Strukturgeologische Auswertungen von LANDSAT-Satellitenaufnahmen und digitalen Höhendaten vom Hegau

Von Barbara Theilen-Willige, Stockach

Die seit der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) im Februar 2000 verfügbaren digitalen Höhendaten sowie LANDSAT- und Satellitenradaraufnahmen vom westlichen Bodenseegebiet ermöglichen Auswertungen von Daten, die je nach Systemeigenschaften der aufzeichnenden Satelliten zu spezifischen geomorphologischen und strukturgeologischen Informationen führen. Der große Vorteil dieser Satellitendaten liegt darin, dass über weite Gebiete hinweg Daten unter gleichen Aufnahmebedingungen gewonnen wurden. Diese Tatsache trägt erheblich zu verbesserten geologischen Auswertungsmöglichkeiten der Geodaten bei. Im Rahmen dieses Beitrags soll kurz dargestellt werden, wie die Satellitendaten vom Hegau mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung aufbereitet und dann strukturgeologisch analysiert werden.

Vulkanische Bildungen sind heute im Hegau in Form von Basalt- und Tuffschloten, Quellkuppen, Tuffdecken etc. anzutreffen. Es handelt es sich um Schlotfüllungen einstiger Vulkane, meist aus Basalt, die der Verwitterung standhielten und vom durchschlagenen Sedimentgestein ummantelt werden. Sie wurden durch Verwitterung und selektive Abtragung zu Inselbergen, die die Landschaft um mehrere hundert Meter überragen.

Die kegelförmigen Vulkanberge im Hegau entstanden während einer Phase vulkanischer Aktivität im Tertiär (Miozän–Pliozän) im Zusammenhang mit der alpidischen Gebirgsbildung. Der Druck der alpinen Bewegungen führte »offensichtlich zum Aufreißen von Spalten im Vorland und zur vulkanischen Aktivität«.[1] Für das Eindringen des Magmas in die Erdkruste und das darauf folgende Durchbrechen der Gase und Magmen bis an die Erdoberfläche waren tektonische Störungszonen wegbereitend und damit bestimmend für die Lage und Anordnung der Durchbruchstellen.

Als Tiefenspalte, durch die der Magmenaufstieg erleichtert wurde, dienten im Hegau vorwiegend Nordnordwest–Südsüdost orientierte Störungen. Aufgrund der Häufigkeit von Grundgebirgsauswürflingen wird angenommen, dass der Magmenherd

1 Hofmann, Franz: Hegau-Vulkanismus und Alpenfaltung, in: HEGAU 20, 1965, S. 203–211, hier S. 210

mehr als 4 km tief gelegen haben könnte.[2] Es ist davon auszugehen, dass die aufsteigenden Magmen die darüber liegenden Schichten in ihrer Lagerung durch »Aufdomung« – mit der Folge von konzentrischen und radialen Brüchen – beeinflusst haben.

Zu den ältesten vulkanischen Gesteinen im Hegau gehört der nur wenige Zentimeter mächtige Basisbentonit, der ein Alter von ungefähr 14,6 Millionen Jahren hat.[3] Die 12 bis 14 Millionen Jahre alten Deckentuffe sind weit verbreitet und erreichen Mächtigkeiten bis 100 m. Sie können als Decken oder als Schlotfüllungen (Jungkernbühl) vorkommen. Die Deckentuffe bestehen aus feiner vulkanischer Asche, die Auswürflinge der durchschlagenen Gesteinsschichten enthalten.

Basaltschlote treten im Hegau am Wartenberg, Hohenstoffeln oder Hohenhewen auf. Ihr Alter liegt bei ca. 10 Millionen Jahren. Hornblendetuffe, die als Kraterfüllung eines Schlotes beim Hewenegg gefunden wurden, enthalten zentimetergroße Hornblendekristalle und bis 0,5 m große Auswürflinge der durchschlagenen Gesteine. Der Hornblendetuff wird erdgeschichtlich ins Ober-Miozän eingestuft.

