

Tektonische Entwicklung

Die tektonische Entwicklung der Erdkruste im Landesgebiet von Baden-Württemberg reicht von der Variskischen Gebirgsbildung im Paläozoikum über eine Plattformentwicklung mit schwacher Krustendehnung im Mesozoikum bis zur Einengung der südwestdeutschen Kruste im Vorland der Alpenentstehung. Im Alpenvorland und im Oberrheingraben entstanden tiefe Beckenstrukturen, in denen bis mehrere tausend Meter mächtige Sedimente des Tertiärs abgelagert wurden.



Oberjura-Schichtstufe (Albtrauf) bei Hechingen – Blick vom Raichberg nach Norden

Altpaläozoikum bis Frühes Karbon



Helle Orthogneise im ehem. Steinbruch am Rauhfels westlich von Baiersbronn

Das magmatische und metamorphe Grundgebirge im Untergrund Baden-Württembergs erhielt seine strukturelle Prägung vorwiegend während der variskischen Gebirgsbildung im späten Devon und frühen Karbon. Ältere tektonische Ereignisse lassen sich nur indirekt aus der Zusammensetzung der variskisch überprägten Gesteine ermitteln. Die Mehrzahl der Paragneise im Schwarzwald und Odenwald geht auf mächtige flyschartige Grauwackenabfolgen zurück, deren Sedimentationsalter vom späten Proterozoikum bis in das Silur reichen. Altersdaten aus ehemaligen Sandkörnern dieser Grauwacken weisen auf Liefergebiete des Sandes im heutigen Nordafrika und damit darauf hin, dass die Krustenschollen, die heute mitten im Europäischen Kontinent liegen, im frühen Paläozoikum noch Teil des seither zerbrochenen Südkontinents Gondwanas waren und erst im Karbon an

Europa angeschlossen wurden. Eingelagerte bzw. eingedrungene Orthogneise (Flasergneise), Leptinite und Amphibolite belegen rhyolithisch-basaltischen Vulkanismus und Plutonismus, wobei geochemische Untersuchungen auf Subduktionsvorgänge und magmatische Inselbögen als tektonisches Umfeld hinweisen. Radioisotopische Altersdaten aus dem Kambrium und Ordovizium stellen diese Vorgänge in einen Zusammenhang mit der Cadomischen Gebirgsbildung, die von der Bretagne bis in die Lausitz große Teile Europas geprägt hat.

Im Silur und Devon hielten die Subduktionsvorgänge nördlich des heutigen Landesgebiets von Baden-Württemberg und in dessen Süden weiter an, wie Altersdaten aus magmatischen Intrusionen im Odenwald und im Südschwarzwald zeigen. Im späten Devon und frühen Karbon schlossen sich offenbar die letzten ozeanischen Gebiete zwischen den kontinentalen Krustenplatten Europas und Armoricas, dem im frühen Paläozoikum abgelösten Segment Gondwanas, das heute die europäische Kruste südlich von Rheinischem Schiefergebirge und Harz bildet. Die Kollision der Krustenplatten führte zur Auffaltung des Variskischen Gebirges, dessen Kernbereich in Süddeutschland und in den (später nochmals aufgefalteten) Alpen lag. Das kristalline Grundgebirge im Schwarzwald und im Odenwald entstand tief im Inneren dieses Gebirges und wurde danach durch die Erosion der darüber liegenden Gesteinseinheiten freigelegt. Die metamorphen und tektonischen Strukturen in den Gneisen belegen noch die Deformationen in mehr als 15 km Tiefe bei Temperaturen von mehreren hundert Grad Celsius. An tiefgründigen Scherzonen wurden jedoch noch im ausgehenden Frühen Karbon diese hochgradig metamorphen Gesteine nach oben bewegt und gelangten in unmittelbaren Kontakt zu sehr gering bis nicht metamorphen Sedimenten und Vulkaniten aus viel höheren Krustenbereichen (Badenweiler–Lenzkirch-Zone, Nordbadisch-Fränkisches Schiefergebirge). Im selben Zeitraum, vor etwa 330 Mio. Jahren, drangen saure Gesteinsschmelzen in die Abfolge ein, deren heute erstarrte Magmakammern sowohl im Schwarzwald als auch im Odenwald ausgedehnte Granitplutone darstellen. Nur die ältesten dieser Granite haben noch eine schwache Deformation und Einregelung erfahren, die Mehrzahl zeigt lediglich Abkühlungsklüfte und viel später angelegte Bruchzonen als tektonische Merkmale.

