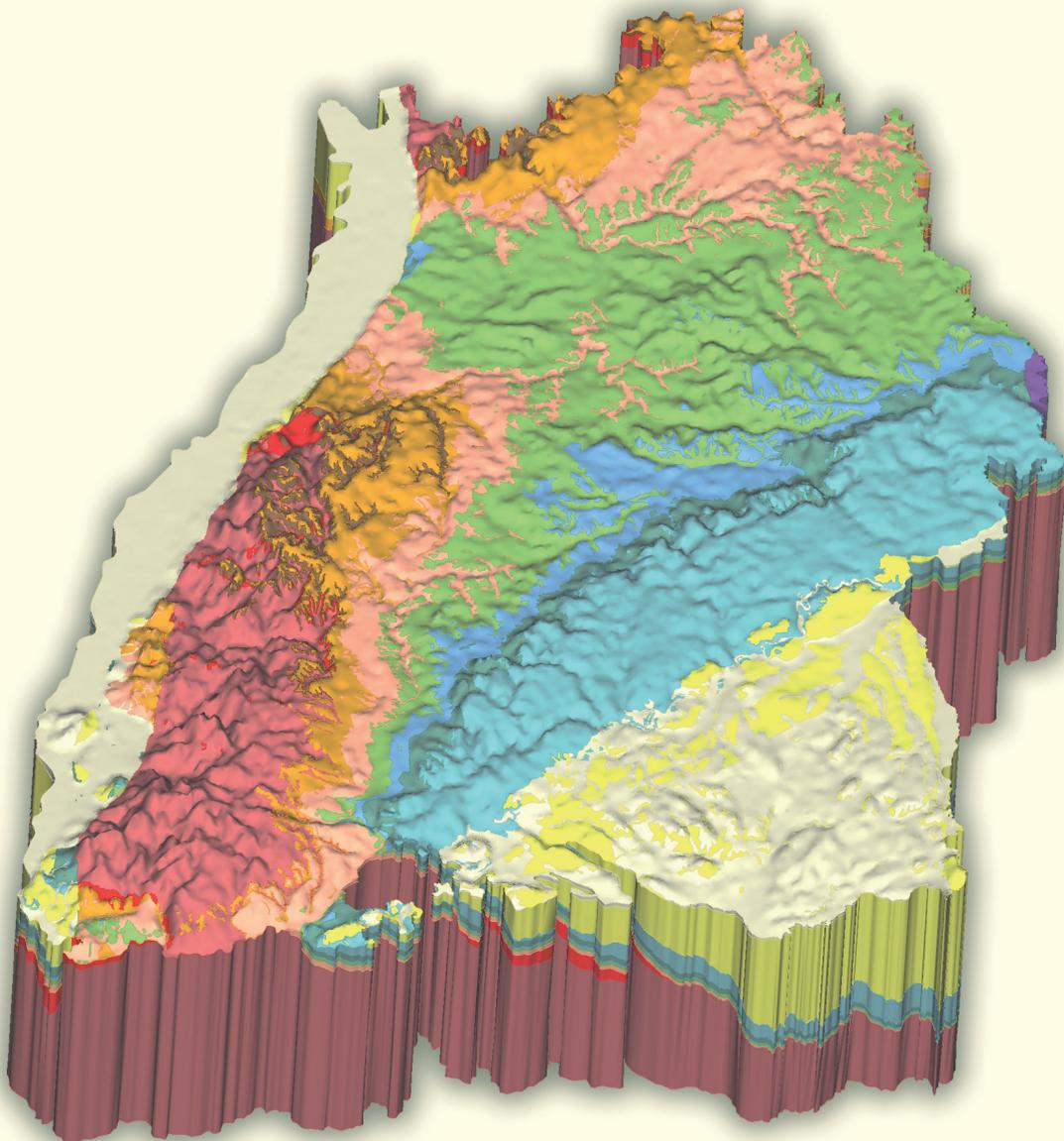


**Das Geologische Landesmodell
von Baden-Württemberg:
Datengrundlagen, technische Umsetzung
und erste geologische Ergebnisse**



Baden-Württemberg

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau

Titelbild Blick auf das 3D-Modell des geologischen Untergrundes von Baden-Württemberg aus südlicher Richtung

Rückseite Blick aus südwestlicher Richtung auf den Modellblock in der Modellierungssoftware GOCAD



Das Geologische Landesmodell von Baden-Württemberg: Datengrundlagen, technische Umsetzung und erste geologische Ergebnisse

ISABEL RUPF & EDGAR NITSCH

LGRB-Informationen	21	82 S.	36 Abb.	3 Tab. im Anh.	–	10 Beil.	Freiburg i. Br. Januar 2008
--------------------	----	-------	---------	-------------------	---	----------	--------------------------------



ISSN 1619-5329

LGRB-Informationen

Herausgeber:

REGIERUNGSPRÄSIDIUM FREIBURG - Abteilung 9
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
Albertstraße 5, 79104 Freiburg i. Br.
Telefon: (0761) 208-3000
Fax: (0761) 208-3029
E-Mail: abteilung9@rpf.bwl.de
Internet: <http://www.rp-freiburg.de>
<http://www.lgrb.uni-freiburg.de>

Bearbeiter:

ISABEL RUPF, Dr. EDGAR NITSCH

Grafik:

GABRIELE FISCHER, ULRIKE LEHRER, BETTINA SCHMÜCKING, JOACHIM SCHUFF

Redaktion:

Prof. Dr. THEO SIMON, Dr. RAINER SCHWEIZER, BETTINA SCHMÜCKING

Satz:

KATHARINA GROSS

Druck:

Poppen & Ortmann KG, Unterwerkstraße 5, 79115 Freiburg i. Br.

Bearbeitungsstand:

August 2007

Ausgabe:

Januar 2008



Vorwort

Der Bau des geologischen Untergrunds hat vielfältige Einflüsse auf unser Leben: Die Qualität der Böden, die Beschaffenheit des Grundwassers, die Nutzbarkeit der Erdwärme, die Standsicherheit von Baugrund, das Vorkommen von Rohstoffen und die Möglichkeiten ihrer bergmännischen Gewinnung sind davon abhängig. Naturrisiken wie Erdbeben oder Rutschungen sind ohne eine zuverlässige Kenntnis des geologischen Baus nicht sicher einzuschätzen. Die geologische Erforschung des Untergrunds und die Darstellung der Ergebnisse ist deshalb eine der Kernaufgaben des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau.

Das Amt kann bei der Wahrnehmung dieser Aufgabe auf eine mehr als 100-jährige Tradition zurückblicken. Geologische Karten und Profilschnitte spielten dabei von Beginn an eine zentrale Rolle für die Dokumentation und Visualisierung des geologischen Baus. Technische Beschränkungen ergaben sich jedoch stets durch die für den Kartendruck nötige Aufteilung der Landesfläche in einzelne Blattschnitte. Deshalb mussten Übersichtsdarstellungen, Detailkarten und thematische Sonderkarten bisher in getrennten Produkten erstellt und vorgehalten werden. Die Fortschritte der Informationstechnologie ermöglichen in zunehmendem Maße die Verknüpfung von räumlichen und inhaltlichen Informationen und die gemeinsame Verarbeitung immer größerer Datenmengen.

Im vorliegenden Heft wird mit dem Landesmodell für Baden-Württemberg erstmals ein digitales geologisches Raummodell für die Gesamtfläche eines Bundeslandes vorgestellt. Es ist in seiner ersten Fassung als Übersichtsmodell angelegt und entspricht in seiner Auflösung einem Ausgabemaßstab von 1:500 000. Durch die Integration bislang noch getrennt vorgehaltener Kartenthemen, wie der Raumlage wichtiger geologischer Grenzflächen, stellt es bereits jetzt einen neuen maßgeblichen Baustein in der Qualitätssicherung staatlicher geowissenschaftlicher Beratung, Überwachung und Produktentwicklung dar. Mit der Fortschreibung des Modells sowohl in seiner räumlichen Auflösung als auch im Umfang der eingebundenen Hintergrundinformationen investiert das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau in eine Zukunftstechnologie, deren weiterer Ausbau eine zunehmend effizientere Bearbeitung des geologischen Kenntnisstands ermöglicht.

Prof. Dr. Watzel
Abteilungsleiter



Inhalt

Vorwort von Prof. Dr. Watzel	3
Abkürzungsverzeichnis	6
Zusammenfassung	7
Summary	7
Résumé	8
1 Einführung	9
1.1 Zielstellung der Modellierung	9
1.2 Geologische Einführung	11
1.3 Datengrundlage	14
1.4 Probleme bei der Modellierung mit Eingangsdaten unterschiedlicher Herkunft	14
1.5 Software und Hardware	15
2 Methodik	17
2.1 Arbeitsschritte der Modellierung	17
2.2 Modellierung topographischer und geologischer Grundbausteine	17
2.2.1 Geländeoberfläche	17
2.2.2 Ausstrichbereiche	17
2.2.3 Verbreitungsflächen	18
2.2.4 Auswertung von Bohrungen	18
2.3 Modellierung des geologischen Inventars	20
2.3.1 Störungen	20
2.3.2 Mächtigkeitsverteilungen	21
2.3.3 Raumlage lithostratigraphischer Einheiten	23
2.3.4 Junge Vulkanite	26
2.3.5 Impaktstrukturen	27
2.4 Erstellen des Gesamtmodells	28
2.5 Ableitung von Produkten aus dem 3D-Modell	28
3 Geologische Ergebnisse und Diskussion	31
3.1 Mächtigkeitskarten für Permokarbon und Deckgebirge in Baden-Württemberg	31
3.1.1 Primärmächtigkeiten von Oberkarbon und Rotliegend	31
3.1.2 Primärmächtigkeiten Zechstein	37
3.1.3 Primärmächtigkeiten Buntsandstein	40
3.1.4 Primärmächtigkeiten Muschelkalk	42
3.1.5 Primärmächtigkeiten Keuper	44



3.1.6	Primärmächtigkeiten Unterjura	44
3.1.7	Primärmächtigkeiten Mitteljura	47
3.1.8	Restmächtigkeiten Mitteljura im Oberrheingraben	49
3.1.9	Restmächtigkeiten Oberjura	49
3.1.10	Mächtigkeiten Känozoikum	53
3.1.11	Paläotektonische Entwicklung – Diskussion	56
3.2	Schichtlagerung und Karte der Grundgebirgsoberfläche	58
3.2.1	Oberrheingraben	58
3.2.2	Südschwarzwald – Dinkelberg – Hegau	59
3.2.3	Oberschwäbisches Molassebecken	59
3.2.4	Südliches Schichtstufenland	61
3.2.5	Nördliches Schichtstufenland	61
3.2.6	Odenwald	62
3.3	Profilschnitte durch Baden-Württemberg	64
3.3.1	Profilschnitt 1: Odenwald – Bodensee	64
3.3.2	Profilschnitt 2: Kraichgau – Ries	64
3.3.3	Profilschnitt 3: Hornisgrinde – Illermündung	64
3.3.4	Profilschnitt 4: Kaiserstuhl – Hegau	64
Literatur	69

Anhang:

Anhang 1:	Modellierte tektonische Elemente	76
Anhang 2:	Eingangsdaten für die Mächtigkeitsverteilungen	80
Anhang 3:	Eingangsdaten für die Raumlage geologischer Einheiten	81

Beilagen (siehe hintere Umschlagseite):

- Beilage 1: Schichtlagerung Grundgebirgsoberfläche
- Beilage 2: Schichtlagerung Basis Oberkarbon und Rotliegend
- Beilage 3: Schichtlagerung Basis Zechstein
- Beilage 4: Schichtlagerung Basis Buntsandstein
- Beilage 5: Schichtlagerung Basis Muschelkalk
- Beilage 6: Schichtlagerung Basis Keuper
- Beilage 7: Schichtlagerung Basis Unterjura
- Beilage 8: Schichtlagerung Basis Mitteljura
- Beilage 9: Schichtlagerung Basis Oberjura
- Beilage 10: Schichtlagerung Basis Tertiär

Abkürzungsverzeichnis

AnimGif	A nimiertes GIF -Format (s.d.); Grafikformat für die Speicherung animierter Bilddateien
ASCII	A merican S tandard C ode of I nformation I nterchange; standardisierte Zeichencodierung für den digitalen Informationsaustausch
BGLA	B ayerisches G eologisches L andesamt; seit 01.08.2005 Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU
BLZ	B adenweiler – L enzkirch- Z one
DHM	D igitales H öhenmodell
DLM	D igitales L andschaftsmodell
DSI	D iscrete S mooth I nterpolation; Interpolations-Algorithmus der 3D-Modellierungssoftware GOCAD
dxf	D rawing E xchange F ormat; von der Firma Autodesk entwickeltes Austauschformat für Vektordaten
ECRIS	E uropean C enozoic R ift S ystem
GIF	G raphics I nterchange F ormat; digitales Grafikformat, vorrangig für den Datenaustausch im Internet und per E-Mail entworfen
GIS	G eographisches I nformationssystem
GK 25	G eologische K arte von Baden-Württemberg im Maßstab 1 : 25 000
GLA	G eologisches L andesamt Baden-Württemberg (seit 01.07.1998 LGRB)
GOCAD	G eological O bject C omputer A ided D esign; 3D-Modellierungsprogramm für geologische Daten
GÜK 500	G eologische Ü bersichtskarte von Baden-Württemberg 1 : 500 000
IS	I nformationssystem
LA	L andesamt
LBEG	L andesamt für B ergbau, E nergie und G eologie Niedersachsen (früher Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung NLfB)
LGRB	L andesamt für G eologie, R ohstoffe und B ergbau Baden-Württemberg; seit 01.01.2005: Abt. 9 des Regierungspräsidiums Freiburg
ORG	O berrheingraben
PHP	ursprünglich p ersonal h ome p age t ool; jetzt hypertext preprocessor; Scriptsprache für Web-Anwendungen
shp	S hapefile; Geodatenformat der Firma ESRI für den Austausch von 2D-Geometrien
SLK	S chichtlagerungskarte
tif	T agged I mage F ile F ormat, auch „TIFF“; Dateiformat für die Speicherung von Bilddaten
TIN	T riangulated I rregular N etwork; Flächen, die sich aus einem unregelmäßig vermaschten Dreiecksnetz aufbauen
txt	T extdateiformat, in der Regel im ASCII-Code
VRML	V irtual R eality M odeling L anguage; Beschreibungssprache für 3D-Geometrien und Animationen



Das Geologische Landesmodell von Baden-Württemberg: Datengrundlagen, technische Umsetzung und erste geologische Ergebnisse

ISABEL RUPF & EDGAR NITSCH

Zusammenfassung

Am Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Abt. 9 im RP Freiburg) wurde seit 2005 ein digitales, geometrisches Übersichtsmodell des geologischen Untergrundes von Baden-Württemberg erstellt. Es umfasst neben den lithostratigraphischen Haupteinheiten überregionale Bruchstrukturen, junge vulkanische Bildungen und Impaktkrater. Zweck der Modellierung ist, neben einer verständlichen Darstellung der komplexen Verhältnisse im Untergrund, eine Konsistenzprüfung des hausinternen Karten- und des Bohrdatenarchivs sowie die Ableitung eines landesweit konsistenten Mächtigkeits- und Schichtlagerungsdatensatzes für die geologischen Haupteinheiten. Die Modelldaten werden zudem für weiterführende Fragestellungen, wie das „Informationssystem Oberflächennahe Geothermie“ genutzt. Das Modell ist auf einen Zielmaßstab von 1 : 500 000 ausgelegt, wobei die Auflösung aufgrund unterschiedlicher Informationsdichte regional abweicht.

Das Modell wurde mit der Software GOCAD erstellt. Die einzelnen Objekte des Projekts liegen in Form triangulierter Flächen (TINs) vor. Als Basisdaten flossen Schichtlagerungs- und Mächtigkeitskarten sowie vereinzelt Profile in die Modellierung ein. Um die Qualität der stark heterogenen Eingangsdaten zu validieren und bei Bedarf zu verbessern, wurde der Bohrbefund aus der hausinternen Aufschlussdatenbank herangezogen.

In einem ersten Schritt wurde die Raumlage der Basisflächen von Tertiär und Keuper rekonstruiert. Danach konnten für alle anderen geologischen Einheiten mit Hilfe von Literaturangaben und Bohrungen Mächtigkeitsverteilungen modelliert und deren Raumlage mittels Addition oder Subtraktion von Keuper- bzw. Tertiärbasis ermittelt werden. Zudem wurden überregionale bruchtektonische Elemente sowie Störungen mit größeren vertikalen Versatzbeiträgen in das Modell integriert. Im Oberrheingraben konnte jedoch aufgrund der starken tektonischen Zerrüttung nur ein schematisches Störungsmuster konstruiert werden. Auf eine Untergliederung der variskisch deformierten Grundgebirgsanteile wurde

wegen fehlender Daten weitgehend verzichtet. Auf dieser Basis wurden konsistente Karten und Profilschnitte aus der 3D-Darstellung erzeugt.

Das Modell liefert neue und detailliertere Einsichten in die untertägige Verbreitung, Raumlage und Mächtigkeitsverteilung der geologischen Einheiten. Durch den Abgleich einer weitaus höheren Zahl von Bohrdaten zeichnen sich darin verschiedene paläogeographische Elemente deutlicher als in früheren Mächtigkeitskarten in ihrer räumlichen Lage und ihrer zeitlichen Entwicklung ab. So lassen sich nunmehr postvariskische, kimmerische und alpidische Strukturen klarer in ihrer Entwicklung und ihrem Einfluss auf spätere und insbesondere neotektonische Bruchmuster verfolgen. Die erstmals landesweit nach einheitlicher Grundlage erstellten Schichtlagerungskarten bieten einen in sich konsistenten Überblick des Kenntnisstandes über die heutigen Strukturen im Untergrund von Baden-Württemberg.

Summary

Since 2005, a digital geometric model of the geology of Baden-Württemberg has been developed at the Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB; Baden-Württemberg Geological Survey, located at Regierungspräsidium Freiburg, dept. 9). The model encompasses simplified geometries of the main lithostratigraphic units, large-scale tectonic elements, Cenozoic volcanics, and impact craters. The aim of the model is, on the one hand, a comprehensible overview of geological structure. On the other hand, the model enables us to cross-check the consistency between different databases of our survey, including the well log data, geological and structural maps, and further to extract a consistent set of thickness and structural maps for the whole area. The model data are also of practical use for more specialized projects, like the “Informationssystem Oberflächennahe Geothermie” (information system on near-surface geothermal energy). Data resolution is aimed for an output scale of 1 : 500 000.

The model has been developed in GOCAD software, in which the modelled objects are represented by triangulated surfaces (TINs). Source data were taken from published and unpublished structural contour

maps, thickness maps, and from selected cross sections. To validate the quality of these heterogeneous input data, the modelled boundary surfaces have been checked against borehole data from the LGRB well log data base.

As a first step, the base of Tertiary and base of Keuper surfaces were constructed as a reference. For all other units, thickness maps were modelled, based on literature and borehole data. The thickness distribution then was added to or subtracted from the depth data of the reference surfaces. Large scale fault lines and faults with major vertical throw were added to the model. However, the complex fault pattern of the Upper Rhine Graben had to be modelled in a very simplified manner. Due to the lack of sufficient data, the variscan structure of the basement rocks has not been modelled in detail. From the resulting 3D-model, we extracted a consistent set of structural contour maps and cross sections.

As a result, the model allows new and more detailed insights into subsurface distribution, structure and thickness of the modelled units. Since far more borehole data were considered than for previous maps, the structure and evolution of several paleogeographic elements stand out more clearly now. Post-variscan, kimmerian and alpidic structures can now be differentiated much better to study their interaction and bearing on neotectonics. Eventually, this first consistent set of structural contour maps for the whole area of Baden-Württemberg allows an up-to-date overview of its present geologic structure.

R é s u m é

Depuis 2005, le Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB; Service de Géologie, des Matières Premières et des Mines, service 9 du „Regierungspräsidium Freiburg“, Baden-Württemberg) a élaboré un modèle d'ensemble digital et géométrique du sous-sol géologique du Baden-Württemberg. Il décrit, à côté des lignes essentielles lithostratigraphiques, des structures de failles suprarégionales, des formations volcaniques récentes et des cratères d'impacts. Le but du modelage est de constituer, à côté d'une description compréhensible des rapports complexes du sous-sol, un examen de consistance des archives de cartes internes et de celles des données de forage. Il en est de même pour le découlement d'un enregistrement consistant d'épaisseur et de stratification pour des unités géologiques essentielles couvrant tout le „Land“. De plus, les données du modèle seront utilisées pour des ques-

tions supplémentaires, concernant par exemple le „système d'information de la géothermie superficielle“. Le modèle est établi à une échelle de 1:500000, la dissolution varie selon la région à cause de la différence de densité des informations.

Le modèle a été établi avec le logiciel GOCAD. Les différentes composantes du projet se retrouvent sous forme de surfaces triangulaires (TINs). Comme données de base, on a intégré dans le modelage les cartes de stratification et d'épaisseur ainsi que, de façon isolée, des profils. Pour faire valoir la qualité des données d'entrée, qui sont très hétérogènes, et pour les améliorer en cas de besoin, on a utilisé les résultats de forage de la banque interne de données d'affleurements.

Dans un premier temps, on a reconstitué l'attitude des surfaces de base du Tertiaire et du Keuper. Ensuite, on a pu modéliser pour toutes les autres unités géologiques à l'aide d'indications littéraires et de forages, les répartitions de l'épaisseur et en déterminer l'attitude au moyen d'addition ou soustraction de base de Keuper ou bien du Tertiaire. En outre, on a intégré dans le modèle des éléments suprarégionaux, ainsi que des tectoniques cassantes avec de grands rejets de faille verticaux. Pourtant, dans le fossé rhénan supérieur, on n'a pu reconstruire, à cause de la forte altération tectonique, qu'un modèle de faille schématique. A cause du manque de données, on a renoncé à établir une subdivision des socles déformés dans la période hercynien. Sur cette base, on a produit, avec l'aide de la description à trois dimensions, des cartes consistantes et des coupes de profils.

Le modèle livre des renseignements nouveaux et détaillés sur la répartition souterraine, l'attitude et la répartition de l'épaisseur des unités géologiques. Grâce à la comparaison d'un nombre plus élevé de données de forage, les différents éléments paléogéographiques sont plus concrets dans leur situation spatiale et leur développement temporel que dans les anciennes cartes d'épaisseur. C'est ainsi que l'on peut suivre plus clairement l'évolution des structures post-hercynien, de l'époque kimmérienne et de l'époque alpidique, ainsi que leur influence sur des failles plus anciennes et, en particulier, sur les néotectoniques. Les cartes de stratification, établies pour la première fois pour toute la surface du „Land“, selon une donnée homogène, offrent une vue d'ensemble du niveau de connaissance des structures actuelles du sous-sol en Baden-Württemberg.



1 Einführung

Seit Beginn der geologischen Landesaufnahme ist die Darstellung der Raumlage von geologischen Körpern, insbesondere der Schichten des Deckgebirges, eine der wichtigsten Herausforderungen. Anfangs hatte man sich noch mit Angaben zu lokalen Höhenmessungen beholfen (z. B. ALBERTI 1826), die jedoch mühsam auszuwerten waren. Schon einigen der ersten geologischen Karten waren daher Profilschnitte beigegeben, die den Gebirgsbau anschaulich illustrieren sollten (z. B. PAULUS 1868, 1875, s. Abb. 1A). Seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurden die Geologischen Karten schließlich zunehmend durch Höhenlinienkarten zur Schichtlagerung ergänzt (z. B. THÜRACH 1909, s. Abb. 1B), die auch paläogeographischen und tektonischen Untersuchungen zugrunde gelegt wurden (STRIGEL 1912, 1922, später v. a. CARLÉ 1955). In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts fanden zudem, angeregt durch die intensiviertere Erkundungstätigkeit nach Erdöl und Erdgas, zunehmend Bohrdaten und seismische Erkundungen Verwendung, um Tiefenlinienkarten auch für verdeckte geologische Einheiten zu erhalten (z. B. BREYER 1956, TRUSHEIM 1964). Zugleich zeigte sich in der grafischen Darstellungsweise des Blockbildes eine didaktisch besonders wirkungsvolle Form der Visualisierung geologischer Zusammenhänge (z. B. CLOOS 1939, WAGNER 1960, WAGNER & KOCH 1961, WURSTER 1997).

Seit Beginn des „digitalen Zeitalters“ steht heute auch für die Dokumentation, Auswertung und Visualisierung dreidimensionaler geologischer Strukturen mit den Möglichkeiten digitaler Modellierung ein neues Werkzeug zur Verfügung, dessen Potenziale bislang erst ansatzweise ausgelotet sind. So lassen sich aus einem einmal erstellten Modell nicht nur Karten, Profilschnitte und unterschiedlich abgedeckte oder beleuchtete Raumgrafiken erzeugen, sondern beispielsweise auch, je nach Auflösung des Modells, Angaben zu Rauminhalten unmittelbar ableiten. Schon heute werden beispielsweise kleinräumig angelegte, hochauflösende Modelle erfolgreich in der Rohstoffindustrie zur Berechnung von Rohstoffvolumen und zur Planung des weiteren Abbaus eingesetzt. Großräumig angelegte Geologische Modelle stehen demgegenüber noch am Beginn ihrer Entwicklung und Nutzenanwendung, da die räumliche Auflösung für große Modellgebiete eng durch die zur Verfügung stehende Rechen- und Speicherkapazität begrenzt wird. Die raschen und anhaltenden Fortschritte im Bereich der Hardware lassen jedoch inzwischen auch großräumige Modelle in einer für allgemeine Übersichtsdarstellungen hinreichenden Auflösung in den Bereich des Möglichen rücken.

1.1 Zielstellung der Modellierung

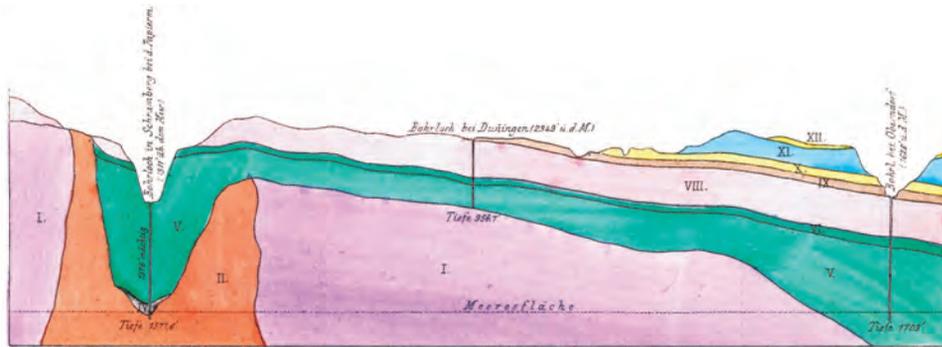
In den Jahren 2005 bis 2007 hat das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau ein rechnergestütztes dreidimensionales Übersichtsmodell des geologischen Untergrundes von Baden-Württemberg erstellt. Ziel der Modellierung war eine konsistente digitale Repräsentation der wichtigsten lithostratigraphischen Einheiten des Landes, dargestellt durch ihre Grenzflächen in einer Auflösung, die einem Zielmaßstab von 1:500 000 entspricht. Regionale Abweichungen aufgrund unterschiedlich hoher Datendichte sind möglich. Ausgewählt wurden folgende lithostratigraphische Einheiten:

- Basis Quartär
- Basis Tertiär
- Basis Oberjura
- Basis Mitteljura
- Basis Unterjura
- Basis Keuper
- Basis Muschelkalk
- Basis Buntsandstein
- Basis Zechstein
- Basis Oberkarbon und Rotliegend
- Oberfläche Grundgebirge

Daneben sollten wichtige tektonische Elemente, wie der Oberrheingraben und das Schwäbische Lineament, in das Modell integriert werden, ebenso junge vulkanische Bildungen und die beiden Meteoriteneinschlagkrater des Nördlinger Rieses und des Steinheimer Beckens (vgl. Kap. 2).

Zweck der Modellierung ist, neben einer allgemein verständlichen Visualisierung der geologischen Strukturen, die umfassende Konsistenzprüfung des qualitativ heterogenen Karten- und anderen Datenmaterials aus der Literatur und dem eigenen Hause. Bereits in seiner nun vorliegenden, ersten Fassung stellt das Modell einen ersten, in sich konsistenten Datensatz des gesamten Bundeslandes dar.

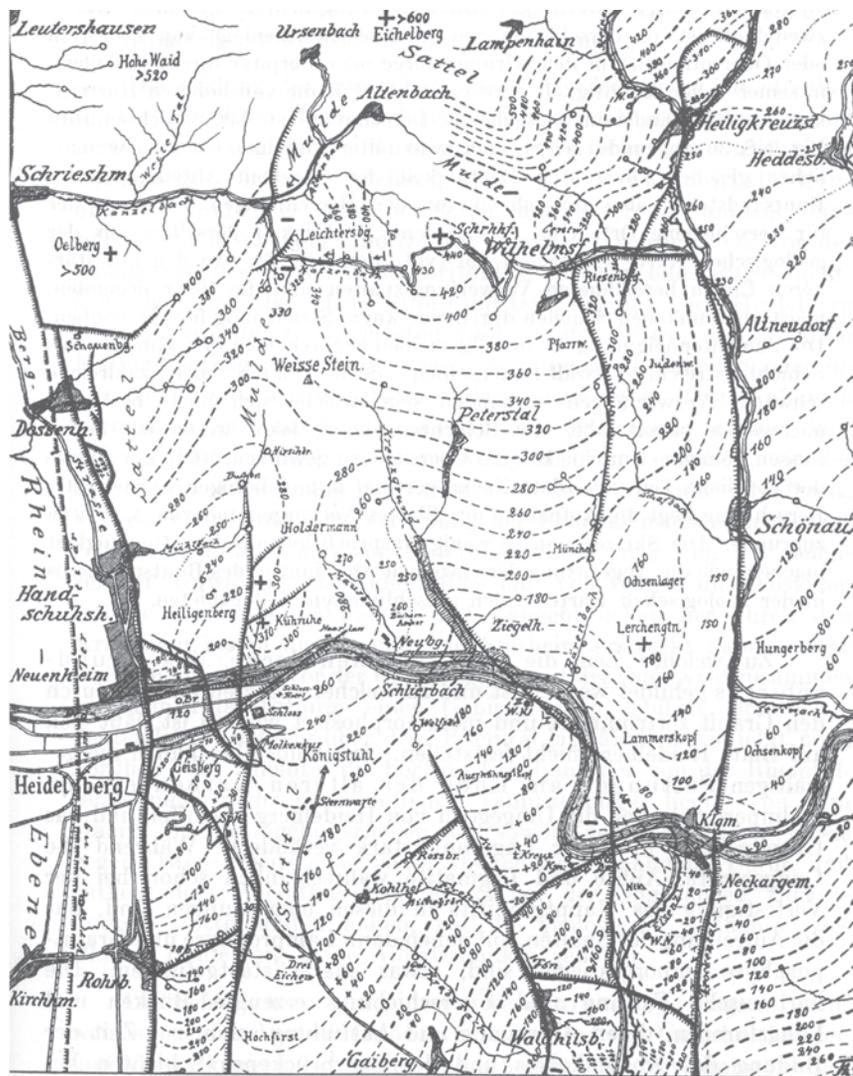
Die Aufarbeitung und Modellierung der Daten erfolgte in der Software GOCAD. Die Bestandteile des Modells liegen als dreiecksvermaschte Flächen (TIN) vor. Aus dem Modell können Schichtlagerungskarten, Mächtigkeitskarten, Profilschnitte und Säulenprofile in beliebiger Raumlage abgeleitet werden. Eine Auswahl ist in Kap. 3 dargestellt. Bereits während der Erstellung des Modells ergaben sich durch den erstmals unmittelbaren Abgleich der eingelesenen Daten neue Einsichten in die allgemeine paläogeographische Entwicklung des Landes und verschiedene Ergänzungen und Korrekturen im Hinblick auf den bisherigen Kenntnisstand (Kap. 3).



A

Verjüngung der Länge - 1:100.000, der Höhe u Tiefe - 1:20.000.

I. Granit. II. Porphyr. III. Devonisches Schiefergebirge. IV. Steinkohlenformation. V. Tertiäres. VI. Dolomit mit Jaopse. VII. Zechstein. VIII. Buntsandstein. IX. Dolomitische Willenmergel u. Wellenkalke. X. Anhydritgruppe. XI. Hauptmuschelkalk u. Muschelkalkdolomit. XII. Lösskohlengruppe.



B

- bedeutet: Mulden o bed.: Quellen
+ " Aufwölbungen und Brunnen

Maasstab. 0 1 2 3 4 km.

Abb. 1 Die Dokumentation der räumlichen geologischen Struktur einer Landschaft forderte schon früh zusätzliche Darstellungsformen über die Geologische Karte hinaus. **A**) Profilschnitt von Eduard PAULUS (Königlich württembergisches statistisch-topographisches Bureau) zur Geologie des Atlasblattes Oberndorf der geognostischen Spezialkarte von Württemberg (PAULUS 1875). **B**) Höhenlinienkarte (Schichtlagerungskarte) von Hans THÜRACH (Großherzoglich Badische Geologische Landesanstalt) für die Basis des Buntsandsteins (damals des Mittleren Buntsandsteins) auf Blatt Heidelberg der geologischen Spezialkarte des Großherzogthums Baden (THÜRACH 1909; heute GK 25: Blatt 6518 Heidelberg-Nord). Seit Beginn des 20. Jahrhunderts werden geologische Kartenwerke regelmäßig durch Profilschnitte und Schichtlagerungskarten ergänzt. Als raumbezogene und quantitativ ablesbare Sachinformation stellen sie wichtige Grundlagen für die fachlichen Dienstleistungen der geologischen Landesdienste dar.



Die Ergebnisse der Modellierung können für weiterführende Fragestellungen genutzt werden, beispielsweise für die Ableitung geothermischer Einheiten für das „Informationssystem Oberflächennahe Geothermie“ (RUPF 2007). Aufgrund der Anschaulichkeit räumlicher Darstellung kann das Modell auch im Zuge der Öffentlichkeitsarbeit, wie beispielsweise für E-Learning an Schulen zum Einsatz kommen. Eine 3D-Visualisierung im Internet ist geplant.

Zukünftig kann das Modell in Verbindung mit neuen hauseigenen Projekten, beispielsweise durch Ergebnisse der integrierten Landesaufnahme (GeoLa), weiter verfeinert werden. Mit fortschreitender Rechenkapazität wird voraussichtlich eine Erhöhung des Zielmaßstabs in naher Zukunft möglich sein und die Einarbeitung weiterer lithostratigraphischer Einheiten sowie ein Feintuning der Störungsgeometrien in zukünftigen Modellversionen erlauben.

Die Publikation ist in drei Abschnitte geteilt. Nach einer allgemeinen Einführung (Kap. 1) steht im zweiten Teil die Methodik der Modellierung im Mittelpunkt (Kap. 2). Der dritte Teil beschreibt die aus dem Modell ableitbaren geologischen Verhältnisse in Form von Mächtigkeitsverteilungen, Schichtlagerungskarten und Profilschnitten (Kap. 3).

1.2 Geologische Einführung

Baden-Württemberg ist durch eine Vielzahl geologischer Elemente geprägt. Die verschiedenen Naturräume des Landes unterscheiden sich teilweise stark in ihrem geologischen Bau, in den zu Tage austreichenden und in der Tiefe ausgebildeten geologischen Einheiten. In Schwarzwald und Odenwald tritt variskisch deformiertes und von magmatischen Gesteinen durchsetztes Grundgebirge zu Tage, das nach Osten und Süden zunehmend von einer Decke aus permischen und triassischen Gesteinen überlagert wird.

Im Schichtstufenland bestimmen die Sedimentgesteine der Trias und des Juras das Landschaftsbild, in das sich im Osten des Landes die beiden Meteoritenkrater des Nördlinger Rieses und Steinheimer Beckens einschalten. Südlich der Donau tauchen die Einheiten des Schichtstufenlandes allmählich unter die tertiären und quartären Ablagerungen des oberschwäbischen Molassebeckens ab, während sie im Westen des Landes abrupt abbrechen und meist unter der mächtigen Sedimentfüllung des Oberrheingrabens liegen (s. Abb. 2).