In der letzten Phase des Hegauvulkanismus, vor 7 bis 8 Millionen Jahren stieg phonolithisches Magma auf. Die Phonolithe bildeten Quellkuppen, welche die Molasseschichten und die Deckentuffe durchbrachen, jedoch nicht bis zur Oberfläche aufstiegen.[4] Ähnlich den Basaltschloten formten die Phonolithe den widerstandsfähigen Kern zahlreicher Hegauberge. Hierzu zählen Hohentwiel, Gönnersbohl, Mägdeberg und Hohenkrähen.[5]

Die digitalen Höhendaten der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) wurden zu sogenannten morphometrischen Karten verarbeitet. Mit Hilfe der SRTM-Daten können verschiedene morphometrische Kartenprodukte generiert werden. Diese Bild- und Kartenmaterialien – wie z.B. simulierte Reliefdarstellungen, Hangneigungskarten, Karten der minimalen und maximalen Geländewölbungen oder Höhenschichtenkarten – ermöglichen eine Übersicht über die geomorphologische Situation im Hegau.

Rückschlüsse auf Strukturen im Untergrund sind z. B. über das Gewässernetz und lineare Reliefelemente möglich. Durch die Kartierung linearer Bildelemente auf LANDSAT-Bildprodukten und Satellitenradaraufnahmen sowie durch die Kartierung linearer Reliefelemente auf den morphometrischen Karten können Informationen über den geologischen Aufbau gewonnen werden.

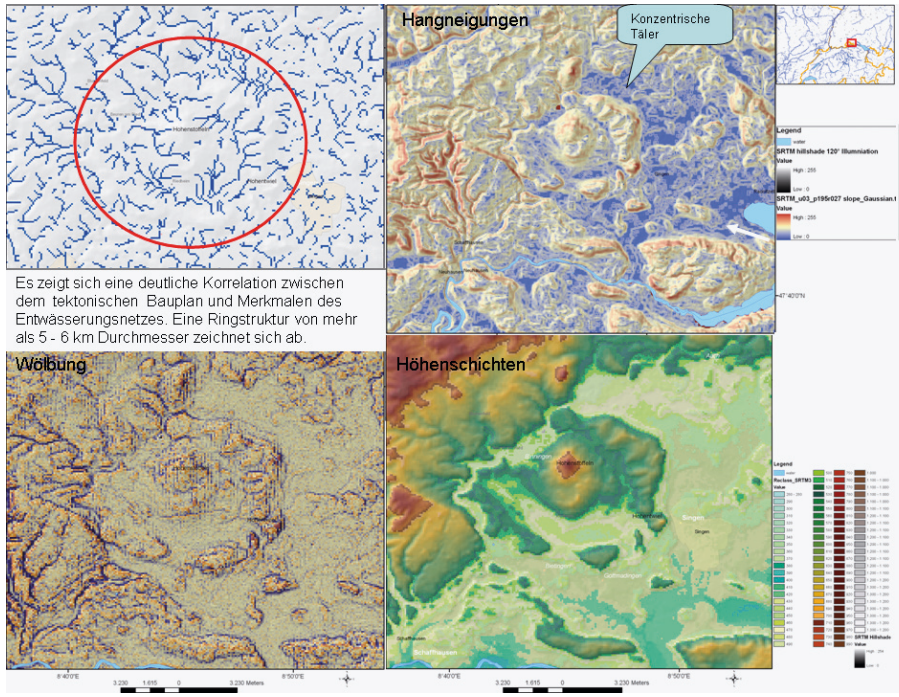
Von besonderer Bedeutung für strukturgeologische Untersuchungen ist die Analyse des Entwässerungsnetzes. Auf der Basis der SRTM-Daten lässt sich das Entwässerungsnetz berechnen und darstellen. Das Entwässerungsnetz zeichnet in der Regel Untergrundstrukturen nach. Besonders die kleineren Fluss-Segmente, die nach der

2 Schreiner, A.: Geologische Karte 1:50000, Erläuterungen zu Blatt Hegau und westlicher Bodensee. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hg.), Freiburg-Stuttgart 1992, S. 105