Spätes Karbon bis Mittleres Perm

Im Späten Karbon und bis in das mittlere Perm hinein geriet das zuvor entstandene Variskische Gebirge unter Zugspannung und zerfiel in einzelne langgestreckte Berg Rücken und dazwischen liegende Becken, die den Abtragungsschutt der benachbarten Berge aufnahmen. Die Sedimentbecken sind besonders im Schwarzwald und am Südrand des Odenwaldes aufgeschlossen, liegen jedoch überwiegend unter jüngeren Ablagerungen verborgen. Die Ablagerungen des Oberkarbon sind dabei meist stärker gestört und verkippt als jene des Rotliegend, was auf anhaltende Bruchtektonik während der Sedimentation schließen lässt. Die Ränder dieser Sedimentbecken fallen teilweise mit steil stehenden Abschiebungen zusammen, vor denen hunderte von Metern Sedimente liegen können, während auf der angrenzenden Hochscholle allenfalls wenige Meter Schutt in erosiv eingeschnittenen Rinnenformen erhalten sind.



Aufschluss an Strasse Gernsbach-Oberbeuren südwestlich von Gernsbach

Die ersten Ablagerungen zwischen Diersburg und Berghaupten am Rande des Schwarzwalds stammen aus dem Übergangsbereich Namur/Westfal (Bashkirium, ca. 320 Mio. Jahre) und wurden durch einen letzten tektonischen Einengungs-Impuls vom angrenzenden Grundgebirge überschoben und teilweise verfaultet. Nachdem im Stefan (Kazimovium-Gzhelium, ca. 305 Mio. Jahre) die Sedimentation wieder eingesetzt hat, waren die tektonischen Bewegungen jedoch nur noch von Dehnung und von Abschiebungen und Seitenverschiebungen geprägt. Die Störungen aus dieser Zeit sind heute vielfach noch durch Mächtigkeitsunterschiede der permokarbonen Ablagerungen auf beiden Seiten erkennbar, aber häufig durch spätere Störungen in Segmente zerlegt und nochmals bewegt worden.

Spätes Perm bis Jura



Mittleres Albvorland bei Walddorfhäslach

Im späten Perm waren die Berg Rücken aus Grundgebirge weitgehend abgetragen und die Sedimentbecken des Rotliegend so weit aufgefüllt, dass zumindest im Zentralschwarzwald und nördlich davon nur noch geringe Höhenunterschiede bestanden. Mit dem Zechstein beginnt daher die Sedimentation jener Abfolge, die heute als Deckgebirge die vormaligen Schwellen und Becken gleichermaßen eindeckt und bis in den Jura das gesamte Landesgebiet zu einem Ablagerungsraum macht. Neben einer allgemeinen Absenkung der Kruste, die die Region in der mittleren Trias (Muschelkalk-Zeit) und über den gesamten Jura hinweg unter den Meeresspiegel bringt, kam es in diesem Zeitraum auch zu regionalen tektonischen Bewegungen an Störungen im Grundgebirge. Im Schwarzwald und Odenwald sind solche

Bewegungen direkt durch radioisotopische Datierungen an hydrothermalen Mineralneubildungen belegt, die sich auf Bruchflächen des Grundgebirges abgeschieden haben und teilweise nachträglich nochmals zerbrochen wurden.

