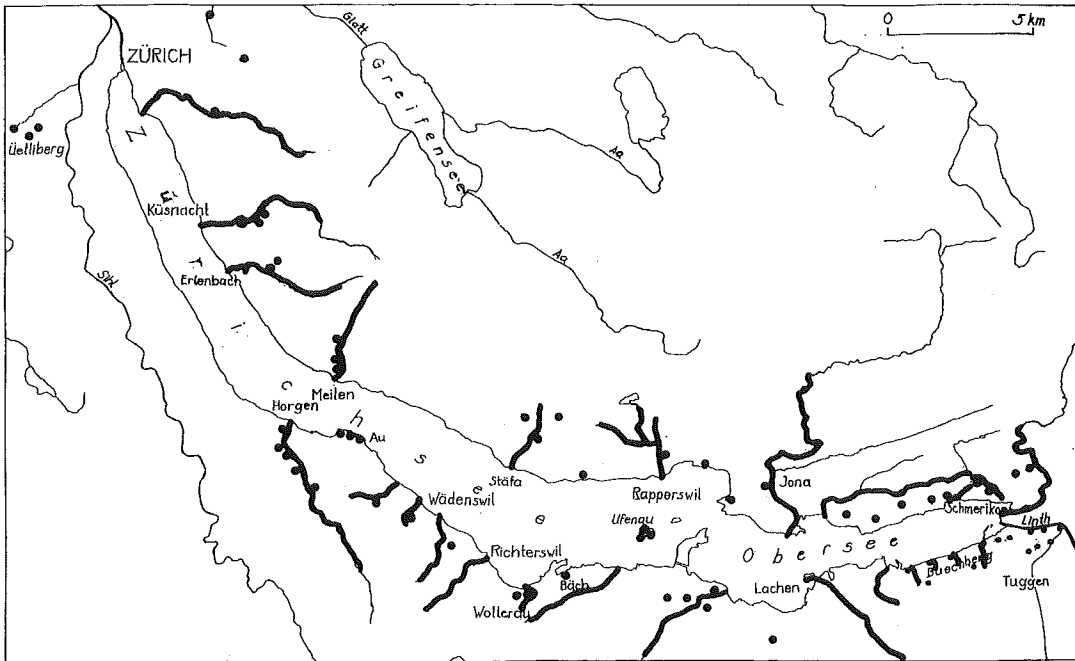


Abb. 1. Planskizze der Zürichseetalung mit Angabe der Kluftmessstellen (Punkte); die zur Strukturanalyse verwendeten Seitenbäche sind dick eingezeichnet.

Fig. 1. Sketch-map of the Lake Zurich valley. The black dots show the positions of the joint measurement locations. The creek and river courses used in the structure analysis are indicated by heavy lines.

ob Bäch streichen dann WSW-ENE. Ähnlich ist die Situation auf der gegenüberliegenden Seeseite: die Pfannenstilkette streicht NNW-SSE, die Rücken um Hombrechtikon WSW-ENE. An den oberen Zürichsee schliesst sich in gradliniger Fortsetzung der Zürcher Obersee an.

Neben der Haupttalung des Zürichsees sind die *Zuflussbäche* von Interesse. Diese stellen das Einzugsgebiet des Zürichsees und Obersees dar; sie finden sich auf beiden Seiten der Talung und stossen nur selten direkt in der Fallinie zum See.

3 GEOLOGIE

Die Zürichseetalung ist in Molasseablagerungen eingebettet. In deren weichen Sandstein- und Mergelschichten mit eingelagerten Nagelfluhbänken sind die Ränder von Störungen nicht so scharf wie etwa in den Helvetischen Kalkalpen. Zudem zeigt sich auch in der Molasse, dass es meist nicht eine einzige Störung ist, die einen Versatz hervorbringt, sondern eine ganze Schar. Im Gegensatz zu den Helvetischen Kalkalpen sind auch die einzelnen Schichten weit weniger scharf begrenzt und die Leithorizonte seltener, so dass ein präzises Verfolgen weit problematischer erscheint. Einzelne charakteristische Bänke keilen seitlich aus und werden in der

durch fluviale und rufinale Ereignisse gekennzeichneten Oberen Süsswassermolasse durch andere ersetzt (HANTKE, 1991).

Der untere Zürichsee wird von Molassezügen begrenzt, die gelegentlich bis ans Seeufer reichen. Sonst finden sich am Ufer Moränen, verkittete Schotter mit Klüften und Bachschuttkegel.