3 Schreiner, A.: Hegau und westlicher Bodensee. Sammlung geologischer Führer 62, Berlin/Stuttgart 1984, S. 22

4 Schreiner, a. a. O. 1992, S. 209

5 Landesamt für Umweltschutz: Geologie des Hegaus und des westlichen Bodenseegebietes, 2005, S. 51–56



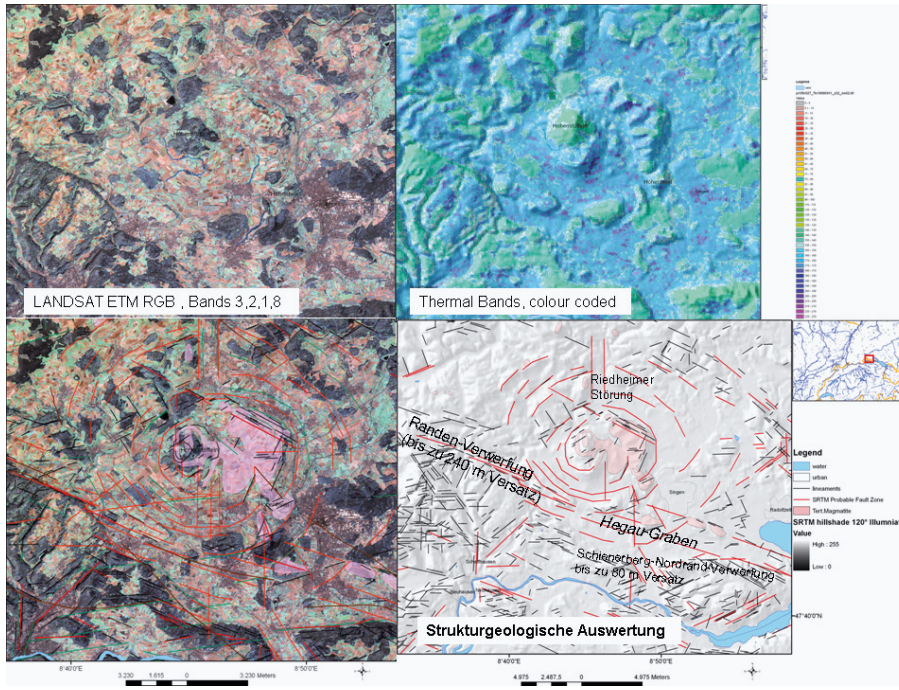
Morphometrische Karten vom Gebiet der Hegau-Vulkane (Graphik: Verfasserin)

Fließordnung von Strahler (1952) ermittelt wurden,[6] ermöglichen Rückschlüsse auf Untergrundstrukturen wie z.B. Bruch- oder Verwerfungszonen. Feinere Verästelungen des Gewässernetzes reagieren auf tektonische Strukturen und Veränderungen oft sehr deutlich sichtbar. Sie wurden daher gesondert analysiert.

Eine vergleichende Auswertung der verschiedenen, morphometrischen Karten zeigt deutlich eine Ringstruktur mit ca. fünf Kilometern Durchmesser mit dem Hohenstoffeln im Zentrum, die sich sowohl im konzentrisch angeordneten Gewässernetz, als auch in der konzentrischen Abfolge von Tälern und Höhenrücken erkennen lässt. Solche morphometrischen Karten des Hegau sind z. B. eine Hangneigungskarte, eine Gewässernetzkarte, eine Wölbungskarte und eine Höhenschichtenkarte.

Diese Ringstruktur wurde offensichtlich durch den Hebungsdruck der aufsteigenden Magmen im Tertiär gebildet. Mit der Aufdomung des Deckgebirges durch die aufsteigende Magmen kam es offenbar zur Ausbildung von ringförmigen Kluft- und Bruchzonen. Entlang dieser Kluft- und Bruchzonen erfolgte später eine selektive, im Vergleich zur Umgebung verstärkte Abtragung, die zu der Ausbildung von konzentrisch angeordneten Tälern führte.