Aber auch im Deckgebirge selbst zeigen großräumige Unterschiede in der Mächtigkeitsentwicklung, dass sich der Untergrund während der Sedimentation der Ablagerungen von Zechstein, Trias und Jura mit regional unterschiedlicher Geschwindigkeit absenkte und dass diese Bewegungen auch zu verschiedenen Zeiten, d. h. während der Ablagerung verschiedener Schichten, nicht gleichmäßig erfolgten. Mächtigkeitskarten zeigen für einen Großteil dieses Zeitraumes im Südschwarzwald, Alpenvorland und im Odenwald eine langsamere Absenkung als beispielsweise im Neckarraum oder im Kraichgau und in Hohenlohe. Die Beträge der Bewegungen waren jedoch offenbar nicht mehr so groß wie noch im frühen Perm und führten in der Regel nicht dazu, dass sich Störungen bis an die damalige Erdoberfläche durch die noch weichen Sedimente hindurch fortsetzen konnten. Dennoch verlaufen Mächtigkeitsunterschiede in den mesozoischen Schichten häufig entlang von später ebenfalls aktiven Störungszonen, was auf eine Reaktivierung der schon mesozoisch (und ggf. schon zuvor) aktiven Störungszonen im Grundgebirge schließen lässt.

Kreide bis Paleozän

Vom ausgehenden Jura (ca. 145 Mio. Jahre) über die Kreidezeit hinweg bis in das Paleozän (66 bis 56 Mio. Jahre) sind in Baden-Württemberg keine Sedimente erhalten. Die tektonische Entwicklung in dieser Zeit, in der unmittelbar südlich des Landesgebiets die Alpen ihre Entwicklung begannen, lässt sich daher nur aus wenigen Altersdaten an Störungsmineralisationen und einzelnen Vulkaniten in groben Zügen ableiten. Die Erdkruste wurde im Landesgebiet in jener Zeit offenbar bis über den in der Kreide hoch stehenden Meeresspiegel angehoben und unterlag der Abtragung. Ob den Flachmeer-Ablagerungen aus der späten Kreidezeit, die im Osten Bayerns erhalten sind, auch im Gebiet des heutigen Baden-Württemberg zeitweise kreidezeitliche Sedimente gegenüberstanden, ist mehrfach Gegenstand von Spekulationen gewesen. Belege dafür gibt es bislang nicht. Sicher ist derzeit nur, dass es an einzelnen Störungen im Schwarzwald und Odenwald Bewegungen gab und dass sowohl im Südschwarzwald als auch im südlichen Odenwald vereinzelt Magmen aus dem Erdmantel an Störungszonen aufdrangen und phreatomagmatische Eruptionsschlote hervorriefen. Die in den Tuffbrekzien eingeschlossenen Gesteinsfragmente zeigen, dass in der späten Kreide und im frühesten Tertiär sowohl der Schwarzwald als auch der Odenwald noch von Trias- und Juragesteinen bedeckt waren.



Über die Neckartalschlingen zwischen Mosbach und Neckargerach hinweg geht der Blick zum Buntsandstein-Odenwald, der im Hintergrund links vom Vulkanberg Katzenbuckel überragt wird.

Die Vulkanite aus diesem Zeitraum finden sich meist an kleineren Störungen, deren Verlauf sich teilweise wegen zu geringem Höhenversatz heute nicht einmal kartieren lässt. Sie liegen jedoch im Bereich zweier großräumiger Störungszonen, die auch danach noch eine Rolle bei der Entwicklung des Oberrheingrabens gespielt haben: im Norden die Ubstadt–Walldürn-Störungszone (Vulkanite im Kraichgau und Odenwald), die bei Langenbrücken in den Oberrheingraben einmündet, und im Süden die Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Störungszone, an deren Kreuzungspunkt mit einer der östlichen Randstörungen des Oberrheingrabens im Miozän der Kaiserstuhl-Vulkan ausbrach. In ihrer Verlängerung treffen diese beiden Störungszonen in den Südvogesen aufeinander, wo ebenfalls einzelne kreidezeitliche Vulkanite erhalten sind.

