

PHYSIOGEOGRAPHIE

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN ORIENTATIONSSTRUKTUR DER TALANLAGEN UND DER KLUFTSTELLUNGEN IN ÖSTREICH *

Adrian E. SCHEIDEGGER, Wien

(Mit 8 Textabbildungen)

INHALT

1. Einleitung	187
2. Flußrichtungen in Österreich	188
3. Vergleich mit den Kluftrichtungen	190
4. Diskussion	194
5. Literaturverzeichnis	194
6. Zusammenfassung, Summary, Résumé	195

1. EINLEITUNG

Wenn man eine Übersichtskarte Österreichs betrachtet, fällt einem auf, daß die Täler nicht beliebig kreuz und quer orientiert sind, sondern in gewissem Sinne eine Art von Gitter bilden. Das Gitter ist allerdings nicht sehr regelmäßig, sondern nur in einer generellen Andeutung vorhanden. Es erhebt sich somit die Frage, ob der etwas subjektive Eindruck einer gewissen Regelmäßigkeit sich irgendwie quantitativ in Zahlen ausdrücken läßt, und, wenn dies der Fall sein sollte, diese Regelmäßigkeit mit anderen Tatsachen korrelierbar ist. Schließlich und endlich würde man eine etwa gefundene Regelmäßigkeit auch auf physikalische Ursachen zurückführen wollen.

Wir haben uns daher in dieser Arbeit das Ziel gesetzt, die Talrichtungen Österreichs statistisch zu erfassen. Es wird gezeigt, daß es in der Tat möglich ist, dieses Ziel zu erreichen. Weiters stellt sich dann heraus, daß die statistische Verteilung der Orientierungen der Talanlagen mit den Stellungen der Klüfte in Aufschlüssen im Gestein korreliert werden kann. Es liegt daher der Ansatz nahe, daß die physikalische Ursache der Klüfte und diejenige der Talanlagen dieselbe ist; als solche kommt nur das tektonische Spannungsfeld in Frage. Es ist dabei klar, daß die Täler natürlich nicht tektonisch bedingte „Spalten“ darstellen; es wird lediglich vermutet, daß die Richtung der Talanlagen durch das tektonische Spannungsfeld beeinflusst wird. Eine derartige Vermutung wurde schon einmal ausgesprochen (E. GERBER und A. E. SCHEIDEGGER, 1977); sie wird nun durch die vorliegende statistische Betrachtung erhärtet.

* Die in der vorliegenden Arbeit dargestellten Untersuchungen wurden von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften im Rahmen des Internationalen Geodynamik Projekts unterstützt, wofür hier gedankt werden soll. Dank gebührt auch dem Rechenzentrum der Technischen Universität Wien, Abteilung Digital- und Hybridenrechneranlage, für die unentgeltliche Bereitstellung von Rechenzeiten.

2. DIE FLUSSRICHTUNGEN IN ÖSTERREICH

Um eine statistische Verteilung der Flußrichtungen in Österreich anzugeben, ist es zunächst einmal notwendig, diese in konsistenter Weise zu definieren. In diesem Zusammenhange ist nicht von vornherein klar, was die „Richtung“ eines Flusses sein soll, denn der Flußlauf ist ja im allgemeinen gekrümmt und seine „Richtung“ kann daher nicht ohne weiteres angegeben werden. Um dennoch Flußrichtungen definieren zu können, sind wir in der folgenden Weise vorgegangen: Wir haben jedes „Ende“ des Flusses (Ende der Flußlinie auf der Karte) und jede „Konfluenz“ als Knoten eines entsprechenden Graphen betrachtet, welche wir dann in topologisch gleicher Weise wie in der Natur durch gerade Linien verbanden. Auf diese Weise