6 Strahler A. N.: Dynamic basis of geomorphology. Geological Society of America Bulletin 63, 1952, S. 923–938



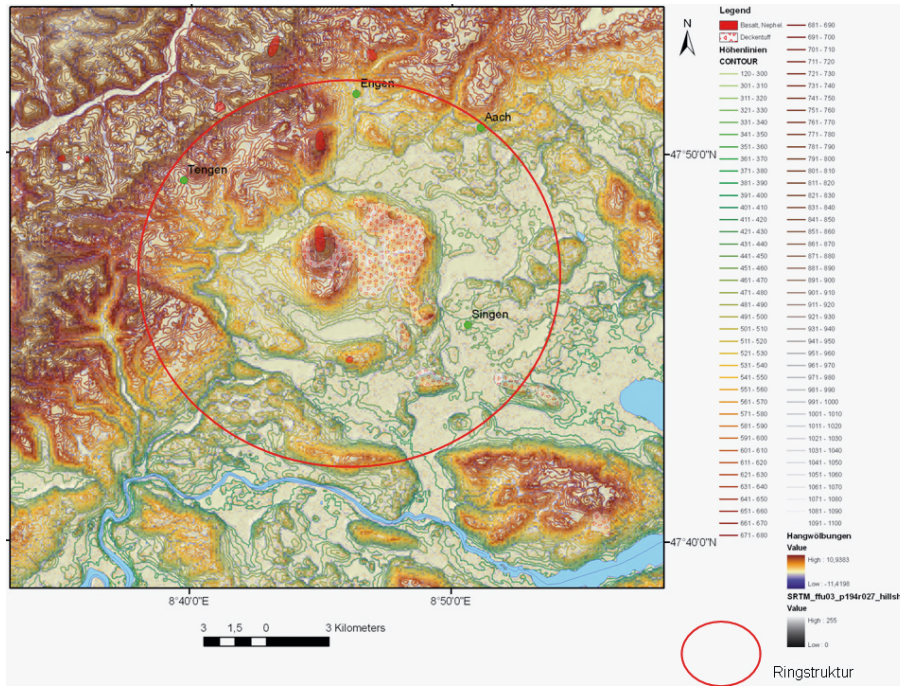
LANDSAT ETM-Auswertungen (Graphik: Verfasserin)

Südwestlich und südlich der Ringstruktur befinden sich Nordwest–Südost orientierte, tiefreichende und steil stehende Störungszonen mit Versatzbeträgen bis zu 240 m (Randen-Verwerfung). Sie sind Teil einer breiten Störungszone, der sogenannten Bonndorfer-Verwerfungszone, mit mehreren Parallelstörungen.[7] Ein Vergleich der Lineationskartierungen mit der vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau in Freiburg herausgegebenen Darstellung der bekannten tektonischen Linien zeigt teilweise eine deutliche Übereinstimmung.

Die Höhenlinienkarte des Hegau stellt die Höhenlinien in abgestuften Farben (10 m Intervall) dar. Aus den konzentrischen Verläufen der Isolinien lässt sich schließen, dass der strukturgeologische Einfluss der Magmen auf das darüber liegende Deckgebirge und damit auch auf die Oberflächenformen weitaus ausgedehnter ist als bisher angenommen.

Ein weiterer Aspekt bei diesen strukturgeologischen Untersuchungen ist die Analyse der Erdbebenverteilungen, deren Lage Hinweise auf Bruchzonen im Untergrund geben kann. Die Erdbeben-Epizentren konzentrieren sich offensichtlich in Kreuzungsbereichen von größeren, tief reichenden Verwerfungen. Im Bereich der

7 Geyer, O., Schober, Th. und Geyer, M.: Die Hochrhein-Regionen zwischen Bodensee und Basel. Sammlung geologischer Führer 94, Berlin/Stuttgart 2003, S. 196