Der obere Zürichsee folgt, wie der Zürcher Obersee (s. unten), teilweise dem Streichen der sich aufrichtenden Molasse. Daneben zeichnen sich Querstörungen ab, was sich in den Inseln und im Schlosshügel von Rapperswil, sowie in der dadurch gestörten streichenden Fortsetzung der Molasseschichten äussert. Längsrippen und Querstörungen liessen im oberen, recht untiefen See eine Anzahl subaquatischer Rundhöcker entstehen, was schon KELTS (1978) festgestellt hat. Ihre Anlage ist durch Kluftscharen bestimmt. Zwischen Stäfa und Wädenswil wirken sich Scherstörungen aus. Leider zeichnen der schlecht aufgeschlossene Schichtinhalt, die Armut an Leithorizonten, die bescheidene Tektonik – sanfte Gewölbe und etwas deutlichere Mulden, sowie die geringe Blattverschiebung – die Wannenstrukturalen des Sees nur andeutungsweise nach. Es ist daher verständlich, dass für die Bildung des Sees nicht in erster Linie die Tektonik herangezogen wurde. Die Verbiegung der Terrassen (AEPPLI,

1894) sah HEIM (1891, 1894) noch in einer Rücksenkung des Alpenkörpers, der sich nach seinem Emporstau wieder etwas eingesenkt hätte. In den nur fragmentarisch vorhandenen Deckenschotter-Resten sah er hierfür einen Beleg. Doch bereits BRÜCKNER (1909) erkannte in den von HEIM (1894) noch dem Eiszeitalter zugeordneten Verflachungen Schichtterrassen. Diese wären – wohl bei der Platznahme der helvetischen Decken und der damit verbundenen Verschuppung der subalpinen Molasse – grossradig verbogen worden. PAVONI (1953, 1957), der sich intensiv mit der Zürcher Molasse beschäftigt hat, konnte die Auffassung BRÜCKNERS (1909) bestätigen. Schon er glaubte in der Zürcher Molasse zahlreiche Scherstörungen zu erkennen; zugleich schienen ihm die Molassestrukturen, die Käpfnach–Grünigen-Antiklinale und die Wädenswil–Stäfa-Synklinale in ihrem Axenverlauf etwas verstellt. Das zeigte sich auch bei der Zeichnung der Geologischen Karte des Kantons Zürich (HANTKE et al., 1967). In der Molasse sind jedoch die auftretenden Strukturen weit sanfter als in den Kalkalpen. So fallen die Schenkel der Antiklinalen mit wenigen Graden gegen SE etwas steiler in die Synklinale von Wädenswil–Stäfa. Der präzise Verlauf der Axen ist daher weit weniger genau auszumachen. Schon bei eingradigen Strukturen – etwa in der das Muotatal schief querenden Mulde von Stoos–Illgau in der Helvetischen Druesberg-Decke – ist die Genauigkeitsgrenze mit 20 m (mindestens für den Feldgeologen) erreicht. Dabei bewegen sich die Verschiebungsbeträge bei Grenzblättern (Blattverschiebungen in den Decken) oft nur wenig höher. In der flach liegenden Oberen Süsswassermolasse, etwa bei der Käpfnach–Grünigen-Antiklinale, kann der Axenverlauf im besten Fall auf 100 m genau festgelegt werden. Nur in seltenen Glücksfällen, wo durch den Geometer Vermessungen vorliegen, lässt sich die Genauigkeit allenfalls um 1–2 Zehnerpotenzen verfeinern. Um die Störungen am Rand an die richtige Stelle zu setzen, wurde daher der Randbereich begangen. Dabei zeigte sich bei Wollerau eine stark gestörte Zone. Auch bei den übrigen Störungen ist es nicht eine scharf begrenzte, ebene Fläche, an der die Molasse gegeneinander bewegt worden ist.

Der Zürcher Obersee liegt ebenfalls in der bei der Platznahme der helvetischen Decken und damit der subalpinen Molasse aufgebrochenen Antiklinale zwischen der engen Synklinale des Buechberges und der gegen N immer flacher

einfallenden aufgerichteten Molasse. Seine Gestalt wurde im Quartär durch die Mündungen von Linth, Goldinger Bach und Jona auf der rechten und durch die Wägitaler Aa und den Spreitenbach auf der linken Seite weiter geformt. Im Buechberg liegt eine synklinale Molasserippe vor. An diese wurden im S Schotter und Tone angelagert, die heute in Kies- und Lehmgruben abgebaut werden. Die Schotter sind mindestens riss- und wärmzeitliche Vorstoss-Schotter. Auf dem Buechberg finden sich Verrucano-Findlinge aus dem Sernftal und dem Murgtal.