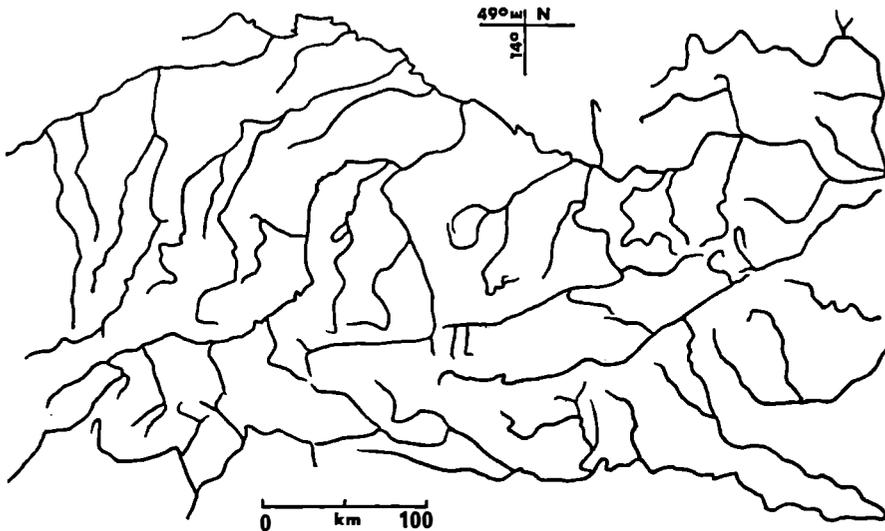


Abbildung 1: Flußkarte von Österreich

kommt ein „rektifiziertes Bild“ des betrachteten Flußnetzes zustande, für welches sich die Orientationsstruktur ermitteln läßt.

Unserer Studie der Talrichtung Österreichs legten wir eine Flußkarte zugrunde, wie sie in Abbildung 1 gezeigt ist. Um eine natürliche Abgrenzung des Gebietes zu erhalten, wurden die Flußläufe nicht an den politischen Grenzen des Landes beendet, sondern es wurde nach Möglichkeit das Einzugsgebiet jeweils vervollständigt.

Das Bild der Flußnetze Österreichs wurde dann gemäß den oben gemachten Ausführungen „rektifiziert“, was das in Abbildung 2 dargestellte Resultat ergab. In dieser Abbildung ist es dann möglich, die Richtungen und die Längen der Segmente auszumessen. Für die statistische Auswertung wurde als Längeneinheit 6 km gewählt, und die Orientierung wurde als Azimut $N \rightarrow E$ in (Alt-)Grad angegeben. Für unsere Zwecke wurden aber nicht die Streichrichtungen der Flußabschnitte betrachtet, sondern deren Normalen- (oder Pol-)Richtungen. Das so nach Längeneinheiten von 6 km gewichtete Histogramm dieser Flußabschnittspole ist in Abbildung 3 gezeigt.

Das Histogramm läßt nichtparametrisch eine starke Bevorzugung der Flußpole (ein Maximum in der Verteilung) bei $N 165^\circ E$ (dies entspräche einem Streichen von

N75°E) erkennen, ein zweites Maximum ist nicht ohne weiteres anzugeben. Wir haben daher die Verteilung der gewichteten Talrichtungen auch noch parametrisch ausgewertet, indem wir (planare) DIMROTH-WATSON Verteilungen (proportional zu $\cos^2 \theta$) nach dem Verfahren von F. KOHLBECK und A. E. SCHEIDEGGER (1977) auf die Daten verpaßten. Eine Überlagerung von zwei Verteilungen ergibt das folgende Resultat für die bevorzugten Polrichtungen (N → E)

