

A KONSTRUKTION UND ENTWICKLUNG DER FORMLINIEN

Die Idee der Formlinien ist aus der Vorstellung zu Feldlinien etwa in elektrischen oder magnetischen Feldern abgeleitet. Die Umsetzung in die Tektonik ist dennoch komplex, denn Parallelen ergeben sich erst, wenn die Feldlinien durch punktuelle und flächenförmige Quellen, Senken und Isolatoren beeinflusst sind.

Die Konstruktion der Formlinien besteht aus mehreren Schritten und beginnt zunächst auf der Karte. In einem ersten Schritt wird der struktureologische Teil erarbeitet. Die Information zu den Gesteinsarten wird weggelassen und erst später verwendet. Zunächst kommt es dabei darauf an, daß die gemessenen Schichtwerte und/oder Schieferungswerte möglichst exakt, so wie sie im Gelände gemessen wurden, auf der Karte verteilt werden. Häufig werden in den Aufschlüssen Großfalten oder Verwerfungen beobachtet. Anstatt diese in einem zusammengefaßten Wert zu generalisieren sollten mehrere Werte diese Beobachtung in der Karte festhalten. Dadurch bildet das größte beobachtbare struktureologische Element im individuellen Aufschluß das kleinste auf der struktureologischen Karte für die zusammenfassende Beurteilung. Diese Elemente bilden zusammen genommen die Grundlage für den strukturellen Teil der Formlinieninterpretation.

Aus dem Streichen dieser Werte wird nun eine Schar von Linien entwickelt, die diese strukturellen Beobachtungen aus den Aufschlüssen verbinden. Bei der Entwicklung ist bereits in dieser Phase der Leitgedanke einer homogenen geologischen Ausgangslage bestimmend, in welcher Brüche deutlich erkennbar oder nicht vorhanden sind. Die Linienschar wird daher so zwischen den Aufschlüssen geführt, daß sie die Strukturdaten abbilden, ohne jegliche Notwendigkeit einzelne Aufschlüsse beispielsweise wegen ihres lithologischen Inhalts auf die „andere“ Seite der Linien bringen zu müssen. Genau solche „scheinbar“ notwendigen Linienführungen waren ja die Schwachstelle bei der rein lithologischen Interpretation unter Verwendung der bisherigen generalisierten Auffassung in bezug auf die Lithologien. Diese führten im Detail im hier verwendeten Kartenmaßstab häufig zu Unsicherheiten, welche nur mit unverhältnismäßig starken, noch umfangreicheren Generalisierungen kompensiert werden konnten. Die hier angewendete Art der strukturellen Vorabinterpretation ohne Lithologien versucht nun die

se Probleme im Vorfeld zu umgehen. Eine lokale Veränderung der Linienführung einer Linie zieht die Veränderung sämtlicher angrenzender Linien der Schar mit sich. Ein Ausgleich wird in der Fläche geschaffen. Der Ansatz gleicht daher in gewisser Weise dem Konzept von Potentialfeldern und ihrer Veränderung bei Variationen von Quellen und Senken.

Daraus kann ein immer größeres Muster von Linien entwickelt werden (vgl. Abb. 4.1). Brüche im Muster und damit auch tektonische Brüche, wie z.B. Scherbahnen oder Scherzonen zeigen sich dadurch, daß das Muster der Linienschar in einer homogenen Form nicht mehr weiter interpretiert werden kann, ohne die Linien zu kreuzen. Schwache Brüche in der Führung dieser Linienscharen bilden Deckengrenzen, starke in Transpressionslinien und durchbrechende Überschiebungsbahnen. Bei der Interpretation von starken Brüchen wird grundsätzlich auf Hinweise im Gelände Wert gelegt, und diese, sofern im Gelände keine Hinweise vorhanden waren, möglichst vermieden.

Die entstehenden Muster sind zunächst weitestgehend auf die besser aufgeschlossenen Bereiche der Karte begrenzt. Die Verwendung der Lithologien erleichtert in einem weiteren Schritt die Schließung der nicht oder nur wenig aufgeschlossenen Bereiche der Karte. Als Erleichterung wird zunächst die Zahl der Formlinien auf die Anzahl der aufgeschlossenen Lithologien, soweit diese im gegebenen Kartenmaßstab sinnvoll differenziert werden können, reduziert. Die Verteilung der Lithologien zeigt nun an, wo und in welcher Weise die Aufschlußlücken interpretiert werden können. Dabei wird das vorhandene Muster im Rahmen des Konzeptes der strukturellen Formlinienkonstruktion komplettiert. Anpassungen der Verteilung der aus den Strukturdaten entwickelten Formlinien sind möglich, sofern die darin bereits verwendeten Informationen nicht entfremdet werden müssen und sich diese Anpassungen in der Fläche verteilen und nicht auf einzelne Formlinien beschränken. Eine durch die Verwendung der Lithologien hinzutretende Orientierungsgröße ist die Annahme einer größtmöglichen Konstanz der Mächtigkeiten. Ein Divergieren und Konvergieren der Linien ist daher nur möglich, sofern die gemessene Orientierung der Gesteine im Raum dies zuläßt. Soweit irgend möglich, werden diesbezügliche Abweichungen