Die genannten Großeinheiten des südwestdeutschen Gebirgsbaues erscheinen jedoch nur im Kartenbild als geologische Regionen nebeneinander und als in der Fläche seitlich begrenzt. In drei Dimensionen betrachtet gliedert sich der Untergrund des Landes in vier große Struktureinheiten, die mit

- | | |
|---|--|
|  | Schotter, z.T. überdeckt (Quartär) |
|  | Moränensedimente, mit Äußerer Jungendmoräne (Pleistozän) |
|  | Deckenschotter (Pleistozän) |
|  | Sedimentgesteine des Tertiärs |
|  | Impaktgesteine (Tertiär) |
|  | Jüngere vulkanische Gesteine (Tertiär, Kreide) |
|  | Oberjura |
|  | Mitteljura |
|  | Unterjura |
|  | Keuper (i.w. Mittel- u. Oberkeuper) |
|  | Muschelkalk (z.T. mit Unterkeuper) |
|  | Buntsandstein |
|  | Ältere vulkanische Gesteine (Paläozoikum) |
|  | Sedimentgesteine des Paläozoikums |
|  | Kristallines Grundgebirge (meist Gneise u. Granite) |

LGRB

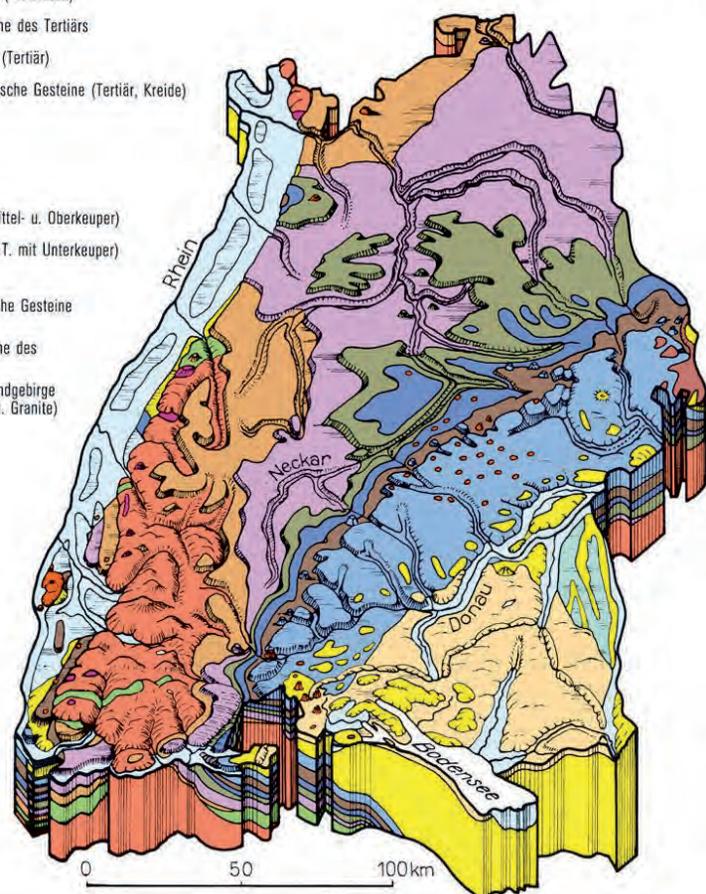


Abb. 2 Blockbilder erlauben als übersichtliche grafische Darstellungsform die verständliche Visualisierung räumlicher Zusammenhänge und geologischer Strukturen. Sie sind wichtige Hilfsmittel der Öffentlichkeitsarbeit, da sie komplexe Sachverhalte optisch eingängig darstellen. Reliefbild zur Geologie Baden-Württembergs, erstellt 1984 von R. HÜTTNER am Geologischen Landesamt Baden-Württemberg (heute Regierungspräsidium Freiburg, Abteilung 9, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) nach Vorlagen in WAGNER & KOCH (1961), mit Ergänzungen von E. VILLINGER (gezeichnet von J. CROCOLL).

unterschiedlicher seitlicher Ausdehnung als Strukturstockwerke übereinander angeordnet sind und dabei jeweils ihre eigenen Gesetzmäßigkeiten im Gebirgsbau aufweisen. Von unten nach oben sind dies das Grundgebirge, das Übergangstockwerk, das Tafeldeckgebirge und das sogenannte Hüllstockwerk (Känozoisches Deckgebirge; vgl. KATZUNG & EHMKE 1993).

Das tiefste, überall im Untergrund vorhandene Stockwerk ist das **Grundgebirge**, das im Odenwald und Schwarzwald stark angehoben und von der Erosion freigelegt wurde. Im Odenwald besteht es vorwiegend aus magmatischen Tiefengesteinen, während metamorphe Gesteine nur in einigen in den Plutoniten eingelagerten Schollen auftreten. Das Kristallin des Odenwalds wird innerhalb des variskischen Gebirgsbaues zur Mitteleuropäischen Kristallinzone gerechnet und gilt daher als Teil der Saxothuringischen Zone. Unter dem Kraichgau und östlich davon schließt sich im Grundgebirge ein Schiefergebirgsgürtel an, das Nordbadisch-Fränkische Schiefergebirge („Kraichgau-Terran“), dessen Südrand im nördlichen Schwarzwald bei Baden-Baden und Gaggenau an wenigen Stellen zutage tritt. Ob es sich dabei um eine Fortsetzung des thüringisch-sächsischen (Saxothuringikum) oder des böhmischen Schiefergebirges (Bohemikum) handelt, ist noch nicht abschließend geklärt. Im nördlichen und zentralen Schwarzwald schließt sich ein Gebiet von hoch metamorphen Gneisen an, das besonders im Norden von verschiedenen Granitplutonen durchsetzt ist. Im Südschwarzwald grenzt dieses Gneisgebiet entlang der Badenweiler–Lenzkirch-Zone (BLZ), einer stark zerscherten Zone aus Schiefergebirge und verschuppten Sedimenten des frühen Karbon, an das Granitgebiet des Südschwarzwaldes, in dem Metamorphite zwischen den Granitplutonen in den Hintergrund treten. Die Kristallingesteine des Schwarzwaldes wurden lange mit dem Moldanubikum Böhmens in Verbindung gebracht, doch auch hier werden heute Verbindungen zum Saxothuringikum oder zum Bohemikum diskutiert (vgl. ZIEGLER & DÉZES 2005, FRISCH & MESCHÉDE 2005).

Der Gebirgsbau des Grundgebirges ist durch Deckenüberschiebungen im duktilen bis spröduktilen Bereich gekennzeichnet und durch spätere Bruchtektonik nochmals überprägt. Gut erforscht sind die Lagerungsverhältnisse vor allem in der BLZ (SAWATZKI & HANN 2003, HANN et al. 2003). In den Kristallineinheiten nördlich und südlich davon ist die Raumlage der inzwischen auch hier nachgewiesenen tektonischen Decken weniger gut bekannt. Selbst über die Begrenzung des Kristallins gegen das nördlich anschließende Schiefergebirge bestehen nach wie vor unterschiedliche Vorstellungen (nordvergente Überschiebung oder steil nordfallende Abschiebung

– vgl. DEKORP Research Group 1985). Deshalb wurde der Internbau des Grundgebirges, mit Ausnahme der BLZ, im Landesmodell nicht integriert.

Die variskische Kollisions- und Einengungstektonik fand im späten Karbon mit den sogenannten asturischen Blockbewegungen einen letzten Höhepunkt und Abschluss. In der darauf folgenden postvariskischen Dehnungs- und Kollapsphase entstanden vom späten Karbon bis in das frühe Perm tiefe grabenartige Becken, die als Innenmolasse des variskischen Gebirges mit dem Abtragungsschutt der dazwischen liegenden Gebirgsrücken aufgefüllt wurden. Etwa an der Wende vom Karbon zum Perm erreichte der bis dahin vorwiegend durch dünne Tufflagen und Gangspalten nachweisbare Vulkanismus ein kurzzeitiges Maximum und hinterließ mächtige Stöcke und Decken von Quarzporphyr. Die Permo-karbonbecken des Landes mit ihren z. T. erheblichen Sedimentmächtigkeiten und Vulkaniteinschaltungen stellen die älteste über der Grundgebirgsoberfläche modellierte geologische Einheit des Landesmodells dar. Sie bilden mit ihren eigenständigen Strukturen ein **Übergangstockwerk** zwischen den variskischen Einheiten des Grundgebirges und dem flach darüber ausgebreiteten Tafeldeckgebirge (Zechstein bis Oberjura).

Mit den spätpermischen Sedimenten des in Baden-Württemberg teils marin, teils terrestrisch ausgebildeten Zechsteins beginnt eine neue Epoche in der Entwicklung und ein neues Stockwerk im Gebirgsbau des Landes. Bis in den späten Jura entstehen, bei andauernder, langsamer Absenkung des Untergrundes, die bis über 1000 m mächtigen und dabei gleichmäßig ausgebreiteten Ablagerungen des **Tafeldeckgebirges**. Sie bildeten sich unter wechselnden, mal marinen (Muschelkalk, Jura), mal festländischen Bedingungen (Buntsandstein, Keuper). Die regionalen Mächtigkeitsveränderungen und mehrere großräumig feststellbare Diskordanzen in der Schichtfolge belegen anhaltende tektonische Bewegungen im Untergrund, die der kimmerischen tektonischen Epoche zugerechnet werden. Das Tafeldeckgebirge beherrscht heute die Geologie und Oberflächengestalt des Schichtstufenlandes, indem die Erosion aus den seit der Kreidezeit gehobenen und dabei nur wenig verkippten härteren und weichen Gesteinsschichten die Hochflächen und Täler freipräpariert hat.

Im Schichtstufenland und in den Ausstrichgebieten der tieferen Gebirgsstockwerke (Odenwald, Schwarzwald) erscheinen die Ablagerungen des obersten Strukturstockwerkes, das **Hüllstockwerk**, nur lückenhaft und vergleichsweise geringmächtig (meist < 20 m) als känozoische (fast ausschließlich quartäre) Deckschichten. Als geschlossene Decke



von teilweise erheblicher Mächtigkeit zeigt sich dieses Stockwerk jedoch im Molassebecken des Alpenvorlandes und als Füllung des Oberrheingrabens. Eine Besonderheit des süddeutschen Raumes stellen die beiden Impaktstrukturen des Steinheimer Beckens und des Nördlinger Rieses dar. Die beiden Einschlagskrater entstanden beim Aufprall zweier Großmeteorite im Miozän und füllten sich anschließend mit känozoischen Sedimenten (MATTMÜLLER 1994, REIFF in ROSENDAHL et al. 2006).

Südöstlich an das Schichtstufenland schließt sich das Molassebecken an. Herabgedrückt durch die Auflast der von Süden überschobenen Alpen fällt das Deckgebirge in diesem Bereich mit durchschnittlich 5° nach Südosten ein und wird von nach Süden zunehmend mächtigeren känozoischen Sedimenten überlagert. Im Süden wurden in Baden-Württemberg bis zu 3600 m Tertiärsedimente abgelagert. Diese Sedimente stellen überwiegend Abtragungsschutt der Alpen dar. Untergeordnet hat jedoch auch das Schichtstufenland im Norden etwas Material geliefert (LEMCKE 1988, GEYER & GWINNER 1991, BGLA 1996). Die teils terrestrischen, teils marinen Molassegesteine wurden im Quartär größtenteils von glazialen und periglazialen Ablagerungen überdeckt. Über die Störungssysteme im Untergrund des Molassebeckens lassen sich nur punktuell Aussagen mit Hilfe von Bohrungen und geophysikalischen Erkundungen treffen. Bekannt sind einige große Störungssysteme, wie die Bad Saulgauer Störungszone oder die Störungszone von Illmensee–Fronhofen–Aulendorf (BERTLEFF 1986, 1987).

Der Oberrheingraben (ORG) begleitet als schmaler Streifen die Westgrenze Baden-Württembergs (PFLUG 1982, HÜTTNER 1991). Er wurde im Eozän angelegt und ist ein Teil des Mittelmeer-Mjösen-Riftsystems (ILLIES 1974, SCHÖNENBERG & NEUGEBAUER 1997), heute meist als European Cenozoic Rift System (ECRIS) bekannt (vgl. ZIEGLER & DÉZES 2005). Der Grabenbereich zeichnet sich durch starke tektonische Zerblockung aus, in der einzelne Schollen vertikal um mehrere 1000 m gegeneinander versetzt wurden. Eng gekoppelt an die tektonische Entwicklung ist die Ablagerung mächtiger tertiärer und quartärer Sedimente. So wurden im Raum Heidelberg und Rastatt bis zu 3400 m känozoische Gesteinsserien abgelagert. Die Hauptbewegungskomponente ist mit etwa 40 km sinistralen Versatz horizontal angelegt und geht mit einer ost-westlichen Ausdehnung von annähernd 5 km einher (ILLIES 1974, EDEL et al. 2007). Es sind sowohl Dehnungs- als auch Einengungsstrukturen belegt (ROTSTEIN et al. 2005). Schon zu Beginn der Kreidezeit hatten frühalpide Bewegungen im Tethysraum südlich der Süddeutschen Großscholle zur Einspannung der Kruste und zur Aufwölbung des südwestdeutschen Raumes ge-

führt, die im Eozän und Oligozän zum Aufreißen des Oberrheingrabens führte (ILLIES 1974, HÜTTNER 1991). Vom Miozän an wurde der Graben durch eine etwas veränderte Einengungsrichtung allmählich von einer Dehnungsstruktur in eine Kompressionsstruktur überführt (ILLIES 1974, HÜTTNER 1991, SCHUMACHER 2002, ZIEGLER & DÉZES 2005).

Das bruchtektonische Inventar zeichnet sich jedoch nicht nur im Oberrheingraben, sondern auch im Schichtstufenland durch überregionale Blattverschiebungssysteme mit meist geringem vertikalem Versatz (Neckar–Jagst-Furche, Schwäbisches Lineament) und lokale Störungen aus. Außerhalb des Oberrheingrabens sind vertikale Sprunghöhen von mehr als 100 m selten. Engräumig wechseln entlang der Störungszonen Transpressions- und Transtensionsstrukturen (SCHÖNENBERG 1973, BRUNNER et al. 1988, BRUNNER & HINKELBEIN 1998). Zu den horizontalen Versatzbeträgen können aufgrund fehlender Querstrukturen keine sicheren Angaben gemacht werden, doch zeigen sich in Einzelfällen Hinweise auf Versatzbeträge von einem bis mehreren Kilometern. Vor allem nördlich des Schwäbischen Lineaments treten zudem weit gespannte Sattel- und Muldenstrukturen auf, wie der Schrozberger Schild oder die Heilbronner Mulde, deren Entstehung bisher noch nicht hinreichend geklärt ist (vgl. Kap. 3.2).

Jüngere (nachpermische) Vulkanite treten erstmals während der Kreide und im frühen Tertiär in zwei Vulkangebieten im Süden (Südschwarzwald) und Norden (Kraichgau–Odenwald) des Landes in Erscheinung. Känozoische vulkanische Aktivitäten sind jedoch in Baden-Württemberg vor allem aus dem Miozän bekannt. Die jungtertiären Vulkanite konzentrieren sich dabei in drei Gebieten: im Kaiserstuhl (südlicher Oberrheingraben), im Hegau und im Urach-Kirchheimer Vulkangebiet. Es handelt sich um ultrabasische bis basische Intraplattenvulkanite überwiegend nephelinitischer und phonolithischer Zusammensetzung. Die ehemaligen Vulkangebäude und Maarkrater sind heute erodiert und nur noch rudimentär erhalten.

Die erdgeschichtliche Entwicklung von variskischer Kollisionstektonik, postvariskischer Grabenbildung, kimmerischer differenzierter Absenkung und alpidischer Hebung und Zerschering hat ein komplexes Muster geologischer Einheiten hinterlassen, dessen Modellierung selbst bei geringer räumlicher Auflösung bereits eine lohnenswerte Herausforderung darstellt.

1.3 Datengrundlage

Grundlage des Geologischen Landesmodells sind vorliegende Schichtlagerungskarten und Mächtigkeitkarten als Flächendaten sowie im Verlauf der Validierung zahlreiche Bohrungen der Aufschlussdatenbank des LGRB als Punktdaten. Unter den Schichtlagerungsdaten existieren neben den Beilagen zur GK 25 und den landesweiten Übersichtsdarstellungen (CARLÉ 1955, GEYER & GWINNER 1991) eine Reihe von Raumlagekonstruktionen für geologische Spezialstrukturen. Insgesamt wurden mehr als 100 Schichtlagerungskarten und Mächtigkeitverteilungen untereinander und mit Hilfe von Aufschluss- und Bohrbefunden überprüft, korrigiert und im Rahmen der Modellierung miteinander kombiniert. Besonders erwähnenswert sind die Arbeiten von DÜRR (1982) und WEINLAND (1983) zur Neckar–Jagst-Furche sowie von SEIBOLD (1951) und WIEDEMANN (1968) zum Schwäbischen Lineament. Die beiden Publikationen Geothermische Synthese (1979) und Geothermische Synthese (1981) geben eine erste Übersicht über die komplexen Lagerungsverhältnisse im Oberrheingraben. Eng mit der Bearbeitung der Raumlage geologischer Einheiten ist die Rekonstruktion von Mächtigkeitverteilungen verknüpft. Umfassende, landesweite Darstellungen finden sich bei TRUSHEIM (1964), BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974), KRIMMEL (1980) sowie GEYER & GWINNER (1991).

1.4 Probleme bei der Modellierung mit Eingangsdaten unterschiedlicher Herkunft

Bei der Modellierung mit Eingangsdaten aus Quellen unterschiedlichen Alters und verschiedener Herkunft treten eine Reihe technischer und inhaltlicher Probleme auf, die zugunsten einer Vereinheitlichung des Eingangsdatensatzes bereinigt werden müssen.

Ein Problemkreis liegt bei der Georeferenzierung analoger Karten und Profilschnitte. Viele ältere Schichtlagerungskarten und Mächtigkeitverteilungen wiesen keine Koordinatenangaben auf (Bsp. s. Abb. 1B). Die Georeferenzierung erfolgte in solchen Fällen anhand geographisch markanter Punkte, wie Bergspitzen und Flussmündungen. Damit treten jedoch je nach Maßstab Versätze und Verzerrungen von einigen zehn bis mehreren hundert Metern auf, die bei der weiteren Modellierung berücksichtigt werden müssen. Übersichtskarten (Bsp.: BOIGK & SCHÖNEICH 1970) und Karten benachbarter Länder sind nicht im Gauss-Krüger-Koordinatensystem abgelegt, sondern unter Bezug auf geographische Koordinaten. Hier mussten zusätzliche

Koordinatentransformationen, wie beispielsweise die Umwandlung geographischer Koordinaten in Gauss-Krüger-Koordinaten oder Gauss-Krüger-Meridianstreifenwechsel zur Vereinheitlichung der Datengrundlage durchgeführt werden. Unterschiede, die aus verschiedenen alten Höhensystemen erwachsen, sind dagegen für den Zielmaßstab des Modells vernachlässigbar.

Ein weiterer Problemkreis erwächst aus inhaltlichen Abweichungen verschieden alter Karten. Bedingt durch unterschiedlichen Bearbeitungsstand und Erscheinungsjahr repräsentieren geologische Ausstrich- und Schichtlagerungskarten verschiedene Wissensstände. So hat sich das geologische Bild aufgrund neuer Bohrungen und geophysikalischer Untersuchungen vor allem in tektonisch stark beanspruchten Gebieten, wie dem Oberrheingraben, im Laufe der Zeit gewandelt. Eine Recherche der zugrunde liegenden Datenquellen ist für die Auswahl und Bewertung vor der Einarbeitung ins Modell notwendig.

Ein weiteres Problem unterschiedlich alter Datengrundlagen sind zwischenzeitlich vollzogene Paradigmenwechsel bei der Interpretation des strukturgeologischen und stratigraphischen Inventars. Beispielsweise hatte man bereits im 19. Jahrhundert regelmäßig die fast horizontal verlaufende Harnisch-Streifung auf den Störungsflächen um den Oberrheingraben und im Schichtstufenland wahrgenommen. Dennoch deutete man noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts die Mehrzahl der Strukturen ausschließlich nach dem Vertikalversatz, der sich im Kartenbild darstellt, als Abschiebungen und Gräben, denen erst als unbedeutende Nachbewegung ihre Harnisch-Rillung aufgeprägt worden sei. Zwar hatte bereits WEYL (1936: S. 98) sich ausdrücklich gegen diese Auffassung gewehrt, den sinistralen Bewegungssinn richtig gedeutet und im Randbruch des Oberrheingrabens „eine Horizontalstörung allererster Ordnung“ gesehen. Doch hielt es noch CARLÉ (1955: S. 38) für „zweifelhaft, ob man allein aufgrund der Tatsache horizontaler Gleitstreifen solch weitgehende Schlüsse aufbauen darf“ und deutete selbst überregionale Störungszonen wie die Neckar–Jagst-Furche oder das Schwäbische Lineament, über deren Verlauf abgesenkte und aufgesprengte Schollen sich abwechseln, als reine Grabensysteme. Erst mit den Arbeiten von ILLIES (1962, 1974, 1978, 1982) und zahlreichen Einzelstudien (z. B. BRUNNER & HINKELBEIN 1988, 1998, 2000, BRUNNER et al. 1988) fand die weit reichende Bedeutung der Transversalbewegungen in der Tektonik Südwestdeutschlands weithin Anerkennung. Die geänderte Interpretation verlangt jedoch, auch die Raumlage der Elemente des Störungssystems neu zu überdenken, da das früher meist angenommene



schräge Einfallen der Störungsflächen nicht mehr pauschal als wahrscheinlich gelten kann. Wo eine Störungszone primär als Blattverschiebungssystem gedeutet werden muss, ist auch für oberflächennah schräg einfallende Flächen eine Versteilung nach unten zu erwarten, wo die Hauptkomponente der Bewegung dagegen ab- oder aufschiebend angenommen wird, ist eher eine Verflachung in die Tiefe, ggf. auch horizontales Auslaufen in einem Abscherhorizont (z. B. Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks) möglich. Damit fordert nach heutigem Verständnis jede Scherzone vor der Modellierung eine individuelle Interpretation, die hier bislang nur für Einzelfälle geleistet werden konnte. Als „Standarddarstellung“ von großen, tief reichenden Scherzonen wurde daher zunächst konsequent eine saigere Orientierung gewählt, wodurch sich bislang unbearbeitete und bereits interpretierte und in ihrer wahrscheinlichen Raumlage modellierte Störungen leicht unterscheiden lassen.

Weitreichende Folgen haben Änderungen in der Abgrenzung lithostratigraphischer Einheiten. In der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts wurden zahlreiche stratigraphische Ergebnisse in die verwendete stratigraphische Standardgliederung eingearbeitet und dabei die zuvor oft noch abweichenden Regionalgliederungen (Baden, Nordwürttemberg, Südwürttemberg) zunehmend vereinheitlicht. Dabei wurden teilweise ganze Formationen landesweit (in Abstimmung mit anderen Bundesländern) oder zumindest in einzelnen Re-

gionen neu zugeordnet. Die wichtigsten Beispiele sind die Tigersandstein-Formation des Zechsteins, die früher dem Unteren Buntsandstein zugerechnet wurde, oder die Ornatenton-Formation des Mitteljuras, die regional dem Oberjura zugeschlagen war (vgl. VILLINGER 2005).

1.5 Software und Hardware

Für die Modellierung kamen verschiedene Programme zum Einsatz. Kernstück bildet die 3D-Software GOCAD (Geological Objects Computer Aided Design) in den Versionen 2.1.3 bis 2.1.6. Dieses Programmpaket ermöglicht die digitale Darstellung, Bearbeitung und Visualisierung dreidimensionaler Objekte. Das Programm arbeitet mit vermaschten Dreiecksnetzen (TINs). Kernstück der Software ist ein besonders für unregelmäßig verteilte Daten geeigneter Interpolations-Algorithmus namens DSI (MALLET 1992).

Allerdings lassen sich nicht alle Teilaufgaben in GOCAD zufrieden stellend lösen. Beispielsweise ist die Digitalisierung von analogen Datenbeständen oder die Erstellung von 2D-Produkten für Printmedien in GOCAD nur eingeschränkt möglich. Deshalb ist als weiterer essenzieller Bestandteil der Softwarearchitektur das Programm ArcView 3.3 (ESRI) als klassisches 2D-GIS notwendig (RUPF 2007). Es dient vor allem der Vor- und Nachbereitung der Daten sowie dem Feintuning des Modells. Abbildung 3 zeigt

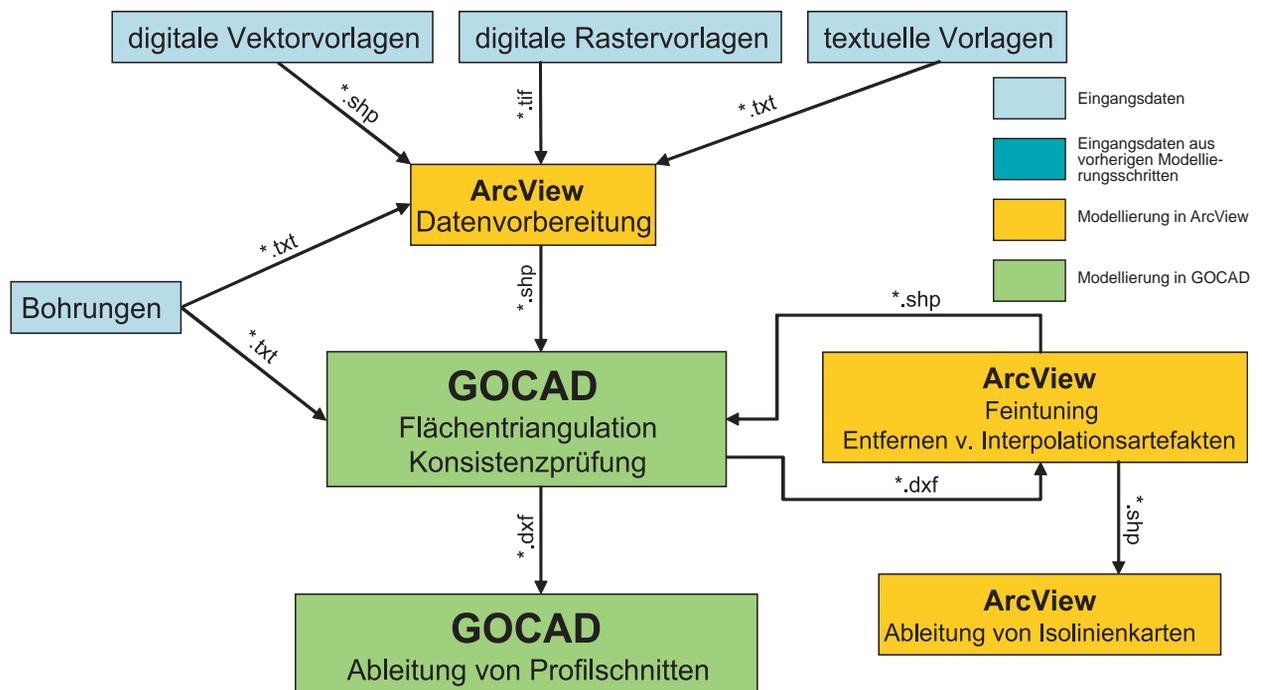


Abb. 3 Übersicht über die Interaktion von 3D-Modellierungssoftware und 2D-GIS für verschiedene Teilschritte der Modellierung.

die Interaktion beider Softwarekomponenten für die verschiedenen Teilschritte der Modellierung. Der Datenaustausch zwischen den Programmen erfolgt mit Hilfe von ESRI-Shapefiles (*.shp), dem AutoCad Austauschstandard (*.dxf) und ASCII-Dateien (*.txt). Problematisch ist ein partieller Informationsverlust beim Datenaustausch zwischen den Programmen. So können beispielsweise in GOCAD alphanumerische Eigenschaften nicht importiert werden. Dieses Problem lässt sich allerdings durch gezielte Kodierung alphanumerischer Eigenschaften in Zahlenwerte minimieren.

Die Ablage der Modellierungsdaten erfolgt filebasiert. 2D-Daten (Isolinien, Verbreitungsflächen etc.) wurden in ESRI-shapefiles gespeichert, während 3D-Informationen (TIN, 3D-Linien) im GOCAD-ASCII-Format abgelegt wurden. In diesem Format

sind alle Raumlageinformationen und numerischen Attribute abgelegt (RUPF 2001), jedoch nicht Interpolationsbedingungen und Informationen zu Nachbarschaftsbeziehungen mit anderen Objekten im Gesamtmodell.

Weiterer Baustein der Modellierung sind komplexe SQL-Abfragen der Aufschlusssdatenbank (s. Kap. 2.2.4). Diese wurden in PHP-Skripte eingebettet und ausgewertet. Die Ausgabe der Abfrageinformationen im ASCII-Format ermöglichte ein problemloses Einlesen in ArcView und GOCAD.

Die Modellierung wurde an einem PC mit einem Intel Pentium 4 3,73 GHz Prozessor und 4 GB Arbeitsspeicher unter dem Betriebssystem RedHat Linux (64Bit) durchgeführt.

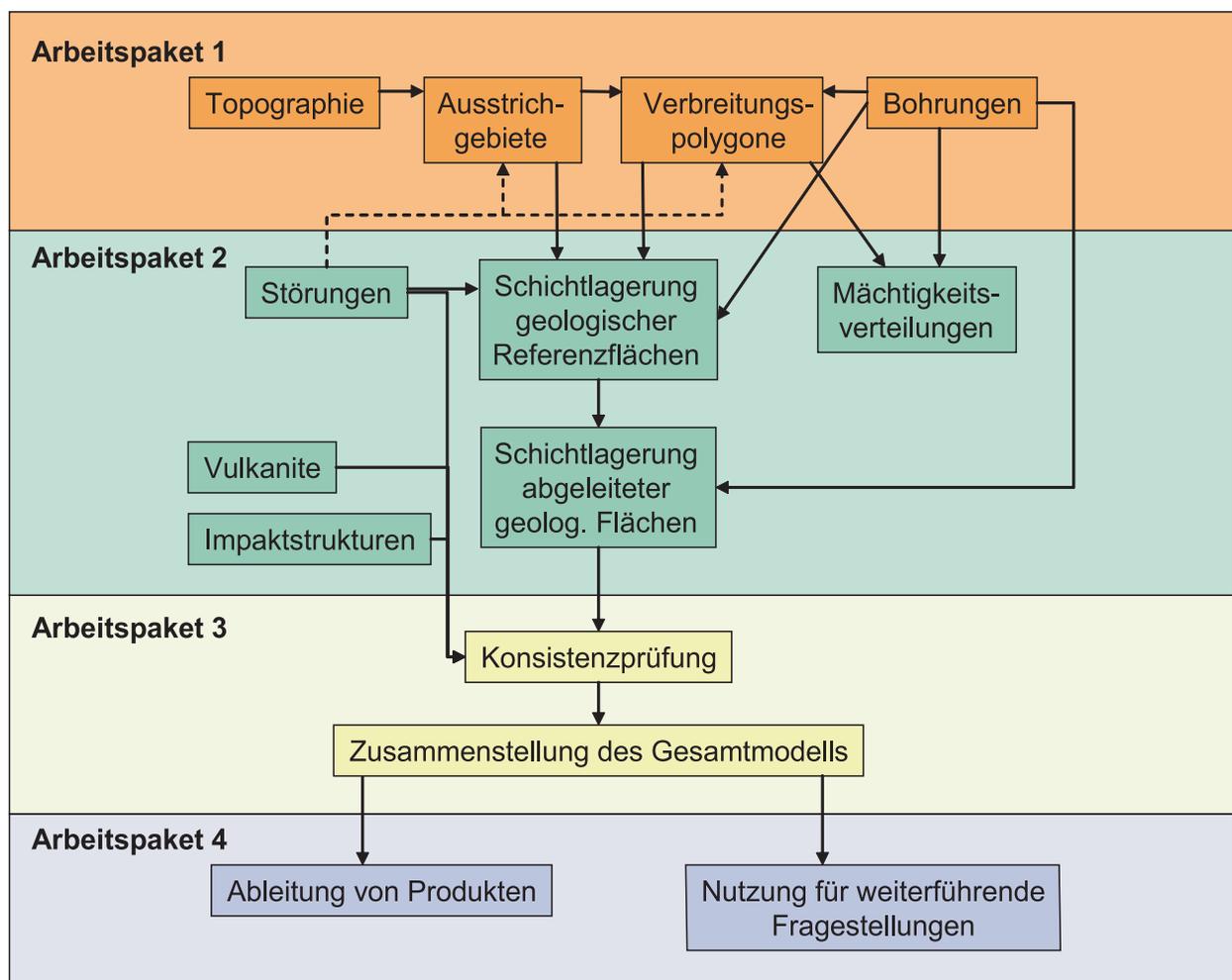


Abb. 4 Die Modellierung umfasst 4 Arbeitspakete: 1. Modellierung topographischer und geologischer Grundbausteine, 2. Bearbeitung des geologischen Inventars, 3. Zusammenführung der Komponenten zum Gesamtmodell, 4. Ableitung von Produkten aus dem 3D-Modell.



2 Methodik

2.1 Arbeitsschritte der Modellierung

Die Modellierung des geologischen Untergrundes von Baden-Württemberg gliedert sich in vier Arbeitspakete (s. Abb. 4), deren Bearbeitung teilweise zeitparallel erfolgte. Im ersten Abschnitt wurden die topographischen und geologischen Oberflächendaten (digitales Geländemodell, Ausstriche der modellierten geologischen Einheiten) sowie die Verbreitung der Modellelemente bearbeitet. Im nächsten Schritt stand die Rekonstruktion der einzelnen Bestandteile des geologischen Modells im Mittelpunkt, insbesondere die Raumlage der geologischen Einheiten, die primären und erosiv veränderten Mächtigkeitsverteilungen sowie das Störungsmuster. Eine zentrale Rolle spielte dabei der Abgleich von Daten aus unterschiedlichen Quellen und die Überprüfung der rekonstruierten Schichtlagerungen und Mächtigkeitsverteilungen mit Hilfe von Bohrungen. Im dritten Arbeitspaket wurden alle Einzelobjekte in einem geologischen Gesamtmodell integriert und auf geometrische Konsistenz (gegenseitige Durchdringung verschieden alter geologischer Objekte etc.) sowie auf geologische Plausibilität überprüft. Danach konnten im vierten Arbeitspaket die einzelnen Produkte abgeleitet werden (Mächtigkeitsverteilungen, Schichtlagerungskarten, Profilschnitte).

2.2 Modellierung topographischer und geologischer Grundbausteine

2.2.1 Geländeoberfläche

Grundlage der Geländeoberfläche ist ein digitales Höhenmodell (DHM) im 50 m-Raster des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg. Dieses DHM wurde mit Hilfe von Orthophotos erstellt und bezieht sich auf die Bestandsoberkante (Oberfläche Vegetation). Die Höhengenaugigkeit von 3 m genügt den Anforderungen eines Übersichtsmodells. Wegen rechentechnischer Beschränkungen musste das Höhenmodell jedoch stark ausgedünnt werden. Die Berechnung erfolgte in ArcView mit der Nearest-Neighbor-Method.

In der 3D-Modellierungssoftware wurden die regelmäßigen Punktdaten trianguliert. Zunächst stand ein Gitter mit 1000 m Rasterweite zur Verfügung. Nach einem Hardwarewechsel diente ein 500 m-Gitter als Grundlage für die Geländeoberfläche. Das

Geländemodell löst trotz des 500 m-Gitters größere morphologische Einheiten, wie den Tuniberg im Oberrheingraben, hinreichend genau auf.

2.2.2 Ausstrichbereiche

Die Ausstrichbereiche zeigen die Verteilung geologischer Einheiten an der Geländeoberfläche. Die daraus ableitbaren Grenzlinien zwischen benachbarten geologischen Einheiten stellen den Ausgangspunkt für die Rekonstruktion der Raumlage geologischer Top- und Basisflächen dar (s. Abb. 5). Grundlage für die Ausstrichbereiche ist die digital vorliegende Geologische Übersichtskarte 1 : 500 000 von Baden-Württemberg (GÜK 500) und den daraus abgeleiteten hydrogeologischen Einheiten (PLUM & ARMBRUSTER, in Vorb.). Die lithostratigraphischen Einheiten sind im Kartenbild in der Regel stärker aufgeschlüsselt als im 3D-Modell benötigt und wurden deshalb in der GIS-Software zusammengefasst. Ausnahme ist die Tigersandstein-Formation, deren Ausstrichgebiet auf der GÜK 500 noch als Teil des Unteren Buntsandsteins erscheint. Da in der Karte nicht zwischen Tigersandstein-Formation und dem Unteren Buntsandstein heutiger Abgrenzung unterschieden ist, musste das Ausstrichgebiet mit Hilfe der GK 25 neu konstruiert und an die bestehenden Geometrien der umgebenden lithostratigraphischen Einheiten der GÜK 500 angepasst werden.

Da im Modell auf eine Darstellung der meist geringmächtigen quartären Ablagerungen (Löss, Talfüllungen und Terrassensedimente, Verwitterungslehm, Hangschutt, etc.) außerhalb des Molassebeckens und des Oberrheingrabens verzichtet wurde, mussten diese über größere Flächen zunächst abgedeckt werden. Im Schichtstufenland ist die Raumlage der geologischen Einheiten in der Regel bekannt, sodass das Entfernen der quartären Einheiten unproblematisch ist. Im Bereich von Störungen mussten jedoch Bohrungen aus der Aufschlusdatenbank zu Rate gezogen werden.

Das Störungsmuster wurde nur teilweise aus der GÜK 500 übernommen (vgl. Kap. 2.3.1). Um das tektonische Inventar und die Ausstrichbereiche geologisch konsistent zu halten, mussten in Gebieten mit geändertem Störungsmuster auch die Geometrien der Ausstrichbereiche angepasst werden.