4 KLUFTSTELLUNGSMESSUNGEN

Klüfte sind als kleine Spalten im Fels allgegenwärtig. Am Aufschluss scheinen sie zunächst einen Wirrwarr darzustellen; bei genauerem Hinsehen zeigen sich aber meist drei Scharen, von denen eine (subhorizontale) flach liegt, die zwei anderen (subvertikalen) mehr oder weniger steil und im rechten Winkel zueinander stehen. Dabei entspricht die subhorizontale Schar der Gesteinsschichtung; die subvertikalen sind durch das rezente tektonische Spannungsfeld erzeugte Miniatur-Scherbrüche. Ein typisches Beispiel hierfür bietet einer der für diese Arbeit verwendeten Aufschlüsse auf der Insel Ufenau (Abb. 2). Die erste Kluftchar verläuft im Bild von links unten nach rechts oben, die zweite von rechts unten nach links oben, während die dritte durch die Oberfläche der horizontalen Platte repräsentiert wird. Zwischen den – als Scherbrüche interpretierten – Scharen 1 und 2 (unten im Bild) ersieht man folgerichtig eine (Ausbruch)-Nische.

Da die Regelmässigkeiten nicht absolut sind, können sie nur statistisch erfasst werden; sie zeigen sich optisch in einer Häufung der Klüftepole an bestimmten Stellen, in einem Poldichtediagramm (Abb. 3a).² Genauere Analysen werden durch numerisch-statistische Methoden ermöglicht, wie sie von KOHLBECK & SCHEIDEGGER (1977, 1985) entwickelt wurden. Sie beruhen auf der Annahme, dass die Klüftepole auf der «Lagekugel» eine Dimroth-Watson-Verteilung³ bilden (DIMROTH, 1967; WATSON, 1979). Sie ist durch 4 Parameter bestimmt. Wenn man x solcher Verteilungen auf der Kugel annimmt, muss das Integral darüber gesamthaft den Wert 1 ergeben. Deshalb müssen bei x Verteilungen nicht $4x$, sondern nur $4x - 1$ Parameter bestimmt werden: wenn man drei Kluftscharen voraussetzt, also $4 \times 3 - 1 = 11$ Parameter.

² Man stellt sich um den Zentralpunkt des Aufschlusses eine «Lagekugel» vor, d.h. eine virtuelle Halbkugel mit Einheitsradius. Für jede Kluftfläche wird die Normale («Polare») konstruiert und deren «Polpunkt» (Durchstosspunkt durch die Oberfläche der «Lagekugel») markiert. Für die Dichte dieser «Polpunkte» werden Isolinien gezogen und das Ganze in einer flächentreuen Lambertschen Projektion wie in Abb. 3a auf einer Fläche dargestellt.

³ Diese entspricht auf der Kugel derjenigen der Gausschen auf einer Geraden.

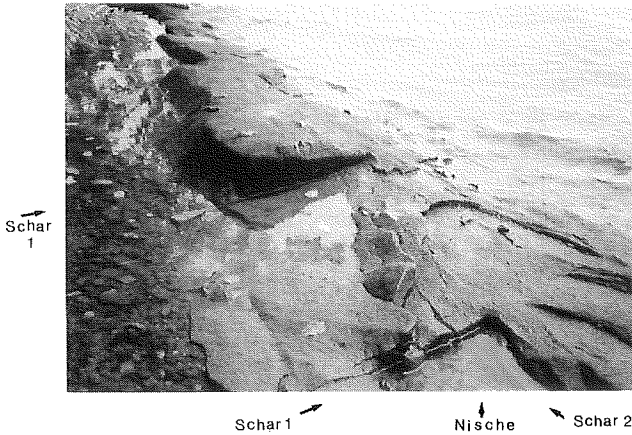


Abb. 2. Aufschluss auf der Insel Ufenau, bei der Anlegestelle der Zürichseeschiffe (feinkörniger Sandstein der Oberen Meeresmolasse). Man erkennt die konjugierten, steilstehenden Kluftscharen 1 und 2; die Oberfläche der Sandsteinplatte stellt die dritte, lithologisch bestimmte Kluftschar dar. Zwischen den Scharen 1 und 2 bilden sich oft Kluftnischen.