in bereits vorhandene strukturelle Brüche integriert. Nur in Ausnahmefällen werden neue strukturelle Elemente hinzugefügt.

Ein weiteres wichtiges Element dieser Interpretationsform ist die Verwendung von Profilschnitten. Ausgehend von der Oberfläche und den dort gemessenen Strukturdaten wird die Interpretation des Deckenbaus komplettiert. Die Vorgehensweise deckt sich grundsätzlich mit der auf der Karte. Zunächst werden die Strukturdaten interpretiert, dann erst die Lithologien hinzugenommen. Auch hier entstehen Interpretationslücken. Nach unten sind diese durch die vermutete Lage der Basis des orogenen Keils begrenzt. Nach oben wird – ausgehend von einer Keilform – ein möglichst homogener Deckenbau aus Überschiebungsdecken angenommen. Die Länge der Decken wird nicht länger als unbedingt nötig ausgedehnt. Auch hier sind divergierende und konvergierende Formlinien zunächst nur Ausdruck der räumlichen Orientierung der Gesteine und erst in zweiter Ordnung Hinweise auf mögliche Mächtigkeitsvariationen. Letzteres wird jedoch immer möglichst an strukturellen Brüchen kompensiert. Auch im Profilschnitt sind diese Divergenzen und Konvergenzen auf die Schar zu verteilen und nicht auf einzelne Linien zu beschränken.

Die Ausdehnung der Interpretation in die dritte Dimension mit den geometrischen Anforderungen an einen Überschiebungsdeckenbau im orogenen Keil führt natürlich auch hier zu Kompensationen in schlechter aufgeschlossenen Bereichen. Soweit dies erforderlich wird müssen dabei die Erfordernisse aus den Profilschnitten an die Ergebnisse aus der Karte angepaßt werden und umgekehrt. Im umgekehrten Fall müssen alle bisher eingeflossenen Informationen berücksichtigt werden. In der Konsequenz bedeutet das ein erneutes Durchkonstruieren und Durchdenken von Anfang an und eben nicht eine schlichte Anpassung der Ergebnisse. Das Ergebnis ist in Abb. 4.1 dargestellt.

Bei der in Kapitel 0.3.3 erläuterten Interpretation mithilfe von Formlinien wurde das Streichen der gemessenen Daten ausgewertet. Die Information aus den Fallwerten fließen gleichermaßen in die Karte und in die Profilschnitte ein. Während in der Karte Streichen und Fallrichtung berücksichtigt werden, spielt in den Profilschnitten die möglichst genaue Wiedergabe des Fallwinkels eine entscheidende Rolle. Der Fallwinkel der verwendeten Messung hängt dabei von der Abweichung der Profilrichtung von der Fallrichtung ab. Versuche mit starken Vergrößerungen haben dabei deutlich gemacht, daß scheinbar ohne Sinn stark wechselnde oder springende Fallwerte durch ihre Umrechnung in die Profilrichtung ein kontinuierliches Bild ergeben. Da-

her wurde bei der Konstruktion der Profilschnitte besonderer Wert auf eine möglichst genaue Wiedergabe des Fallens gelegt.

Das im Gelände gemessene Schichtfallen α wird hierzu mit Hilfe der Streichrichtung des Geländewertes $\beta^{Str} = \beta - 90^\circ$ (Fallrichtung im Gelände: β) in die Schnittebene umgerechnet. Das Schichtfallen α_s in der Schnittebene lautet:

$$\sin \alpha_s = \sin \alpha * \cos (\beta^{Str} - \beta_s)$$

Das Vorzeichen dieses Ergebnisses gibt an, ob die Markierung von der Horizontalen aus in Richtung des benutzten Streichens des Schnittes oder in die entgegengesetzte Richtung geneigt eingezeichnet werden muß. Möbus (1989) hat für diese Berechnung mit der Tangensfunktion gearbeitet. Der Vorteil dabei ist, daß Fallwert und Fallrichtung direkt eingesetzt werden können. In der obigen Formel wird jedoch mit dem Streichen gearbeitet, da die Ergebnisse unten in der Fehlerrechnung weiter verwendet werden.