- Maximum 1: N 172° ± 3° E
- Maximum 2: N 272° ± 3° E

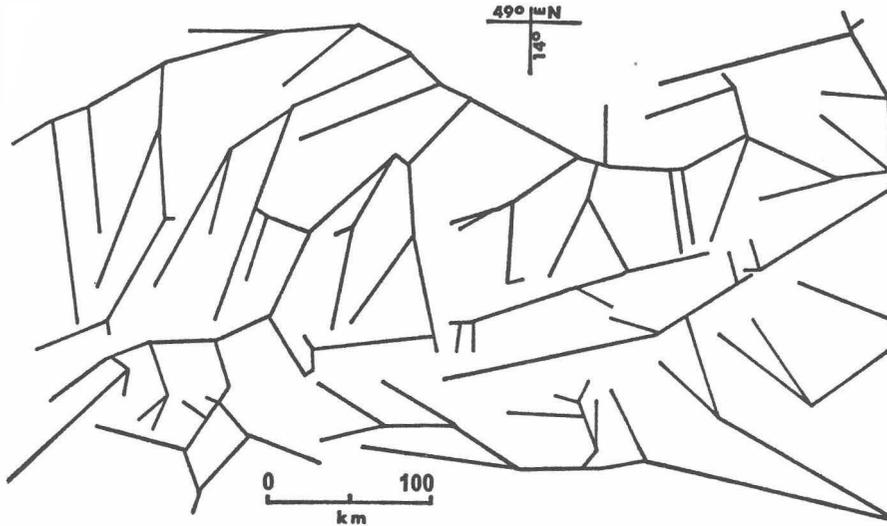


Abbildung 2: „Rektifizierte“ Flußkarte von Österreich

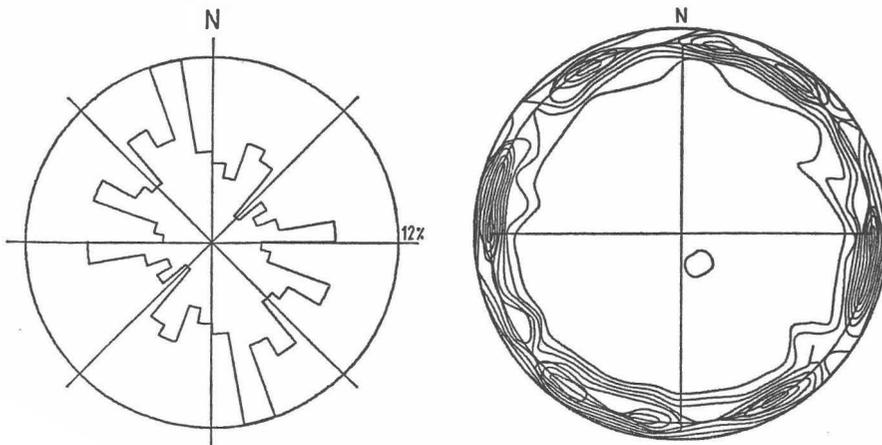


Abbildung 3 (links): Histogramm der Pole der Flußrichtungen Österreichs
 Abbildung 4 (rechts): Poldichtediagramm der Klufstellungen in Österreich

Die bevorzugten Streichrichtungen werden durch die Addition von 90° zu den obigen Winkeln erhalten. Der Winkel zwischen diesen Richtungen ist 81° .

Statistisch ergeben sich also zwei definierte bevorzugte Flußrichtungen, welche in Österreich vorherrschen.

Man kann nun die Hypothese ansetzen, daß die Flußtäler als Scherlinien in einem triaxialen (mittlere Hauptspannungsachse vertikal) Spannungsfeld (nach der Theorie von E. M. ANDERSON, 1951) vorgezeichnet sind und, mit diesem Ansatz, die hypothetische größte (P) und kleinste (T) horizontale Druckspannungsrichtung berechnen.

Man erhält dann

P: N 42° E

T: N 132° E

3. VERGLEICH MIT DEN KLUFTRICHTUNGEN

Wir haben in den letzten Jahren In vielen Regionen Österreichs Kluffstellungen gemessen. Hierbei wurde so vorgegangen, daß an einer Reihe von Aufschlüssen in einem geologisch mehr oder weniger abgeschlossenen Gebiet (wie „Leiser Berge“, „Hochkönigsmassiv“ etc.) Kluffstellungen gemessen wurden. Diese wurden dann nach der KOHLBECK—SCHEIDEGGER (1977) Methode ausgewertet; d. h. es wurden in jedem Gebiet die Parameter der Überlagerung von den zwei bestpassendsten DIMROTH—WATSON Verteilungen für die Meßdaten berechnet. Auf diese Weise wurden die zwei statistisch bevorzugten Kluffstellungen für jedes Gebiet ermittelt. Die Resultate der Rechnungen sind in den Tabellen 1 und 2 (Region West und Ost) aufgeführt. Die Werte beziehen sich auf Fallrichtungen (Azimut N \rightarrow E) und Fallwinkel der bevorzugten Kluffstellungen; zusätzlich zeigt die Tabelle den jeweiligen Winkel zwischen den bevorzugten Kluffebenen sowie die nach ANDERSON (1951) berechnete Richtung (Azimut/Neigungswinkel) der größten (P) und kleinsten (T) Druckspannung. Am Schluß jeder Tabelle ist noch ein Mittelwert für alle darin aufgeführten Regionen angegeben, der dadurch errechnet wurde, daß die bevorzugten Kluffstellungen einer jeden Region als „Input“ für eine statistische Auswertung der R e g i o n e n verwendet wurde. Wenn alle 36 Regionen Österreichs auf diese Weise zusammengenommen werden, erhält man einen Mittelwert für ganz Österreich wie folgt:

Maximum 1	$5^\circ \pm 25^\circ / 89^\circ \pm 12^\circ$
Maximum 2	$272^\circ \pm 22^\circ / 89^\circ \pm 11^\circ$
Winkel dazwischen	87°
P	$139^\circ / 2^\circ$
T	$229^\circ / 0^\circ$

Zur besseren Veranschaulichung ist die Auswertung für ganz Österreich (jede Region ergibt in der Eingabe ein Wertepaar) in Abbildung 4 als Poldichtediagramm repräsentiert. Diese Abbildung zeigt, daß neben den, vom Computer bei der statistischen Auswertung erfaßten Hauptmaxima auch noch Nebenmaxima existieren. Derartige Nebenmaxima entsprechen solchen, die in einer Minorität der Regionen als Hauptmaxima bestehen. Wahrscheinlich handelt es sich um Spuren eines früheren Spannungssystems; ein Fall, wo beide Systeme an einem Aufschluß evident sind, findet sich im nördlichen Wienerwald und wurde im Rahmen einer Spezialstudie dieses Gebietes untersucht (A. E. SCHEIDEGGER, 1979). Die oben angeführte Hypothese wird dadurch gestützt.

Die bevorzugten Streichrichtungen der erwähnten Gebiete sind in den Abbildungen 5 und 7, die berechneten Hauptspannungsrichtungen in den Abbildungen 6 und 8 gezeigt.

Tabelle 1: Klüfte Westösterreich

Ort	Zahl	Max. 1	Max. 2	Winkel	P	T
1 Eisenkappel	97	169± 9/70± 8	255±14/78±12	82	300/6	33/1
2 Wörschach	451	66±11/87± 6	166±16/90± 9	82	297/3	207/2
3 Hallstatt	420	290±15/81±12				
4 Hochkönig	3111	62± 4/90± 3	146± 5/87± 4	84	14/2	284/2
5 Felbertal	415	213±15/85±12	116±15/88±13	83	345/5	75/2
6 Kals (Lesach)	448	248± 7/90± 6	157± 9/88± 7	89	22/2	292/1
7 Irschen	181	52±17/84±12	334±11/89± 8	78	283/4	193/5
8 Allgäu	1318	242±10/67±11	128±10/75± 7	75	3/32	96/4
9 Gastein	484	217± 9/88± 5	118±10/89± 7	81	384/2	78/1
10 Mahton	43	12±11/88±10	106±21/73±16	86	238/14	330/10
11 Gleinalm	512	204±10/74± 9	100± 5/75± 5	81	332/25	62/0
12 Stubalpe	65	344± 9/85±10	81±17/89±17	83	213/4	122/2
13 Packsattel	64	261± 6/80± 5	331±17/82±14	69	26/12	116/11
14 Griffler Berg	63	211±15/90±12	293±12/82± 9	82	162/2	72/2
15 Wörthersee	28	29±16/81±13	311±29/76±22	76	79/4	170/15
16 Bleiberg	106	83± 9/89± 8	352± 9/85± 8	89	217/14	127/3
17 Katschberg	69	6±18/84±14	92±12/90± 9	89	232/5	141/4
18 Oberes Murtal	63	11±15/78±14	279± 8/88± 7	88	144/10	236/7
19 Fohnsdorf	214	32±12/88± 8	118± 8/90± 6	86	165/1	255/2
20 Mariazell	63	255±10/86± 9	163±10/86± 9	88	209/6	299/0
Mittelwert		1±21/90±16	272±18/89±14	90	136/1	46/1