Eozän bis Miozän



Aufschiebung im Keuper von Tübingen

Vom Eozän an gelangt der südwestdeutsche Raum tektonisch unter den Einfluss zweier Gebirgsbildungen, in denen der Südrand Europas durch die Kollision von Krustenplatten eingeeignet und die Erdkruste selbst hunderte von Kilometern weiter nördlich noch unter Spannung gesetzt wurde. Im mittleren Eozän beherrscht dabei zuerst die Auffaltung der Pyrenäen das Spannungsfeld in Südwestdeutschland. Die Einengung aus Südwesten führte zu einer ONO–WSW-gerichteten Dehnung der Kruste und der ersten Anlage des südlichen bis mittleren Oberrheingrabens als SSW–NNO-streichende Verkettung von Abschiebungen. Dabei wurden vielfach ältere Bruchflächen als Teil der Grabenrandbrüche reaktiviert, soweit sie eine zum neuen Spannungsfeld passende Orientierung hatten, und zu einem neuen, größeren Bruchsystem verbunden. Beherrschendes tektonisches

Element war jedoch zunächst ein System aus oft bogig streichenden Abschiebungen und Bruchschollen-Staffeln, auf denen besonders im Gebiet der Freiburger Bucht und am Vogesenrand noch eozäne Sedimente erhalten sind.

Im ausgehenden Eozän und Oligozän macht sich erstmals die Auffaltung der Alpen im Südosten in der Region mit einer nunmehr SO–NO-gerichteten Einengung bemerkbar, die schräg auf die zuvor angelegten Grabenbrüche trifft. Die Dehnung des SSW–NNO-orientierten Oberrheingrabens dauerte dadurch zwar einerseits an, doch kam es nun zusätzlich zu linksseitigen horizontalen Scherbewegungen. Es bildete sich nun ein System aus langgestreckten Scherzonen aus, entlang deren oft über viele Kilometer geraden Verlauf sich sinistrale Scherbewegungen mit grabenwärts gerichteten Abschiebungen verbanden. Die bedeutendste dieser Scherzonen ist heute unter mächtigen tertiären und quartären Sedimenten verdeckt, ließ sich aber durch die Auswertung reflexionsseismischer Profile von Illfurth (Frankreich) im Süden bis nach Bruchsal im Norden verfolgen. Nördlich von Bruchsal beginnt der Wechsel in der Streichrichtung des

Oberrrheingrabens, dessen nördlicher Abschnitt ab etwa Heidelberg längs zur alpidischen Einengung NNW–SSO-orientiert ist. Nördlich einer Querstörung, die im Untergrund der Oberrheinebene etwa von Walldorf bis nahe Grünstadt in den seismischen Profilen verfolgt werden kann, ändert sich auch der tektonische Stil des Grabens von langgestreckten Schergräben in bogige, listrisch geformte Abschiebungen.

Ebenfalls vom späten Eozän an beginnt sich im Südosten des Landesgebiets die Kruste weiträumig zum Molassebecken abzusenken. Die Absenkung beginnt im Süden, nahe am Alpenrand, und greift bis ins Miozän zunehmend nach Norden aus. Die ältesten Sedimente des Molassebeckens finden sich daher in dessen südlichem bzw. südöstlichem Abschnitt und sind teilweise von den Alpenen Decken überfahren. Im Landesgebiet beginnt die Beckenentwicklung im frühen Oligozän im südlichen Bodenseegebiet und Allgäu und erreicht im frühen Miozän den heutigen Südrand der Schwäbischen Alb. Die flexurartige Verbiegung der Kruste führte dabei zu Dehnung im höheren Krustenstockwerk und zu langgestreckten Abschiebungssystemen, deren vorherrschendes SW–NO-Streichen in flachem Winkel zum Alpenrand verläuft. Die Störungsflächen fallen dabei häufig nach Norden bis Nordwesten ein und erreichen selten die Erdoberfläche. Sie sind überwiegend aus reflexionsseismischen Profilen bekannt. Eine Blattverschiebungskomponente entlang dieser Störungen ist aufgrund ihrer Lage und Geometrie wahrscheinlich, mangels direkter Beobachtungsmöglichkeiten aber bislang nicht sicher nachzuweisen.