Für die Rekonstruktion der Raumlage der Basisflächen der lithostratigraphischen Einheiten sind die Ausstrichlineare zwischen der gesuchten geologischen Einheit und dem darunter liegenden Schichtpaket eine wichtige Information. Deshalb wurden die Grenzen der Ausstrichpolygone in Linien umgewandelt und die entsprechenden Kurvenabschnitte

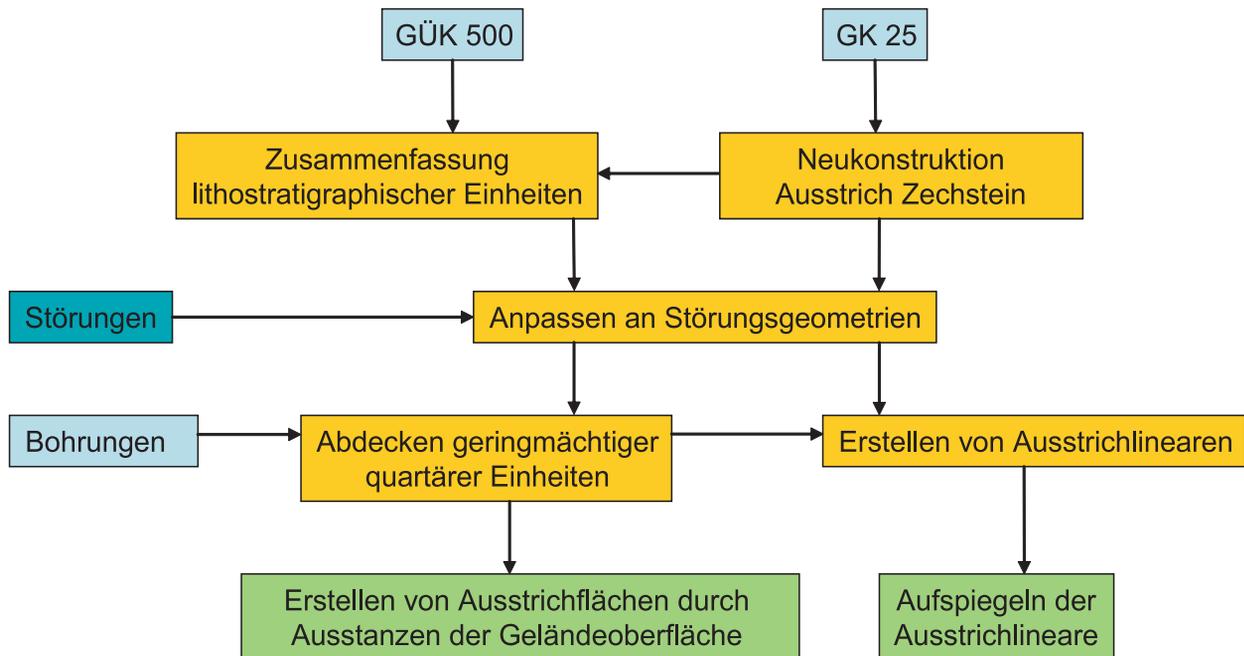


Abb. 5 Modellierung von Ausstrichbereichen. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).

extrahiert. Nach dem Import der Polygone und Liniensegmente in der Modellierungssoftware konnten die Ausstrichflächen aus der Geländeoberfläche (s. Kap. 2.2.1) ausgestanzt werden. Die Ausstrichlinien wurden in ihrer Belegpunktzahl verdichtet und auf die Geländeoberfläche aufgespiegelt.

Ein Problem ist die fehlende Passgenauigkeit zwischen der topographischen Grundlage der GÜK 500 und dem digitalen Geländemodell, vor allem in Bereichen mit bewegter Morphologie. Subhorizontal gelagerte Schichtflächen, wie die jurassischen Einheiten im Bereich der Schwäbischen Alb, zeigen größere Höhenschwankungen im Ausstrichlinear. Für eine Anpassung der Ausstrichbereiche an das Geländemodell blieb im Rahmen des Projektes jedoch keine Zeit, sodass die Ausstrichlineare nicht überall zur Rekonstruktion der Raumlage der geologischen Einheiten genutzt werden konnten.

2.2.3 Verbreitungsflächen

Die Verbreitungsflächen zeigen neben den Ausstrichbereichen das Vorkommen der geologischen Einheiten unter jüngerer Bedeckung. Abbildung 6 zeigt den Arbeitsablauf für die Erstellung von Verbreitungsflächen. Für die Rekonstruktion wurden Ausstrichbereiche, hydrogeologische Verbreitungsflächen (PLUM & ARMBRUSTER, in Vorb.), Angaben aus der Literatur (v. a. Schichtlagerungs- und Mächtigkeitskarten – s. Anhang 2) und Bohrungen (Verbreitung, Nichtverbreitung) genutzt.

Um die Konsistenz der Verbreitungsflächen mit dem Störungsmuster herzustellen, mussten die Verbreitungspolygone angepasst werden. Die Kombination der verschiedenen Datenquellen und die Erstellung der Verbreitungspolygone erfolgte in der GIS-Software. Einerseits dienten die Polygone in GOCAD zur Triangulation von Verbreitungsflächen (zunächst noch ohne Raumbezug, d. h. 2D). Andererseits konnten aus den Umgrenzungspolygonen Templateflächen erstellt werden, die in späteren Modellierungsschritten zum Ausschneiden der Top- und Basisflächen genutzt wurden.

2.2.4 Auswertung von Bohrungen

Bohrungen spielen bei der Konsistenzprüfung bereits vorhandener Schichtlagerungs- und Mächtigkeitskarten eine essenzielle Rolle und sind Grundbausteine für die Neukonstruktion der Raumlage geologischer Einheiten und Mächtigkeitsverteilungen. Größter Datenpool ist die hausinterne Aufschlussdatenbank. Von derzeit rund 190 000 erfassten Bohrungen sind in der Datenbank etwa 112 000 mit Schichtdaten erfasst, durch die zusammengekommen rund 725 000 Schichtdatensätze mit geometrischem Raumbezug (Koordinaten, Bohrteufe unter Ansatzpunkt, ggf. Bohrabweichung) für die Auswertung zur Verfügung stehen. Angaben zum Datenmodell finden sich bei KUPSCH in LGRB (1999). Für das Landesmodell wurden außerdem die Ergebnisse älterer Tiefbohrungen aus den Jahren 1834 bis 1914 stratigraphisch überarbeitet und in der Aufschlussdatenbank aktualisiert oder neu eingetragen. Hierdurch unterstützt

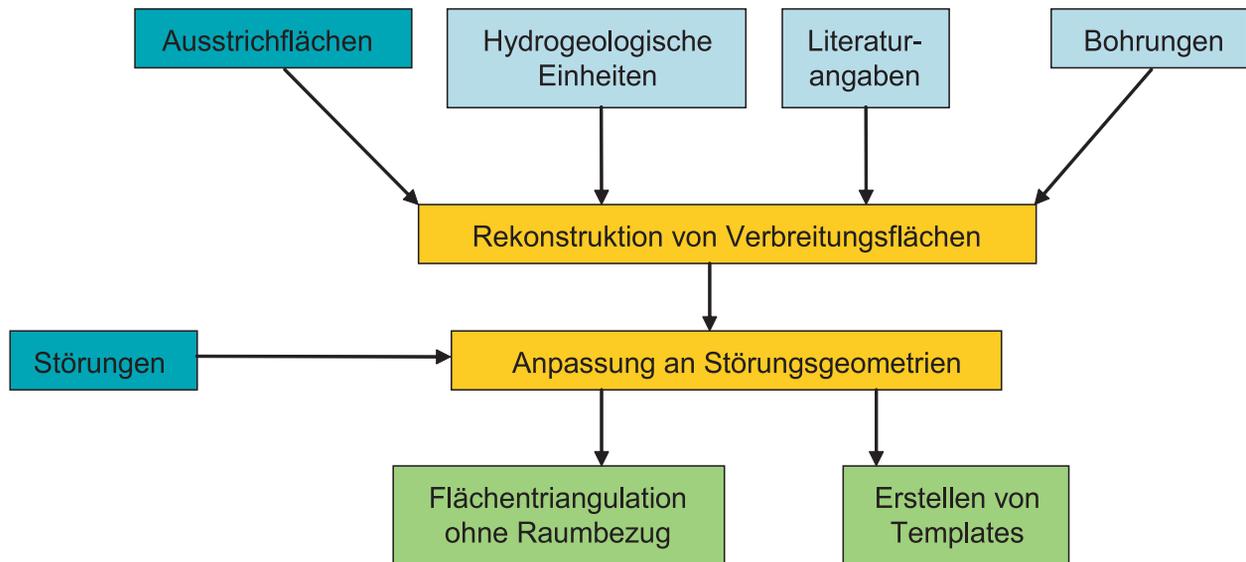


Abb. 6 Modellierung von Verbreitungsflächen. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).

das Landesmodell zugleich die Qualitätssicherung des Bohrdatenarchives. Die automatisiert extrahierten Schichtdatensätze wurden in der Regel manuell geprüft und teilweise nachbearbeitet. Am häufigsten traten Probleme durch veraltete lithostratigraphische Notation, über geologische Grenzen hinweg zusammengefasste Einheiten und als unsicher gekennzeichnete Bereiche auf. Für die Auswertung komplexer Bohrpfade mit sich ändernden Bohrrichtungen und Abweichungen von der Vertikalen mussten zunächst geeignete Datenbankstrukturen auf Grundlage des Datenmodells der Kohlenwasserstoffdatenbank des LBEG geschaffen werden. Veröffentlichte Bohrungen aus den Nachbarländern Bayern und Schweiz wurden der Literatur entnommen und ebenfalls als Rahmendaten in die Modellierung einbezogen.

Die Art der Datenbankabfragen und die daran gestellten Anforderungen richten sich nach dem Verwendungszweck bei der Modellierung. Grundsätzlich kamen folgende Anwendungsszenarien zum Einsatz:

Nutzung für die Konstruktion von Ausstrich- und Verbreitungspolygonen

Für die Konstruktion von Ausstrich- und Verbreitungspolygonen sind Angaben zur Verbreitung bzw. Nichtverbreitung der gesuchten geologischen Einheit notwendig. Angaben zur Mächtigkeit, zur Raumlage und zu benachbarten Einheiten im Liegenden und Hangenden des Schichtpaketes spielen dagegen keine Rolle.

Nutzung für die Konstruktion der Raumlage geologischer Einheiten

Für die Konstruktion der Raumlage von Basisflächen geologischer Einheiten werden Bohrungen benötigt, die diese Fläche durchteufen. Wichtig ist die benachbarte Einheit im Liegenden, da somit Rückschlüsse auf die Lagerungsverhältnisse gezogen werden können. Die Einheit im Hangenden spielt bei der Konstruktion von Basisflächen dagegen keine Rolle und muss in der Bohrung nicht erhalten sein.

Nutzung für die Konstruktion von Mächtigkeitsverteilungen

Datenbankabfragen zur Konstruktion von Mächtigkeitsverteilungen sind komplex. Weil Störungen mit Vertikalversatz zu Verfälschungen der Schichtmächtigkeiten führen, müssen Bohrungen mit tektonischen Bruchstrukturen in der gesuchten geologischen Einheit ausfindig gemacht und korrigiert oder aussortiert werden. Folgende Abfrageszenarien sind unterscheidbar:

Abfrage nach dem Vorkommen einer bestimmten geologischen Einheit: Bei dieser Abfrageform ist es unwichtig, ob Top- und Basisfläche der gesuchten geologischen Einheit durchteuft wurden. Die Abfrage liefert Mindestmächtigkeiten, die bei der Konstruktion nicht unterschritten werden dürfen.

Abfrage nach erosiv gekappten Schichtmächtigkeiten einer geologischen Einheit: Die Basis der geologischen Einheit wird von der Bohrung durch-

örtert, die Oberfläche ist jedoch erosiv gekappt. Diese Fälle treten im Ausstrichbereich an der Geländeoberfläche sowie unter diskordanter Bedeckung auf, wie beispielsweise im Oberrheingraben in den mesozoischen Ausstrichgebieten unter tertiärer Bedeckung. Diese Bohrungen eignen sich zur Konstruktion von Restmächtigkeitsverteilungen.

Abfrage nach der vollständig erhaltenen Schichtmächtigkeit einer geologischen Einheit: Bei dieser Abfrageform müssen die Bohrungen sowohl Oberfläche als auch Basis der gesuchten geologischen Einheit durchteufen. Die benachbarten Schichten des Liegenden und Hangenden müssen deshalb ebenfalls erbohrt sein. Bohrungen, die diese Kriterien erfüllen, liefern wertvolle Informationen für die Konstruktion primärer Mächtigkeitsverteilungen.

2.3 Modellierung des geologischen Inventars

2.3.1 Störungen

Die Integration von Störungen in das Modell erwies sich aufgrund der zeitintensiven Zusammenstellung der Eingangsdaten und des hohen manuellen Aufwands bei der Modellierung als besonders kompliziert und zeitaufwändig. Dabei wurden vornehmlich känozoische Bruchstrukturen in das Modell eingearbeitet. Von den variskischen Deckengrenzen des Schwarzwaldes fand nur der gut erforschte Bereich der Badenweiler–Lenzkirch-Zone im Südschwarzwald Eingang in das Modell (LÜSCHEN et al. 1987). Synsedimentäre Störungen beeinflussten die Mächtigkeitsverteilungen insbesondere des Permo-karbons und des Känozoikums. Die permokarbonen Störungen wurden daher eigens in der Karte ausgewiesen und werden im Kap. 3.1.1 behandelt.

Störungszonen sind komplexe Objekte. Neben dem Verlauf an der Geländeoberfläche weisen sie räumlich variierende Einfallswinkel und Fallrichtungen auf. In Baden-Württemberg dominieren Blattverschiebungselemente mit einem reichen Formenschatz an Extensions- und Transpressionsstrukturen. Im Modell kommt hierbei nur der geometrisch relevante Vertikalversatz zum Ausdruck, horizontale Versatzlängen können mangels geeigneter Querstrukturen nicht abgeleitet werden. Der kleinräumige Wechsel des Versatzbetrages entlang einzelner Störungen verkompliziert die Modellierung im Übersichtsmaßstab. Das Alter der ersten Anlage der Störung und Reaktivierungsphasen spielen im Modell dagegen keine Rolle, da ausschließlich der rezente geometrische Zustand wiedergegeben wird.

Die Auswahl der Störungselemente gestaltete sich schwieriger als erwartet. Eine Auswahl von Störungen nach einem vertikalen Mindestversatz, z. B. von 100 m, ist in einem von Blattverschiebungen geprägten Gebiet nicht sinnvoll, da einerseits viele überregional wichtige Elemente im Schichtstufenland, wie das Schwäbische Lineament oder die Neckar–Jagst-Furche, nur geringe vertikale Versätze aufweisen und somit trotz ihrer großen regionalgeologischen Bedeutung keinen Eingang in das Modell finden würden. Andererseits zeigen auch kleinräumige Bruchstrukturen im Oberrheingraben weitaus höhere Vertikalversätze und müssten in großer Zahl integriert werden. Dies würde das Übersichtsmodell jedoch schnell unübersichtlich machen und die Grenzen der Rechnerkapazität überschreiten. Deshalb wurden zunächst die in der GÜK 500 verzeichneten Störungen der Modellierung zugrunde gelegt und einzelne Störungselemente nach Literaturangaben ergänzt, modifiziert oder vollständig ausgetauscht. In solchen Fällen mussten auch die Ausstrich- und Verbreitungsgeometrien angrenzender lithostratigraphischer Einheiten geändert bzw. dem neuen Störungsverlauf angepasst werden. Zusätzliche Störungen wurden vor allem im Bereich des Oberrheingrabens aufgenommen. Im Molassebecken fand das detaillierte Störungsmuster aus dem Interreg-Projekt Eingang (Interreg III - Hegau). Eine Aufstellung der Quellen für einzelne tektonische Elemente findet sich in Anhang 1.

Die Vorgehensweise für die Integration des tektonischen Inventars ist in Abb. 7 schematisch dargestellt. Nach der Zusammenstellung der Störungslineare an der Geländeoberfläche wurden die Art der Störung und die Versatzbeträge mit Hilfe von Schichtlagerungskarten, den GK 25 und textuellen Angaben aus der Literatur ermittelt. Die Auswertung von Bohrungen spielte bei der Aufarbeitung des strukturgeologischen Inventars keine Rolle, da in der Regel in den Bohrungen die Zuordnung von Störungen zu Elementen an der Geländeoberfläche kompliziert ist und nur punktuell zu weiteren Kenntnissen über die Raumlage führt.

Nach Kombination aller Informationen in der GIS-Software, konnten die Störungen in GOCAD in ihrer Raumlage dargestellt werden. Da jedoch in den meisten Fällen keine Angaben zu Fallrichtung und -winkel vorliegen, wurden die Störungen mit unsicherer Tiefengeometrie zunächst als saiger stehende Flächen modelliert. Mit annähernd bekanntem Einfallen sind bisher die Deckenbahn der nördlichen Begrenzung der Badenweiler–Lenzkirch-Zone (nach LÜSCHEN et al. 1987) und die Dinkelberg-Keilgräben (nach LAUBSCHER 2004) als Schrägflächen modelliert. Die Versatzbeträge der Störungen spiegeln sich in der Raumlage der lithostratigraphischen Einheiten

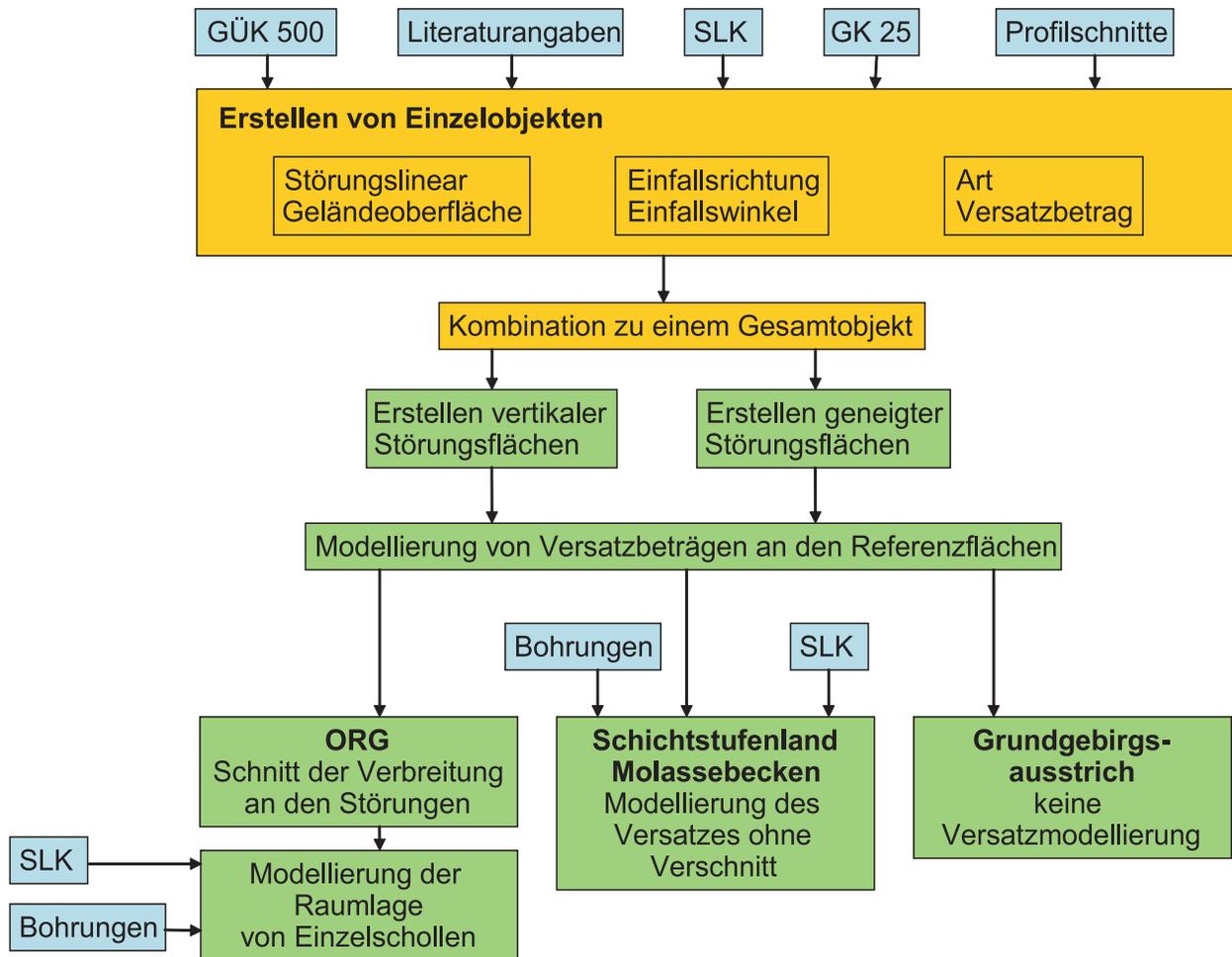


Abb. 7 Arbeitsablauf für die Modellierung von Störungsflächen. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).

wieder. Deshalb wurden die Störungsversätze in den Referenzflächen Basis Tertiär bzw. Basis Keuper eingearbeitet.

Grundsätzlich unterscheidet sich die Vorgehensweise im Oberrheingraben, im Schichtstufenland und Molassebecken und in den Ausstrichgebieten des Grundgebirges. Im Oberrheingraben weisen die Bruchstrukturen hohe vertikale Versatzbeträge auf. Deshalb wurden die Verbreitungsflächen zunächst an den Störungen zerschnitten und nachfolgend die durch den Schnitt generierten Einzelschollen getrennt in ihrer Raumlage modelliert. Hierfür wurde neben den Angaben zu den Versatzbeträgen, Schichtlagerungskarten und Bohrungen herangezogen.

Im Schichtstufenland und im Molassebecken weisen die Störungen jedoch im Betrag geringe, dabei aber lokal stark schwankende Versatzbeträge auf. Deshalb wurde die Raumlage der Referenzflächen

mit Hilfe der ermittelten Versatzbeträge an den Störungen ohne zusätzlichen Verschnitt modifiziert. Die Störungen erscheinen in diesen Regionen deshalb im Modell als Flexur. Auf einen Verschnitt und Versatz im Bereich des Grundgebirges wurde verzichtet, da innerhalb dieser Einheit keine Versätze im Modell erkennbar wären.

2.3.2 Mächtigkeitsverteilungen

Die Konstruktion von Mächtigkeitsverteilungen ist von Bedeutung, da sie die Grundlage für die Berechnung der Raumlage abgeleiteter geologischer Einheiten bildet (s. Kap. 2.3.3). In der Regel wurden primäre Mächtigkeitsverteilungen rekonstruiert. Ausnahmen bilden die Restmächtigkeiten des Mitteljuras im Oberrheingraben und des Oberjuras. Kartendarstellungen und paläogeographische Beschreibungen der permokarbonen bis känozoischen Mächtigkeiten finden sich in Kap. 3.1.

Für das Modell wurden Mächtigkeitsverteilungen für folgende Einheiten ermittelt:

- Quartär
- Mitteljura
- Unterjura
- Keuper
- Muschelkalk
- Buntsandstein
- Zechstein
- Oberkarbon und Rotliegend

Die in Kap. 3.1 beschriebenen Mächtigkeitsverteilungen für den Oberjura und das Känozoikum wurden nachträglich aus dem Modell ermittelt. Daneben wurden spezielle Mächtigkeitsverteilungen für weiterführende Berechnungen erstellt:

- landesweit terrestrischer Zechstein (Karneol-Dolomit-Horizont, Tigersandstein-Formation, Wiesental-Arkosesandstein)
- Impressamergel-Formation (ox1) im Bereich der Schwäbischen Alb und des Molassebeckens

Die Arbeitsschritte bei der Rekonstruktion von Schichtmächtigkeiten sind schematisch in Abb. 8 dargestellt. Zunächst musste der bisherige Kenntnisstand aus der Literatur aufgearbeitet (Details in Anhang 2) und in der GIS-Software in digitale Form überführt sowie vereinheitlicht werden. Neben den

Isoliniendarstellungen wurden auch Mächtigkeitsangaben aus den GK 25-Erläuterungen im Ausstrichgebiet und Abfragen der Aufschlussdatenbank (s. Kap. 2.2.4) als Datengrundlage herangezogen. Auffällige Bohrdaten, in der Aufschlussdatenbank häufig nur als Kurzprofil abgelegt, wurden in einzelnen Fällen nochmals anhand der Originalunterlagen überprüft. Korrekturen ergaben sich hier insbesondere durch bisher nicht berücksichtigte tektonische bzw. lithologische Besonderheiten und durch die heute nicht mehr gültige Zuordnung der terrestrischen Fazies des Zechsteins (Karneol-Dolomit-Horizont, Tigersandstein-Formation) zum Rotliegenden bzw. Buntsandstein. Insbesondere in den älteren Tiefbohrungen des Schichtstufenlandes entsprechen die Grenzen von Rotliegendem, Zechstein und Buntsandstein heute oft nicht mehr den vor mehreren Jahrzehnten vorgenommenen Interpretationen. Bei etlichen Altbohrungen (im Gebiet des Schramberg-Beckens z. B. Sulz, Albershausen, Überkingen) weichen daher die Mächtigkeiten nach heutigem Verständnis z. T. drastisch von älteren publizierten Werten ab.

Für die Mehrzahl der geologischen Einheiten existieren hinreichend genaue kartographische Darstellungen, auf deren Grundlage neue Mächtigkeitsverteilungen erstellt werden können. Ausnahmen bilden die Mitteljura, Oberjura sowie die Verteilungen des terrestrischen Zechsteins und der Impressamergel-Formation, die völlig neu konstruiert wurden.

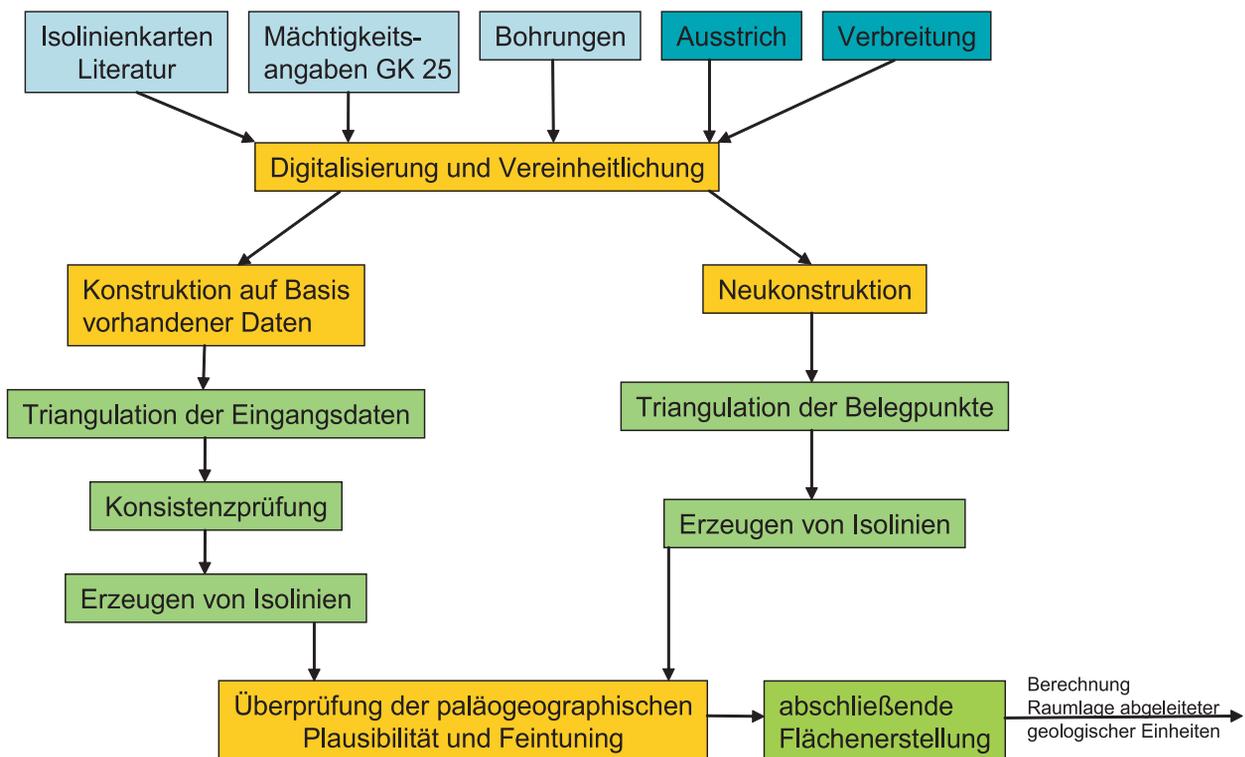


Abb. 8 Modellierung von primären Mächtigkeitsverteilungen. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).



Nach Import der Isolinien und Bohrungen in GOCAD wurden Flächen aus den Eingangsdaten erstellt.

Teilweise lagen Karten für die Mächtigkeiten mehrerer Untereinheiten vor. In solchen Fällen wurden die Mächtigkeiten vor der weiteren Bearbeitung aufaddiert. Mit Hilfe der Bohrbefunde und der Angaben aus den GK 25 fand eine Konsistenzprüfung der Mächtigkeitsverteilungen statt. Bei größeren Diskrepanzen wurden manuell sowohl die Bohrung als auch die Kartengrundlage überprüft, bei Bedarf korrigiert oder aus dem Datensatz entfernt. Um die rekonstruierten Mächtigkeitsverteilungen an den Bohr- und Ausstrichbefund anzupassen, wurden Isolinien aus GOCAD exportiert, in der GIS-Software bearbeitet und nochmals auf ihre paläogeographische Plausibilität überprüft. In Gebieten mit geringer Belegpunktdichte wurde daraufhin der Verlauf der Isolinien teilweise modifiziert, um bekannten paläogeographischen Elementen (Schwellen, Becken) Rechnung zu tragen. Hierzu fanden insbesondere Kartiererergebnisse im Ausstrich der jeweiligen Einheit Verwendung.

Bei Neukonstruktionen wurden die Eingangsdaten (Bohrpunkte, Ausstrichdaten) in GOCAD zunächst grob trianguliert und in der GIS-Software fein angepasst. Auch hier stand die Überprüfung und Anpassung an paläogeographische Elemente im Mittelpunkt. Nach erneutem Datenimport in GOCAD wurden abschließend Mächtigkeitsverteilungen erstellt.

2.3.3 Raumlage lithostratigraphischer Einheiten

Die lithostratigraphischen Einheiten sind das Herzstück der Modellierung. Es wurden folgende geologische Flächen im Modell integriert:

- Basis Quartär
- Basis Tertiär
- Basis Oberjura
- Basis Mitteljura
- Basis Unterjura
- Basis Keuper
- Basis Muschelkalk
- Basis Buntsandstein
- Basis Zechstein
- Basis Permokarbon
- Oberfläche Grundgebirge

Die Raumlage wurde zunächst exemplarisch für einige Referenzflächen auf der Grundlage von Schichtlagerungskarten und des Bohrbefunds ermittelt. So standen für den Bereich des nördlichen und zentralen Molassebeckens die Basis Tertiär und die Basis der Wohlgeschichteten Kalk-Formation (ox2) als detaillierte Schichtlagerungskarten aus

dem Interreg-III-Programm zur Verfügung. Für das Schichtstufenland eignet sich die Keuperbasis aufgrund der großflächigen, oberflächennahen Verbreitung und dem großen Anteil qualitativ hochwertiger Schichtlagerungskarten. Im Oberrheingraben ist die Ermittlung der Raumlage aufgrund der starken bruchtektonischen Beanspruchung kompliziert. Die in den bisherigen Schichtlagerungskarten dargestellten Strukturen weichen je nach Kenntnisstand und Maßstab stark voneinander ab. Eine konsistente Gesamtdarstellung im Übersichtsmaßstab lässt sich daraus noch nicht ableiten.

Für die Konstruktion von Referenzflächen im Oberrheingraben wurden die Liegendbegrenzungen von Tertiär und Keuper gewählt. Als Hauptquellen fungierten die Informationen aus der Geothermischen Synthese des Oberrheingrabens (Geotherm. Synthese 1979, 1981) sowie Karten und Profilschnitte aus VILLINGER (1999) für die Freiburger Bucht. Die Raumlage der anderen geologischen Einheiten wurde mit Hilfe der Mächtigkeitsverteilungen durch Addition oder Subtraktion von den Referenzflächen ermittelt und mit Hilfe von Schichtlagerungskarten und Bohrbefunden evaluiert und im Bedarfsfall angepasst. Vorteil der Vorgehensweise ist ein in sich stimmiges Modell. Da die Konstruktion von Mächtigkeitsverteilungen weniger aufwändig ist als jene von Schichtlagerungskarten, können mit diesem Modellierungsprinzip schnell Ergebnisse erzielt werden. Allerdings wurden durch die Berechnung der Raumlage unter Nutzung von Mächtigkeitsannahmen Störungen und oberflächennahe Details der Schichtlagerung in die liegenden Einheiten durchgepaust. Die Vorgehensweise liefert in Bereichen mit söhligler bzw. wenig geneigter Lagerung gute Ergebnisse, so in weiten Bereichen des Schichtstufenlandes und im Molassebecken. In Bereichen mit stärkerer Verkippung der Schollen, wie im Oberrheingraben und in kleinräumigen Störungsbereichen des Schichtstufenlandes, führt das Verfahren jedoch zur verzerrten Darstellung der Raumlage. Bei diesen Flächen müssten die Einfallswinkel der Flächen in die Berechnung einbezogen werden, die jedoch aus den Bohrverzeichnissen nicht immer hervorgehen. Eine Zusammenstellung der Eingangsdaten und Modellierungsprinzipien findet sich in Anhang 3.

Der Ablauf der Modellierung von geologischen Einheiten wird in den Abb. 9 und 10 dargestellt. Abbildung 9 zeigt den Workflow für die Referenzflächen. Grundlage der Modellierung ist eine Sammlung verschiedener Schichtlagerungskarten, die zunächst in der GIS-Software digitalisiert und vereinheitlicht wurden. Datenlücken traten bereits in diesem Arbeitsabschnitt zu Tage. Weitere Informationen lieferten Bohrungen und einzelne Profilschnitte, die in GOCAD als Bilder eingelesen und digitalisiert

wurden. Ausstrichlineare und Verbreitungspolygone konnten aus früheren Modellierungsschritten übernommen werden.

Die Isolinien der einzelnen Schichtlagerungskarten wurden zunächst durch einfache Triangulation in Flächen überführt und auf Konsistenz untereinander und auf Passgenauigkeit mit den Bohrungen kontrolliert. Bei größeren Unstimmigkeiten wurden sowohl die Darstellungen als auch die Bohrungen manuell auf inhaltliche Richtigkeit überprüft und im Bedarfsfall korrigiert. Stark mit Fehlern behaftete Datensätze (Schichtlagerungskarten und Bohrungen) wurden dabei aussortiert und fanden in der Modellierung keine weitere Verwendung. Die schon in der GIS-Software erkennbaren Datenlücken wurden durch eigene Konstruktionen mit Hilfe von Ausstrichlinearen, Verbreitung, Störungen und Bohrungen gefüllt.

Danach konnte eine erste Gesamtfläche aus den Einzeldatensätzen erstellt werden. Dabei waren zusätzliche Anpassungen in den Ausstrichgebieten und in Regionen um Bohrungen, sowie Glättungen im Bereich von „Kartenrandverwerfungen“ notwendig.

Des Weiteren wurden zusätzliche Störungen in die Raumlage integriert (s. Kap 2.3.1). Die entstandene Fläche weist bedingt durch die Größe der Dreiecksvermaschung noch einige Unzulänglichkeiten auf, beispielsweise in Gebieten mit hoher Bohrdichte. Dieses „Feintuning“ wird am effizientesten in der GIS-Software an den Isolinien durchgeführt. So konnten in diesem Arbeitsschritt weitere Unstimmigkeiten zwischen modellierter Fläche und Bohrungen getilgt, Interpolationsartefakte entfernt und Fein Anpassungen im Bereich von Störungen durchgeführt werden. Nach erneutem Import der Isolinien in GO-CAD wurden abschließend Schichtlagerungsflächen erstellt und mit den Verbreitungstemplates (s. Kap. 2.2.3) verschnitten.

Datensammlung, Digitalisierung und Vereinheitlichung ist auch bei der Modellierung der abgeleiteten Schichtflächen ein essenzieller Arbeitsschritt. Anders als im eben beschriebenen Ablauf wird jedoch die Raumlage durch Addition bzw. Subtraktion von Mächtigkeitsannahmen von der Referenzfläche berechnet (Arbeitsablauf s. Abb. 10), wodurch ein Konstruktionsschritt entfällt.

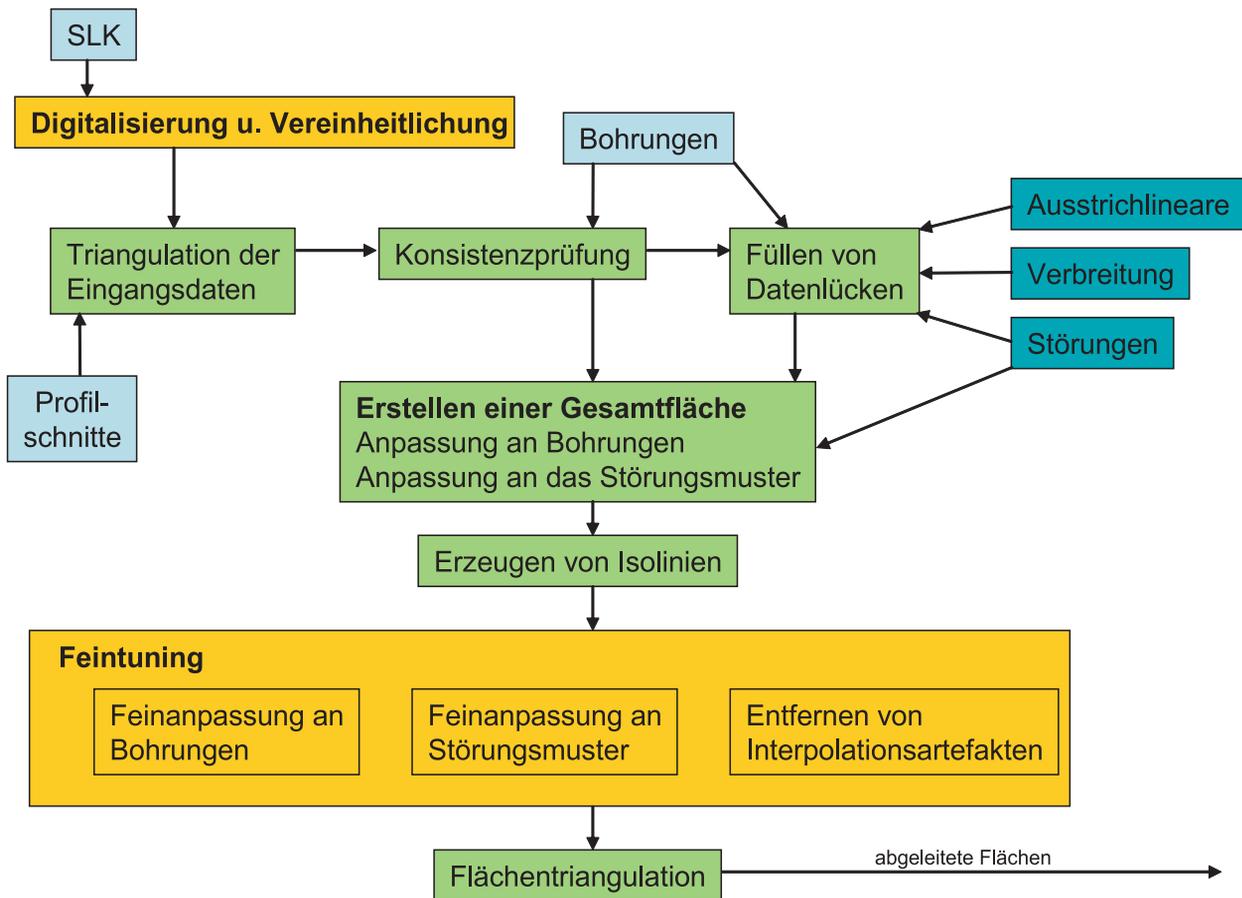


Abb. 9 Modellierung der Raumlage lithostratigraphischer Referenzflächen (Basis Tertiär, Basis Keuper). Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).