Fig. 2. Outcrop on the island of Ufenau, near the jetty of the Zurichsee-ships. The rock is fine-grained sandstone of the upper marine molasse. One notes the two steeply dipping joint sets #1 and #2; the 3rd set is represented by the surface of the sandstone. Between the sets #1 and #2, a break-out niche has been formed.

Meist interessieren nur die zwei subvertikalen Kluftscharen, weil nur sie mit der Tektonik korrelieren. Daher können aus ihnen die Hauptrichtungen des sie als Scherbrüche erzeugenden Spannungsfeldes bestimmt werden: diese sind die zwei Bisektrizes der zwei Kluftscharen (Winkelhalbierenden, die auf der Schnittlinie der Streichrichtungen⁴ normal stehen), wobei der kleinere Winkel die Druckrichtung (P in den Tabellen), der grössere die Extensionsrichtung (T in den Tab.) einschliesst. (Allerdings kann bei Schnittwinkeln nahe 90° zwischen konjugierten Kluftscharen der kleinere Winkel nicht sicher bestimmt werden, so dass nur die Richtung der Hauptspannungen bestimmt ist, nicht aber welche davon P und welche T entspricht.) Für zwei Verteilungen werden $4 \times 2 - 1 = 7$ Parameter benötigt. Allgemein muss jeder Messwert durch je drei Messungen gesichert sein; somit werden zur Festlegung von 2 Kluftscharen an einem Aufschluss $3 \times 7 = 21$ Messungen benötigt. Das mag wenig erscheinen, doch KOHLBECK & SCHEIDEGGER (1985) haben die Probe aufs Exempel gemacht: Wenn an einem Aufschluss überhaupt 2 Scharen existieren, genügen in der Tat 21 Messwerte; mehr zu messen verbessert die Genauigkeit der Richtung nur

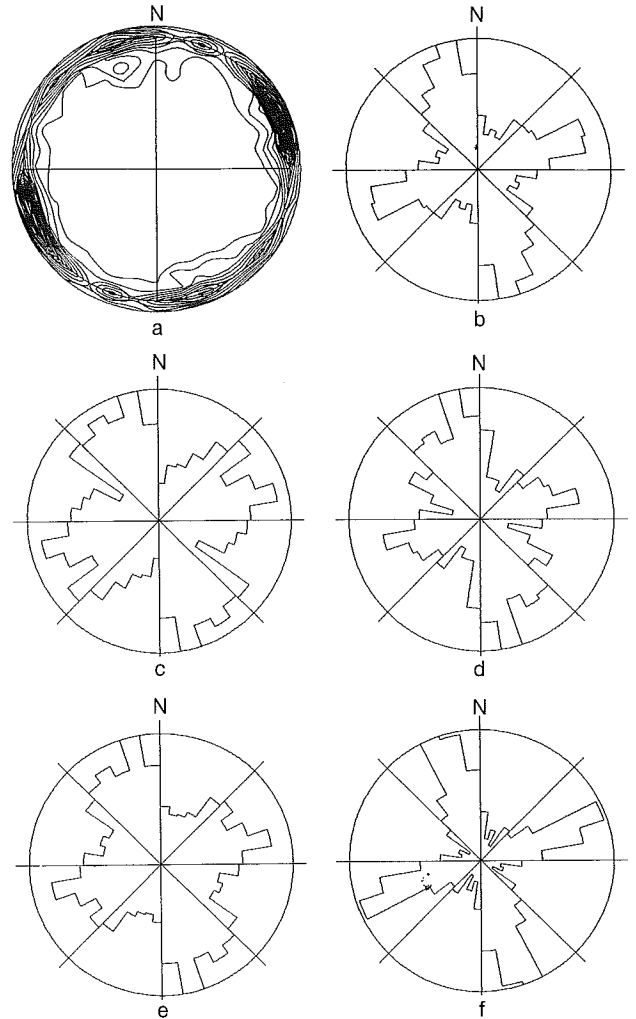


Abb. 3. Kluftdiagramme: (a) Poldichte-Diagramm für alle Klüfte des Gebietes; (b) Kluft-Streichrose für alle Klüfte des Gebietes; (c) do. für den unteren Teil des Zürichsees; (d) do. für den oberen Teil des Zürichsees; (e) do. für den gesamten Zürichsee; (f) do. für den Zürcher Obersee.