Weiterhin muß berücksichtigt werden, daß Aufschlüsse in der Nähe der Schnittlinie bei der Übertragung in die Schnittlinie nicht notwendigerweise in derselben horizontalen und vertikalen Position liegen. Die Verschiebung in die Schnittlinie verläuft aber nicht in jedem Fall linear wie bei einer einfachen Deformation, beispielsweise einer Verkippung oder zylindrischen Faltung. Die genaue Berechnung ist bei polyphaser Deformation nicht möglich. Es gibt daher nur die Möglichkeit, eine Schätzung vorzunehmen. Für solche Schätzungen muß eine Funktion konstruiert werden. Der einzige Vorteil über solche selbst konstruierten Formeln vorzugehen, ist die Möglichkeit des strukturierten Überprüfens von sich ergebenden Fehlern, beispielsweise mit der Unterstützung von Tabellenkalkulationsprogrammen. Als Beispiel für eine Schätzung werden zwei Formeln für die horizontale Abweichung und für die vertikale Abweichung vorgestellt. Diese sind für das Arbeitsgebiet getestet. Es steht dem Benutzer aber frei, diese für seine Zwecke zu modifizieren. Für die Schätzung einer horizontalen Abweichung H im Schnitt sind die Streichrichtungen des Schnittes β_s und der Messung β^{Str} sowie der Abstand zum Schnitt L die wichtigsten Werte:

$$H = \frac{L}{\tan (\beta_s - \beta^{Str})} * e^{-\frac{1}{4} \cos^2 (\beta_s - \beta^{Str})}$$

Der maximale Winkelunterschied ($\beta_s - \beta^{Str}$) kann 90° , der minimale 0° betragen. Für 90° nimmt der Kosinus den Wert Null an, die gesamte Exponentialfunktion wird damit „1“. Da bei 90° der Aufschluß theoretisch die horizontale Position beibehält und der Fehler nicht proportional zum Abstand sein sollte, wird dies über die Tangensfunktion aufgefangen. Die Tangensfunktion strebt für Winkeldifferenzen gegen 90° gegen Unendlich, womit der gesamte Vorfaktor vor der Exponentialfunktion gegen Null strebt. Bei genau 90° liefert diese Formel kein Ergebnis. Der horizontale Fehler hat in diesen Fällen per Definition die Länge Null. Bei 0° hat die Kosinusfunktion den Wert „1“, die Tangensfunktion geht in diesem Punkt aber gegen Null, wodurch der Fehler ins Unendliche wächst. Dies ist richtig, denn eine gedachte Verlängerung der großen Achse des Fallzeichens auf der Karte würde sich niemals mit der die Schnittebene symbolisierenden Linie schneiden. Die zusätzlichen Modifikationen im Exponenten der Exponentialfunktion sind so eingerichtet, daß sich für mittlere Winkel Fehler sinnvoller Größe ergeben. Für andere Winkelstreuungen kann diese Exponentialfunktion verändert oder ersetzt werden, sofern sich dadurch sinnvollere Ergebnisse ergeben. Die Schätzung für den vertikalen Fehler ist analog aufgebaut und arbeitet mit dem Fallwert senkrecht zum Schnitt α_\perp . Dieser muß für diese Schätzung über die Formel für die Umrechnung der Fallwerte besorgt werden:

$$V = \frac{L}{\cos(\alpha_\perp)} * e^{-\frac{1}{4} \cos^2 \alpha_\perp}$$

Der sich ergebende Spielraum wurde bei der Position des Fallzeichen relativ zueinander bei verschiedenen Messungen pro Aufschluß und der Aufschlüsse gegenseitig so ausgenutzt, daß sich eine möglichst gleichmäßige und einfache Struktur der Formlinien ergibt. Das bedeutet, je mehr Messungen pro Aufschluß vorhanden waren, umso genauer konnte ein gemeinsamer Trend für die topographische Korrektur der Fallzeichen als Gruppe je Aufschluß im Schnitt und der Fallzeichen innerhalb der Aufschlüsse zueinander abgeschätzt werden. Über die Anlage von Detailprofilen in Bereichen mit hoher Aufschlußdichte in sehr viel kleinerem Maßstab wird einerseits eine Kontrolle für die Qualität der Kernstrukturen der großen Profile, andererseits eine detaillierte Vorgabe erhalten, anhand welcher überschaubar wird, wie sich die Fehler bei der Übertragung in den größeren Maßstab im allgemeinen auswirken.