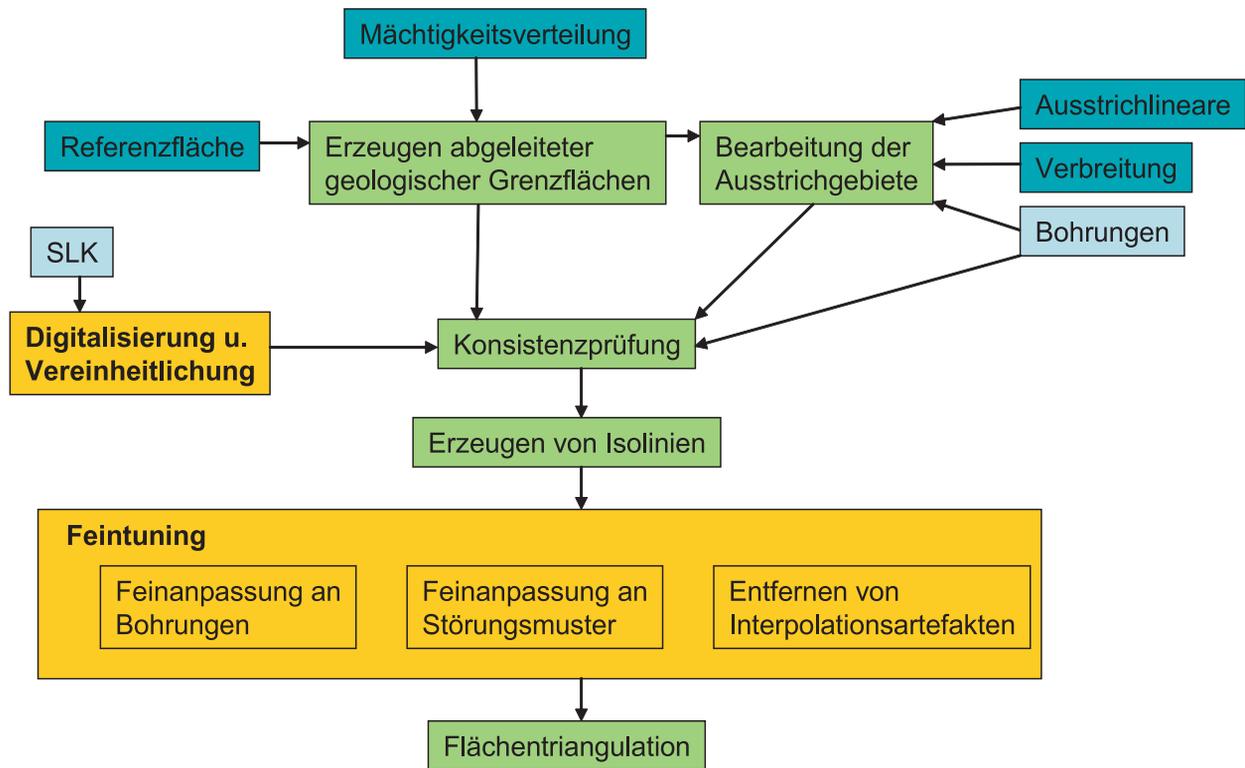


Abb. 10 Modellierung der Raumlage abgeleiteter lithostratigraphischer Grenzflächen. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).

Die von den Referenzflächen ins Liegende abgeleiteten Flächen weisen gewöhnlich größere Verbreitungen als die Referenzflächen auf. In diesen Fällen mussten, vor allem im Ausstrichbereich der tieferen Einheit, von der Referenzfläche nicht überdeckte Gebiete ergänzt werden.

Abbildung 11 zeigt beispielhaft die Zusammenhänge bei der Modellierung der Basis Muschelkalk, ausgehend von der Referenzfläche Basis Keuper (z_{sl_k}). Gesucht ist die Raumlage der Muschelkalkbasis im Ausstrichbereich (z_{sl_m}). Indirekt wird auch die Restmächtigkeit des Muschelkalks ($m_{m_{rest}}$) im Ausstrichbereich ermittelt. Dabei gelten folgende Zusammenhänge:

- Im Bereich des Muschelkalkausstrichlinears fällt die Raumlage der Muschelkalkbasis (z_{sl_m}) mit der Geländeoberfläche (z_{topo}) zusammen: $z_{sl_m} = z_{topo}$
- Im Bereich des Keuperausstrichlinears (z_{sl_k}) wird die Primärmächtigkeit des Muschelkalks ($m_{m_{primär}}$) erreicht. Es gilt die normale Berechnungsvorschrift: $z_{sl_m} = z_{sl_k} - m_{m_{primär}}$
- Im dazwischen liegenden Ausstrichbereich sind nur noch Restmächtigkeiten vorhanden, sodass gilt: $z_{sl_m} = z_{topo} - m_{m_{rest}}$ mit $0 < m_{m_{rest}} < m_{m_{primär}}$

In der Praxis wurde folgende Technik zur Konstruktion von Ausstrichflächen genutzt:

- Erstellen einer Fläche mit Hilfe der Ausstrichlineare der gesuchten Fläche ($z_{sl_m} = z_{topo}$) und der Fläche im Hangenden ($z_{sl_m} = z_{sl_k} - m_{m_{primär}}$)
- Glättung der Fläche und lokale Anpassung an Bohrungen
- Berechnung der Restmächtigkeiten $m_{m_{rest}} = z_{topo} - z_{sl_m}$ und Kontrolle, ob die Restmächtigkeit die Bedingung: $0 < m_{m_{rest}} < m_{m_{primär}}$ erfüllt
- manuelle Nachbearbeitung im Bereich von Störungen

Die abgeleiteten Flächen wurden wie die Referenzflächen auf Konsistenz mit den bereits vorhandenen Schichtlagerungskarten und Bohrungen überprüft. Bei Abweichungen fand ebenfalls eine inhaltliche Kontrolle der Eingangsdaten statt. Nachfolgende Arbeitsschritte stimmen mit der Vorgehensweise bei der Erstellung der Referenzflächen überein. Anhang 3 fasst die Modellierungsprinzipien für die lithostratigraphischen Einheiten zusammen.

Von den bisher beschriebenen Arbeitsabläufen weichen nur die Quartärbasis und die Grundgebirgs-oberfläche ab. Für die Quartärbasis wurde als Referenz-

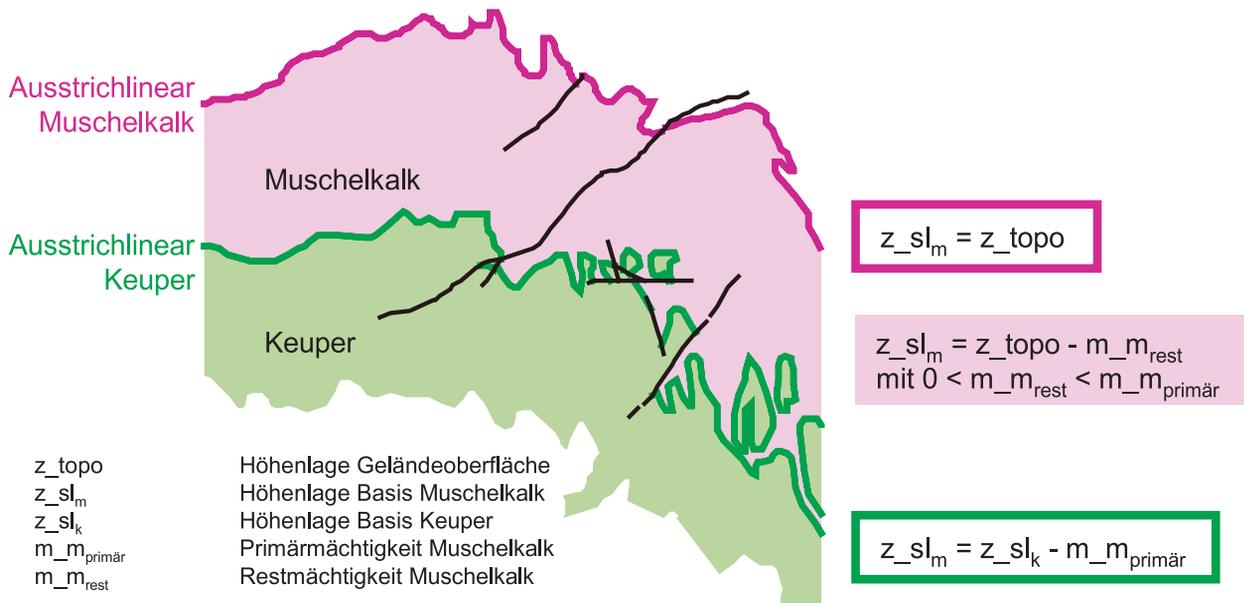


Abb. 11 Beispiel für die Modellierung der Schichtlagerung abgeleiteter geologischer Grenzflächen im Ausstrichbereich. Gesucht ist die Muschelkalkbasisfläche, ausgehend von der Keuperbasis als Referenzfläche.

renzfläche die Geländeoberfläche genutzt und die Mächtigkeitsverteilungen abgezogen. In Bereichen ohne Datengrundlage in Form von Mächtigkeitsangaben wurden zahlreiche Bohrungen für die Ermittlung der Raumlage genutzt.

Die Grundgebirgsoberfläche setzt sich aus den Basiseinheiten der geologischen Einheiten im Hangenden zusammen. Neben Oberkarbon- und Rotliegendesedimenten wurden Gesteine aus dem Zechstein, Buntsandstein und Muschelkalk direkt auf der Grundgebirgsoberfläche abgelagert. Dementsprechend wurde die Schichtlagerung aus den entsprechenden Einheiten im Hangenden zusammengestellt.

Die Modellierung der vulkanischen Formen richtet sich nach der Genese. Im Einzelnen lassen sich folgende Bereiche unterschiedlicher Arbeitsansätze aushalten:

Der Kaiserstuhl besitzt ein zentrales Förderzentrum mit subvulkanischen Eruptivgesteinen. Um den Förderschlot sind an der Oberfläche Lavenergüsse und Tuffdecken des ehemaligen Stratovulkans auf dem sedimentären Sockel erhalten. Da der Magmenaufstieg im Kreuzungsbereich mehrerer Störungszonen erfolgte (Kap. 3.1.10), ist mit der Tiefe ein Übergang des Förderschlotes in Gangspalten zu rechnen. Über deren Gestalt ist jedoch nichts bekannt, weshalb im Modell ein einfacher, sich nach unten verjüngender Förderkanal angenommen werden musste. Die

2.3.4 Junge Vulkanite

In die Modellierung der jungen Vulkanite flossen neben der heutigen Verbreitung an der Geländeoberfläche auch ausgewählte geophysikalische Profilschnitte und Angaben aus der Literatur ein. Die Modellierungsmethodik wird in Abb. 12 wiedergegeben. Nach Digitalisierung und Vereinheitlichung in der GIS-Software wurden die Daten in GOCAD übernommen und weiterverarbeitet. Für die Integration der Vulkanite im Modell mussten jedoch starke Vereinfachungen vorgenommen werden.

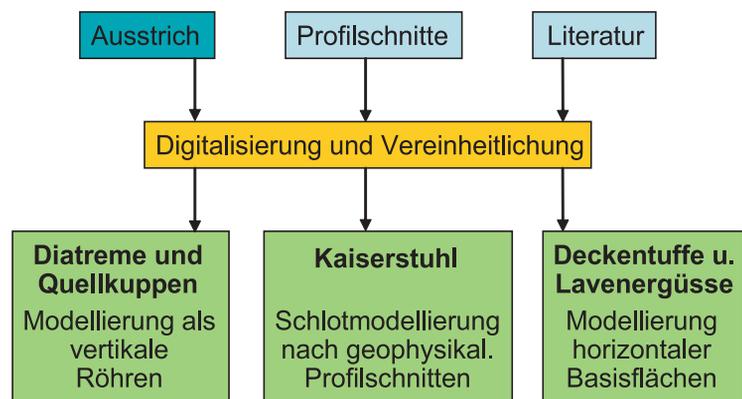


Abb. 12 Integration junger Vulkanite. Je nach genetischer Zuordnung kommen verschiedene Modellierungsansätze zum Einsatz. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).



Modellierung des zentralen Schlotes und der Reste des ehemaligen Vulkangebäudes erfolgte nach Profilschnitten von geoelektrischen Untersuchungen (HOMILIUS & SCHREINER 1991).

Im Hegau begann die vulkanische Aktivität im Miozän mit einer großflächigen Ablagerung von bis zu 100 m mächtigen Deckentuffen (GEYER 2003). Diese Vulkanite stehen in Zusammenhang mit einem ausgeprägten Maarvulkanismus. Später wurden auch ultrabasische Schmelzen als Laven gefördert. Zuletzt drangen Quellkuppen in die Deckentuffe ein, die jedoch das damalige Geländeniveau nicht erreichten. Deckentuffe und Lavenergüsse finden sich vor allem im Süden des Hegaus. Sie wurden in ihrer rezenten oberflächlichen Verbreitung abgebildet. Die Liegendbegrenzung wurde dafür pauschal bei etwa 100 m unter Gelände angesetzt. Quellkuppen (Hohentwiel, Hohenkrähen, Staufen etc.) flossen dagegen als vertikale Stöcke in das Modell ein.

Im Urach-Kirchheimer Vulkangebiet treten ausschließlich Maadiatreme (CLOOS 1941, GEYER & GWINNER 1991) auf. Die meist runden Schlotröhren sind mit einem Gemisch aus Tuff und Nebengesteinstrümmern gefüllt. Untergeordnet drangen örtlich später unbedeutende Gänge und Stöcke von nephelinitischen Magmen in die Brekzien ein. Insgesamt sind über 300 Durchschlagsröhren bekannt (MÄUSSNEST 1974). Aus Übersichtsgründen wurden im Modell jedoch nur 66 Objekte modelliert. Grundgebirgsfragmente in den Schlotbrekzien belegen, dass die phreatomagmatischen Eruptionsherde zumindest in vielen Fällen im Kristallin gelegen haben. Deshalb wurden die Diatreme ausgehend von der Geländeoberfläche abwärts als vertikale Röhren modelliert.

Auch die beiden älteren Vulkangebiete am unteren Neckar und im Südschwarzwald, von denen nur die größten Schlote im Modell erscheinen, stellen offenbar tief abgetragene Maadiatreme dar und umfassen mehrere rundliche Brekzienschlote und wenige ultrabasische Magmenstöcke. Kleinere gangartige Vorkommen sind zwar bekannt, die hier dargestellten größeren Körper lassen sich jedoch ebenfalls als vertikale Röhren modellieren.

2.3.5 Impaktstrukturen

Eine geologische Besonderheit Baden-Württembergs sind zwei Einschlagskrater kosmischer Körper, die als Impaktstrukturen eigenständige geologisch-tektonische Regionen bilden. Im Osten des Landes quert die Landesgrenze zu Bayern über etwa 15 km den westlichen Teil des Nördlinger Rieses, das als fast kreisrunde Senke mit etwa 26 km Gesamtdurchmesser den größten gut erhaltenen Impaktkrater Europas darstellt. Nur

35 km südwestlich befindet sich das Steinheimer Becken mit einem Durchmesser von etwa 3,5 km. Beide Strukturen entstanden offenbar gleichzeitig durch den Einschlag eines Asteroiden, der zuvor in zwei ungleiche Teile zerbrochen war. Für das Ries konnte der Zeitpunkt der Katastrophe auf etwa 14,8 Millionen Jahre vor heute in das Miozän datiert werden.

Die Struktur in den völlig zertrümmerten Kraterbereichen ist äußerst komplex. Der Einschlag hat durch seine Wucht einen tiefen Kessel in das Gebirge gesprengt, der innerhalb von Sekundenbruchteilen wieder in sich zusammenfiel und dabei die heutige Kraterform hinterließ. Im Krater und teilweise auf dessen Rändern lagern über einem bis in das Grundgebirge hinab zerrüttetem Untergrund stark beanspruchte Trümmersmassen (Suevite, Bunte und Monomikte Brekzien, Weißjuragriess), während in der weiteren Umgebung große ausgeworfene Felsschollen verstreut sind. Nach dem Einschlag haben allmählich fossilführende Seeablagerungen die Kratersenke aufgefüllt. Sie sind heute wieder teilweise von der Erosion entfernt und daher nicht mehr flächendeckend verbreitet.

Die innere Struktur der beiden Krater ist damit klein- bis kleinsträumig äußerst komplex. Für das vorliegende Übersichtsmodell wurde daher zunächst auf eine Auflösung der inneren Struktur verzichtet und die Umrisse und Liegendbegrenzungen der Sprengkrater in GOCAD nur schematisch dargestellt. Das Modell zeigt daher allein die Kraterbereiche ohne die allochthonen Auswurfmassen der Umgebung. Die oberflächliche Abgrenzung des Nördlinger Rieses erfolgte in der GIS-Software nach den Geometrien der GÜK 500 und nach Literaturangaben (SCHMIDT-KALER in BGLA 1996). Zahlreiche Auswürflinge von Kristallingesteinen belegen, dass der Sprengkrater des Nördlinger Rieses den kristallinen Sockel erreichte. In der Literatur wird von mindestens 500 m Tiefe ausgegangen (SCHMIDT-KALER in BGLA 1996). Die Liegendabgrenzung wurde deshalb in dieser Teufenlage festgelegt (s. Abb. 13).

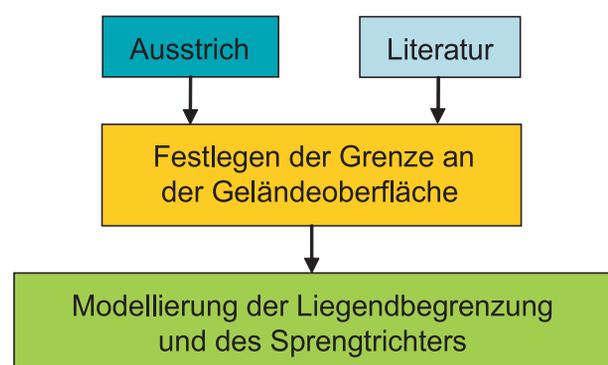


Abb. 13 Modellierungsmethodik der Impaktkrater des Nördlinger Rieses und Steinheimer Beckens. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).

2.4 Erstellen des Gesamtmodells

Im letzten Modellierungsschritt wurden folgende Einzelelemente auf Konsistenz geprüft und miteinander kombiniert (s. Abb. 14):

- Störungen
- lithostratigraphische Einheiten
- Ausstrichbereiche (auf die Geländeoberfläche aufgespiegelt)
- Vulkanite
- Impaktstrukturen

Die Validierung des Modells erfolgte einerseits über den Abgleich zwischen den Ausstrichbereichen und den zugehörigen Basisflächen, andererseits über die Raumlage der geologischen Einheiten untereinander. Insbesondere wurde geprüft, ob sich geologische Basisflächen unterschiedlichen Alters durchdringen. Probleme dieser Art traten vor allem in den Ausstrichbereichen mit reduzierten Restmächtigkeiten und in größeren, interpolierten Abschnitten ohne Bohrungen auf. Solche Modellteile wurden vor der Kombination zum Gesamtmodell nachbearbeitet.

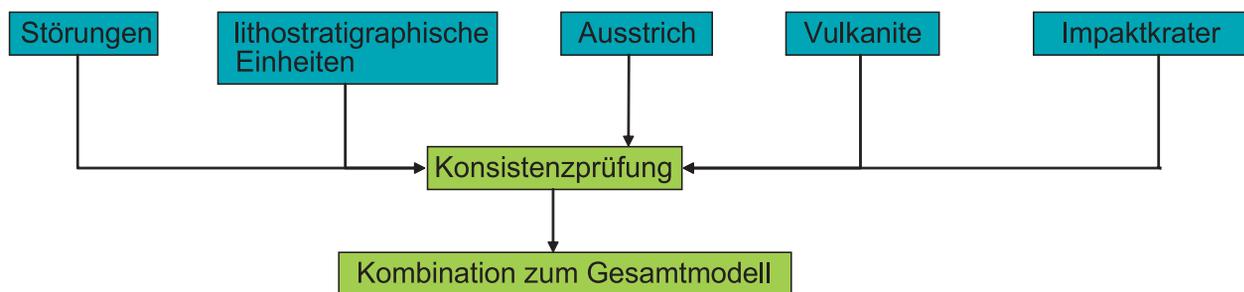


Abb. 14 Konsistenzprüfung der Modellbestandteile und Kombination zur Gesamtdarstellung. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).

2.5 Ableitung von Produkten aus dem 3D-Modell

Das Modell kann für eine Reihe verschiedener Ableitungen genutzt werden (Abb. 15, 16, 17). Die direkteste Anwendungsmöglichkeit liegt in der Ableitung von 2D-Produkten, wie abgedeckten geologischen Karten, Schichtlagerungskarten, Mächtigkeitsverteilungen und Profilschnitten beliebiger Ausrichtung. Eine Auswahl wird in Kap. 3 gezeigt und beschrieben. Hierzu wurden die Isolinien und Schnittlinien in GOCAD generiert und in der GIS-Software nachbearbeitet.

Von wachsender Bedeutung ist zudem die Nutzung einzelner Modellelemente für weiterführende Frage-

stellungen. So wurde das Modell für das Projekt „IS Oberflächennahe Geothermie“ bereits im Bereich des Oberrheingrabens verfeinert (Modellierung weiterer geologischer Einheiten, Einbau zusätzlicher Störungen) und für die Ableitung geothermischer Einheiten genutzt. Details hierzu finden sich in RUPF (2007). Weitere Nutzungsmöglichkeiten für grundlegengeologische und angewandte Fragestellungen sind in Planung.

Das Modell eignet sich darüber hinaus gut für die Visualisierung bestimmter geologischer Teilaspekte mit Hilfe von Viewern (VRML etc.) und animierten Bilddateien (AnimGifs). Eine umfassende dreidimensionale Darstellung des Landesmodells im Internet ist geplant.

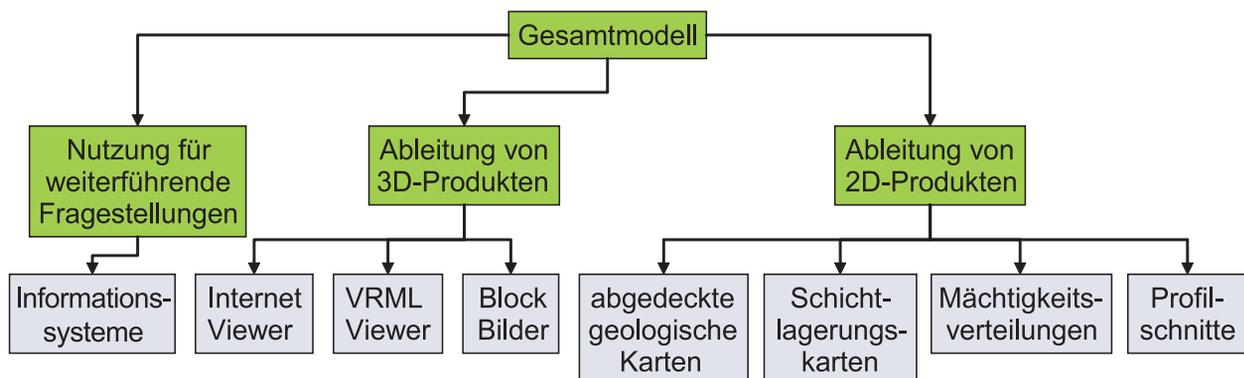


Abb. 15 Ableitung von Produkten aus dem Gesamtmodell. Die Farben stehen für die genutzte Software (s. Abb. 3).

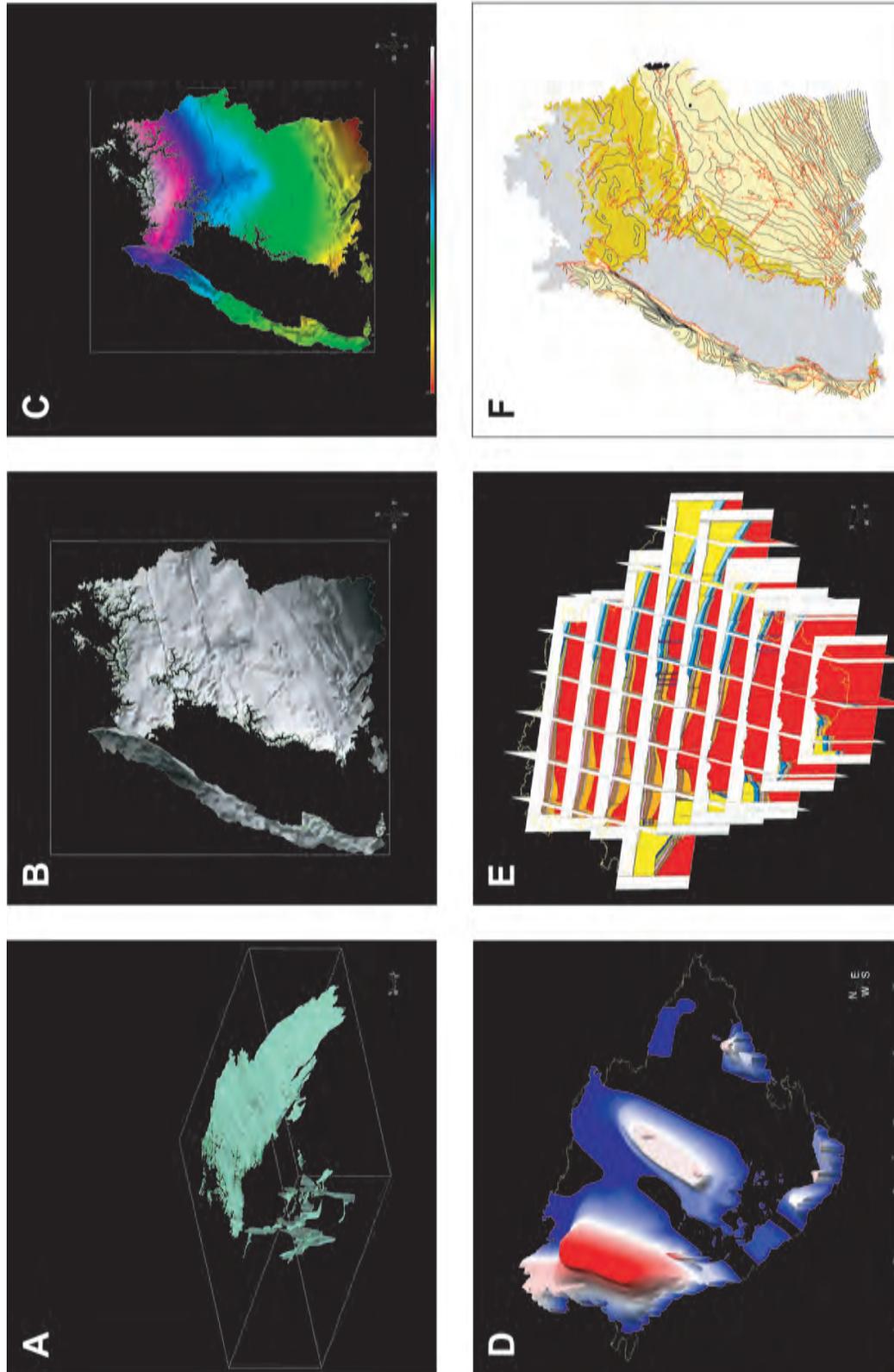


Abb. 16 Ausgabemodi des Gesamtmodells. **A)** Raumlage der Keuperbasis. **B)** Raumlage der Keuperbasis mit Graustufen-Höhenkodierung (schwarz: -5000 m uNN, weiß: 1000 m üNN). **C)** Keuperbasis mit farbkodierter Primärmächtigkeitsverteilung des Keupers. Violett: maximale Primärmächtigkeiten (40 m), rot: minimale Primärmächtigkeiten (40 m). **D)** Primärmächtigkeitsverteilung im Rotliegend und Oberkarbon. Regionen erhöhter Mächtigkeiten sind als Berge dargestellt. **E)** Ausgabe des Modells in Form einer Profilschnittserie. **F)** Isoliniendarstellung der Raumlage der Keuperbasis.

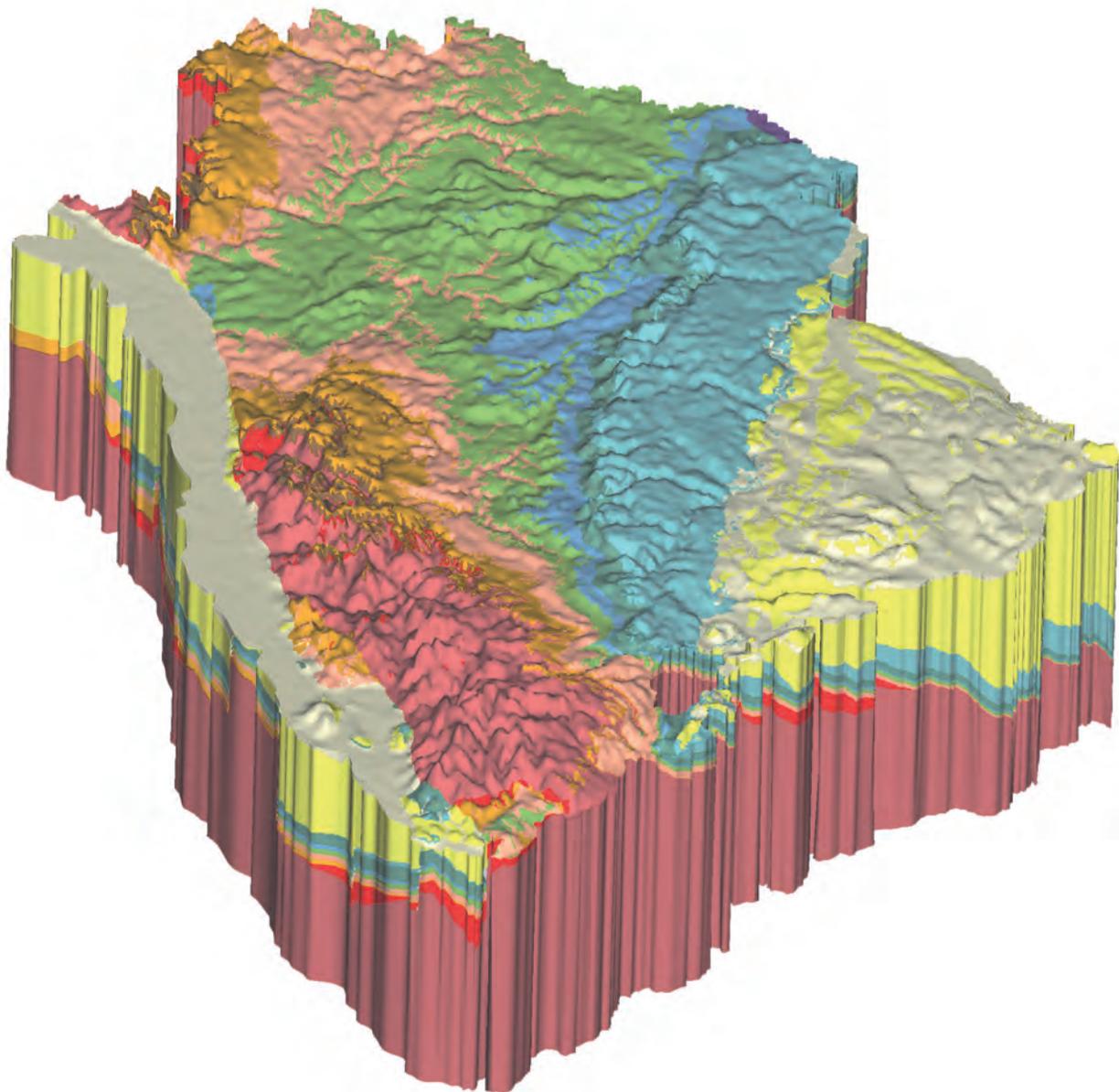


Abb. 17 Blick aus SW auf den Modellblock in der Modellierungssoftware GOCAD. Besonders auffällig ist die tektonische Zerlegung der geologischen Einheiten im Oberrheingraben und das Abtauchen des Sedimentstapels nach SE im Molassebecken.



3 Geologische Ergebnisse und Diskussion

Als Ergebnis des geologischen Landesmodells wurden erstmals ein jeweils geschlossener Satz von Mächtigkeits- und Schichtlagerungskarten sowie vier geologische Profilschnitte erstellt, die sämtliche stratigraphischen Haupteinheiten vom Dach des Grundgebirges bis an die Geländeoberfläche in landesweit einheitlicher Weise und mit vergleichbarer Datengrundlage umfassen. Die Karten stellen zwar weiterhin für manche Gebiete nur vorläufige Ergebnisse dar, da die Dichte der Bohrdaten noch Spielräume für die Interpretation offen lässt. Die vorliegenden Konstruktionen beruhen jedoch auf einer weit größeren Zahl von Belegpunkten als frühere Darstellungen. Sie sind zudem untereinander konsistent, da die gemeinsame Bearbeitung aller Schichtabschnitte und deren Integration im selben Datensatz des 3D-Modells Unregelmäßigkeiten zwischen aufeinander folgenden Karten aufdecken musste.

Im folgenden Abschnitt werden die auf den Karten sichtbaren Strukturen kurz beschrieben und vom paläogeographischen bzw. tektonischen Standpunkt aus diskutiert. Dabei stehen bei den Mächtigkeitskarten naturgemäß die paläotektonische Entwicklung über die Erdgeschichte, bei den Schichtlagerungskarten dagegen die heutige tektonische Situation im Vordergrund. Die Profilschnitte zeigen dieselben Daten aus einer jeweils anderen Perspektive, weshalb hier nur kurz auf das Dargestellte eingegangen wird.

3.1 Mächtigkeitskarten für Permokarbon und Deckgebirge in Baden-Württemberg

Die hier vorgestellten zehn Mächtigkeitskarten aus dem Landesmodell umfassen das Übergangs- und Deckgebirge (sensu KATZUNG & EHMKE 1993) in Baden-Württemberg. Innerhalb der paläotektonischen Entwicklung der Region ist damit die erste Karte der postvariskischen Epoche (stefanisch-frühpermische Dehnungsphase; ZIEGLER et al. 2004, ZIEGLER & DÉZES 2005) und die letzte Karte der alpidisch-neotektonischen Epoche zuzuordnen, während die übrigen Karten die protokimmerisch-kimmerische Entwicklung des Landes in Einzelschritten aufgliedern (Abb. 18).

Im Folgenden sollen die Karten und die darin erkennbaren Strukturen zunächst einzeln disku-

tiert werden. Den Abschluss des Kapitels bildet eine zusammenfassende Diskussion der aus den Karten abzuleitenden Gesamtentwicklung. Aus Raumgründen ist dabei die relevante Literatur nur in Auswahl angeführt, weshalb hier nochmals auf die Übersichtsdarstellung von GEYER & GWINNER (1991) und die neueren zusammenfassenden Beiträge von ZIEGLER et al. (2004) und ZIEGLER & DÉZES (2005) verwiesen werden soll. Übersichten zur Benennung der wichtigsten paläotektonischen und tektonischen Elemente, nach denen die Besprechung der Karten erfolgt, geben die Abb. 30 und 31.

3.1.1 Primärmächtigkeiten von Oberkarbon und Rotliegend

Datengrundlage: Die Gliederung des Permokarbon in Baden-Württemberg befindet sich derzeit in Revision. Die Abgrenzung des Rotliegenden von den Ablagerungen des Oberkarbon war bislang von großen Unsicherheiten geprägt und uneinheitlich vollzogen worden, weshalb ältere getrennte Mächtigkeitsangaben für Oberkarbon und Rotliegend und selbst Angaben über die Verbreitung beider Gruppen auf einer sehr ungleichwertigen Datenbasis fußen. In der Mächtigkeitskarte ist das Jüngere Oberkarbon (Stefan) darum mit dem Rotliegenden zusammengefasst dargestellt. Das Ältere Oberkarbon von Diersburg-Berghaupten (Namur-Westfal) fand wegen seiner tektonischen Eigenständigkeit keine Berücksichtigung (Abb. 19).