Tabelle 2: Klüfte Ostösterreich

Ort	Zahl	Max. 1	Max. 2	Winkel	P	T
1 Bad Deutsch-Altenburg	160	14±15/84±10	273±10/86± 7	79	144/8	234/1
2 Lelthagebirge	67	42±10/89± 9	137±16/89±13	85	270/1	0/0
3 Pauliberg	322	184±12/89± 7	92±14/90± 7	87	318/1	48/0
4 Marchegg	53	13±18/89±13	282±13/88±10	90	148/2	58/1
5 Leiser Berge	64	57±14/89±11	146±17/82±13	89	12/5	282/6
6 Wienerwald	524	65±14/87± 6	338±16/90± 6	87	112/2	22/2
7 Baden	82	233±13/84±10	327±10/89± 8	86	100/6	10/4
8 Schneeberg	148	22±11/88± 8	107±13/89± 9	85	155/0	246/2
9 Neue Welt	47	51± 8/80± 7	330±16/17±14	80	280/5	11/17
10 Neulengbach	70	356±14/82±14	262±12/86±11	87	129/9	220/3
11 Melk — Dürnstein	828	41± 8/85± 5	312±11/78± 7	87	86/5	177/12
12 Langenlois — Maissau	422	35± 9/88± 6	315±14/84±10	80	85/2	175/5
13 Platt — Retz	74	17±18/87±13	284± 8/89± 7	87	151/2	241/2
14 Mörtersdorf	194	183± 9/89± 6	93±10/88± 7	89	228/1	318/2
15 Welkertschlag	102	38± 6/82± 6	146±11/83±10	72	272/13	182/1
16 Gmünd	57	88± 8/86± 7	193±13/89±11	74	320/4	230/2
Mittelwert		27±17/87±12	295±25/88±19	88	161/3	251/1

Ein Vergleich der obigen Resultate mit denjenigen der statistischen Auswertung der Talrichtungen zeigt sofort, daß eine bevorzugte Klufttrichtung mit der entsprechenden Talrichtung identisch ist (N 272°E); die dazu konjugierte Richtung ist nur ein wenig verschieden. Man hat also hier einen Hinweis darauf, daß Kluft- und Talrich-

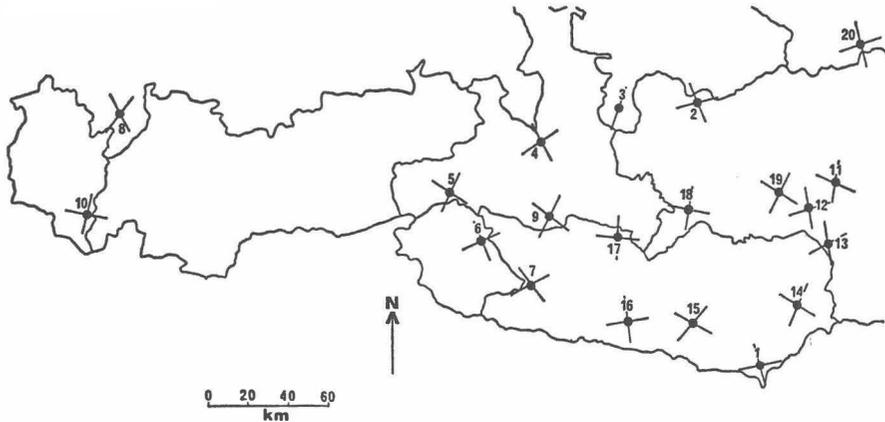


Abbildung 5: Bevorzugtes Kluftstreichen in Westösterreich (die Zahlen entsprechen denjenigen in Tabelle 1)

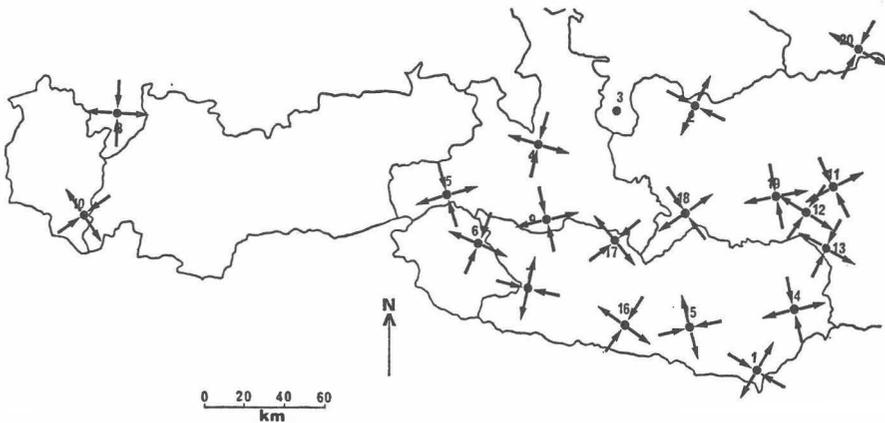


Abbildung 6: Aus den Kluftstellungen errechnete Hauptspannungsrichtungen in Westösterreich (die Zahlen entsprechen denjenigen in Tabelle 1)