Die Beanspruchung der südwestdeutschen Kruste, die sich in der fortgesetzten Einsenkung von Oberrheingraben und Molassebecken sichtbar und durch Sedimente datierbar ausdrückt, hat auch im übrigen Landesgebiet zu Bewegungen entlang von Störungen geführt. Im Einzelnen sind diese jedoch in der Regel nicht genauer datierbar, da sich im Deckgebirge des Schichtstufenlandes gewöhnlich keine datierbaren Mineralisationen auf den Störungsflächen abgeschieden haben und zwischen Oberjura und Quartär keine Sedimente vorliegen, die eine Datierung der Störungen erlauben. Die Mehrzahl der WSW–ONO- und NW–SO-streichenden Störungen, die im Spannungsfeld vor den Alpen der Scherflächen-Orientierung für dextrale bzw. für sinistrale Blattverschiebungen entsprechen, dürfte jedoch auf die Einspannung aus Südosten reagiert haben. Die relativen Bewegungen des in zahllose tektonische Bruchschollen zerlegten Deckgebirges führte vielerorts zu Dehnungsstrukturen und abschiebenden Bewegungen entlang der Störungen, örtlich aber auch zu Einengungen und Aufschiebungen oder lokalen Stauchfalten. Da in einigen größeren Scherzonen Bewegungsindikatoren für Bewegungen in verschiedene Richtungen zu unterschiedlichen Zeiten selbst im Deckgebirge festgestellt wurden, ist mit einer Reaktivierung von eventuell bereits in der Kreidezeit aktiven Störungen zu rechnen. Aus dem Grundgebirge des Schwarzwalds und des Odenwalds liegen einzelne direkte Datierungen von Mineralisationen auf Bruchzonen vor, die neben mesozoischen auch tertiäre Bewegungen belegen, die mit der Entstehung und Entwicklung des benachbarten Oberrheingrabens in Zusammenhang stehen dürften. In diesem Zusammenhang dürfte auch die Entwicklung der zahlreichen etwa N–S-streichenden Ruschelzonen im Schwarzwald stehen, die im Tertiär zumindest reaktiviert wurden, wenn sie nicht überhaupt erst aus der Zusammenführung kleinerer Bruchsysteme zu größeren Störungen verbunden wurden.

Im Miozän kommt es in drei Gebieten zu vulkanischer Aktivität: im Hegau, im Kaiserstuhl und im Raum Urach–Kirchheim. Alle drei Gebiete liegen im Vergitterungsbereich großräumiger Störungszonen. Der Hegau-Vulkanismus ist an die etwa 20 km breite Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Störungzone gebunden und dort lokalisiert, wo diese auf die heute wieder seismisch aktive Albstadt-Scherzone trifft, die sich bereits im Mesozoikum als Schwellenregion in den Mächtigkeiten abzeichnet (Spaichinger Schwelle). Im Vergitterungsbereich der Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Störungzone mit den Randstörungen des Oberrheingrabens liegt der Kaiserstuhl und bildet das nach dem Volumen größtévulkanische Förderzentrum des Landesgebiets. Im Vergitterungsbereich der Albstadt-Scherzone mit dem Schwäbischen Lineament liegt das Urach–Kirchheimer Vulkangebiet mit mehr als 300 Ausbruchsstellen. Die Mehrzahl der Schloten entstand einige Kilometer südöstlich der Vergitterung im Bereich der Uracher Mulde.