Ausgangsdaten für die Konstruktion der Isolinien sind sowohl Kartiererergebnisse (Schwarzwald) als auch Ergebnisse von Tiefbohrungen. Die Untergrenze der stefanisch-frühpermischen Sedimente stellt überall das kristalline Grundgebirge (bzw. gefaltete Schiefergebirge) dar. Die Obergrenze ist die jeweilige Zechsteinbasis heutiger Definition (vgl. Kap. 3.1.2). Da die Grenzziehung gegen den Zechstein bzw. Buntsandstein früher vielfach anders vorgenommen wurde, mussten sämtliche verwendeten Profile zunächst im Hinblick auf die heutige Gliederung überprüft werden. Nach Abdeckung des früher zum Rotliegenden gerechneten „Karneol-Dolomit-Horizontes“ (tieferer Zechstein in terrestrischer Fazies) und seiner Äquivalente zeigen sich daher in den Schwellengebieten größere Flächen frei von Rotliegend-Sedimenten als auf früheren Karten dargestellt.

Der Verlauf der Isolinien um die z. T. weit gestreuten Bohrdaten folgt in den großen Becken dem Paradigma eines vorwiegend von thermischer Subsidenz geprägten Sackungsbeckens. Die wahrscheinlich auch unter dem Deckgebirge vielfach auftretenden abrupten Mächtigkeits sprünge entlang von

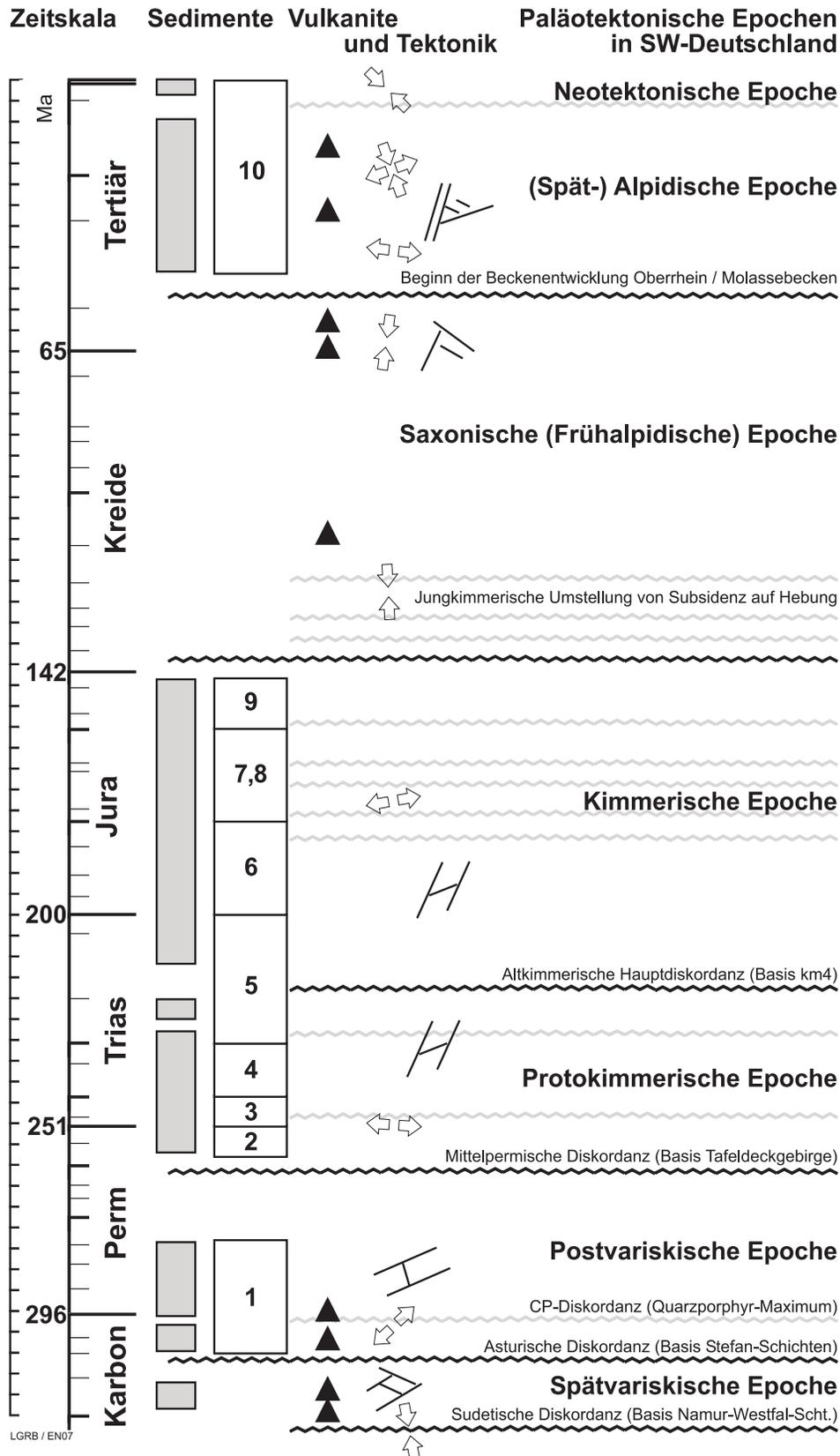


Abb. 18 Generalisierte Zeitskala und paläotektonische Entwicklung in Südwestdeutschland. Graue Balken links: Zeiträume mit Sedimentakkumulation, daneben die von den Karten (Abb. 19 bis 29) repräsentierten Zeitabschnitte (weiße Kästen: die Zahlen verweisen auf die einzelnen Karten). Dreiecke: vulkanische Aktivität. Pfeile: Richtung der Hauptdeformation (schematisch, nach dem Überwiegen von Dehnung oder Kompression); die Strichdiagramme geben schematisch das vorherrschende großräumige Bruchbild wieder.



synsedimentär aktiven Störungszonen, die aus den Ausstrichgebieten gut bekannt sind (Baden-Baden, Schramberg, Weitenau), lassen sich anhand der Bohrdaten nur ausnahmsweise geographisch eingrenzen (vgl. Bohrprogramm Teinach: CARLÉ 1982b). Die Mächtigkeitsverteilung in der Karte muss daher als modellhaft geglättet gelten.

Paläogeographie: Der tiefste dargestellte Schichtabschnitt umfasst die Gesteinseinheiten des post-variskischen Übergangsstockwerks. Unter dieser Bezeichnung werden flach lagernde und blocktektonisch verstellte vulkanische und sedimentäre Einheiten zusammengefasst, die nach Abschluss der variskischen Kollisionstektonik in zahlreichen Einzelbecken als Innenmolassen des Variskischen Gebirges entstanden und die diskordant vom eigentlichen Deckgebirge (Tafeldeckgebirge) überlagert werden. Es handelt sich um mächtige terrestrische bzw. limnische Sedimente, die sich im Untergrund von Baden-Württemberg auf sieben Sedimentbecken verteilen, und um Vulkanite, deren Pyroklastika teilweise auch auf die dazwischen aufragenden Kristallinschwellen übergreifen.

Die Gesteine des Übergangsstockwerkes sind fast vollständig durch die jüngeren Sedimente des Zechstein, Mesozoikum und Känozoikum verdeckt. Nur im Schwarzwald und im Odenwald zeigen sich kleinräumige Ausstrichgebiete. Die Sedimentation begann im frühen bis mittleren Stefan mit grauen bis violetten groben Klastika, örtlich mit geringer Kohlenbildung, und einzelnen Tufflagen (MAAS & VOGELLEHNER 2005). Nach oben schalten sich noch im Karbon zunehmend rotbraune Gesteine ein, die man lange dem „Unterrotliegend“ anderer Regionen gleichgesetzt hatte, die aber heute eher mit der auch aus anderen Regionen (Saar, Saale) bekannten Rotfazies des mittleren Stefan in Verbindung zu bringen sind. Etwa an der Grenze zum frühen Perm setzte intensiver Rhyolith-Vulkanismus ein, mit dessen Produkten heute die Basis des Rotliegenden definiert ist. Über den Laven und Pyroklastika, teilweise bereits in deren seitlicher fazieller Vertretung, folgen vorherrschend rotbraun gefärbte Schuttsedimente und Schlufftonsteine, die örtlich die stefanischen Sedimente diskordant überlagern.

Die Beckenränder sind teilweise, soweit durch Aufschlüsse oder Bohrungen bekannt, an steil einfallende, synsedimentär aktive Störungszonen gebunden, neben denen sogleich mehrere hundert Meter mächtige Sedimente abgelagert wurden (z. B. Schramberger Verwerfung, Gernsbacher Störungszone). Auch innerhalb der Becken ist mit einer, aus den bisherigen Bohrdaten jedoch nicht näher rekonstruierbaren, Zerblockung des Untergrundes und kleinräumigen Mächtigkeitssprüngen

zu rechnen. Die Beckenstruktur ist Ausdruck einer großräumigen Zerschneidung und Dehnung des vormaligen Variskischen Gebirges zwischen dem Baltischen Schild im Norden und dem nach Westen vorbeigleitenden Gondwana-Kontinent im Süden (ZIEGLER et al. 2004, ZIEGLER & DÉZES 2005). Die teilweise erheblichen vertikalen Versatzbeträge entlang der z. T. über hunderte von Kilometern aushaltenden Scherzonen sind hierbei meist Sekundäreffekte der im Betrag überwiegenden rechtslateralen (herzynisch, erzgebirgisch) und linkslateralen (eggisch, pfälzisch) Horizontalbewegungen.

Zwischen den permokarbonen Sedimentbecken liegen erzgebirgisch (70 – 80° NE), untergeordnet auch eggisch (ca. 350° NNW) streichende Grundgebirgs-Schwellen, die flächendeckend erst von Zechstein oder Buntsandstein überdeckt wurden. Ihre Begrenzungen und der Verlauf der Isopachen innerhalb der Becken weisen, wenn auch bisher wegen der geringen Primärdatendichte noch recht vage, auf eine Reihe von erzgebirgisch und eggisch streichenden Lineamenten hin, von denen die Mächtigkeitsverteilungen kontrolliert scheinen. Örtlich kann sedimentäres Übergreifen (Onlap) des Rotliegenden um mehrere Kilometer auf die benachbarten Schwellen festgestellt werden, wobei die Abfolgen vielfach mit Brekzien aus kantigem Grundgebirgsschutt beginnen (z. B. Bohrung Allmersbach). Ein verschüttetes Paläorelief der Schwellengebiete macht sich in Kartierergebnissen und dichten Bohrrastern durch kleinräumig wechselnde Mächtigkeiten am Beckenrand und örtliche Sedimentvorkommen (Tal- bzw. Gerinnefüllungen) im Schwellenbereich bemerkbar (Nordschwarzwald-Schwelle).

Die paläogeographischen Elemente der Rotliegendzeit sind teilweise noch über das gesamte Mesozoikum hinweg als Schwellen oder Senkungszonen in Fazies und Mächtigkeiten erkennbar. Sie sollen daher hier kurz charakterisiert und ein Ausblick auf ihre nachfolgende Entwicklung gegeben werden.

Im Norden des Landes trennt die 30 – 40° NNE streichende **Odenwald – Spessart-Schwelle** (BRANDES 1919: „Spessart-Achse“) das südlich anschließende Kraichgau-Becken vom Saar – Nahe-Becken in Rheinland-Pfalz und Hessen. Die Schwelle setzt sich vom Odenwald nach SW in den Untergrund des Oberrheingrabens fort, der sie entlang eggisch streichender Bruchbahnen unter spitzem Winkel durchtrennt (BOIGK & SCHÖNEICH 1970, 1974). Linksrheinisch zeigt sich ihre Fortsetzung, wie alle prä-eozänen paläogeographischen Elemente heute am Oberrheingraben sinistral versetzt, im Kristallin von Albersweiler im südlichen Pfälzer Wald (LGBRP 2005). Die Schwelle wurde im Meso- und Känozoikum mehrfach als Hebungsbereich reaktiviert und

zeichnet sich bis heute als Hochlage des Kristallins in den Schichtlagerungskarten ab.

Das **Kraichgau-Becken** (WILFARTH 1932: Kraichgau-Senke) ist das größte Permokarbon-Becken in Baden-Württemberg. Nach seismischen Untersuchungen erreichen die Mächtigkeiten im Depozentrum mehr als 1000 m (BREYER 1956, TRUSHEIM 1964, BOIGK & SCHÖNEICH 1970, 1974). Die nahe der Beckenachse angesetzte Bohrung Neibsheim wurde nach etwa 620 m Rotliegendem in einer Tonsteinserie eingestellt, die nach Vergleich mit anderen Profilen noch dem mittleren Abschnitt des Rotliegenden entsprechen dürfte (BACKFISCH 1984). Zumindest im Gebiet des Schwäbisch-Fränkischen Waldes (Allmersbach a. W.: CARLÉ & WURM 1971) greift das Rotliegende progressiv auf das Kristallin der Nordschwarzwald-Schwelle über. Möglicherweise entstand hier eine Verbindung des Sedimentationsraumes zum Schramberg-Becken im Süden. Im Nordosten bestand über den Rotliegend-Graben von Rannungen eine unmittelbare Verbindung zum Saale-Becken (TRUSHEIM 1964, BGLA 1996). Über dem Kraichgau-Becken zeigen sich auch noch im Tafeldeckgebirge höhere Mächtigkeiten, die dann jedoch kein eigenständiges Becken mehr bilden und als Fränkische Senke eine regionale Struktur des Mitteleuropäischen Beckens darstellen. Noch heute bildet sich das Kraichgau-Becken bzw. die Fränkische Senke als „Fränkische Mulde“ in der Schichtlagerung ab (CARLÉ 1955).

Im Nordschwarzwald streicht am Südrand des Kraichgau-Beckens mit dem **Baden-Baden-Becken** (STILLE 1928: Baden-Badener Trog; hier im engeren Sinne nur die „Lichtentaler Mulde“ nach BILHARZ 1934) eine kleinere Randsenke aus, die sich im Stefan als eigenständiges kleines Becken über einer offenbar antithetisch nach Süden verkippten Randscholle des Kraichgau-Beckens entwickelt hat (LÖFFLER 1992). Das Becken ist bei Baden-Baden und Gaggenau durch die schmale **Battert-Schwelle** (BILHARZ 1934: Battert-Sattel) vom eigentlichen Kraichgau-Becken getrennt. Im Rotliegenden wird die Schwelle teilweise von Sedimenten überdeckt und das Baden-Baden-Becken wird zur Randsenke des Kraichgau-Beckens. Die Mächtigkeit des Permokarbon erreicht nahe der südlichen Randstörung mehr als 900 m (BACKFISCH 1984, LÖFFLER 1992) und nimmt nach Norden im Gebiet der Battert-Schwelle auf etwa 300 m ab. Nördlich der Battert-Schwelle wächst die Mächtigkeit im südlichen Kraichgau-Becken rasch wieder auf über 500 m an (im Baden-Badener Ausstrichgebiet von BILHARZ 1934 als „Rotenfelser Mulde“ bezeichnet). Das Baden-Baden-Becken trägt in der älteren Literatur verschiedene Namen und wurde meist mit dem Kraichgau-Becken, und teilweise mit weiteren Becken, zusammengefasst (Oos-Trog: STILLE 1928; Weiler–Oos–Main–Saale-Trog: FALKE 1971, 1977).

Die vergleichsweise geringeren Mächtigkeiten im Ostteil des Kraichgau-Beckens (Tiefbohrung Ingelfingen 297 m, Boxberg 120 m einschließlich „Weißliegendes“) zeigen bereits die Nähe der eggisch streichenden **Ries–Tauber-Schwelle** (FRANK 1930: Riesbarre) an, die das Becken nach Osten begrenzt. Die Ries–Tauber-Schwelle ist nach den wenigen derzeitigen Bohrdaten wahrscheinlich weiter untergliedert durch erzgebirgisch streichende Horst- und Grabenschollen, die sich in die Randbereiche des Kraichgau Beckens hinein fortsetzen. Zwischen der Boxberger Hochscholle und der Odenwald–Spessart-Schwelle endet die Ries–Tauber-Schwelle am NNE streichenden Rotliegend-**Graben von Rannungen**, der als südlicher Abschnitt der Thüringisch-Fränkischen Grabenzone das Kraichgau-Becken mit der nordöstlich gelegenen Saale-Senke verbindet (TRUSHEIM 1964, ANDREAS et al. 2005). Die Ries–Tauber-Schwelle, zuerst für den Muschelkalk als „Barre von Gammesfeld“ (WAGNER 1913) bzw. „Tauberbarre“ (VOLLRATH 1923) beschrieben, gehört neben der Odenwald–Spessart-Schwelle und der Fränkischen Senke zu den dauerhaftesten paläotektonischen Strukturen in Süddeutschland. Sie macht sich in der Fazies- und Mächtigkeitsverteilung über Trias und Jura hinweg bemerkbar und bildet während der Kreide den Westrand der Regensburger Bucht. Die Schwelle zeigt sich als Ries-Sattel noch in der heutigen Schichtlagerung (Kap. 3.2.4) und beeinflusst dabei den Verlauf der Mitteleuropäischen Wasserscheide.

Die südlich anschließende **Nordschwarzwald-Schwelle** stellt eine der bedeutendsten Schwellenregionen Süddeutschlands dar (STILLE 1928, FREYBERG 1935). Ihr Nordrand fällt annähernd, wenn auch nicht exakt, mit einem spätvariskischen Tiefenbruch zusammen, an dem das hochmetamorphe und von Granitplutonen durchsetzte Kristallin des Nord- und Zentralschwarzwaldes an das sehr schwach bis schwach metamorphe Nordbadisch-Fränkische Schiefergebirge grenzt, das den Untergrund des Kraichgau-Beckens bildet. An ihrem Nordrand fanden offenbar in alpidischer Zeit erneut Bewegungen statt, die im höheren Deckgebirge die Störungs- und Flexurzone der „Fränkischen Furche“ (CARLÉ 1955) hervorriefen.

Im Gebiet der Nordschwarzwald-Schwelle sind an mehreren Stellen unter dem übergreifenden höheren Zechstein (Tigersandstein) kleine und höchstens wenige Meter mächtige Vorkommen von Arkosen, Brekzien und Konglomeraten bekannt geworden, die rinnen- bis wannenartige Erosionsformen im Grundgebirge ausfüllen. Sie werden nach ihrer Fazies meist dem Rotliegenden zugeordnet. Ähnlich geringmächtige Sedimente wurden vereinzelt auch in der NE Fortsetzung der Schwelle bis in den Stuttgarter



Karte 1: Primärmächtigkeiten von Oberkarbon und Rotliegend

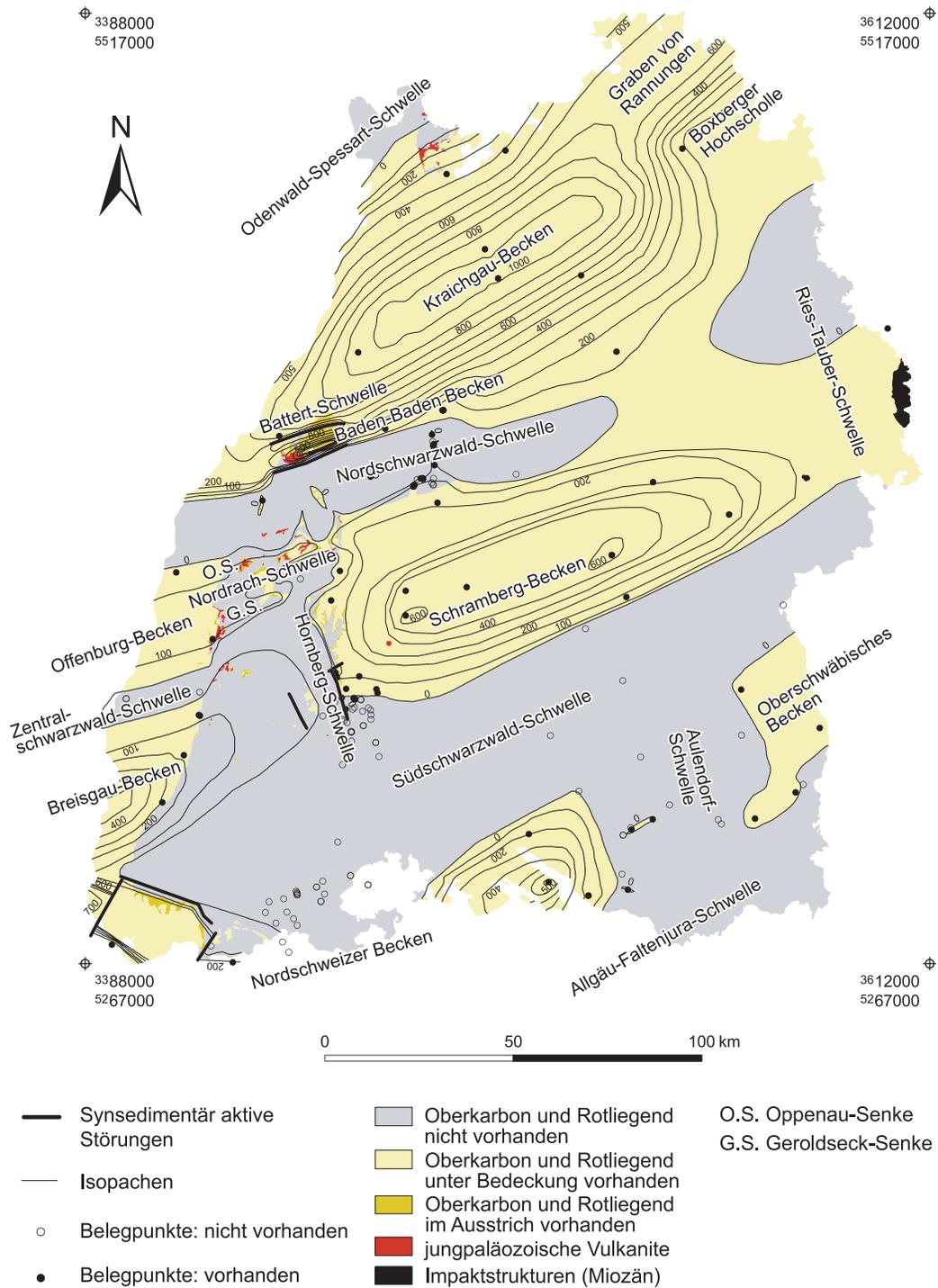


Abb. 19 Karte 1: Primärmächtigkeiten und paläogeographische Situation im Oberkarbon und Rotliegend.

Raum unter dem Deckgebirge erbohrt, die jedoch ähnlich wie jene der Bohrung Bad Cannstadt wohl überwiegend oder ganz dem Zechstein zuzurechnen sind (KÄDING 1978). Erst im Gebiet des Schwäbisch-Fränkischen Waldes deutet die Tiefbohrung Allmersbach (116 m Rotliegend) möglicherweise eine flächenhafte Bedeckung durch Sedimente an, die auf eine N–S orientierte Einsenkung westlich der Ries–Tauber-Schwelle hindeuten könnte. Doch ist auch eine Deutung als örtliches und nach Süden begrenztes Randbecken, ähnlich dem Baden-Baden-Becken, in Betracht zu ziehen.

Westlich des Rheins bildet die Nordschwarzwald-Schwelle, heute sinistral entlang des Oberrheingrabens versetzt, den nördlichen Hauptarm der Morvan–Vogesen-Schwelle NE-Frankreichs. Diese von FREYBERG (1935) „Rheinische Hauptschwelle“ genannte Schwellenregion erstreckt sich vom Französischen Zentralmassiv bis in die zentralen Vogesen, wo sie sich am Permokarbonbecken von Villé in zwei Teilschwellen aufgabelt. Den nur schmal entwickelten südlichen Arm bildet zwischen Schuttertal und Freudenstadt die **Zentralschwarzwald-Schwelle**. Diese Schwelle (Name nach FALKE 1971) ist zuerst von FREYBERG (1935) beschrieben, aber nicht benannt worden, weshalb in der Literatur bisweilen fälschlich seine (ausdrücklich zusammenfassende) Bezeichnung als „Oberrheinische Hauptschwelle“ allein auf die Zentralschwarzwald-Schwelle bezogen wurde.

Zwischen beiden Schwellen, gewissermaßen auf dem Scheitel der „Rheinischen Hauptschwelle“ FREYBERGS, bildeten sich im späten Karbon kleinere grabenartige Sedimentbecken aus: die Oppenau-Senke mit den Sedimenten von Hinterohlsbach und Oppenau und die Geroldseck-Senke (WEYL 1936) zwischen Seelbach und Biberach an der Kinzig. Zwischen den beiden im Karbon wahrscheinlich getrennten Sedimentbecken liegt um Nordrach ein Schwellengebiet, über das erst die Vulkanite und Sedimente des Rotliegenden hinweg greifen. Damit entsteht im Perm ein nunmehr größeres **Offenburg-Becken** (STILLE 1928: Offenburger Trog), dessen Mächtigkeit jedoch auch über den Karbonsenken 200 m nicht übersteigt. Nördlich Baiersbronn besteht, in streichender Verlängerung der Oppenau-Senke, eine schmale Verbindung nach Osten, die sich wahrscheinlich in das Schramberg-Becken fortsetzt. Es handelt sich dabei allerdings fast ausschließlich um vulkanische bzw. pyroklastische Gesteine des Rotliegenden, die im Gebiet der oberen Rotmurg in einer Vertiefung des Grundgebirges unter dem Zechstein erhalten blieben. Eine unmittelbare sedimentäre Verbindung zwischen beiden Becken konnte dagegen bislang nicht belegt werden.

Das **Schramberg-Becken** (STILLE 1928: Schramberger Trog) ist nach dem Kraichgau-Becken das

zweitgrößte Permokarbonbecken in Baden-Württemberg und wie dieses weitgehend unter dem Tafeldeckgebirge verborgen. Im Schwarzwald streicht der westliche Rand des Schramberg-Beckens zwischen Alpirsbach und Schramberg zutage aus. Westlich Schramberg endet das Becken abrupt an der Schramberger Verwerfung gegen die eggisch streichende **Hornberg-Schwelle**, auf der Zechstein (Karneoldolomit, Tigersandstein) und Buntsandstein unmittelbar auf Grundgebirge liegen. Unmittelbar östlich der Schramberger Verwerfung konnte durch Tiefbohrungen bereits eine Gesamtmächtigkeit von mehr als 500 m Oberkarbon und Rotliegend ermittelt werden, die mit zunehmendem Abstand von der Randstörung wieder von geringeren Mächtigkeiten abgelöst wird (Dunningen: 112 m). Auch hier ist wohl mit einer kleinräumigen Gliederung des Beckengrundes durch antithetisch zur Randstörung verkippten Bruchschollen zu rechnen. Die Tiefbohrungen von Sulz am Neckar und Urach durchteuften mehr als 600 m Permokarbon unter Zechstein, die Tiefbohrung von Horb-Dettingen wurde nach 400 m Rotliegendem eingestellt, ohne Karbon oder das Grundgebirge erreicht zu haben.

Der Nordrand des Schramberg-Beckens lässt sich aus Mangel an Bohrdaten bislang nur angenähert konstruieren. Im östlichen Nordschwarzwald ist der Nordrand des Beckens durch mehrere benachbarte Bohrungen bei Teinach gut belegt (CARLÉ 1982b) und befindet sich an einer nördlichen Ausbuchtung des Schramberg-Beckens in streichender Verlängerung der Oppenau-Senke des Offenburg-Beckens. Doch schon einige Kilometer östlich belegen Bohrungen, dass der Rand zur Nordschwarzwald-Schwelle nach Süden einbiegt bis in die Nachbarschaft des „Schwäbischen Lineaments“, das als postjurassische Struktur annähernd vom Südrand der Rheinischen Hauptschwelle bis in das Riesgebiet zieht und sich darüber hinaus bis an den Bayerischen Wald und in den Südrand der Böhmisches Masse fortsetzt („Schwarzwald–Bayerwald-Linie“: BGLA 1996). Ob die viel jüngere Bruchlinie im Deckgebirge dabei abschnittsweise einem Randbruch des Schramberg-Beckens folgt, muss allerdings mangels Bohrdaten weiterhin offen bleiben. Eine solche Vorzeichnung der Deckgebirgsstruktur durch eine ältere, postvariskische Scherzone ist zwar denkbar, würde jedoch im Vergleich mit den anderen – nicht reaktivierten – Beckenrändern eher eine Ausnahme als eine Regel bedeuten.

Rotliegend-Gesteine in miozänen vulkanischen Schlotbrekzien des Urach–Kirchheimer Vulkangebietes belegen, dass der Beckenrand hier zumindest nicht südlich des Schwäbischen Lineaments liegen kann. In der Mehrzahl der Schloten fehlen solche Rotliegend-Fragmente jedoch. Dass sie auch in den



beiden einzigen Schloten nördlich des Lineaments fehlen, kann daher nicht als Beleg für die Lage des Beckenrandes herangezogen werden. Die Bohrung Albershausen, unmittelbar südlich des Lineaments gelegen, hat jedenfalls über 300 m Rotliegendes durchteuft (bei CARLÉ 1982a großenteils dem Buntsandstein zugewiesen; Neuinterpretation A. ETZOLD & M. FRANZ, unveröff.: Archiv LGRB). Im Osten ist das Schramberg-Becken von der Ries-Tauber-Schwelle begrenzt, die in der streichenden Verlängerung des Beckens möglicherweise eine geringmächtige, vielleicht auch lückenhafte Decke aus Rotliegend-Sedimenten trägt. Der in der Karte dargestellte Nordrand des Beckens orientiert sich an der Bohrung Dinkelsbühl 1001 und den vorliegenden indirekten Hinweisen aus dem Riesgebiet (HAUNSCHILD & OTT 1982). In Dinkelsbühl wurden 12,6 m Rotliegend-Sedimente in Schlammstrom- und Hangschuttfazies angetroffen, die allerdings auch eine lokale Talablagerung im Schwellengebiet darstellen könnten. Der Südrand des Beckens kann durch die vorliegenden Tiefbohrdaten nur näherungsweise konstruiert werden, scheint aber zwischen Ries und Schwarzwald ausgesprochen geradlinig zu verlaufen. Auffälligerweise treten über diesem Beckenrand keine jüngeren Bruchstrukturen im Deckgebirge auf, obwohl die rasche Abnahme der Mächtigkeiten südlich Urach (Trochtelfingen: Buntsandstein auf Kristallin) auf ein permokarbones Bruchfeld als Beckenrand hinweist.

Südwestlich der Hornberg-Schwelle ist in streichender Verlängerung des Schramberg-Beckens ein weiteres Permokarbonbecken entwickelt, das sich als **Burgundisches Becken** (STILLE 1928: Burgundischer Trog) bis über die südlichen Vogesen hinaus nach Frankreich fortsetzt und dessen nordöstlicher Ausläufer am Oberrhein und im Schwarzwald auch als **Breisgau-Becken** bekannt ist. Im Kristallengebiet des Schwarzwaldes sind allerdings nur geringe Erosionsrelikte der Beckenfüllung in verstreuten, an jüngere Störungszonen gebundenen Vorkommen erhalten, was die Abschätzung der einstigen Mächtigkeiten weitgehend spekulativ macht. Die östlichsten Vorkommen liegen unmittelbar westlich der Hornberg-Schwelle im Kesselberg-Gebiet bei Triberg („Triberger Becken“ bei FREYBERG 1935). Im Norden lappen Vulkanite und Tuffe des Rotliegenden um einige Kilometer über den sedimentären Beckenrand hinaus auf den Rand der Zentralschwarzwald-Schwelle. Lediglich im Gebiet der Freiburger Bucht und unter dem Oberrheingraben ist Permokarbon in größerer Mächtigkeit unter dem Buntsandstein erbohrt worden.

Südlich von Breisgau- und Schramberg-Becken schließt sich mit der **Südschwarzwald-Schwelle** (STILLE 1928; bei FREYBERG 1935 „Süddeutsche Haupt-

schwelle“) eine weitere dauerhafte Schwellenregion des Landes an. Sie streicht vom Südschwarzwälder Granitmassiv nach Nordosten unter das Donautal, bis sie südlich des Rieses auf die Ries-Tauber-Schwelle trifft. Die Südschwarzwald-Schwelle deutet sich auch im Mesozoikum noch mehrfach in der Mächtigkeitsverteilung an und zeigt sich seit dem Miozän in der Position und Orientierung der Molasseflexur am Nordrand des Molassebeckens.

Das südlichste Permokarbonbecken unter Baden-Württemberg ist das Nordschweizer Becken, das eine grabenartige westliche Fortsetzung des Burgundischen Beckens darstellt (früher auch Tafeljura-Trog, Bodensee-Trog oder Hochrhein-Bodensee-Becken genannt). In den Weitenauer Vorbergen und am Hochrhein erreichen Rotliegend-Sedimente des nördlichen Randbereiches südbadisches Gebiet, während die Trogachse unter dem Schweizer Tafeljura liegt. Erst im westlichen Bodenseegebiet streicht die Beckenachse bis auf Landesgebiet herüber (Bohrung Dingelsdorf).

Unweit von Markdorf und Pfullendorf findet das **Nordschweizer Becken** jedoch eine östliche Begrenzung. Im Raum Ravensburg-Biberach haben Tiefbohrungen kein Permokarbon über dem Grundgebirge angetroffen, weshalb hier offenbar eine mindestens 20 km breite Schwellenregion als **Aulendorf-Schwelle** die Südschwarzwald-Schwelle im Norden mit der **Allgäu-Faltenjura-Schwelle** (Vindelizische Schwelle i. e. S.) im Süden des Nordschweizer Beckens verbindet. Erst östlich etwa der Linie Bad Wurzach – Laupheim ist wieder regelmäßig Permokarbon (wahrscheinlich Rotliegend) in Bohrungen angetroffen worden, was auf ein **Oberschwäbisches Becken** unter der Molasse schließen lässt.

3.1.2 Primärmächtigkeiten Zechstein

Datengrundlage: Die in der Karte dargestellten Mächtigkeiten beziehen sich auf die Sedimentabfolgen des Zechsteins heutiger Abgrenzung. Neben der nur im Norden des Landes entwickelten marinen Zechsteindolomit-Formation (z1–3) umfasst die Gesamtmächtigkeit des Zechsteins heute auch die terrestrische Fazies (Karneol-Dolomit-Horizont, zK; Tigersandstein-Formation, zT), die in älteren Darstellungen oft noch dem Rotliegenden bzw. dem Buntsandstein zugerechnet wurde. Im Norden des Landes ist die angegebene Mächtigkeit dementsprechend im Vergleich zu älteren Karten (z. B. TRUSHEIM 1964), in denen nur die marine Zechsteindolomit-Formation Berücksichtigung fand, um die Mächtigkeit der Tigersandstein-Formation vergrößert (der Karneol-Dolomit-Horizont ist nur in der westlichen

Fränkischen Senke und hier mit vernachlässigbarer Mächtigkeit ausgebildet). Südlich der marinen Sedimentationsgebiete wurden die Mächtigkeiten von Karneol-Dolomit-Horizont und Tigersandstein-Formation nach den vorliegenden Unterlagen bestimmt und addiert. Da insbesondere der Karneol-Dolomit-Horizont in älteren Profilaufnahmen häufig nicht ausgewiesen wurde, bleiben die Werte hier mit einer gewissen Unsicherheit behaftet (Abb. 20).

Paläogeographie: Die Schwellenregionen der Rotliegendzeit zeichnen sich auch in der Mächtigkeitsverteilung des Zechsteins deutlich ab. Zwischen der Odenwald–Spessart-Schwelle im Norden und der Nordschwarzwald-Schwelle im Süden entwickelt sich die **Fränkische Senke** (FRANK 1937: „Fränkische Straße“) über dem vormaligen Kraichgau-Becken des Rotliegend. Das Senkungsgebiet stellt nun paläogeographisch eine Randsenke des Mitteleuropäischen Beckens dar. Obwohl sowohl südlich der Fränkischen Senke als auch im nördlich angrenzenden Gebiet der Odenwald–Spessart-Schwelle und Hessischen Senke (KOWALCZYK et al. 1978) vom Zechstein an rheinische Strukturelemente hervortreten, lassen sich zumindest aus den bisherigen Daten innerhalb der Fränkischen Senke nur die überkommenen erzgebirgischen Strukturen belegen.

Marine Zechstein-Sedimente (Zechsteindolomit-Formation, zD) sind in der gesamten Fränkischen Senke nachgewiesen. Die nördlich der Odenwald–Spessart-Schwelle und bis in den Graben von Rannungen bedeutsamen Zechstein-Evaporite erreichen das Gebiet von Baden-Württemberg jedoch nicht. Der Südrand der marinen Sedimente folgt dem Nordrand der **Nordschwarzwald-Schwelle**, deren höchste Aufragungen lange sedimentfrei blieben und erst vom Tigersandstein oder sogar erst von Buntsandstein eingedeckt wurden (STRIGEL 1922). Im Bereich dieser Schwelle und südlich davon beginnt der Zechstein mit Fanglomeraten und Arkosen in einer dem Rotliegenden ähnlichen Fazies (Karneol-Dolomit-Horizont; LEIBER & MÜNZING 1979, 1985, RÖPER 1980, LÖFFLER 1992).