Fig. 3. Joint diagrams: (a) pole density-diagram for all joints measured in the region; (b) rose of strike directions for all joints measured in the region; (c) do. for the upper part of Lake Zurich; (d) do. for the lower part of Lake Zurich; (e) do. for the entire Lake Zurich, and (f) for the Obersee.

unbedeutend. Wenn keine Scharen existieren, d.h. wenn die Klüfte wirklich «random» (zufällig) orientiert sind, bringen auch Hunderte von Messungen keine definierbaren Richtungen.

⁴ In der Geologie ist das **Streichen** die Schnittlinie einer geneigten Schicht, Kluft oder Spalte mit der Horizontalen; ihre Richtung (Abweichung von der N-S-Richtung nach E, im Uhrzeigersinn) ist die **Streichrichtung**. Das **Fallen** gibt den Neigungswinkel der zu messenden Fläche gegenüber der Horizontalen an. Die Linie stärkster Neigung heisst **Falllinie**; sie steht senkrecht zur Streichrichtung und ihre Richtung ist die **Fallrichtung**.

Kluftmessungen erlauben somit:

- festzustellen, ob Scharen existieren,
- ihre Richtungen zu bestimmen und
- zu untersuchen, ob sie mit anderen geomorphologisch bedeutsamen Richtungen korrelieren.

Trifft dies zu, dann sind die geomorphologischen Richtungen wie jene der Klüfte sehr wahrscheinlich *neo*-tektonisch vorgezeichnet.

Im vorliegenden Kontext wurden Kluftmessungen an 72 Stellen («Loci» in den Tab.) um den Zürichsee und den Obersee gemessen; die Stellen sind in Abb.1 eingetragen. Zur Auswertung wurden die Messstellen in Gruppen zusammengefasst, die in den Tab. 1 und 2 aufgelistet sind. Die Rechnungen wurden für Fallrichtungen/Fallwinkel durchgeführt (Tab. 1). Dabei sind alle Azimute in Altgrad (d.h. 360°-Kreis) von N gegen E (d. h. im Uhrzeigersinn), die Fallwinkel als Winkel in Altgrad zwischen der Kluftfläche und der Horizontalebene angegeben.

Geologisch anschaulicher sind aber die in Tab. 2 eingetragenen Streichrichtungen (ungeachtet der Fallwinkel, die bei unseren Klüften immer sehr steil sind). Zur weiteren Veranschaulichung zeigen Abb. 3a das Poldichtediagramm für alle um den Zürichsee und den Obersee gemessenen Klüfte und Abb. 3b die entsprechende, geologisch anschaulichere Streichrose. Die Abb. 3c–f zeigen die Streichrosen der Teilgebiete: (c) unterer Zürichsee, (d) oberer Zürichsee, (e) gesamter Zürichsee und (f) Obersee.

5 ORIENTIERUNGSSTRUKTUR DES EINZUGSGEBIETES

Analog wie Kluftstellungen können auch die Richtungen der Seitenbäche in einem Einzugsgebiet gemessen werden. Hierzu werden diese in geradlinige Segmente (links) unterteilt, indem Schritte einer bestimmten Länge entlang der entsprechenden blauen Linie auf einer Karte abgemessen werden.

Tab. 1. Auswertung Fallrichtungen. Mit Ausnahme der Zahl der Messungen sind alle Zahlen Winkelgrade (Kreis zu 360°), Azimute: N > E, d.h. im Uhrzeigersinn. Max 1 = Schar 1: Azimut/Fallwinkel; Max 2: do. Schar 2; Winkel = Differenz zwischen den Scharen; P = Druckrichtung; T = Extensionsrichtung (quer zu P).

Tab. 1. *Evaluations for DIP directions. Azimuths: N > E clock-wise. Except for # of measurements all values represent angles in old degrees (circle with 360 degrees). Max 1 and 2 for joint sets #1 and #2; Winkel = angle = difference between the two joint sets; P = pressure direction; T = direction of extension (transverse to P).*