tungen einander entsprechen; man wird daher vermuten, daß Kluft- und Talanlagen dieselbe physikalische Ursache haben. Als solche Ursache kommt wohl nur das tektonische Spannungsfeld in Frage. Da die Klufttrichtungen den Talrichtungen entsprechen, entsprechen sich auch die diese Erscheinungen nach E. M. ANDERSON (1951) bewirkenden Hauptspannungsrichtungen. Allerdings ist in den beiden Fällen die



Abbildung 7: Bevorzugtes Klüftstreichen in Ostösterreich (die Zahlen entsprechen denjenigen in Tabelle 2)

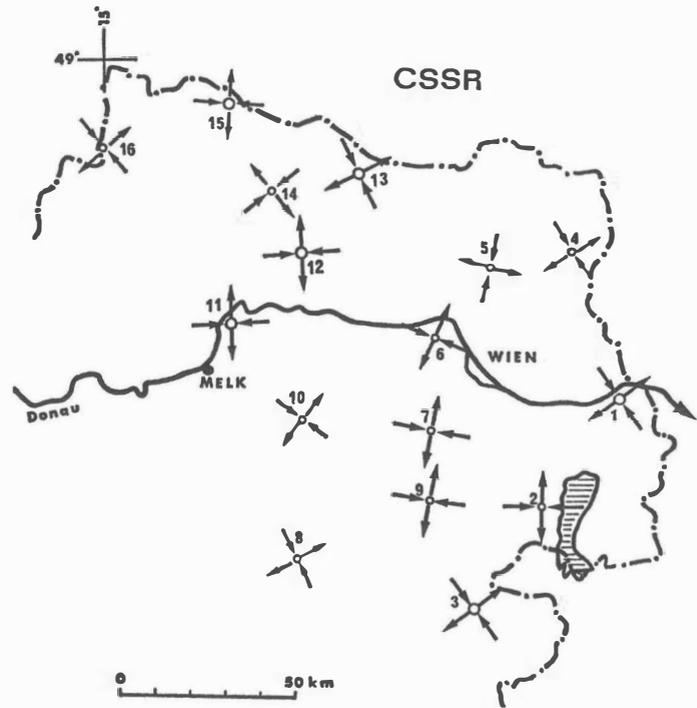


Abbildung 8: Aus den Klüftstellungen errechnete Hauptspannungsrichtungen in Ostösterreich (die Zahlen entsprechen denjenigen in Tabelle 2)

P- und T-Richtung vertauscht, doch kann der Identifikation der Hauptspannungsrichtungen als P oder T keine allzu große Bedeutung beigemessen werden, da diese nach E. M. ANDERSON (1951) vom Winkel zwischen den Bruchflächen abhängt; dieser ist aber meistens etwa 90° , sodaß die P- und T-Quadranten nicht sicher identifiziert werden können. Wie andernorts gezeigt (A. E. SCHEIDEGGER 1979), bestehen Hinweise darauf, daß der NW (SE) Quadrant der P-Quadrant ist.

Interessant ist auch ein Vergleich der Kluftorientierungen in Österreich mit denen im Nachbarland Schweiz (A. E. SCHEIDEGGER 1977):

P Schweiz	$120^\circ/2^\circ$
P Westösterreich	$136^\circ/1^\circ$
P Ostösterreich	$161^\circ/3^\circ$

Es zeigt sich also, daß eine konsistente Drehung der P-Richtung im Uhrzeigersinn von der Zentralschweiz bis Ostösterreich besteht.