Südlich der Nordschwarzwald-Schwelle macht sich vom Zechstein an eine Umstellung der paläotektonischen Gliederung von vormalig erzgebirgisch und eggisch streichenden Elementen zu vorherrschend rheinisch (NNE–SSW) streichenden Senken und Schwellen bemerkbar. Besonders deutlich zeigt sich die Position dieser Schwellen und Senken im Verlauf des südlichen Beckenrandes, der durch die Auflagerung von Eck-Formation oder jüngeren Abschnitten des Buntsandsteins auf Grundgebirge (Mittlerer Schwarzwald; Bohrung Trochtelfingen) oder Rotliegend (z. B. Bohrung Überkingen nach Revision des Profils im Vergleich mit benachbarten Bohrungen)

definiert ist. Die rheinisch streichenden Strukturen sind hier erstmals erkennbar, wenn auch teilweise noch undeutlich, und entwickeln sich im Mesozoikum stetig weiter. Einzelne dieser Strukturen wurden im Känozoikum alpidisch reaktiviert und zeichnen sich deshalb bis heute in der Schichtlagerung ab. Die Anlage der neuen Strukturen fällt offenbar in die große mittelpermische Sedimentationspause, aus der hier wie in ganz Mitteleuropa über einen Zeitraum von mehr als 20 Ma keine Ablagerungen überliefert sind (MENNING et al. 2005).

Im Südosten des Zechstein-Beckens verschmilzt die Südschwarzwald-Schwelle mit den südlich anschließenden Gebieten (Teile des Nordschweizer Beckens, Aulendorf-Schwelle, Oberschwäbisches Becken und Allgäu–Faltenjura-Schwelle) und mit der Ries–Tauber-Schwelle zu einem **Vindelizischen Hochland** (GÜMBEL 1866: „Vindelizisches Land“). Dessen Nordrand, und damit der Beckenrand, weicht jedoch in Trias und Jura immer weiter nach SE zurück und liegt vom Muschelkalk an außerhalb des Landesgebietes. Die in Trias und Jura bedeutsame **Spaichinger** (unter der Südalb) und die **Sissacher Schwelle** (im Schwarzwaldgebiet) deuten sich bereits in Vorsprüngen des Beckenrandes an (vgl. Abb. 20–25). Westlich der Sissacher Schwelle nimmt die **Badische Senke** erstmals die Lage und Orientierung des känozoischen Oberrheingrabens vorweg, während östlich davon die im Mesozoikum wichtigen Strukturen der **Westschwäbischen** und **Mittelschwäbischen Senken** ebenfalls vorgezeichnet erscheinen.

Die Mächtigkeitsverteilung zwischen Nordschwarzwald- und Vindelizischer Schwelle ist wegen der oft unsicheren Teilmächtigkeiten des Karneol-Dolomit-Horizontes nicht in allen Einzelheiten abgesichert und stellt daher in dieser Form nur ein angenähertes Bild dar. Die kleinräumig rasch wechselnden Mächtigkeiten am östlichen Schwarzwaldrand bilden dabei durch die hier höhere Bohrdichte das Paläorelief der Zechsteinbasis ab. Bei der Kartierung zeigten sich – im Maßstab der vorliegenden Karte nicht mehr darstellbare – lokale „Unebenheiten des Untergrundes“ in Mächtigkeitschwankungen von mehr als 40 m (BRÄUHÄUSER & SAUER 1913). Auch die Bohrdaten aus dem östlich anschließenden Gebiet weisen auf schmale, unter dem Zechstein verschüttete Berg- und Talzügen hin. An mehreren Stellen sind Einzelberge aus Grundgebirgsgesteinen bekannt, die erst vom Tigersandstein in verringerter Mächtigkeit bedeckt werden konnten (Gebiet Oberkirch-Hornisgrinde, Gebiet Calw-Magstadt) und sich im tieferen Zechstein der benachbarten Gebiete noch durch grobe Schuttfächersedimente als Abtragungsgebiet bemerkbar machen (4. Fanglomerat von Baden-Baden, Basisfanglomerat von Bad Cannstadt; LÖFFLER



Karte 2: Primärmächtigkeiten Zechstein

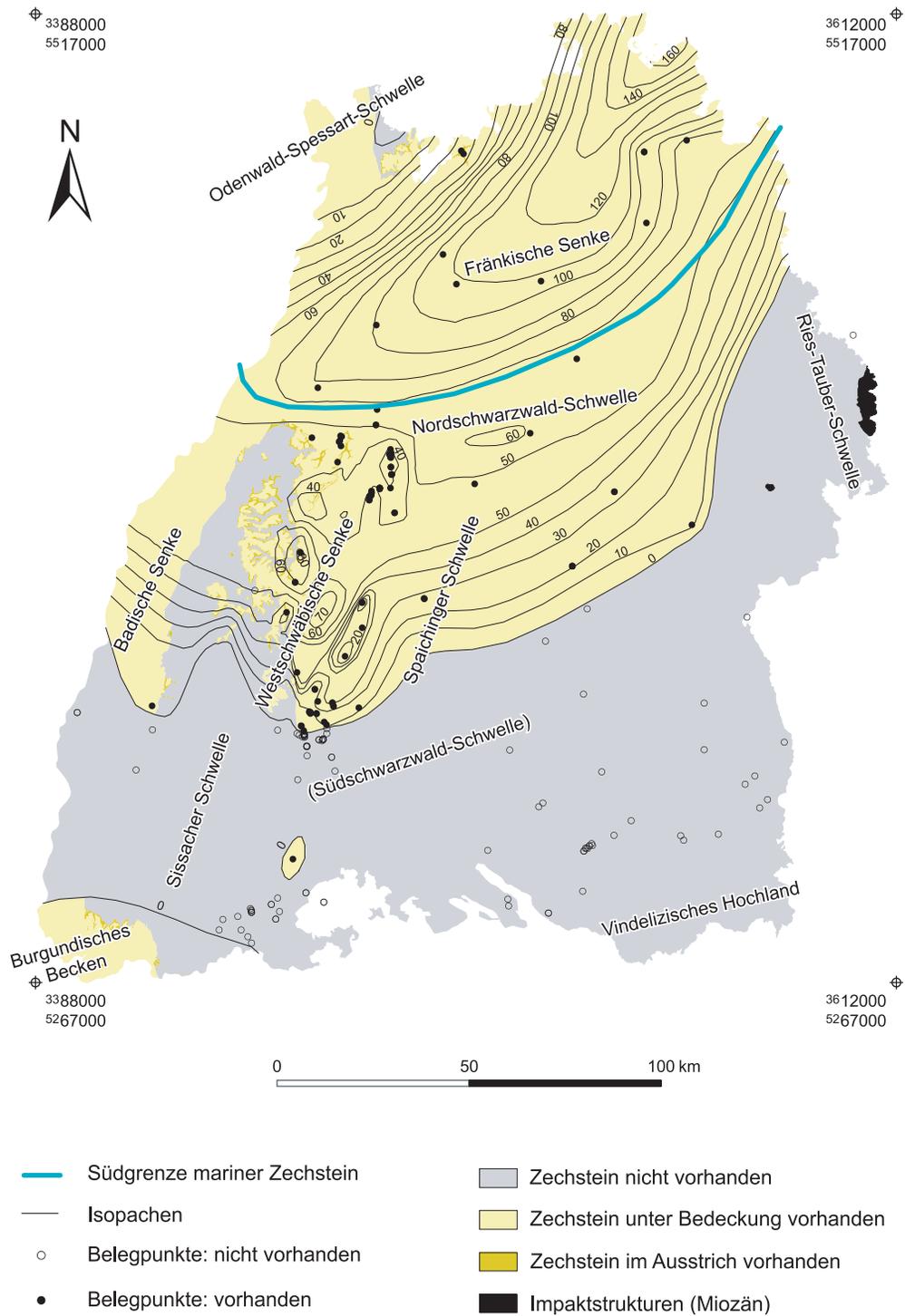


Abb. 20 Karte 2: Primärmächtigkeiten und paläogeographische Situation im Zechstein.

1992, KÄDING 1978). Das Relief der mittelpermischen „Abrasionsfläche“ (STRIGEL 1922) scheint damit stärker gegliedert gewesen zu sein, als dies für eine Rumpffläche mit Zeugenbergen typisch wäre. Bekannte erosive Einebnungsflächen über Rotliegendem und (tektonisch) angrenzendem Granit, wie jene im Raum Schramberg – Alpertsbach, sind daher möglicherweise eher als pedimentartige Rampen zu deuten in einer teils von flachen, teils von breiten und mehrere zehn Meter tiefen Talzügen gegliederten alten Landfläche, die unter den terrestrischen Zechsteinsedimenten verschüttet liegt.

Das Gebiet des vormaligen Breisgau-Beckens wird zur Zechstein-Zeit Abtragungsgebiet und damit Teil der **Südschwarzwald-Schwelle**. Südlich davon bleibt das Burgundische mit dem **Nordschweizer Becken** verbunden und greift mit dem terrestrischen Wiesental-Arkosesandstein bis auf badisches Gebiet herüber (Dinkelberg, Wiesental, Hochrheingebiet). Eine unmittelbare Verbindung zum Mitteleuropäischen (Zechstein-) Becken scheint es jedoch nicht gegeben zu haben. Aus der Schwellenregion selbst ist lediglich ein kleines isoliertes Vorkommen von Karneol-Dolomit-Horizont aus einer Bohrung bekannt, das als lokale Sedimentfalle im Schwellenbereich interpretiert werden kann. Seine Lage in der südlichen Verlängerung der Westschwäbischen Senke ist möglicherweise ein erster Hinweis auf den in Trias und Jura fortschreitenden Zerfall der spät- bis postvariskisch angelegten Südschwarzwald-Schwelle durch die neuen, rheinisch streichenden Querstrukturen.

3.1.3 Primärmächtigkeiten Buntsandstein

Datengrundlage: Die für die Karte verwendeten Mächtigkeiten beruhen auf der heute üblichen Abgrenzung des Buntsandsteins, d. h. von der Basis der Eck-Formation bis zur Dachfläche des Röttons. Gegenüber älteren Darstellungen (z. B. TRUSHEIM 1964, FREUDENBERGER in BGLA 1996) ist die Mächtigkeit daher um den Anteil der Bröckelschiefer und des Tigersandsteins verringert. Die Karte stützt sich überwiegend auf unveröffentlichte Bohrergebnisse und, im Ausstrichgebiet, auf die Angaben in den Erläuterungen zu den Geologischen Karten. In vielen Fällen musste hierfür die Gliederung des Buntsandsteins nochmals überprüft werden, da in den älteren Angaben die Tigersandstein-Formation (Bröckelschiefer, Tigersandstein) meist dem Unteren Buntsandstein zugeordnet war und zudem in einzelnen Bohrprofilen Rotliegend-Konglomerate mit den Geröllsandsteinen des Buntsandsteins verwechselt wurden. Besonders im südöstlichen Verbreitungsgebiet (Bohrungen der Schwäbischen Alb) konnte

hier auf Revisionen durch J. LEIBER, M. FRANZ und A. ETZOLD (unveröff.; Archiv LGRB) zurückgegriffen werden. Im nordöstlichen Landesgebiet (Fränkische Senke) bilden die Mächtigkeitskarten von TRUSHEIM (1964; Buntsandsteinbasis nach Bohrdaten aktualisiert) und LEIBER & SIMON (2004) die hauptsächliche Grundlage (Abb. 21).

Paläogeographie: Im Buntsandstein dehnt sich das Sedimentationsgebiet schrittweise gegen die Vindelizische Schwelle aus, überschreitet mit den Geröllsandsteinen des (heutigen) Mittleren Buntsandsteins die Hochlagen der alten Südschwarzwald-Schwelle und erreicht mit dem Oberen Buntsandstein schließlich die Hochgebiete südlich des Hochrheins und unter dem Molassebecken. Auch die Ries–Tauber-Schwelle wird nun bis in den Nördlinger Raum von Sedimenten überdeckt.

Innerhalb des geschlossenen Sedimentationsgebietes zeigt sich in der Mächtigkeitsverteilung die schon im Zechstein erkennbare Gliederung in Schwellen und Senken. Von Nord nach Süd steigt die Gesamtmächtigkeit von weniger als 400 m im Gebiet der Odenwald–Spessart-Schwelle auf annähernd 500 m in der Fränkischen Senke an, um weiter südlich gegen die nun vollständig überdeckte Nordschwarzwald-Schwelle auf Werte unter 300 m abzunehmen. Die Darstellung in der Karte ist allerdings der Auflösung des Modells entsprechend geglättet, kleinräumige Strukturen mit Mächtigkeitsunterschieden unter 50 m finden daher keine Darstellung. Hierzu zählt beispielsweise die aus dem Oberen Buntsandstein von ORTLAM (1968) beschriebene Lokalsenke am Südrand der Fränkischen Senke, die in der streichenden Verlängerung des permischen Baden-Baden-Beckens („Pforzheimer Becken“) durch eine Schwellenzone mit etwas geringeren Mächtigkeiten („Ettlinger Schwelle“, wohl als Ausdruck der Battert-Schwelle) gegen das Hauptbecken („Bruchsaler Becken“) abgegrenzt wird.

Die Zechstein-zeitlichen Inselberge von Oberkirch–Hornisgrinde und Calw–Magstadt bilden weiterhin kleinräumige Zonen verringerter Mächtigkeit. Südlich der Nordschwarzwald-Schwelle wird die Mächtigkeitsverteilung nun deutlicher als im Zechstein von rheinisch streichenden Schwellen und Senken beherrscht. Insbesondere die Sissacher Schwelle im südlichen und zentralen Schwarzwald und die Spaichinger Schwelle, die sich unter dem südlichen Albvorland und dem Schönbuch abzeichnet, gliedern den Sedimentationsraum in SSW – NNE streichende Senken. Im Westen senkt sich die Badische Senke etwa über dem einstigen Zentrum des permischen Breisgau-Beckens stärker ein und erreicht ein Mächtigkeitsmaximum am Südrand der Zentralschwarzwald-Schwelle, die



Karte 3: Primärmächtigkeiten Buntsandstein

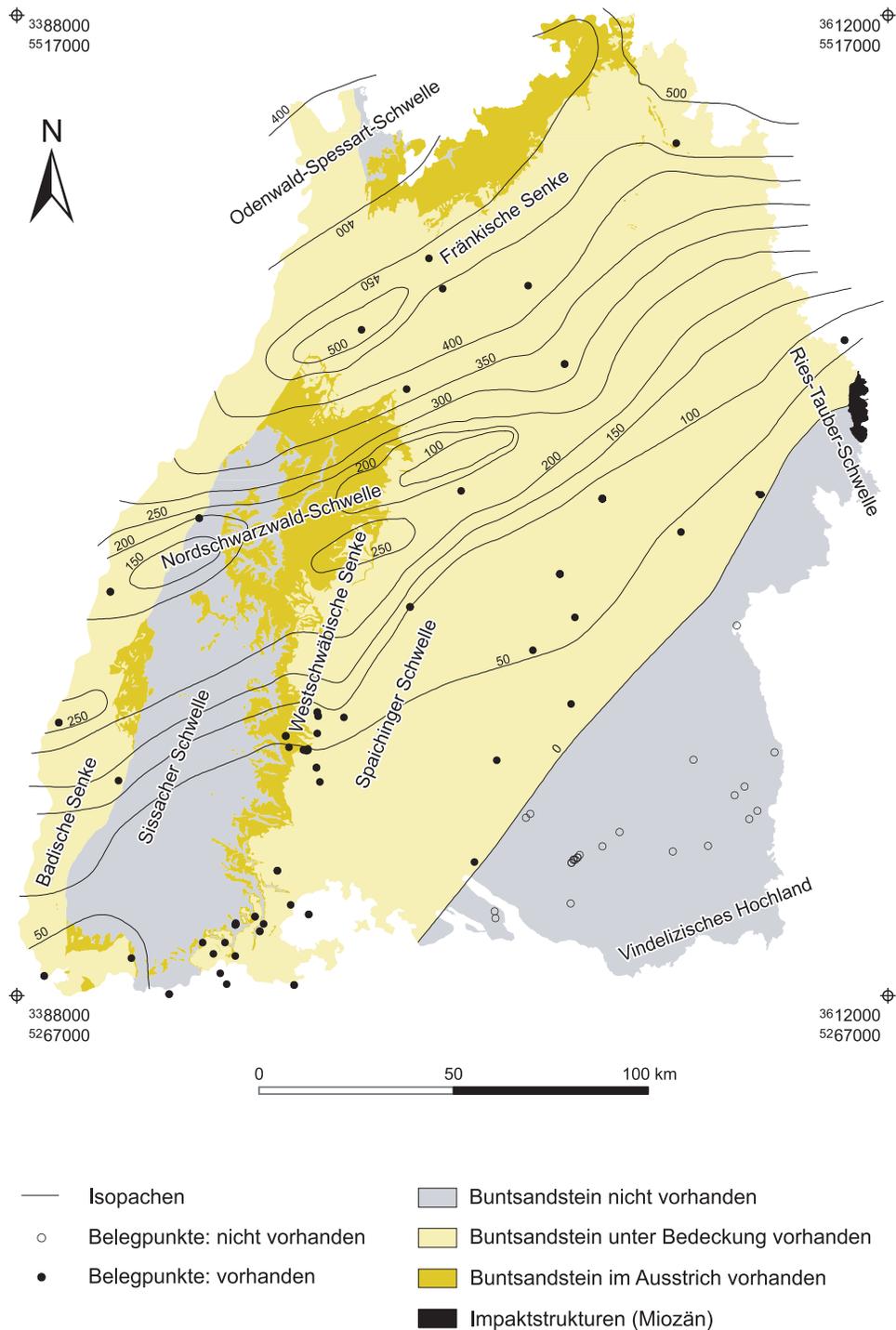


Abb. 21 Karte 3: Primärmächtigkeiten und paläogeographische Situation im Buntsandstein.

im Oberrheingebiet von nun an dauerhaft mit der Nordschwarzwald-Schwelle und dem Gebiet des frühpermischen Offenburger Beckens zur Rheinischen Hauptschwelle sensu FREYBERG (1935) verschmilzt und in dieser breiteren Anlage bis in das Quartär erkennbar bleibt. Ein spornartiger Ausläufer der früheren Südschwarzwald-Schwelle zwischen Mulhouse und Badenweiler (Auggener Schwelle: ILLIES 1956) begrenzt die Badische Senke gegen das Burgundische Becken im Süden. Östlich der Sissacher Schwelle zeigt sich die Westschwäbische Senke („Schwäbische Straße“: FRANK 1937) bereits deutlicher als im Zechstein. Dagegen erscheint die vom Keuper an wichtige Mittelschwäbische Senke zwischen Spaichinger und Ries–Tauber-Schwelle hier nur als flache Sedimentrampe im Vorfeld der Vindelizischen Schwelle. Zwar hatten die Bohrungen Albershausen und Überkingen lange Anlass zur Annahme einer weiteren bedeutenden Senke in diesem Raum gegeben. Die von CARLÉ (1982a) mit mehr als 200 m angegebene Mächtigkeit des Buntsandsteins, abgeleitet aus Bohrlochmessungen, musste jedoch nach Vergleich mit einer inzwischen größeren Zahl von Bohrprofilen auf weniger als 100 m, für Überkingen auf weniger als 50 m korrigiert und der größte Teil der fraglichen Geröllsandsteine und Pelite dem Rotliegenden zugeordnet werden.

3.1.4 Primärmächtigkeiten Muschelkalk

Datengrundlage: Basis- und Dachflächen des Muschelkalks werden in Baden-Württemberg seit mehr als einem Jahrhundert an die deutlichen lithologischen Wechsel vom Rötton bzw. zum Unterkeuper gelegt. Anders als im Buntsandstein beziehen sich daher auch ältere Angaben einheitlich auf dieselben Grenzflächen. Dementsprechend konnten auch ältere publizierte Mächtigkeitskarten gut integriert werden und mussten allenfalls örtlich aufgrund zusätzlicher Belegpunkte korrigiert werden. Unsicherheiten bei der Abgrenzung gegen den liegenden Buntsandstein gab es lange durch die Sandsteinfazies des Unteren Muschelkalks (Muschelsandstein) im Süden des Verbreitungsgebietes (Schwäbische Alb, Molassegebiet). Wegen der insgesamt geringen Mächtigkeit dieser Fazies können örtliche Korrelationsfehler jedoch nur zu geringfügigen Verzerrungen der Isolinien führen. Ebenso spielen eventuelle Fehlergrenzen in der Dolomitfazies des Randengebiets und am Hochrhein bei der Festlegung der Muschelkalk-Keuper-Grenze für die Kartendarstellung keine entscheidende Rolle (Abb. 22).

Der größte Unsicherheitsfaktor bei der Rekonstruktion primärer Muschelkalk-Mächtigkeiten stellt jedoch die Salinar-Formation dar, deren Steinsalz und Anhydrit nur noch regional und meist unvollständig

erhalten sind (SIMON 2003). Besonders in den Talgebieten der Unteren Jagst, des Kochers und des Neckars sind von den primär teilweise 80 bis 100 m mächtigen Evaporiten des Mittleren Muschelkalks oft nur 20 bis 40 m Auslaugungsschluffe übrig geblieben. Die in Bohrdaten und Kartierergebnissen dokumentierten Mächtigkeiten stellen darum weithin reduzierte Restmächtigkeiten nach Ablaugung des Salzes und teilweise der Sulfate dar. Die Mächtigkeiten variieren dementsprechend stark und kleinräumig zwischen Hochflächen mit Keuperbedeckung und teilweise erhaltenen Sulfat-, teilweise auch Steinsalz-Ablagerungen und den Auslaugungszonen entlang der Talzüge. Um die Mächtigkeitskarten für die Konstruktion der Schichtlagerung verwenden zu können, wurde auf eine spekulative Rekonstruktion der primären Salinarmächtigkeiten verzichtet und die größten erhaltenen Mächtigkeiten einer Region herangezogen, was bei der paläogeographischen Deutung der Karten zu berücksichtigen ist.

Paläogeographie: Der Beckenrand hat sich im Vergleich mit dem Buntsandstein weiter nach Osten nach Oberbayern verschoben. Der Muschelkalk ist dadurch die älteste Gruppe des Deckgebirges, die flächendeckend im gesamten Landesgebiet abgelagert wurde. Die größten Mächtigkeiten erreicht der Muschelkalk im Gebiet der Fränkischen Senke. Die gegenüber dem Kraichgau höheren Mächtigkeiten des Heilbronner Raumes (mit heute noch erhaltenem Salz) gehen dabei auf die Darstellung der teilweise ausgelaugten Salinarmächtigkeiten zurück und stellen keine primären Unterschiede dar. Deutlicher als zuvor zeichnet sich die Westschwäbische Senke („Schwäbische Straße“) in der Mächtigkeitsverteilung ab. Deren scharf begrenzter Ostrand gegen die Spaichinger Schwelle, dem mit großer Wahrscheinlichkeit ein ähnlich engräumiger Westrand im heutigen Schwarzwaldgebiet gegenüberstand, deutet möglicherweise einen grabenartigen Einbruch im Untergrund an. Östlich der Sissacher Schwelle zerfällt die Badische Senke an der Rheinischen Hauptschwelle (vereinigte Nord- und Zentralschwarzwald-Schwelle) in eine nördliche und eine südliche Teilsenke, die sich unmittelbar an die benachbarten größeren Senken (Burgundisches Becken, Fränkische Senke) anschließen.

Faziell zeichnet sich die in der Mächtigkeitsverteilung erkennbare Gliederung in Schwellen und Senken im Muschelkalk am deutlichsten in der ursprünglichen Verbreitung der Steinsalz-Fazies des Mittleren Muschelkalks ab. Etwa parallel zu den Isopachen keilt das Steinsalz untertägig vor der Vindelizischen bzw. Ries–Tauber-Schwelle aus. Die Salinar-Formation des Mittleren Muschelkalks wird hier allein von anhydritisch-dolomitischen Gesteinen vertreten (WILD 1980, SIMON 2003). Örtliche Salzabscheidungen in



Karte 4: Primärmächtigkeiten Muschelkalk

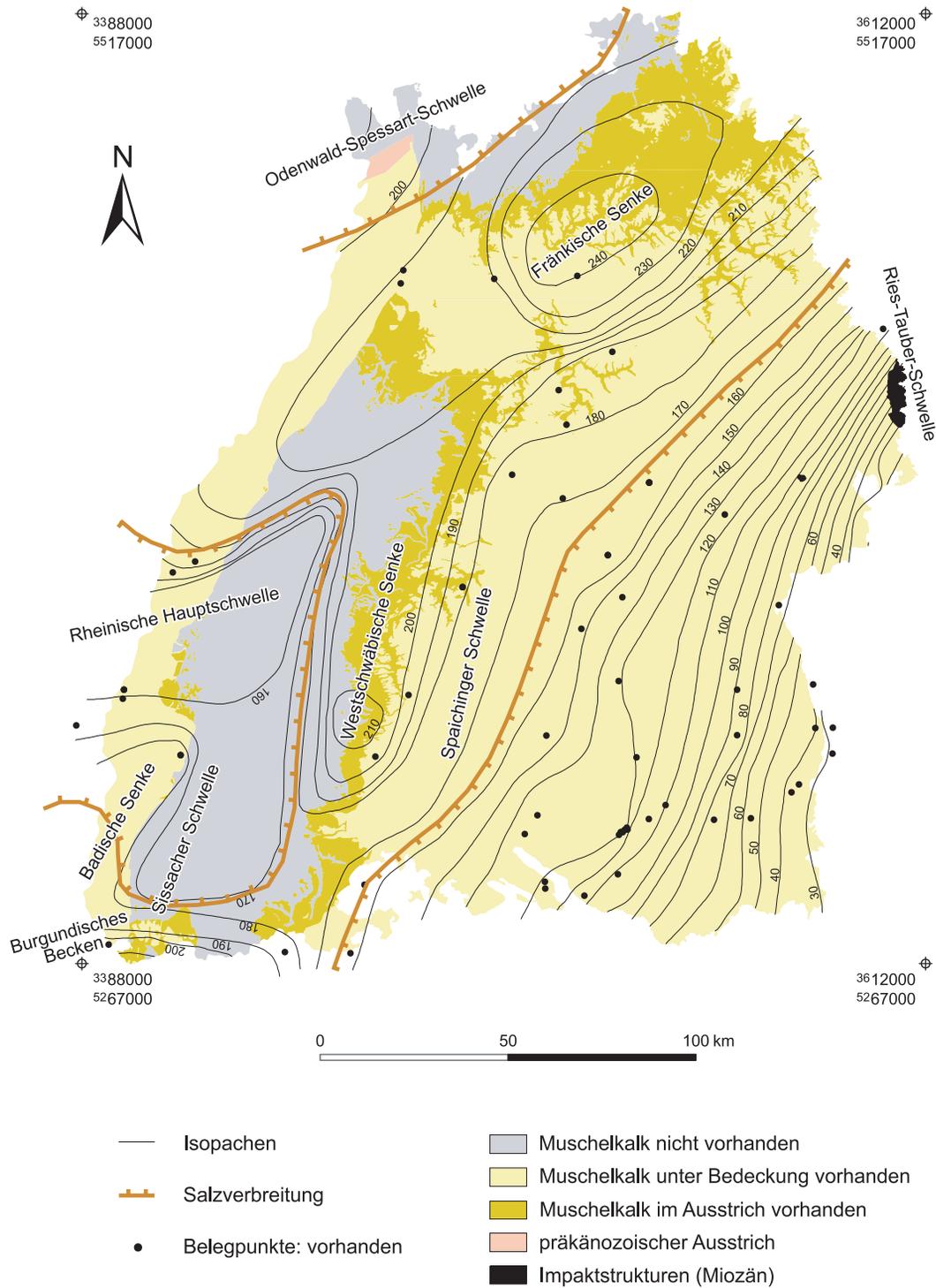


Abb. 22 Karte 4: Primärmächtigkeiten und paläogeographische Situation im Muschelkalk.

dieser anhydritischen Randzone wurden offenbar noch vor größerer Überdeckung wieder ausgelagert (SCHWARZ in BRUNNER et al. 1981). Von der Westschwäbischen Senke in das Hochrheingebiet bestand offenbar eine direkte Verbindung zu den Steinsalz-Vorkommen des Burgundischen Beckens unter dem Tafel- und Faltenjura. Auch im Nordwesten griff die Halitfazies entlang der Fränkischen Senke über den Rhein bis nach Lothringen über.

3.1.5 Primärmächtigkeiten Keuper

Datengrundlage: Für die Karte fanden die Darstellungen von BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974), KRIMMEL (1980) und GEYER & GWINNER (1991) Verwendung, die anhand der vorliegenden Bohrdaten und Kartiererergebnisse nochmals revidiert wurden (Abb. 23).

Paläogeographie: Mit dem Keuper zeigen sich deutliche Veränderungen im Isopachenmuster. Sie können als Ausdruck einer tektonischen Umstellung in der Beckenentwicklung aufgefasst werden, die üblicherweise als altkimmerisch bezeichnet wird. Die Hauptphasen dieser Umstellung fanden im Karnium und Norium statt, d. h. während der Entstehungszeit des Mittelkeupers. Entsprechend zeigen Detailkarten für den Unterkeuper und den tieferen Mittelkeuper (z. B. KRIMMEL 1980) in ihrem paläogeographischen Muster noch starke Ähnlichkeiten mit dem Muschelkalk und Buntsandstein, während die Mächtigkeiten des höheren Mittelkeupers und die Faziesverteilung des nur lückenhaft erhaltenen Oberkeupers unzweifelhafte Bezüge zur Beckenstruktur des Unter- und Mitteljura aufweisen (BEUTLER & NITSCH 2005). Die vorwiegend vom Mittelkeuper geprägte Mächtigkeitskarte des gesamten Keupers stellt daher eine Überlagerung beider Muster dar und erscheint in paläogeographischer Hinsicht weniger klar gegliedert.

Deutlich heben sich jedoch die Fränkische Senke im Norden und die nun erstmals bedeutende Mittelschwäbische Senke im Gebiet des Schwäbischen Waldes und der Mittleren Alb hervor, während sich die Ries-Tauber-Schwelle im Osten weiterhin im nordöstlichen Verlauf der Isopachen abbildet. Der Nordrand der Nordschwarzwald-Schwelle zeigt sich faziell besonders deutlich als südliche Verbreitungsgrenze der Lehrberg-Bänke im Mittleren Keuper (SEEGIS 1997).

Die Spaichinger Schwelle hebt sich nun deutlich als westliche Begrenzung der Mittelschwäbischen Senke hervor und zeigt sich auch faziell in der Verbreitung der Sandsteinfazies und durch flache Diskordanzen im höheren Mittleren Keuper. Die alluvial-fluvialen Sandschüttungen des Kieselsandsteins haben die

Spaichinger Schwelle offenbar nicht überschritten und verzahnen sich hier mit den ephemer-lakustrinen Tongesteinen der „Kieselsandstein-Letten“ (BRENNER 1973). Erst weiter nördlich, in der Fränkischen Senke, stoßen sandige Schüttungen weiter nach Westen bis in den Kraichgau und an den Rand der Odenwald-Spessart-Schwelle vor. Über der Altkimmerischen Hauptdiskordanz greift im Schönbuch und südlich davon die Stubensandstein-Formation unter Ausfall der (in der Westschwäbischen und Fränkischen Senke noch vorhandenen) grauen Oberen Steinmergelletten (Äquivalent Heldburgschichten) bis auf die roten Unteren Steinmergelletten (Äquivalent Oberer Kieselsandstein) hinunter (BRENNER 1973, 1978).

Dagegen verliert die Westschwäbische Senke gegenüber dem Muschelkalk an Kontur, zeigt sich jedoch zumindest im Unteren Keuper noch in der Verbreitung der Lettenkeuper-Sandsteine, die hier bis an den Hochrhein vorstoßen, wenig östlich dagegen an der Spaichinger Schwelle auskeilen (BEUTLER & NITSCH 2005). Die Sissacher Schwelle ist nur indirekt aus einem Vergleich der Mächtigkeitswerte im Oberrhein- und Randengebiet abzuleiten. Im Wutachgebiet, und damit im Vergitterungsbereich der Spaichinger Schwelle mit der alten Südschwarzwald-Schwelle, erscheint im Keuper eine im Ergebnis annähernd NW streichende Zone geringer Mächtigkeiten, die auch als Dögginger Schwelle bezeichnet wurde (FRANK 1930, WEINELT 1955, BEUTLER & NITSCH 2005). Weiter nördlich streicht andererseits von SW her die Rheinische Hauptschwelle (Morvan-Vogesen-Schwelle) quer über das Oberrheingebiet herüber und zeigt sich hier in deutlich ausgebildeten Diskordanzen innerhalb des Keupers (LUTZ & ETZOLD 2003). Im südlichen Oberrheingebiet nehmen die Mächtigkeiten entlang der Badischen Senke wieder auf das Burgundische Becken hin zu.

3.1.6 Primärmächtigkeiten Unterjura

Datengrundlage: Ausgangspunkt für die Karte waren die Zusammenstellungen von BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974), die jedoch anhand zahlreicher zusätzlicher Bohrergebnisse weithin modifiziert werden mussten (Abb. 24).

Paläogeographie: Im Norden des Landes zeigt sich im nördlichen Oberrheingraben und in der Langenbrückener Senke der westliche Abschnitt der Fränkischen Senke in Mächtigkeiten von mehr als 180 m. Die Fortsetzung dieser Senke nach Nordwürttemberg bleibt spekulativ. Im Vorland der Ostalb und nördlich des Rieses lässt sich jedoch in nach Norden zunehmenden Mächtigkeiten der Südrand der Fränkischen Senke erahnen. Mit Annäherung an die Ries-Tauber-Schwelle nehmen die Mächtig-



Karte 5: Primärmächtigkeiten Keuper

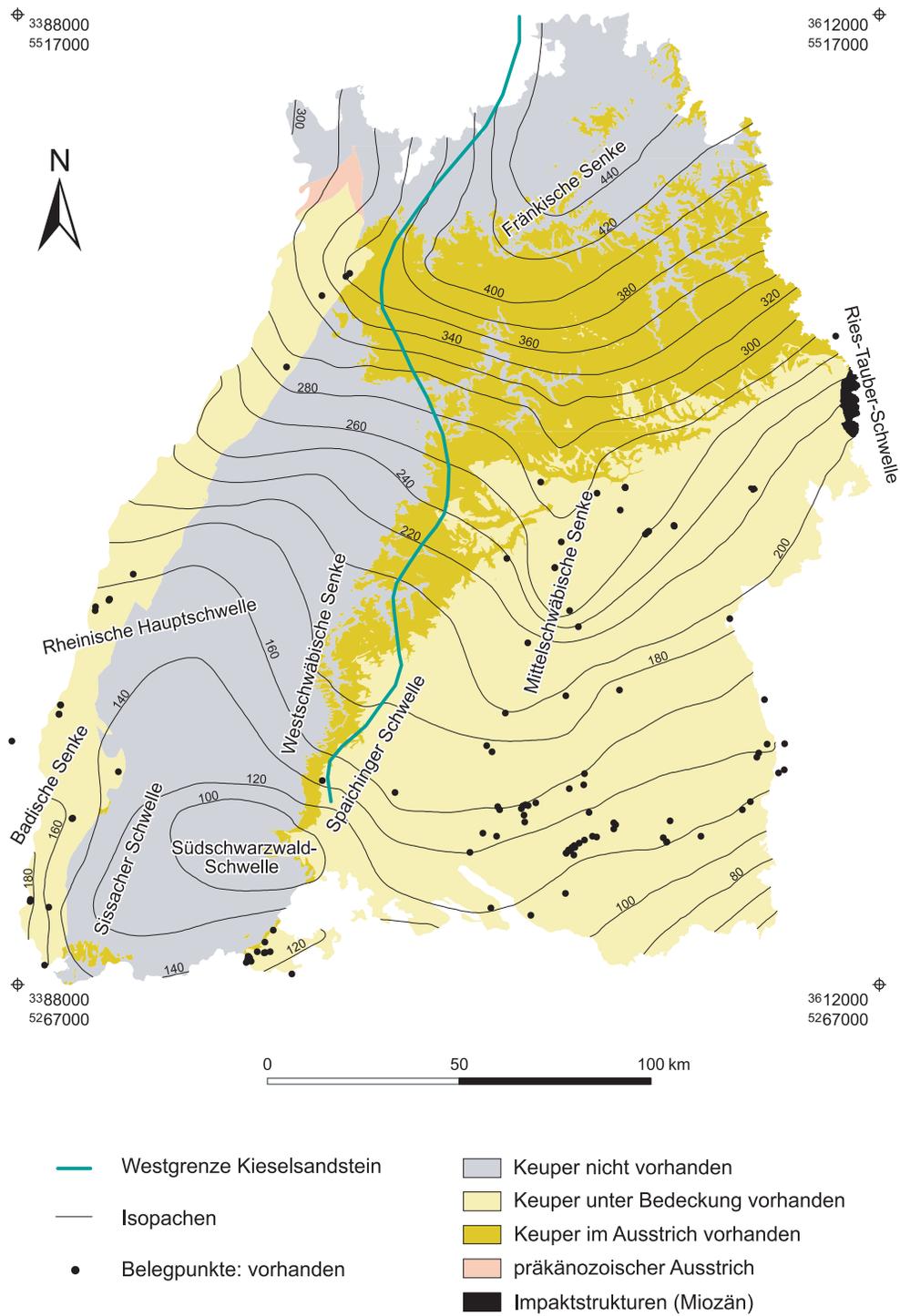


Abb. 23 Karte 5: Primärmächtigkeiten und paläogeographische Situation im Keuper.