Loci	Zahl der Messungen	Max 1	Max 2	Winkel	P	T
Zürichbergbäche	76	58 ± 14/90 ± 10	132 ± 06/87 ± 10	74	5/02	275/02
Küsnachter Tobel	66	243 ± 07/86 ± 08	338 ± 09/89 ± 10	85	111/04	21/02
Erlenbacher Tobel	64	238 ± 11/88 ± 10	154 ± 09/87 ± 09	84	286/01	16/03
Meilener Tobel	60	65 ± 16/81 ± 11	162 ± 12/87 ± 12	83	294/09	203/04
Üetlibergbäche	59	68 ± 05/84 ± 09	346 ± 15/85 ± 13	82	297/01	207/07
Aabach/Käpfnach	107	211 ± 14/90 ± 08	130 ± 08/89 ± 06	81	261/01	351/01
Halbinsel Au	66	214 ± 21/82 ± 16	134 ± 20/87 ± 15	79	84/03	353/07
Wädenswil	70	65 ± 10/89 ± 08	346 ± 17/88 ± 13	79	115/01	205/02
UNTERER ZÜRICHSEE	568	61 ± 12/89 ± 00	153 ± 00/89 ± 00	88	287/02	17/00
Bäch	64	194 ± 24/77 ± 17	92 ± 15/79 ± 10	80	323/19	53/01
Ufenau	64	248 ± 06/87 ± 06	164 ± 16/81 ± 14	83	296/04	27/08
Rapperswil	89	87 ± 10/86 ± 09	2 ± 11/89 ± 10	85	314/02	224/03
Stäfa	87	241 ± 08/88 ± 06	331 ± 11/87 ± 09	89	196/01	106/04
OBERER ZÜRICHSEE	304	69 ± 03/90 ± 04	163 ± 00/88 ± 04	87	296/02	26/01
ZÜRICHSEE GESAMT	872	64 ± 02/89 ± 02	156 ± 02/89 ± 00	88	290/01	20/00
Obersee-Nordseite	267	252 ± 05/88 ± 02	167 ± 00/90 ± 06	85	119/02	29/01
Ob Lachen	107	252 ± 08/84 ± 09	156 ± 06/83 ± 07	85	24/10	294/01
Buechberg	318	252 ± 02/90 ± 02	157 ± 06/90 ± 00	86	24/00	114/00
OBERSEE	692	252 ± 03/89 ± 02	162 ± 00/88 ± 03	90	297/00	27/02
ZÜRICH- und OBERSEE Klüfte	1564	250 ± 00/89 ± 00	160 ± 01/88 ± 01	90	295/01	25/02
ZÜRICH- und OBERSEE Bäche	125	247 ± 10/90 ± 07	156 ± 04/90 ± 04	89	21/00	111/00
NORDSCHWEIZ Klüfte (s. Tab. 2)		73 ± 12/89 ± 11	347 ± 12/89 ± 11	86	120/02	209/03

Tab. 2. Auswertung Streichrichtungen. Sonst sinngemäss wie Tab. 1.

Tab. 2. *Evaluations for strike directions (otherwise as in Tab. 1).*

Loci	Zahl der Messungen	Max 1	Max 2	Winkel	P	T
Zürichbergbäche	76	148 ± 14	42 ± 06	74	5	95
Küsnachter Tobel	66	153 ± 07	68 ± 09	85	111	21
Erlenbacher Tobel	64	148 ± 11	64 ± 09	84	106	16
Meilener Tobel	60	155 ± 16	72 ± 12	83	114	23
Üetlibergbäche	59	158 ± 05	76 ± 15	82	117	27
Aabach/Käpfnach	107	121 ± 14	40 ± 08	81	81	171
Halbinsel Au	66	124 ± 21	44 ± 20	79	84	173
Wädenswil	70	155 ± 10	76 ± 17	79	115	25
UNTERER ZÜRICHSEE	568	151 ± 12	63 ± 00	88	107	17
Bäch	64	104 ± 24	2 ± 15	80	143	53
Ufenau	64	158 ± 06	74 ± 16	83	116	27
Rapperswil	89	177 ± 10	92 ± 11	85	134	44
Stäfa	87	151 ± 08	61 ± 11	89	16	106
OBERER ZÜRICHSEE	304	159 ± 03	73 ± 00	87	116	26
ZÜRICHSEE GESAMT	872	154 ± 02	66 ± 02	88	110	20
Obersee Nordseite	267	162 ± 05	77 ± 00	85	119	29
Ob Lachen	107	162 ± 08	66 ± 07	85	24	114
Buechberg	318	162 ± 02	67 ± 06	86	24	114
OBERSEE	692	162 ± 03	72 ± 00	90	117	27
ZÜRICH- und OBERSEE Klüfte	1564	160 ± 00	70 ± 01	90	115	25
ZÜRICH- und OBERSEE links	125	156 ± 04	67 ± 10	89	21	121
NORDSCHWEIZ Klüfte (Scheidegger, 1977)		163 ± 12	77 ± 12	86	120	29

Die Richtung eines jeden Segmentes kann dann eindeutig bestimmt werden. Wegen der fraktalen Struktur von Flussläufen ist die Orientierung der Segmente von der Länge der Schritte unabhängig. Die statistische Auswertung erfolgt in derselben Weise wie bei Klüften.