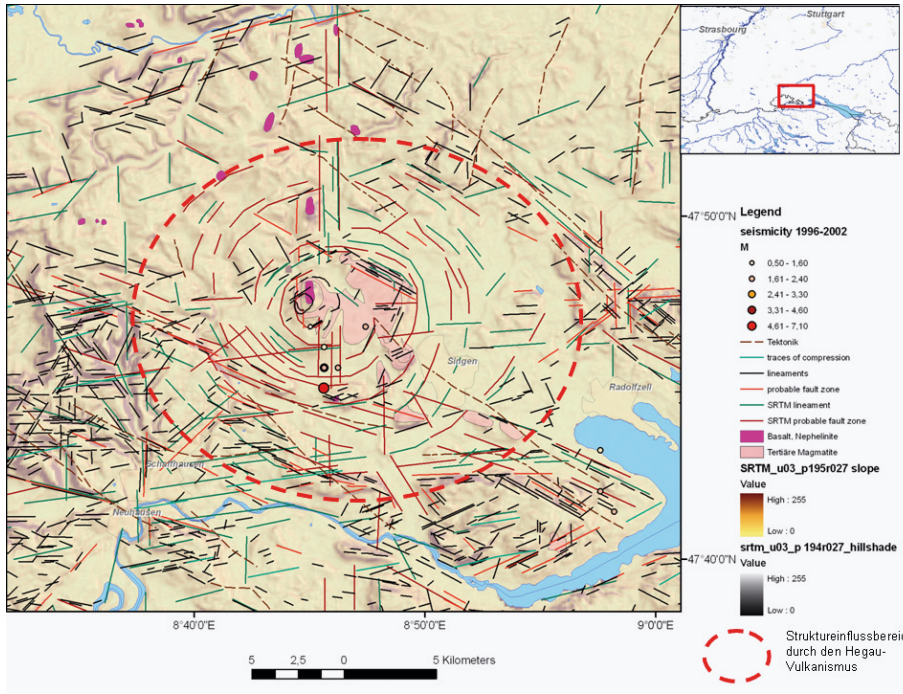


Höhenlinienkarte des Hegau-Gebietes (Graphik: Verfasserin)

Hegau-Vulkane kreuzen sich die Nord–Süd streichende Riedheimer Verwerfung und die Bodensee-Bonndorfer-Verwerfung mit dem Hegau-Graben. Hinzu kommen Ost – West orientierte Verwerfungen wie die Schienerberg-Nordrandverwerfung. Ob hier allerdings ein Zusammenhang zwischen den Verwerfungen an der Erdoberfläche und den Erdbebenherden in zum Teil über 10 km Tiefe besteht, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Nach Strehlau und Stange[8] lassen sich am Nordwestrand des Molassebeckens hinsichtlich der Tiefenverteilung zwei Erdbebenmaxima in Tiefen von bis zu 16 km und dann ab 20 km Tiefe feststellen. Im Hegau nahe Radolfzell fanden diese Autoren bisher drei Schrägabschiebungen (alle 2000), deren eine (nach Westen einfallende) mögliche Herdfläche ziemlich genau Nord-Süd streicht und deren andere (nach Nordosten einfallende) mögliche Herdfläche etwa Südost-Nordwest streicht. Ohne zusätzliche Informationen lässt sich allerdings nicht klären, welche der beiden Herdflächen die seismisch aktive ist (evtl. beide?). Ferner gibt es bei Singen zwei Herdflächenlösungen, die beide Strike-slip zeigen (Beben 1995 und 1996), wobei eine mögliche Herd-

8 Strehlau, J., und Stange, St.: Earthquakes in the Lower Crust Under the Molasse Basin – Seismological Detection of Active Metamorphism? Abstract of poster presented at the 62nd Annual Meeting of the German Geophysical Society, 2002, text updated 2004



Zusammenfassende Auswertung von LANDSAT Enhanced Thematic Mapper (ETM) Daten und morphometrischen Karten – Kartierung linearer Bildelemente und linearer, morphologischer Elemente (Graphik: Verfasserin)

fläche etwa 20° NNE streicht und die andere senkrecht dazu verläuft. Letztere Herdfläche streicht also etwa parallel zur diagonal verlaufenden Verwerfungsschar südlich der Ringstruktur. Diese Verwerfungen kämen als mögliche Herdfläche in Frage.[9]

LANDSAT-Satellitenaufnahmen und digitale Höhendaten auf der Basis der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) des westlichen Bodenseegebietes, insbesondere des Hegau, wurden mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung aufbereitet und zusammen mit anderen Geodaten in ein Geo-Informationssystem (GIS) integriert und ausgewertet.[10] Die Auswertungen der verschiedenen Bild- und Kartenprodukte liefern Hinweise auf charakteristische, morphologische Merkmale von Untergrundstrukturen. Nach Auswertungen des Datenmaterials zeigt sich, dass der Einfluss der während des Tertiärs aufgestiegenen Magmen auf die regionale, strukturgeologische Situation im Hegau weit ausgedehnter ist als bisher ersichtlich. Es zeichnet sich eine deutlich sichbare Ringstruktur von ca. fünf Kilometern Durchmesser ab.

9 Persönliche Mitteilung von J. Strehlau, 2008

10 Theilen-Willige, Barbara: GIS Integrated Geologic and Tectonic Evaluations of Remote Sensing Data from Southwest-Germany and Northwest-Switzerland.- Dreiländertagung 2007 der SGPBF, DGPF und OVG, 19.–21. Juni 2007, FHNW, Muttenz, Publ. der DGPF, Band 16, S. 517–536