Karte 6: Primärmächtigkeiten Unterjura

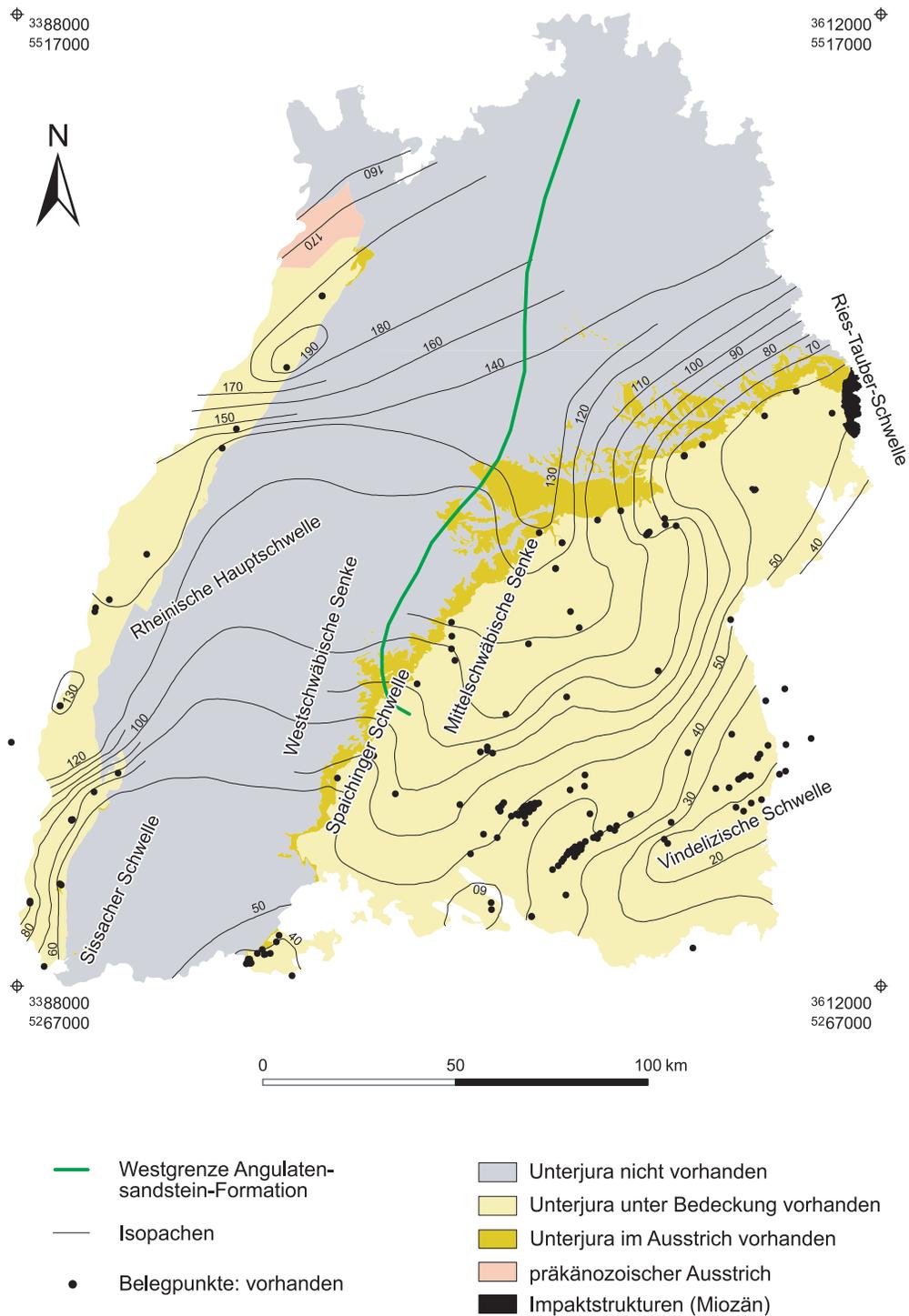


Abb. 24 Karte 6: Primärmächtigkeiten und paläogeographische Situation im Unterjura.



keiten rasch ab, während zugleich Fazieswechsel der Unterjura-Sedimente (kondensierte Kalksteinbänke, Sandsteine) eine bereits synsedimentär wirksame Hochlage dokumentieren.

Westlich der Ries–Tauber-Schwelle steigt die Mächtigkeit unter der Alb in die Mittelschwäbische Senke („Reutlinger Becken“: FRANK 1937) hinein an, wo sie im Raum Reutlingen–Esslingen 120 m übersteigt. Der östliche Abschnitt der Mittelschwäbischen Senke zeigt eine komplexe Gliederung in Teilschwellen und -senken, die sich im Oberjura in der Verteilung der Schwamm-Mikroben-Bioherme wieder findet (Abb. 27). Ihr Westrand gegen die Spaichinger Schwelle folgt, bemerkenswert geradlinig, etwa dem heutigen Trauf der Südalb. Die Spaichinger Schwelle hebt sich zumindest im tieferen Unterjura durch verringerte Mächtigkeiten nordwärts bis in das Schönbuchgebiet und auf die westlichen Fildern ab. Zwischen Balingen und Trossingen quert sie das Ausstrichgebiet und macht sich hier durch abweichende Faziesentwicklung bemerkbar („Täbinger Barre“ bei FRANK 1930). Ähnlich wie im westlichen Fildergebiet keilen hier die Angulatensandsteine des Hettangium nach Westen aus (BLOOS 1976). Nach Süden zeigen sich im Vergitterungsbereich der Spaichinger Schwelle mit der permischen Südschwarzwald-Schwelle weitere Faziesänderungen, die auf nur flache Wasserbedeckung des Ablagerungsraumes hinweisen („Dögginger Barre“: FRANK 1930).

Aus dem Gebiet der Westschwäbischen Senke liegen vom Unterjura an keine Daten mehr vor, doch deutet sich am Westrand der Spaichinger Schwelle zumindest faziell auch im Unterjura ein weiteres Senkengebiet an. Dagegen zeigt sich die Sissacher Schwelle, die vom Tafeljura her in den Südschwarzwald streicht, sehr deutlich in den Mächtigkeitsverteilungen und wurde für den Unterjura zuerst beschrieben (FRANK 1930). Im südlichen Oberrheingraben nimmt die Mächtigkeit vom Schwellengebiet rasch nach Westen gegen die Badische Senke zu, wobei sich im Raum Freiburg-Herbolzheim ein örtliches Maximum südlich der Rheinischen Hauptschwelle abzeichnet.

3.1.7 Primärmächtigkeiten Mitteljura

Datengrundlage: Die Karte basiert auf der Auswertung von überwiegend unveröffentlichten Bohrergebnissen in den Gebieten unter jüngerer Bedeckung und auf zusammenfassenden Kartierergebnissen im Ausstrichgebiet. Die durch Störungen und ein prätertiäres Paläorelief stark komplizierte Situation im Oberrheingraben ist mit einer eigenen Karte der heutigen Restmächtigkeiten berücksichtigt,

die oft nicht den hier dargestellten rekonstruierten Primärmächtigkeiten entsprechen. Dabei wurde der früher teilweise zum Oberjura gestellte Ornatenton hier, wie heute üblich, zum Mitteljura gerechnet. Für die Gebiete, in denen der Mitteljura heute abgetragen ist, wurde zur Orientierung die mutmaßliche Mächtigkeitsentwicklung in der Karte mit Rücksicht auf bekannte paläogeographische Elemente grob angedeutet (Abb. 25).

Paläogeographie: Die bereits im Unterjura ange deutete Mächtigkeitsreduktion über der permischen Nordschwarzwald-Schwelle zeigt sich vor der Ostalb auch im Mittleren Jura. Ob sich diese erzgebirgisch streichende Schwellenregion weiter nach Südwesten über den Stuttgarter und Pforzheimer Raum bis in das Nordschwarzwald-Gebiet fortgesetzt hat und so die Mittelschwäbische Senke teilweise von der (als vorhanden anzunehmenden) Fränkischen Senke abgetrennt hat, lässt sich heute nicht mehr feststellen. Auch lässt sich aus den Bohrdaten keine unmittelbare Verbindung der Nordschwarzwald-Schwelle zur Morvan–Vogesen-Schwelle im SW ableiten, doch sind die Primärmächtigkeiten im Oberrheingraben wegen prätertiärer Abtragung und engräumiger Störungen nur eingeschränkt zu rekonstruieren.

Als auffälligste Struktur sticht wie schon im Unterjura die Mittelschwäbische Senke ins Auge. Auch faziell ist das etwa rheinisch streichende Senkungsgebiet durch vorherrschend tonige Sedimente als Tiefwasergebiet ausgewiesen („Reutlinger Becken“: FRANK 1937). Besonders deutlich tritt die Beckenlage im höheren Aalenium hervor. In der Mittelschwäbischen Senke steht hier eine tonig-kalkige, fast sandfreie Fazies (Eichberg-Formation) der im übrigen Gebiet sandig-eisenoolithischen Entwicklung gegenüber. Auch im höheren Mitteljura wird vor und unter der Ostalb die Tonfazies zunehmend durch kondensierte Oolithe der Sengenthal-Formation ersetzt, deren Westgrenze an den Verlauf der Ries–Tauber-Schwelle gebunden ist.

Im Westen grenzt die Mittelschwäbische Senke etwa entlang des heutigen Traufes der Südalb vergleichsweise abrupt an die deutlich entwickelte Spaichinger Schwelle („Spaichinger Barre“: FRANK 1937). Fazies und Mächtigkeiten des Mitteljuras ändern sich in dieser Region über kurze Distanz in W–E-Richtung, während zugleich in NNE–SSW-Richtung über mehrere zehn Kilometer feinstratigraphische Korrelationen möglich sind. So zeigen sich etwa an der Spaichinger Schwelle, mit etwas unterschiedlichem Verlauf, die östlichen Faziesgrenzen der Murchisonae-Oolith-Formation (nachgewiesen bis an den Hochrhein, Grenze gegen Reutlinger Beckenfazies spekulativ), des Hauptrogensteins (für die Ostflanke des Schwarzwaldes indirekt nachgewiesen durch

Karte 7: Primärmächtigkeiten Mitteljura

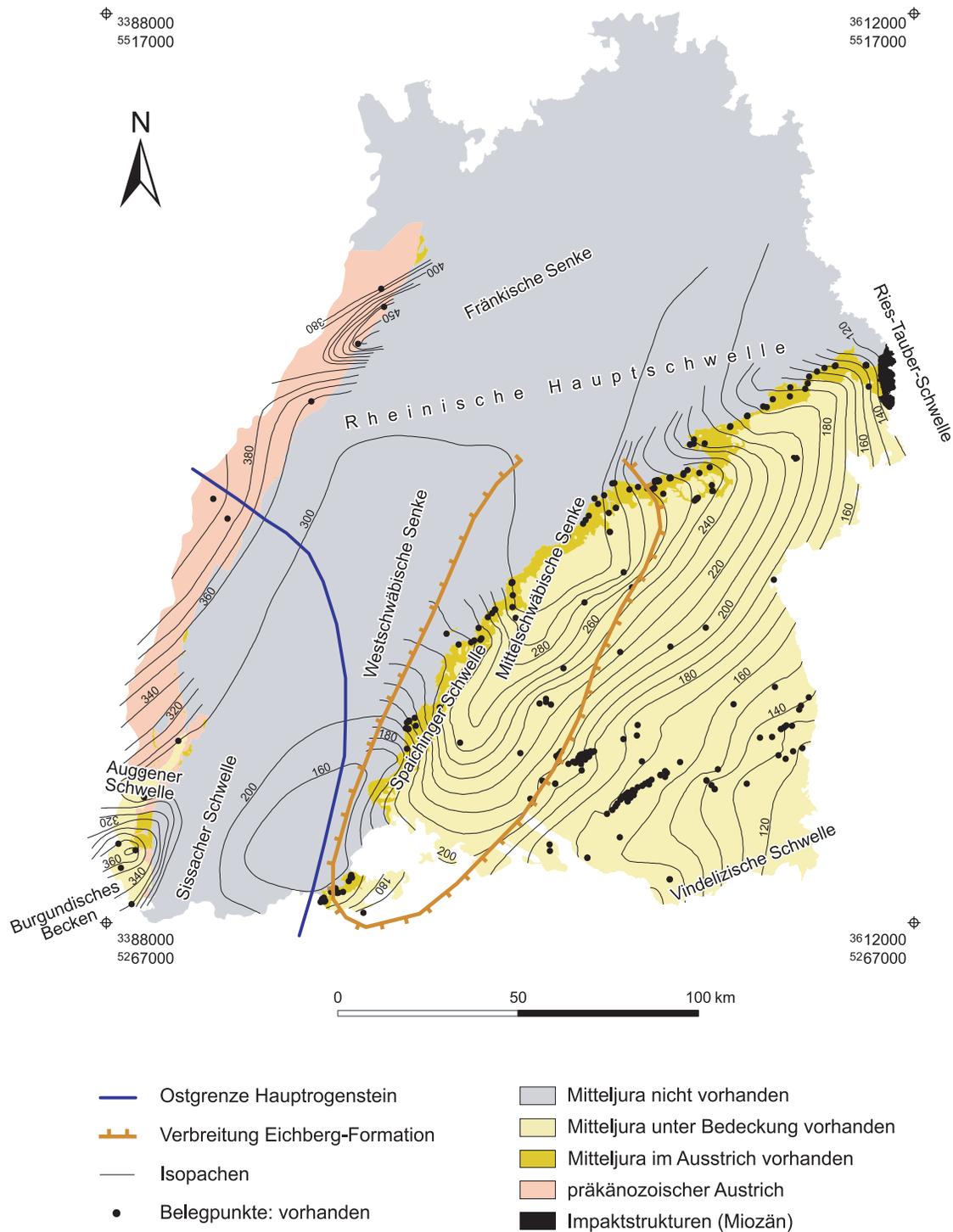


Abb. 25 Karte 7: Primärmächtigkeiten und paläogeographische Situation im Mitteljura.



miozäne Gerölle im Gebiet der oberen Donau und des Humphriesi-Ooliths (Wutach, Südalb). Ob zwischen der Spaichinger und der Sissacher Schwelle die Westschwäbische Senke noch eine Rolle spielte, lässt sich, wie schon im Unterjura, nicht mehr entscheiden.

Die unter dem Oberrheingraben nach Osten rasch abnehmenden Mächtigkeiten insbesondere des Mittleren Mitteljura (ILLIES 1956) weisen allerdings deutlich auf die Wirksamkeit der Sissacher Schwelle hin, die vom Tafeljura bis zur Nordschwarzwald-Schwelle das gesamte spätere Gebiet des Schwarzwaldes einnahm. Westlich der Sissacher Schwelle zeigt sich weiterhin die Badische Senke unter dem späteren Oberrheingraben. Deren Isolinien biegen nördlich Rastatt in die offenbar immer noch erzgebirgisch streichende Fränkische Senke ein, über deren Entwicklung außerhalb des Oberrheingrabens jedoch nichts mehr ermittelt werden kann. Im Süden trennt die auch faziell wirksame Auggener Schwelle (ILLIES 1956) als westlicher Vorsprung der Sissacher Schwelle, etwa das Westende der frühpermischen Südschwarzwald-Schwelle nachzeichnend, die Badische Senke vom südlich anschließenden Bur Gundischen Becken.

3.1.8 Restmächtigkeiten Mitteljura im Oberrheingraben

Datengrundlage: Unter der tertiären Grabenfüllung stehen im größten Teil des Oberrheingrabens Gesteine des Mitteljuras an, deren hangender Abschnitt von der präeozänen Erosionsfläche teilweise gekappt wird. Die in den Bohrdaten niedergelegten Gesamtmächtigkeiten des Mitteljuras sind daher auch in ungestörten Profilen fast überall, ähnlich wie im Ausstrichgebiet des Schichtstufenlandes, Restmächtigkeiten. Ihre direkte Darstellung in der vorigen Karte hätte damit im Oberrheingebiet ein inkonsistentes Bild ergeben. Um die einstigen Primärmächtigkeiten einschätzen zu können, wurden daher die jeweils fehlenden Abschnitte ermittelt und in ihrer mutmaßlichen Mächtigkeitsentwicklung abgeschätzt. Die nach den Bohrdaten beobachteten Mächtigkeiten sind demgegenüber hier in einer gesonderten Karte, zusammen mit der jeweils unter Tertiär ausstreichenden Schicht als „Subcrop“-Karte dargestellt (Abb. 26).

Dabei entspricht die Grenze Mitteljura–Oberjura, anders als in den meisten älteren Darstellungen, der heutigen Abgrenzung zwischen Ornatenton, der früher in Baden zum Oberjura gerechnet wurde, und dem Renggeriton der Kandern-Formation. Insbesondere das bei SITTLER (1969) verzeichnete Vorkommen von „Oxfordien“ im Raum Karlsruhe bezieht sich

nach den Bohrbefunden auf den Ornatenton, dem hier allenfalls unbedeutende Reste von Renggeriton auflagern (in den Bohrdaten nicht abgrenzbar), und erscheint somit in den vorliegenden Karten 8 und 9 (Abb. 25 und 26) nicht mehr.

Paläogeographie: Abgesehen von einigen Vorbergschollen ist die Abfolge nahe am östlichen Grabenrand am vollständigsten erhalten, um gegen Westen von der eozänen Denudationsfläche immer tiefer abgeschnitten zu werden. Darin bildet sich wahrscheinlich bereits eine schwache antithetische Verkippung der Schichtenfolge zum östlichen Grabenrandbruch ab und damit die beginnende, noch in die Spätphase der Denudation fallende Einsenkung des Grabens im Eozän. Die Ausstrichflächen des Mitteljuras unter der eozänen Denudationsfläche entsprechen allerdings nur teilweise einer „geologischen Karte“ der eozänen Landschaft, da die Eindeckung mit Sedimenten die Fläche erst über einen längeren Zeitraum hinweg vor weiterer Erosion schützen konnte. In seinen relativen Flächenanteilen ist dabei der tonige höhere Mitteljura im Verhältnis zu seinem Anteil an der Gesamtmächtigkeit stark überrepräsentiert. Dagegen fallen der Flächenanteil und die Ausstrichbreite der Wedelsandstein-Formation (bj1) eher gering aus.

Zwischen Strasbourg und Breisach zeichnet das breite subtertiäre Ausstrichgebiet des Haupttrogensteins, das sich linksrheinisch bis Colmar fortsetzt, den Verlauf der Rheinischen Hauptschwelle (sensu FREYBERG 1935; Morvan–Vogesen-Schwelle) nach, die sich auch später noch in Mächtigkeit und Fazies der Grabenfüllung zeigt. Im Vergleich zu ihrer streichenden Verlängerung am Schwarzwaldrand ist sie hier im Streichen des Grabens sinistral um mehr als 20 km südwärts versetzt.

3.1.9 Restmächtigkeiten Oberjura

Datengrundlage: Die Basis des Oberjuras ist heute einheitlich an der Basis der Glaukonitsandmergel bzw. der Impressamerigel-Formation definiert, im südlichen Oberrheingebiet an der Basis des Renggeritons (Kandern-Formation). Die Dachfläche des Oberjuras wird im gesamten Verbreitungsgebiet von einer Erosionsfläche mit kleinräumigem Relief gebildet. Die bekannten Mächtigkeiten stellen daher überall nur Restmächtigkeiten dar. Im Ausstrichgebiet der Schwäbischen Alb entspricht die Oberjura-Dachfläche annähernd der heutigen Landoberfläche und kann im Modell daher durch das Digitale Höhenmodell der Albhochfläche gut dargestellt werden. Im Oberrheingraben und unter dem Molassebecken ist dagegen das dort ebenfalls vorhandene Relief aus Talrinnen und Höhenkuppen vollständig von kano-

Karte 8: Restmächtigkeiten Mitteljura im Oberrhein

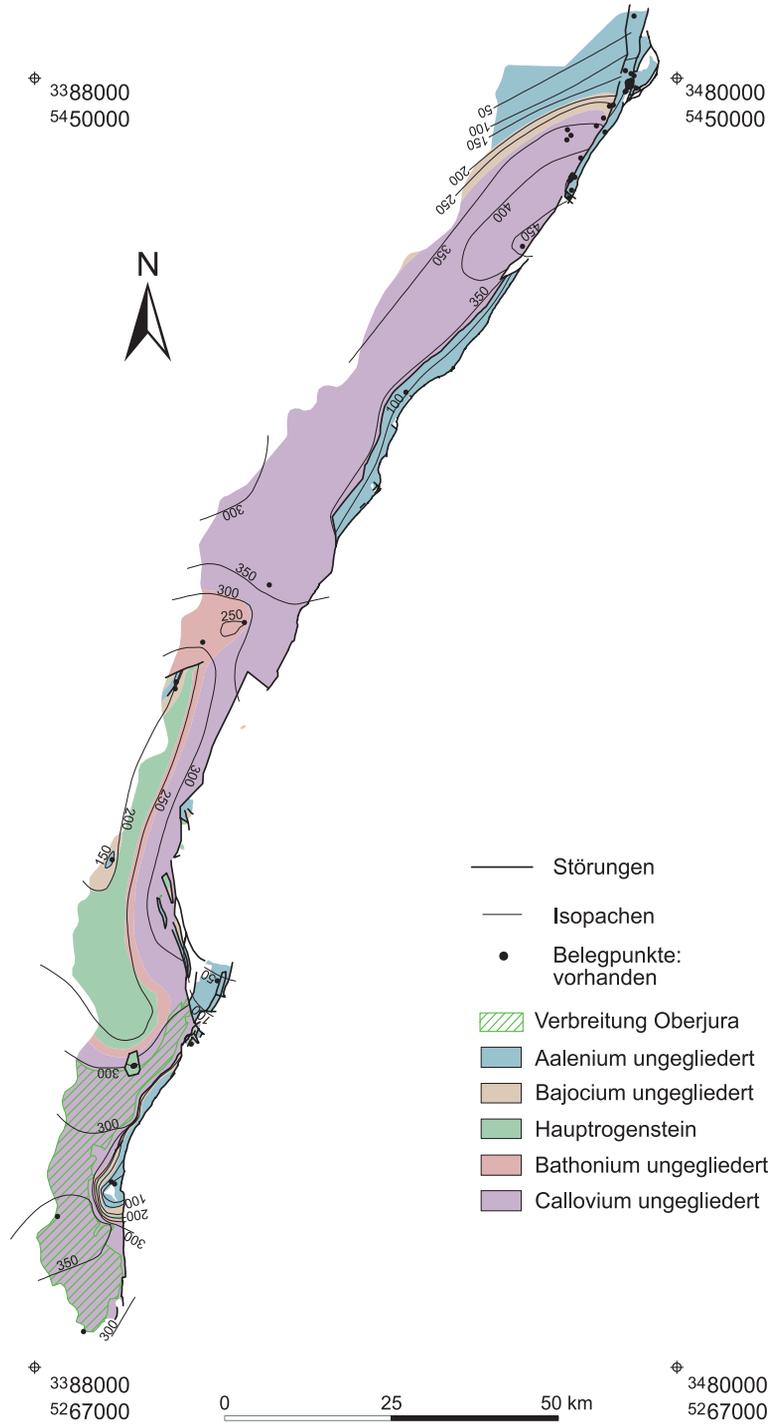


Abb. 26 Karte 8: Restmächtigkeiten des Mitteljuras und Geologie unter Tertiärbasis im Oberrheingraben.



zoischen Sedimenten verdeckt und nur punktuell durch Bohrungen bekannt. Die Karte muss sich hier auf eine geglättete Darstellung der bekannten Restmächtigkeiten beschränken (Abb. 27).

Die dargestellten Restmächtigkeiten repräsentieren oft nur Gesteine des Oxfordium und Kimmeridgium und damit allein die ältere Hälfte der primären Gesamtmächtigkeiten. Eine Rekonstruktion der Primärmächtigkeiten ist nur in den Verbreitungsgebieten der jüngsten bekannten Oberjura-Gesteine, der Hangenden Bankkalk-Formation (Ostalb, Uracher Mulde, Randengebiet) und der Zementstein-Formation (Helvetische Fazies, Bodenseegebiet) möglich und bliebe für mehr als 80 Prozent der Landesfläche spekulativ. Auf eine Kartendarstellung rekonstruierter Gesamtmächtigkeiten des Oberjuras wurde daher verzichtet.

Paläogeographie: Betrachtet man die größten Restmächtigkeiten in den Gebieten mit erhaltenen Gesteinen des Tithonium (Randen, Uracher Mulde, Ostalb, Bodenseegebiet und Allgäu), zeigen sich Hinweise auf eine weitere Umstellung des paläogeographischen Musters, wie sie auch aus faziellen Beobachtungen und der Auswertung von Teilprofilen hervorgehen. Insbesondere im Gebiet der vormaligen Vindelizischen Schwelle im Südosten weisen hohe Mächtigkeiten von 450 bis über 550 m auf rasche Absenkung des Untergrundes während des späten Juras hin, die sich auch im Übergang von der Schwäbischen Plattform-Fazies in die Helvetische Tiefschelf-Fazies des Bodenseeraumes und Allgäus ausdrückt (SCHNEIDER 1961). Die Umstellung kann als Ausdruck von mittel- und jungkimmerischen Bewegungen betrachtet werden, die insbesondere für das Oxfordium im Tafeljura- und Randengebiet belegt sind (ALLENBACH 2001).

Dagegen bleibt die Ries – Tauber-Schwelle auch über den Oberjura hinweg Schwellengebiet, das sich in verringerten Mächtigkeiten (200 bis 300 m südlich des Rieses), vorherrschender Biohermfazies und einer deutlichen Faziesgrenze gegen den Fränkischen Faziesraum ausdrückt („Ries-Riffschranke“: MEYER & SCHMIDT-KALER 1989; Abb. 28). Nach Westen steigt die Gesamtmächtigkeit, soweit aus den erhaltenen Profilabschnitten erkennbar, in die Mittelschwäbische Senke hinein auf mehr als 350 m (Raum Urach), im Süden auf mehr als 450 m an (Oberschwaben). Innerhalb der Mittelschwäbischen Senke deutet sich eine untergeordnete, ebenfalls rheinisch streichende Teilschwelle in reduzierten Mächtigkeiten und eigenen Schwamm-Mikroben-Biohermen an, deren Verlauf sich bereits im Unter- und Mitteljura undeutlich abgezeichnet hatte. Im Gebiet der Südalb zeichnet sich wiederum die Spaichinger Schwelle in Mächtigkeiten und Fazies ab. Bis in den Raum

Balingen zeigen sich hier ab dem Oxfordium erste Schwamm-Mikroben-Bioherme („Lochenfazies“), deren Verbreitungsgebiet sich im Kimmeridgium bis in das nördliche Mittelschwäbische Becken hinein ausdehnt und hier die Mergelfazies („Schwäbisches Mergelbecken“: MEYER & SCHMIDT-KALER 1989) nach Osten abdrängt. Im Schwellengebiet bildet sich zeitweise auch eine Bankkalk-Fazies flacheren Wassers aus („Quaderkalk-Plattform“: MEYER & SCHMIDT-KALER 1989).

Im Gebiet von Klettgau und Randen wird die Mächtigkeitsentwicklung durch die mittel- bis jungkimmerische Dehnungstektonik am Rande des Helvetischen Schelfs modifiziert. Aus dem südlich anschließenden Tafeljura sind kleinräumige Mächtigkeits- und Fazieswechsel bekannt, die zwischen Spaichinger und Sissacher Schwelle ein rheinisch streichendes Senkungsgebiet und damit möglicherweise ein Wiederaufleben der Westschwäbischen Senke andeuten (PITTET & STRASSER 1998, ALLENBACH 2001). Westlich der Sissacher Schwelle beginnt im Oberrheingebiet der Keltische Faziesraum mit Plattform- und Riffkarbonaten im Oxfordium (FRANK 1937, ALLENBACH 2001). Unter den eozänen Basissedimenten des Oberrheingrabens sind jedoch nur noch begrenzte Erosionsrelikte dieser Abfolge erhalten, die keine Rekonstruktion der Gesamtmächtigkeiten mehr erlauben.

Karte 9: Restmächtigkeiten Oberjura

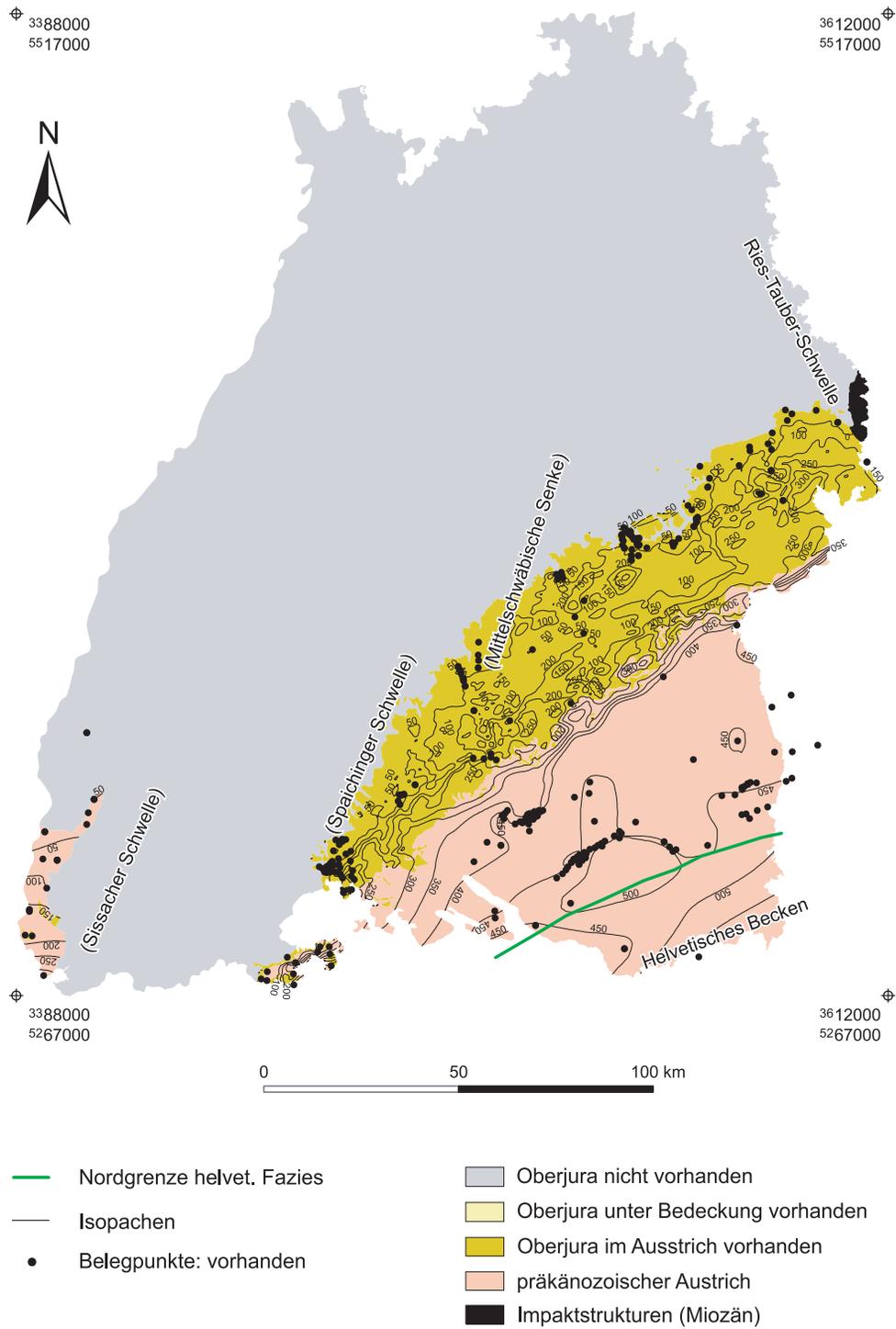


Abb. 27 Karte 9: Restmächtigkeiten und paläogeographische Situation im Oberjura.

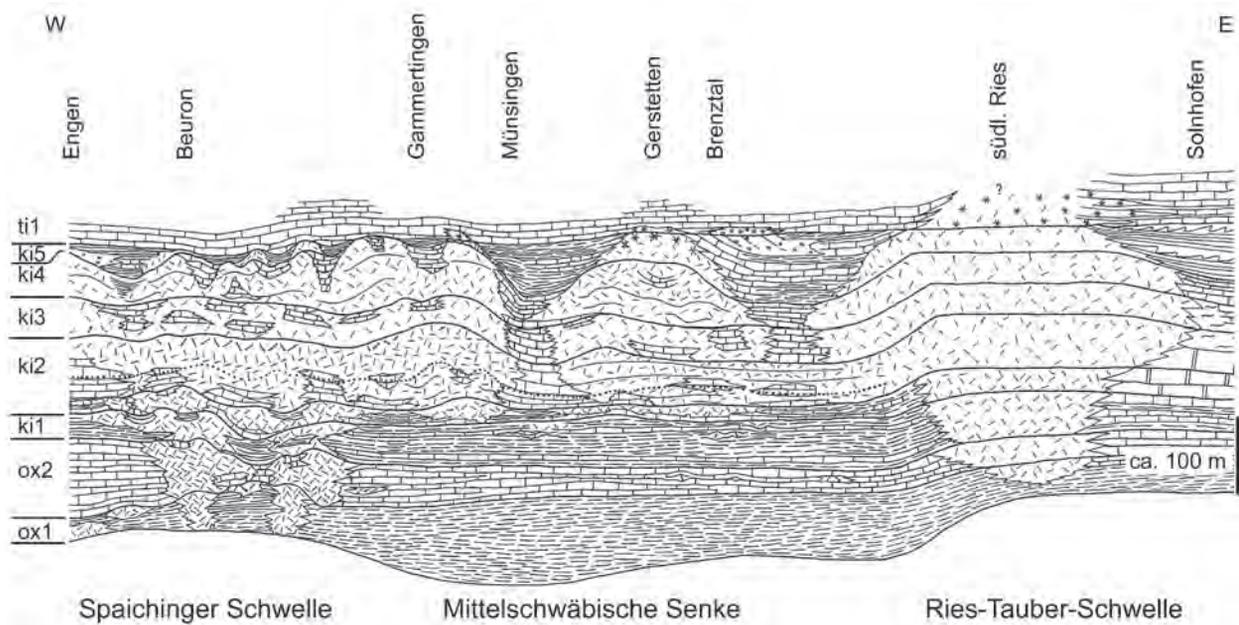


Abb. 28 Faziesprofil durch den Oberjura Baden-Württembergs (aus MEYER & SCHMIDT-KALER 1989). Die Mächtigkeitsentwicklung und die Verbreitung der Schwammfazies zeigt deutliche Parallelen zur Mächtigkeitsverteilung im Mitteljura und lässt auch für den Oberjura eine ähnliche Verteilung der Primärmächtigkeiten vermuten.

3.1.10 Mächtigkeiten Känozoikum

Datengrundlage: Die Karte zeigt die Gesamtmächtigkeiten der tertiären und quartären Sedimente und Vulkanite im Molassebecken und Oberrheingraben. Die Konstruktion erfolgte, ähnlich wie im Fall der Restmächtigkeiten im Oberjura, aus der Differenz zwischen Schichtlagerung der Tertiärbasis und der heutigen Geländeoberfläche. Kleinere Vorkommen außerhalb der geschlossenen Tertiärverbreitung dieser beiden Becken (Verwitterungslehme, Lössflächen, Terrassensedimente, Talfüllungen, Rutschmassen) sind im Modell noch nicht berücksichtigt und daher nicht dargestellt. Nördlinger Ries und Steinheimer Becken erscheinen wie in den anderen Karten als Struktureinheit, ohne Ausgliederung der känozoischen Sedimente (Abb. 29).

Paläogeographie: Das Süddeutsche **Molassebecken** umfasst die Sedimente der alpinen Vorlandmolasse zwischen Bodensee und Böhmischer Masse. Als Sedimentbecken nahm es vorwiegend den Abtragungsschutt der aufsteigenden Alpen auf, daneben aber auch Sedimentmaterial aus dem im Norden ebenfalls aufsteigenden und sich herausbildenden Schichtstufenland. Die ältesten Bereiche des Beckens gingen südlich des Landesgebietes bereits im Eozän aus den Schelfsedimenten des Helvetischen Beckens hervor und wurden später teilweise von den heranrückenden Helvetischen Decken überfahren oder zur Faltenmolasse aufgefaltet (vgl. LEMCKE 1988, GEYER & GWINNER 1991, BACHMANN & MÜLLER 1992, SCHWERD, DOPPLER & UNGER in BGLA

1996, SINGH 2006). Im Oligozän weitet sich der Sedimentationsraum zunehmend aus, um im Miozän bis auf die heutige Albhochfläche auszugreifen. Nach dem Miozän wurden große Teile des Beckens wieder Erosionsgebiet. Im unmittelbaren Alpenvorland kam es im Pleistozän infolge der alpinen Vergletscherung wieder zeitweise zu Sedimentakkumulation, die im Gebiet der Vorlandgletscher eine fast flächendeckende, nördlich der einstigen Eisrandlagen eine lückenhafte quartäre Bedeckung hinterließ.

Die Mächtigkeitsverteilung zeigt das für Vorlandmolassen charakteristische keilförmige Muster zwischen der nach Süden unter die alpinen Decken gleichmäßig abfallenden Basisfläche und der zugleich gegen den Alpenrand leicht ansteigenden Geländeoberfläche. Kleinräumige Schwankungen finden ihre Ursache einerseits in der heutigen Topographie, andererseits in der ungenau bekannten prätertiären Geländeoberfläche unter den Molasse-sedimenten, und zum Dritten in tektonischen Verwerfungen, an denen diese Basisfläche vielerorts nochmals bewegt wurde.