In unserer Studie haben wir die auf Abb. 1 markierten Bach- und Flussläufe in insgesamt 125 Segmente von 500 m Länge unterteilt und deren Richtungen wie bei den Klüften statistisch behandelt. Die Resultate sind ebenfalls in den Tabellen aufgelistet.

6 DISKUSSION DER MORPHOGENESE DER ZÜRICHSEETALUNG

Werden die *Kluftstellungs*-Werte für den unteren Zürichsee, den oberen Zürichsee und den Zürcher Obersee miteinander verglichen, fällt auf, dass die Resultate für das jeweilige *Gesamtgebiet* einander recht nahe kommen: die Winkelwerte unterscheiden sich maximal um 12 Grad von den jeweils entsprechenden. Diese Diskrepanz wird in erster Linie durch die Anomalie bei Käpfnach/Au im unteren Zürichsee und einer entsprechenden bei Rapperswil im oberen Zürichsee

verursacht; die Streuung in den Klüftrosen ist daher am unteren und oberen Zürichsee grösser als am Obersee. Solche Anomalien sind aber statistisch bedeutungslos; in etwa fünf Aufschlüssen scheint jeweils einer bezüglich seinem Kluftmuster ein «Ausreisser» zu sein, wobei die Ursachen hierfür nicht ganz klar sind, wohl aber in lokalen tektonischen Gegebenheiten zu liegen scheinen (SCHEIDEGGER, 1978). Abgesehen von den beiden erwähnten Anomalien, entsprechen sich die Werte aller übrigen Messstellen innerhalb weniger Grade. So streuen in beiden Teilen des Zürichsees die Werte für die einzelnen Gebiete etwas, aber im Prinzip unterscheidet sich der untere vom oberen Zürichsee und vom Obersee klüftektonisch kaum. Die Krümmung des Zürichsees und der Wechsel von NW-SE zu E-W im Streichen der begleitenden Molassezüge kommen in den Kluftstellungen nicht zum Ausdruck. Diese entsprechen durchweg den nordschweizerischen (und damit den «europäischen») neotektonischen Kluftstellungen (SCHEIDEGGER, 1977; aufgelistet in Tab. 1 und 2), die offensichtlich die verschiedenen Höhenzüge und morphologischen Formen unbeeinflusst einfach durchschneiden. Die «europäischen» Werte kommen auch heraus, wenn beide Teile des Zürichsees zusammen ausgewertet

werden. In der Tat liegen letztere, wie zu erwarten, etwa in der Mitte der entsprechenden Werte der beiden Teile des Sees. Dasselbe ersieht man, wenn die Klüftstellungen um den Zürichsee zusammen mit denen um den Obersee ausgewertet werden. Wenn man die Werte für die Orientierungsstruktur der Fluss- bzw. Bachsegmente mit denen für die Klüfte vergleicht, sieht man wiederum, dass sie einander entsprechen.

Für die Genese der Zürichseetalung ist daher, wie für die der umgebenden Molassezüge, eine *prae-neotektonische*, d. h. eine prae-miozäne tektonische Vorzeichnung anzunehmen.⁵ Weder der Sihlgletscher (HEIM, 1894) noch der Linthgletscher können all die morphologischen Formen der Zürichsee-Landschaft herausgeschnitten haben; insbesondere ist wohl *a priori* auszuschliessen, dass sowohl der Sihl- als auch der Linthgletscher sich sukzessive eingetieft hätten. So sind für diese Genese generell das Klaffen der Molasseplatten und ihre differentielle Verschiebung verantwortlich, welche ein geringfügiges Auseinanderweichen der beiden Talflanken bewirkten. Wie stark das Zwischenstück eingebrochen ist, lässt sich nicht feststellen. Dass der wiederholt vorgestossene Linthgletscher das zerscherte Molassegut teilweise ausgeräumt hat, ist offenkundig. Der Frost vertiefte die Spalten und förderte die Ausräumung.