Neben den endogenen tektonischen Strukturen finden sich in Baden-Württemberg auch zwei etwa kreisförmige Strukturen, deren Ursache nicht aus dem Erdinneren kam. Das Steinheimer Becken und das teilweise ebenfalls in Baden-Württemberg liegende Nördlinger Ries entstanden im Miozän durch den Einschlag zweier (oder eines in zwei Teile zerbrochenen) Asteroiden auf die Schwäbische Alb. Wegen der hohen Geschwindigkeit der interplanetaren Körper sind diese und ein Teil der Erdoberfläche beim Einschlag explosionsartig verdampft und verursachten einen anfänglich mehrere hundert Meter, im Fall des Rieses über einen Kilometer tiefen Einschlagskrater, der jedoch innerhalb von Sekunden wieder zu einer flacheren Struktur zusammenstürzte. Das ausgeworfene Material findet sich bunt durchmischt und teilweise aufgeschmolzen um die Kraterränder verteilt und teilweise in den Krater zurückgestürzt, einzelne Brocken und Blöcke auch in größerer Entfernung in Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse des Alpenvorlands. Die stratigraphische Position dieser Auswurfmassen und radioisotopische Datierungen an Schmelzglasern haben ergeben, dass der Ries-Einschlag vor 14,8 Mio. Jahren im mittleren Miozän erfolgt ist. Auch die Sedimente der Kraterseen, die sich im Ries und im Steinheimer Becken bildeten, enthalten eine mittelmiozäne Fauna und bestätigen damit diese Datierung.

Pliozän und Quartär

Die sedimentäre Überlieferung bricht im Landesgebiet im mittleren Miozän im Oberrheingraben und in den Einschlagskratern und im späten Miozän in den jüngsten Teilen der Molasse erneut ab. Für das ausgehende Miozän wird deshalb eine weitgespannte Hebung der süddeutschen Erdkruste angenommen, die mit Erosion auch in den vormaligen Ablagerungsräumen verbunden war. Als im Pliozän erneut Sedimente im Oberrheingraben erhalten blieben, lagerten sie sich flach diskordant auf den älteren tertiären Sedimenten ab. Mächtige pliozäne und quartäre Lockergesteine besonders im nördlichen Teil des Oberrheingrabens, bei Heidelberg bis über 500 m, belegen jedoch fortgesetzte tektonische Bewegungen entlang der Störungssysteme.

Auch im Schichtstufenland finden sich örtlich auf den Höhenzügen bzw. Hochflächen Restformen alter flacher Talzüge und Relikte von Flussablagerungen (tertiäre und frühquartäre Höhengotter), deren Verbindungslinien im einstigen Talweg heute abschnittsweise aufsteigen, da sich die Höhenlage einiger Vorkommen nachträglich, d. h. im Quartär, durch tektonische Hebungen oder Senkungen verändert hat. In seltenen Fällen konnten in Aufschlüssen auch Störungen dokumentiert werden, die unmittelbar pleistozäne Sedimente versetzt haben.

Am wenigsten ist über tektonische Bewegungen seit dem Pliozän aus dem Alpenvorland bekannt, da hier durch die Erosion während der großen Vergletscherungen im Mittel- und Spätpleistozän die ältesten Ablagerungen bis auf kleine Restvorkommen beseitigt wurden und die glazial geprägten Sedimente mit starken primären Höhenunterschieden abgelagert wurden. Daher ist meist unsicher ob Auffälligkeiten in der Höhenlage einzelner Decken- oder Terrassenschotter auf nachträgliche Hebungen oder Senkungen oder auf nur lückenhaft bekannte alte Terrassenniveaus zurückzuführen sind.



Blick vom Trauf der Mittleren Alb nach Norden über die auf dem Ausliegerberg Zoller gelegene Burg Hohenzollern; Albvorland und Keuperbergland im Hintergrund

Quell-URL (zuletzt geändert am 16.07.19 - 09:55): <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/geologie/tektonik-schichtlagerung/tektonische-entwicklung>