4. DISKUSSION

Die vorgehenden Ausführungen zeigen, daß zwischen den Klufftellungen und den Talanlagen eine Konkordanz besteht, die in dem Sinne interpretiert werden kann, daß man voraussetzt, daß beide Phänomene durch das neotektonische Spannungsfeld erzeugt wurden. Es bestehen somit Hinweise darauf, daß oberflächliche Klüfte sowie auch die Talorientierungen äußerst rezente Erscheinungen sind. Das mag auf den ersten Blick verwundern, weil oft angenommen wird, daß die Talanlagen der Alpen bis mindestens ins Miozän (siehe z. B. R. STAUB, 1934) zurückgehen. Wenn man aber bedenkt, daß in den Alpen Hebungsraten von der Ordnung von Millimetern pro Jahr (E. SENFTL und Ch. EXNER, 1973) gemessen wurden, was Kilometern pro Millionen Jahre entspricht, muß es klar erscheinen, daß die gegenwärtige Morphologie der Alpen nur ganz rezenter Natur sein kann. Durch paläothermische Studien wurde nachgewiesen (J. P. SCHAER et al., 1975), daß die obigen Hebungsraten mindestens während der letzten 6—10 Millionen Jahre bestanden; dies bedeutet, daß ein großer Teil des jetzt sich an der Erdoberfläche befindlichen Gesteins noch am Ende des Pliozäns in Tiefen von rund 10 km gelegen haben dürfte.

Der Ansatz, daß die gesamte alpine Morphologie sehr rezenter Natur ist, steht somit im Einklang mit Daten anderen Ursprungs.

LITERATURVERZEICHNIS

- ANDERSON, E. M.: The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain. Second Ed. London, Oliver and Boyd, 1951.
- GERBER, E., und SCHEIDEGGER, A. E.: Anordnungsmuster von alpinen Tälern und tektonischen Spannungen. In: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt Wien. 1977 (2). 165—188.
- KOHLBECK, F., und SCHEIDEGGER, A. E.: On the theory of the evaluation of joint orientation measurements. *Rock Mech.* 9. 1977. S. 9—25.
- SCHAER, J. P., REIMER, G. M., WAGNER, G. A.: Actual and ancient uplift rate in the Gotthard region, Swiss Alps: A comparison between precise levelling and fission-track apatite age. *Tectonophysics.* 29, 1975. S. 293—300.
- SCHEIDEGGER, A. E.: Kluffmessungen im Gelände und ihre Bedeutung für die Bestimmung des tektonischen Spannungsfeldes in der Schweiz. In: *Geographica Helvetica.* 32. Jg., 1977. Heft 3. S. 121—134.
- , Orientationsstruktur der Talanlagen im nördlichen Wienerwald. Im Druck.
- SENFTL, E., und EXNER, Ch.: Rezente Hebung der Hohen Tauern und geologische Interpretation. In: *Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt Wien (1973 (2)).* S. 209—234.
- STRAUB, R.: Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie. In: *Denkschriften der Schweizer Naturforschenden Gesellschaft.* 69 (1). S. 1—183.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde eine statistische Analyse der Richtungsverteilung der Täler Österreichs ausgeführt. Es wird gezeigt, daß diese Richtungsverteilung die gleiche wie diejenige der Klufstellungen in Gesteinsaufschlüssen ist, was zu dem Ansatz führt, daß für die Entstehung von Tälern und Klüften die gleiche physikalische Ursache wirksam ist; als letztere kommt nur das neotektonische Spannungsfeld in Frage. Demnach wäre die Orientationsstruktur der Talanlagen ganz rezenter Natur und durch dasselbe Spannungsfeld bedingt, welches auch die Bewegung der tektonischen Platten bewirkt.

Summary

Correlations between the Directional Structure of Valley Trends and the Orientation of Joints in Austria.

A statistical analysis was made of the orientation of the trends of the valleys in Austria. It is shown that the distribution of the orientations of the valleys is the same as that of the joints; this leads to the contention that the origin of the valley trends and of the joints has the same physical cause: the latter can only be the neotectonic stress field. Accordingly, the orientation of the valleys is of entirely recent origin and is determined by the stress field which also causes the displacements in plate tectonics.

Résumé

Relations entre l'orientation des vallées et les diaclases en Autriche.

Le travail présente une analyse statistique des orientations des vallées en Autriche. Il est démontré que la distribution de ces orientations est la même que celle des diaclases dans les affleurements des roches, ce qui suggère que l'origine des vallées et des diaclases doit avoir la même cause physique; comme telle, on ne peut qu'invoquer le champ de contraintes tectoniques. Ainsi, l'orientation des vallées est d'origine tout à fait récente et elle est déterminée par les mêmes contraintes qui causent aussi les déplacements des plats tectoniques.