Weit grösser und offenkundiger ist das Auseinanderklaffen bei deckenalpinen Tälern und ihren Seen. Dort existierte zwischen den beiden Talflanken nur geringfügig Deckensubstanz. Die Decken stammen aus intern gelegenen Räumen des Alpengebietes.

Dagegen muss die Genese der Zuflüsse und jene der Klüfte auf dieselbe Ursache zurückgeführt werden: die gegenwärtig ständig ablaufenden plattentektonischen Bewegungen. Es kann daher keine Rede davon sein, dass die zufließenden Bäche den Eisrandformen eines Linthgletschers folgen oder gar Überbleibsel eines versunkenen prae-miozänen Einzugsgebietes sein könnten.

Die Morphogenese der Zürichseetalung erscheint somit zwiespältig: Einerseits entstand die grossräumige Haupttalung in der Molasse als Folge der alpinen Deckentektonik, während andererseits jene der kleinräumigeren Seitenbäche ständig von den stattfindenden neotektonischen Plattenbewegungen regeneriert wird.

⁵ Nach LAUBSCHER (1987) änderte sich das Spannungsfeld in der Nordschweiz im mittleren Miozän («Miozän-Revolution»).

7 LITERATUR

- AEPPLI, A. 1894. Erosionsterrassen und Glazialschotter in ihrer Beziehung zur Entstehung des Zürichsees. – Beitr. geol. Karte Schweiz, NF 4, 121 pp; 1 Karte & 2 Profiltaf.
- BRÜCKNER, E. 1909. Das Zungenbecken des Linthgletschers und die Entstehung des Zürichsees; pp. 515–533 in: A. PENCK & E. BRÜCKNER, «Die Alpen im Eiszeitalter», Bd. 2, 395–716. – Leipzig, Tauchnitz.
- DIMROTH, E. 1965. Fortschritte der Gefügestatistik. – N. Jb. Mineral. Monatsh. Stuttgart, 163, 186–192.
- HANTKE, R. 1991. Landschaftsgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. – Ott, Thun, 309 pp.
- HANTKE, R. & SCHEIDEGGER, A.E. 1994. Klusen und verwandte Formen im Schweizer Jura. – Geogr. Helv. 49 (4), 157–164.
- HANTKE, R. et al. 1967. Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete 1:50 000 in 2 Blättern mit Erläuterungen. – Vierteljahrsschr. Natforsch. Ges. Zürich 112 (2), 91–122.
- HEIM, A. 1891. Die Geschichte des Zürichsees. – Neujahrsbl. Natforsch. Ges. Zürich, 93. Stck., 16 pp.
- HEIM, A. 1894. Die Entstehung der alpinen Randseen. – Vierteljahrsschr. Natforsch. Ges. Zürich 39 (1), 65–84.
- KELTS, K. 1978. Geological and sedimentary evolution of Lakes Zürich and Zug, Switzerland. – Diss. ETH No. 6146, Zürich, 250 pp.
- KOHLBECK, F.K. & SCHEIDEGGER, A.E. 1977. On the theory of the evaluation of joint orientation data. – Rock Mech. 9, 9–25.
- KOHLBECK, F.K. & SCHEIDEGGER, A.E. 1985. The power of parametric orientation statistics in the Earth sciences. – Mitt. Österr. geol. Ges. 78, 251–265.
- LAUBSCHER, H. 1987. Die tektonische Entwicklung der Nordschweiz. – Ecl. geol. Helv. 80 (2), 287–303.
- PAVONI, N. 1953. Die rückläufigen Terrassen am Zürichsee und ihre Beziehungen zur Geologie der Molasse. – Geogr. Helv. 8 (3), 217–226.
- PAVONI, N. 1957. Geologie der Zürcher Molasse zwischen Albiskamm und Pfannenstil. – Vierteljahrsschr. Natforsch. Ges. Zürich 102 (5), 117–315.
- SCHEIDEGGER, A.E. 1977. Klüftmessungen im Gelände und ihre Bedeutung für die Bestimmung des tektonischen Spannungsfeldes in der Schweiz. – Geogr. Helv. 32 (3), 121–134.
- SCHEIDEGGER, A.E. 1978. The enigma of jointing. – Riv. Ital. di Geofis. e Sci. Affini 5, 1–4.
- WATSON, G.S. 1970. Orientation statistics in the Earth sciences. – Bull. Geol. Inst. Uppsala, N.S. 2 (9), 73–89.