Der **Oberrheingraben** entstand seit dem Eozän als Dehnungsstruktur in einer linkslateralen Scherzone (ILLIES 1974, PFLUG 1982, HÜTTNER 1991, SCHUMACHER 2002). Die Kruste zeigt entlang des Grabens zwischen Schwarzwald und Vogesen linksseitigen Versatz um annähernd 40 km und wurde in W–E-Richtung bis in das Miozän um mehr als 4 km gedehnt, danach jedoch gestaucht und zusammen mit den Grabenschultern in die heutige Höhe

Karte 10: Mächtigkeiten Känozoikum

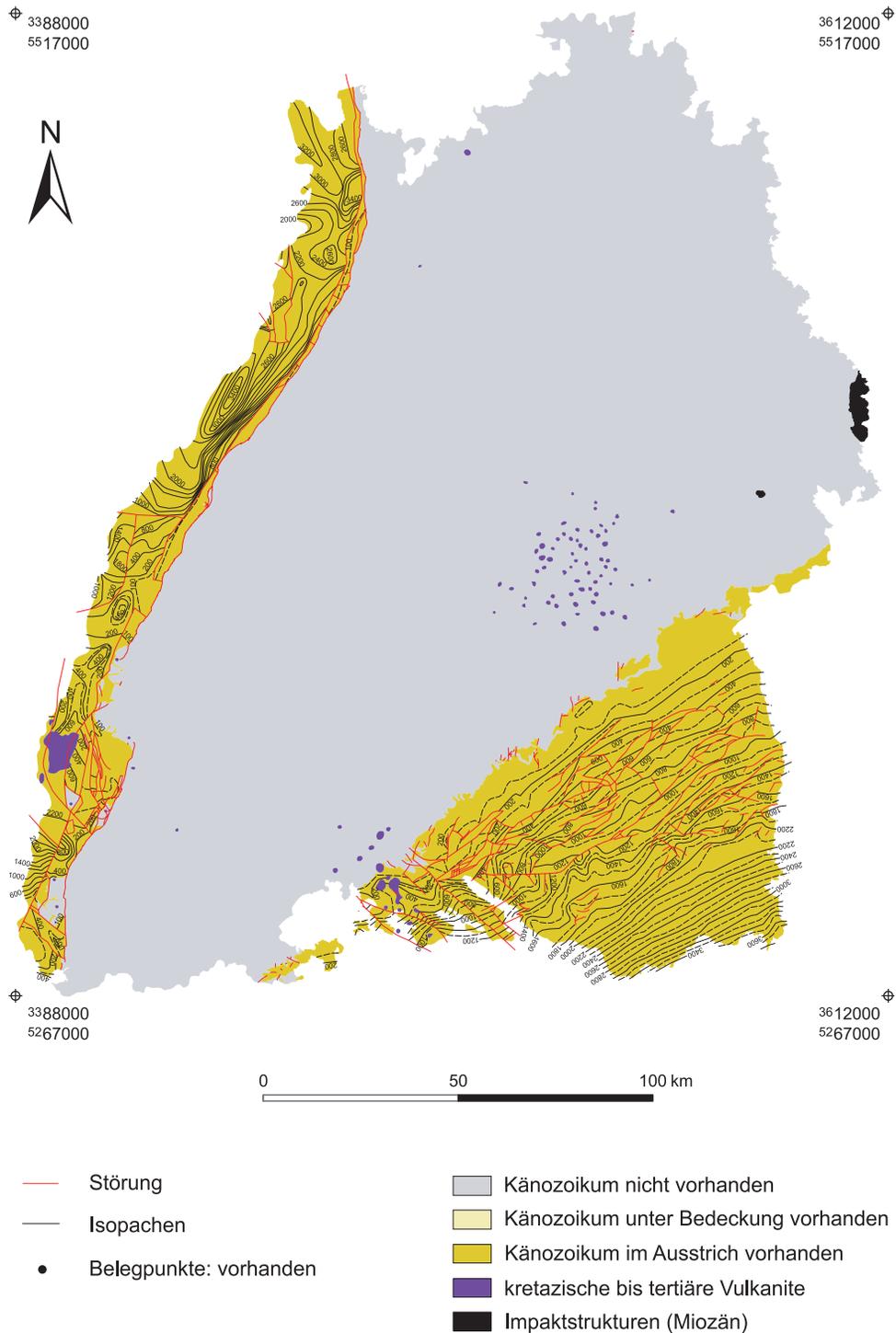


Abb. 29 Karte 10: Mächtigkeiten und Störungsmuster des Känozoikums im Oberrheingraben und im Molassebecken (Känozoische Sedimente im Schichtstufenland nicht modelliert).



aufgewölbt. Der Wechsel von einer Dehnungsstruktur in eine kompressive Scherzone erfolgte im Miozän etwa zeitgleich mit den jüngsten Deckenüberschiebungen der Nordalpen und der Deformation der Faltenmolasse, in deren Gefolge die zuvor NNE gerichtete Einengung von der bis heute bestehenden NW gerichteten Kompression abgelöst wurde (ILLIES 1974, SISSINGH 2006). Die Grundgebirgs-Oberfläche im Grabenbereich sank um mehrere hundert Meter, örtlich sogar um bis zu 5 000 m ein, während gleichzeitig Abschnitte der Grabenschultern (Schwarzwald, Vogesen, Odenwald) um teilweise mehr als 2 000 m gehoben wurden. Vom mittleren Eozän bis in das Miozän füllte sich der Graben mit Sedimenten, deren Mächtigkeitsverteilung fast ausschließlich die tektonische Struktur des Untergrundes abbildet. Die Topographie des prätertiären Untergrundes und die heutige Geländeoberfläche treten demgegenüber völlig zurück.

Durch zahllose Blattverschiebungen mit wechselndem Höhenversatz und steil stehende Abschiebungen sind Kristallin, Deckgebirge und Sedimentfüllung des Grabens kleinsträumig in Einzelschollen zerlegt, zwischen denen Sprunghöhen zwischen einigen zehn Metern und mehreren hundert Metern auftreten, an den Hauptbrüchen sogar mehr als 2 000 m. Seit dem Miozän hat darüber hinaus S–N gerichtete Einengung zahlreiche Störungen zu Aufschiebungen überprägt, wie mehrfach erbohrte Schichtverdoppelungen und -multiplikationen belegen. Auch die heutige seismische Aktivität wird überwiegend von Seitenverschiebungen und Aufschiebungen verursacht (AHORNER 1970, AHORNER & SCHNEIDER 1974). Eine auch nur angenähert vollständige Modellierung der bis heute bekannten Störungen und Einzelschollen war daher weder in einem vertretbaren Zeitrahmen noch, angesichts der Datenmenge, mit der derzeitigen Rechnerkapazität möglich. Das auf den ersten Blick komplex erscheinende Bild der Mächtigkeitsverteilung im Grabeninneren stellt somit nur ein stark vereinfachtes Modell dar, das die allgemeine Struktur, nicht aber die Lage jeder Einzelscholle wiedergibt.

Nach der Mächtigkeitsentwicklung zerfällt der Anteil Baden-Württembergs am Oberrheingraben in drei Abschnitte. Nördlich von Achern weist die känozoische Grabenfüllung durchgehend hohe Mächtigkeiten auf und ist weiter in Spezialtröge und -schwelle gegliedert. Die auffälligsten lokalen Senken, unter Rastatt und Heidelberg, liegen dicht vor der Hauptstörungszone des östlichen Grabenrandes und enthalten Sedimentmächtigkeiten von über 3 400 m. Zumindest die Rastatt-Senke liegt im Kreuzungsbereich der Grabenachse mit einer NE streichenden geophysikalischen Anomalie (HAHN & PUCHER 1982, EDEL et al. 2007), die sich im Nord-

osten in die Ubstadt–Walldürn-Störungszone und den Thüngersheimer Sattel fortsetzt. Es handelt sich offenbar um eine ältere, mehrfach reaktivierte Störungszone, die sich linksrheinisch am Nordrand der Rheinischen Hauptschwelle auffiedert und nach Südwesten, zwischen den Senken von Strasbourg und Sélestat hindurch, in ähnlich orientierte Scherzonen der Vogesen hinein fortsetzt (ILLIES 1974, EDEL et al. 2007).

Am Nordrand der Nordschwarzwald-Schwelle nehmen die Mächtigkeiten südwärts rasch auf weniger als 1 000 m ab. Von Achern bis an den Kaiserstuhl hebt sich im Gebiet der Rheinischen Hauptschwelle (sensu FREYBERG 1935) rechtsrheinisch nur der Spezialtrogl von Kehl durch größere Mächtigkeiten heraus (BREYER 1974). Lediglich am Westrand des Grabens ist um Sélestat im Bereich der Rheinischen Hauptschwelle ein größerer Trogl entwickelt und die Schwelle erneut in einen nördlichen und einen südlichen Arm aufgeteilt (DOEBL & OLBRECHT 1974), ohne jedoch eine unmittelbare Verknüpfung mit dem permischen Offenburg-Becken zu zeigen.

Südlich der Rheinischen Hauptschwelle, etwa südlich einer Linie Colmar–Kaiserstuhl–Emmendingen, ist der Rheingraben durch ein komplexes Muster teils rheinisch, teils eggisch und teils herzynisch streichender Strukturen gegliedert (DOEBL & OLBRECHT 1974, BARTZ 1974). In das Modellgebiet fallen hiervon lediglich die südlich des Kaiserstuhls auf badisches Gebiet übergreifende Hartheimer Senke, mit Mächtigkeiten von mehr als 2 000 m, und der wie ein Gesims den östlichen Grabenrand begleitende geringmächtige Tertiärsaum der Randschollenzone, der im Einzug der Elztal-Störungszone als Freiburger Bucht deutlich nach Osten zwischen die Vorberge von Emmendingen und Kandern vorrückt.

Ebenfalls in der Karte verzeichnet sind die fünf känozoischen **Vulkangebiete** von Baden-Württemberg. Ihre Lage ist jeweils eng mit den Hauptbruchzonen verknüpft, welche die tektonischen Regionen des Landes gegeneinander abgrenzen. Das nördlichste und älteste Vulkangebiet am unteren Neckar, hier durch die beiden bedeutendsten Vorkommen am Katzenbuckel im Odenwald und am Steinsberg im Kraichgau dargestellt, umfasst endkretazische bis paläozäne Eruptionsschlote und Gangfüllungen, die auf rheinisch einstreichenden Fiederbrüchen die Ubstadt–Walldürn-Störungszone beiderseits begleiten. Ein weiteres kleines Gebiet kretazisch-alttertiärer Vulkanschlote findet sich im Südschwarzwald entlang der herzynisch streichenden Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Störungszone im Gebiet der Albtalgräben und findet eine westliche Fortsetzung in den südlichen Vogesen.

Die drei größten Vulkangebiete entstanden jedoch mit geringer Altersdifferenz im Miozän. Sie liegen jeweils im Vergitterungsbereich von mehreren regionalen Bruchzonen und halten sich auffällig eng an die drei Ecken des Kandel–Hohenzollern–Schollenfeldes (vgl. Kap. 3.2.4). Im Südwesten ist dies der Kaiserstuhl, der einem Hauptabbruch des Oberrheingrabens dort aufsitzt, wo die Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Störungszone auf den Südrand der Rheinischen Hauptschwelle trifft und sich die Grabenrandschollen im Winkel zwischen Elztal-Störungszone und Grabenrand zur Freiburger Bucht absenken. Es handelt sich zugleich um den am stärksten ausgedünnten Krustenbereich des Oberrheingrabens, in den der vor der Gebirgswurzel der Alpen abfließende Mantelwulst als rundliches Mantelkissen eingedrungen ist (HÜTTNER 1991). Im Süden erscheinen die Hegau-Vulkane im Vergitterungsbereich der Albstadt-Scherzone mit der Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Störungszone. Das Streufeld des Urach–Kirchheimer Vulkangebietes zeigt sich dagegen im offenen Winkel zwischen sinistraler Albstadt-Scherzone und ebenfalls sinistral bewegtem Schwäbischem Lineament, das hier linksseitig versetzt erscheint und so Dehnungsfelder im Nordwesten (Fildergraben) und Südosten der Ablenkung aufbauen konnte.

3.1.11 Paläotektonische Entwicklung – Diskussion

Im Zuge der Modellierung entstand ein in sich konsistenter Satz von Mächtigkeitkarten, der neue Einblicke in die paläotektonische und paläogeographische Entwicklung des Landes erlaubt. Durch die Einbeziehung zahlreicher z. T. unpublizierter Bohrdaten konnte vielfach der Verlauf der Isopachen und damit die Lage von Schwellen und Senken besser definiert werden als dies in früheren, stark an die Ausstrichgebiete geknüpften Untersuchungen möglich war. Dabei ließen sich verschiedene paläogeographische Elemente neu definieren und Hinweise auf das Alter ihrer ersten Anlage ableiten.

Nach dem paläotektonischen Muster lassen sich die Karten vier Epochen zuordnen, die als postvariskische (Oberkarbon–Rotliegend), protokimmerische (Zechstein–Keuper), kimmerische (Keuper–Oberjura) und alpidische Epoche (Kreide–Känozoikum) bezeichnet werden können. Jede dieser Epochen hat dem Untergrund ihre eigenen Strukturen aufgeprägt, dabei jedoch ältere, schon vorhandene Bruchbahnen teilweise wieder aufleben lassen (Abb. 30).

Für die postvariskische Epoche sind dabei im regionalen Maßstab erzgebirgisch und eggisch streichende Bruchstrukturen das dominierende

Element, zu denen nur in einem Fall ein herzynisch streichender Bruch als Begrenzung des Burgundischen Beckens hinzukommt. Rheinische und herzynische Bruchrichtungen sind zwar, zusammen mit verschiedenen weiteren Orientierungen, kleinräumig in Gangscharen und Klüften nachweisbar, bilden jedoch noch keine regional bis überregional durchhaltenden Großstrukturen. Selbst bei den angeblich „perlschnurartig rheinischen Linien“ folgenden Rotliegend-Porphyrten (ILLIES 1962: 321f) handelt es sich vielfach lediglich um Erosionsrelikte von Ignimbrit-Decken, deren Erhaltung teilweise tatsächlich rheinischen, jedoch känozoischen Bewegungen zu verdanken ist. Die bekannten Förderschloten der Rotliegend-Rhyolithe häufen sich dagegen unverkennbar an den Beckengrenzen der Permokarbon-Tröge und zeigen zuweilen selbst gangartig gestreckte Geometrien, die erzgebirgische Förderspalten nachzeichnen (Eichhaldenfirst). Als regional bedeutsame paläogeographische Richtung erscheint das rheinische Element offenbar erstmals im Zechstein, was sich mit Beobachtungen nördlich des Odenwalds deckt (KOWALCZYK et al. 1978).

Am Odenwald fällt jedoch eine weitere („pfälzische“) Bruchrichtung um 40–50° NE auf, die sich im Streichen der Odenwald–Spessart-Schwelle und des Grabens von Rannungen ausdrückt. EDEL et al. (2007) bringen sie mit etwa 30° NNE orientierten Scherzonen in den Vogesen in Verbindung und halten sie für eine schon variskisch (frühkarbonisch) angelegte Richtung. Als sinistrales Element deutet diese Richtung gemeinsam mit der eggischen und den dextralen Scherzonen der herzynischen und erzgebirgischen Richtung ein stefanisch-frühpermisches Spannungsfeld an, das von ca. 60° NE gerichteter Krustendehnung geprägt war. In saxo-nisch-alpidischer Zeit kam es südlich des Odenwalds zur Reaktivierung in der Ubstadt–Walldürn-Störungszone und ihrer südwestlichen Fortsetzung entlang der Rastatt- und der Strasbourg-Senke des Oberrheingrabens.

Viele alt angelegte Strukturen blieben jedoch inaktiv und wurden später unter teilweise spitzem Winkel durchtrennt. Verschiedene variskisch aktive Bruchstrukturen des Schwarzwaldes (Badenweiler–Lenzkirch-Zone, Zinken–Elme-Zone) wurden nach heutiger Kenntnis nicht erneut in größere Bewegungsbahnen einbezogen. Selbst die spätvariskisch (asturisch) bewegte Überschiebung von Diersburg-Berghaupten zeigt trotz paralleler Streichrichtung keine erkennbaren Beteiligung mehr an der Anlage des postvariskischen Offenburg-Beckens. Dessen Senkungszone untergliedert wiederum das Gebiet der Rheinischen Hauptschwelle nach dem Mittelperm nicht mehr.

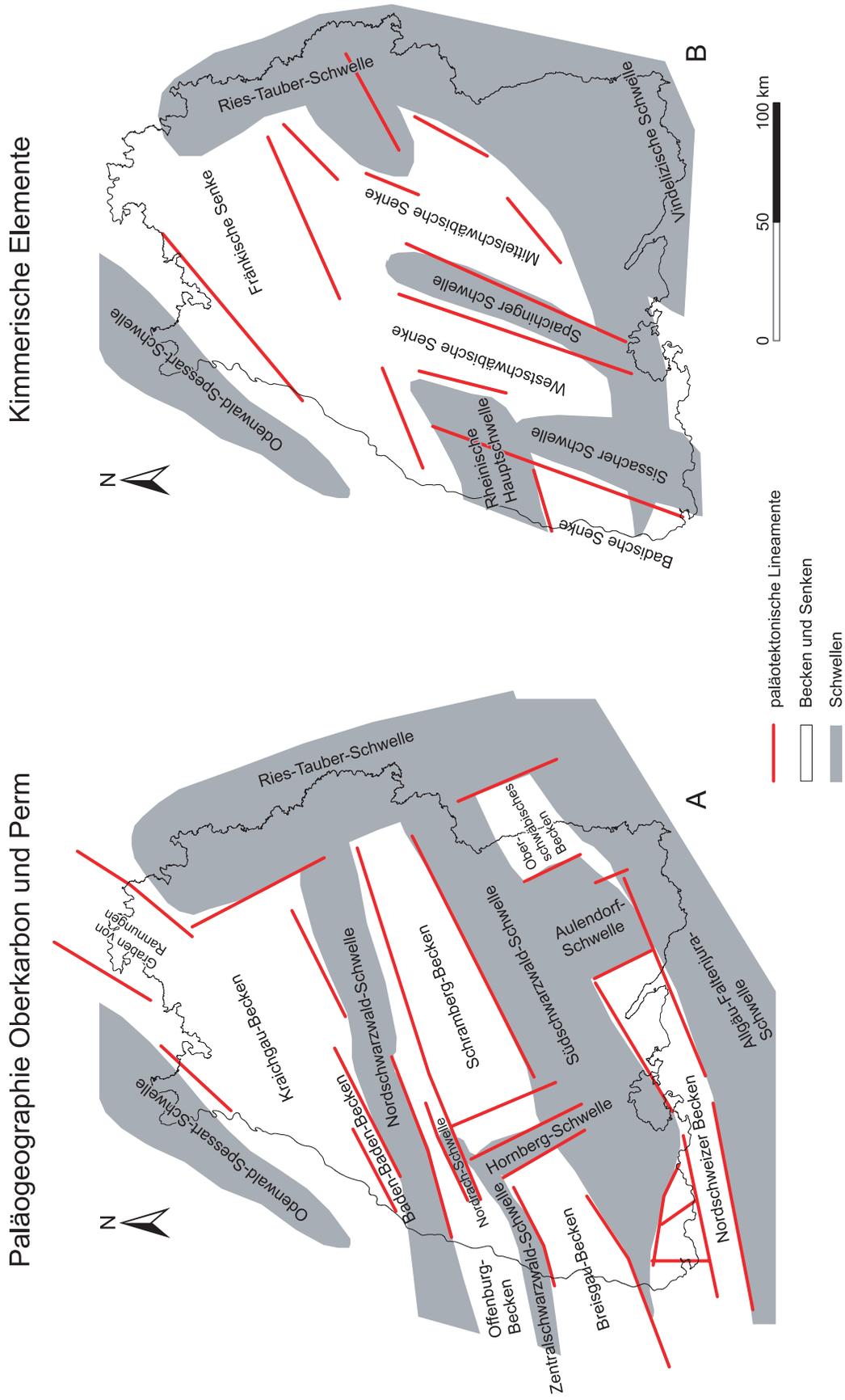


Abb. 30 A) Paläogeographisch wirksame Großstrukturen in Oberkarbon und Perm. Schwellen in grau. Die tektonischen Lineamente bezeichnen regional bis überregional auffällige lineare Strukturen der Beckenentwicklung und dürften, hypothetisch, mit regionalen Bruchstrukturen im Grundgebirge in Zusammenhang stehen. Es dominieren erzbergische und eggische Richtungen. B) Paläogeographische Elemente der protokimmerischen und kimmerischen Strukturepoche. Ab dem späten Perm beherrschen rheinisch streichende Becken und Schwellen das paläogeographische Bild. Daneben bleiben aber auch postvariskische Elemente bedeutsam, insbesondere die Odenwald-Spessart-Schwelle, die Fränkische Senke und die Ries-Tauber-Schwelle.

Mit Beginn der protokimmerischen Epoche im späten Perm, nach dem „großen Umschwung“ (CARLÉ 1955) des Mittelperm, zeichnen sich rheinisch streichende Elemente erstmals auch in regionalem Maßstab ab und bestimmen von nun an das Bild in der Südhälfte des Landes. Die älteren erzgebirgischen, pfälzischen und eggischen Elemente (Odenwald–Spessart-Schwelle, Rheinische Hauptschwelle, Südschwarzwald-Schwelle und Ries–Tauber-Schwelle) bleiben weiterhin in der Mächtigkeits- und Faziesverteilung erkennbar, erscheinen in dem nunmehr jedoch stärker E–W orientierten Dehnungsfeld von geringerer Bedeutung. Mit Anlage der Badischen Senke und der Sissacher Schwelle im Mittelperm zeigen sich erstmals die seit dem Eozän als Oberrheingraben und Schwarzwald neu herausgebildeten Strukturen im paläogeographischen Bild Südwestdeutschlands vorgezeichnet.

Auch die altkimmerische tektonische Wende, die sich in ganz Mitteleuropa durch Diskordanzen im Mittleren Keuper bemerkbar macht, ändert an dieser Gliederung nichts Grundsätzliches. Doch gewinnt nun die Mittelschwäbische Senke im Osten zunehmend an Bedeutung. Unter deren Westrand wird heute die seismische Aktivität der Albstadt-Scherzone beobachtet, was eine kimmerische Anlage der heute aktiven Struktur zumindest möglich erscheinen lässt. Mit Beginn der mittelkimmerischen Bewegungen am Ende des Mitteljuras beginnt mit fortschreitender Krustendehnung im Bodenseeraum schließlich die Absenkung jener Region, die sich später, in der nachfolgenden alpidischen Epoche, zum Molassebecken entwickelt.

Vom Ende des Jura bis in die frühe Kreide fand mit der jungkimmerischen tektonischen Wende erneut eine bedeutende Umstellung in der tektonischen Entwicklung statt. Zahlreiche Altersdaten aus Störungszonen des Grundgebirges belegen spätjurassische bis frühkretazische Bruchtektonik (WERNER & DENNERT 2004). Die vom späten Perm bis in das Tithonium anhaltende Absenkung des südwestdeutschen Raumes endet und wird von allmählicher Hebung abgelöst, die eine Transgression des Kreidemeeres trotz hohen Meeresspiegels in unserem Raum verhindert.

In der alpidischen Epoche wurden die älteren Strukturelemente offenbar selektiv reaktiviert und dabei entsprechend des neuen Spannungsfeldes überformt. Das känozoische, durch die alpine Kollisionstektonik im Süden hervorgerufene Spannungsfeld fand demnach ein bereits in nahezu alle Richtungen an alten Scherzonen zerlegtes Grundgebirge vor. Die unter dextralem Bewegungssinn angelegten erzgebirgisch streichenden Störungszonen werden jedoch spätestens jetzt (falls nicht

schon kimmerisch) als sinistrale Scherzonen reaktiviert, eggische Störungen erhalten eine dextrale Überprägung. Manche der alten Hauptstrukturen des postvariskischen und kimmerischen Stockwerks bilden sich mithin auch känozoisch im Verlauf der Beckenränder, in jüngeren Bruchlinien und teilweise auch in der Schichtlagerung ab (Kap. 3.2), während andere stumm blieben und heute nur noch aus den Mächtigkeitsverteilungen indirekt erschlossen werden können. Doch auch die neu im Deckgebirge angelegten kleinräumigen Strukturen, deren Lage sich unmittelbar am angelegten Spannungsfeld orientiert, zeigen dieselben Hauptrichtungen (z. B. REUTHER 1981) und belegen, dass das Störungsmuster vor allem die alpidisch-neotektonische Beanspruchung abbildet und sich dabei nicht zwangsläufig an alte Vorgaben halten muss.

3.2 Schichtlagerung und Karte der Grundgebirgsoberfläche

Wie in Kap. 2 dargestellt, beruht die Konstruktion der Schichtlagerung zwischen den Belegpunkten auf einer Kombination aus der Raumlage einzelner Referenzflächen und den darüber oder darunter abgetragenen Mächtigkeiten. Die Beschreibung ist daher nach den tektonischen Regionen gegliedert, innerhalb derer die Strukturen mehrerer Schichtflächen annähernd parallel vorliegen. Die Abgrenzung der tektonischen Regionen folgt dabei den tektonischen Hauptlinien, zwischen denen sowohl die Schichtlagerung als auch die Bruchtektonik charakteristische eigene Züge trägt (Abb. 31).

3.2.1 Oberrheingraben

Der Ostrand der tektonischen Region Oberrheingraben orientiert sich an der Verbreitung der Grabenrandbrüche, einschließlich der Vorbergzonen, und entspricht damit in seinem Verlauf weder exakt der topographisch definierten Oberrheinebene noch der Verbreitung der känozoischen Sedimente. Besonders am Schwarzwaldrand ist das Kristallin an einzelnen (rheinisch streichenden) Grabenrandbrüchen nur wenig abgesenkt, weshalb deren Randschollen landschaftlich zum Schwarzwald, tektonisch aber bereits zum Grabenrand gehören (z. B. Hühnerseidel-Scholle). Der Westrand des Oberrheingrabens sowie die Nord- und Südbegrenzung liegen außerhalb des Modellgebietes.

Im Oberrheingraben zeigen die Schichtlagerungskarten nochmals die Strukturen, die bereits bei der Mächtigkeitskarte des Känozoikums für diese Region beschrieben wurden, mit nur graduellen Abweichungen durch die nach unten zunehmenden



Mächtigkeitdifferenzierungen. Die größten Abweichungen zeigen sich erwartungsgemäß in den Karten für Oberkarbon–Rotliegend und Oberflä- che Grundgebirge, da die Mächtigungsstruktur der Permokarbontröge quer zur jüngeren tektonischen Struktur des Grabens streicht. Entsprechend zeigen sich im Nordgraben Heidelberger und Rastatter Senke, während im Bereich der Rheinischen Haupt- schwelle der Trog von Kehl scharf gegen die Graben- randschollen abgesetzt ist. Im Südgraben umfassen die Deckgebirgs-Einheiten jedoch zusätzlich zu den von Känozoikum bedeckten Gebieten ein in die Vor- bergzonen vergrößertes Verbreitungsgebiet. West- lich und südlich des Kaiserstuhls erfolgt wiederum der jähe Abfall in die Hartheimer Senke.

3.2.2 Südschwarzwald – Dinkelberg – Hegau

Das etwa dreieckige Gebiet zwischen Lörrach, Denz- lingen und Konstanz ist durch seine strukturelle Gli- derung sowohl gegen den Oberrheingraben als auch gegen das Oberschwäbische Molassebecken und das Südliche Schichtstufenland deutlich abgesetzt. Es handelt sich um das am stärksten gehobene und verkippte Gebiet in Baden-Württemberg, in der das freigelegte Grundgebirge im Südschwarzwald die höchsten Erhebungen des ganzen Landes bildet (Feldberg 1493 m, Seebuck 1448 m, Herzogenhorn 1415 m ü. NN). Das Deckgebirge ist daher im größ- ten Teil dieser Zone bereits abgetragen, weshalb nur ihr südöstlichster Abschnitt im Klettgau und Hegau auf allen sowie am Randen, im Wutachgebiet und Dinkelberg zumindest auf den meisten Schichtlage- rungskarten in Erscheinung treten.

Die Region zwischen südlichem Oberrheingraben und Bodensee ist intensiv durch herzynisch und rheinisch streichende Brüche mit einem Höhen- versatz zwischen wenigen Metern und annähernd 200 m gegliedert. Im Norden des Gebiets (Süd- schwarzwald–Randen–Hegau) treten dabei in der Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Störungszone die herzynischen, im Süden (Dinkelberg, Hochrhein, fortgesetzt im Tafeljura) die rheinischen Elemente in den Vordergrund, ohne die jeweils anderen ganz zu verdrängen. Wegen des Höhenversatzes werden die Strukturen meist als tektonische Gräben und Horste dargestellt, doch zeigen Harnischflächen und Herdflächenlösungen rezenter Erdbeben (AHRNER & SCHNEIDER 1974) rechtslaterale (herzynische Brü- che) bzw. linkslaterale (rheinische Brüche) Bewe- gungen. Die vertikalen Sprunghöhen sind diesen Horizontalbewegungen offenbar nachgeordnet und möglicherweise sekundäre Ausgleichsbewegungen infolge der Aufwölbung und Verkipfung der Kruste zwischen Faltenjura und Oberrheingraben.

3.2.3 Oberschwäbisches Molassebecken

Nordöstlich von Bodensee und Hegau zeigt sich in allen Schichtlagerungskarten das oberschwäbische Segment des Molassebeckens als Gebiet kontinu- ierlich nach Südosten einfallender Schichtgrenzen. Der südöstliche Rand gegen die Faltenmolasse liegt bereits außerhalb des Landesgebietes, ebenso der östliche Übergang in das auch faziell abweichende oberbayerische Segment des Molassebeckens (BGLA 1996). Der nordwestliche Rand wird etwa am heutigen Donaulauf durch die Molasseflexur (Albsüdrandflexur) bestimmt, an der das allgemeine Einfallen des Tafeldeckgebirges über kurze Distanz von weniger als 1° im Gebiet der Alb auf etwa 5° unter dem Molassebecken zunimmt. Die Position die- ser Flexur und damit der Nordrand der tektonischen Region deckt sich damit nicht genau mit dem nörd- lichen Rand des Sedimentbeckens, das im Miozän bis wenigstens an die Klifflinie auf das Gebiet des Südlichen Schichtstufenlandes (Flächenalb) über- griff (DONGUS 1977). Die Molasseflexur fällt jedoch annähernd mit dem Südrand der permischen Süd- schwarzwald-Schwelle im Untergrund zusammen.

Die wichtigsten tektonischen Bruchlinien dieser Zone sind NW und NE streichende Dehnungsbrüche, die sich im Querschnitt als teils nord-, teils südfallende Abschiebungen darstellen. Die Sprunghöhe erreicht selten mehr als 100 m. An diesen Störungen wurde das mesozoische Deckgebirge zusammen mit den älteren auflagernden Molassesedimenten versetzt, während die Störungen im Hangenden von jüngeren Sedimenten überdeckt werden. Die Störungen las- sen sich dadurch im Süden in das Oligozän datieren und verjüngen sich nach Norden bis in das Miozän (BACHMANN & MÜLLER 1992). Die Orientierung dieser Brüche schräg zur alpinen Einengung legt nahe, dass sie zunächst als Scherbrüche angelegt, dann aber in einer vorübergehenden Dehnungsphase als Abschiebung reaktiviert wurden (LAUBSCHER 1970). BACHMANN & MÜLLER (1992) bringen diese Dehnungs- phase mit der fortschreitenden Abwölbung des Mo- lasseuntergrundes unter den von Süden aufgescho- benen alpinen Decken in Zusammenhang, wobei die Brüche jeweils im Scheitel der allmählich nach Norden bis in ihre heutige Position voranschreiten- den Molasseflexur vorübergehend aktiviert wurden. Der vor der alpinen Gebirgswurzel ausweichende und unter die süddeutsche Kruste abströmende Mantelwulst führte etwa zeitgleich zur Hebung der gesamten Süddeutschen Großscholle, was mögli- cherweise zu weiteren Vertikalbewegungen entlang der Bruchzonen führte.

Tektonische Regionen

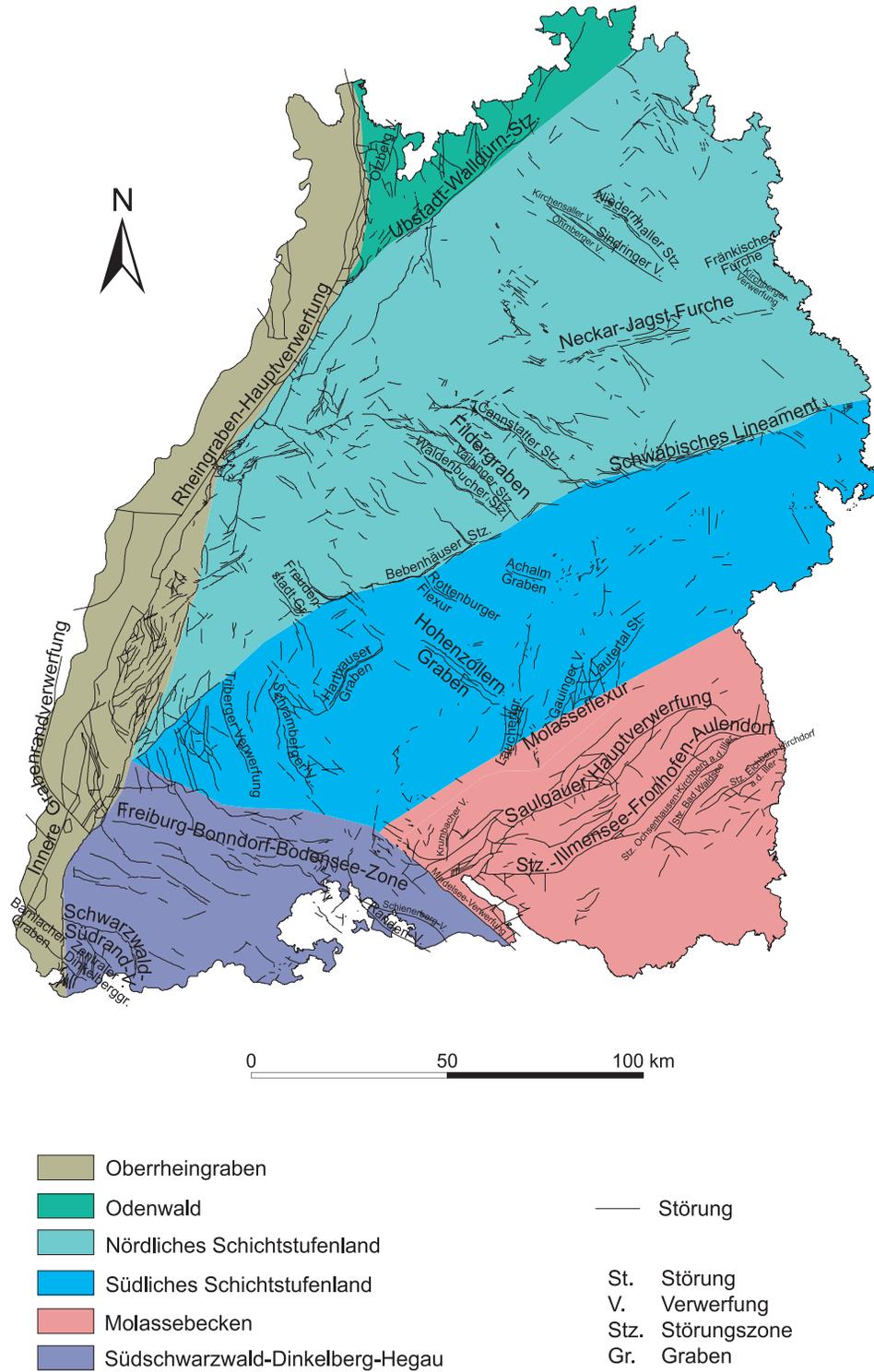


Abb. 31 Tektonische Regionen in Baden-Württemberg (Erläuterung s. Text) und wichtige Störungszonen in Baden-Württemberg. Die Benennung folgt überwiegend nach CARLÉ (1955).



3.2.4 Südliches Schichtstufenland

Das südwestdeutsche Schichtstufenland ist etwa entlang des Schwäbischen Lineaments (Elztal–Bebenhausen–Hohenstaufen-Störungszone) in zwei strukturell unterscheidbare Zonen gegliedert, die hier als Nördliches und Südliches Schichtstufenland bezeichnet werden sollen. Da hierbei nicht die Geomorphologie, sondern die alpidisch bis neotektonisch aktiven tektonischen Strukturen im Vordergrund stehen, sind hierin auch die Kristallgebiete des zentralen und nördlichen Schwarzwaldes als Teil des Schichtstufenlandes einbezogen.

Während die Karten für das Deckgebirgs-Stockwerk trotz der Mächtigkeitsschwankungen im Mesozoikum untereinander ein recht einheitliches Bild ergeben, das im Wesentlichen die alpidische bis neotektonische Entwicklung der Region abbildet, prägen die hohen Mächtigkeiten des Übergangstockwerks weiterhin die Struktur der Grundgebirgsoberfläche. Östlich des Schwarzwaldes beherrscht die tiefe Einsenkung des permischen Schramberg-Beckens das gesamte Gebiet. Inwieweit hierbei kimmerische, alpidische und neotektonische Strukturen der Grenze Grundgebirge–Permokarbon ein eigenes Relief aufgeprägt haben, ist jedoch wegen der spärlichen Belegpunktzahl nicht zu entscheiden.

Nach der Struktur des Deckgebirges zerfällt das Südliche Schichtstufenland in zwei Segmente. Westlich der etwa N–S streichenden Lauchert-Mulde fällt eine im Norden von Elztal- und Bebenhausen-Störungszone, im Süden von der Freiburg–Bonnendorf–Bodensee-Störungszone etwa dreieckig begrenzter Schollenkomplex als Westabdachung des Zentralschwarzwaldes einheitlich gegen ESE ein (Kandel–Hohenzollern-Schollenfeld). Nach der Verteilung der rezenten Erdbeben-Epizentren befindet sich am Ostrand dieses westlichen Segments eine mehrere Kilometer breite linkslaterale Scherzone im Grundgebirge, die als Albstadt-Scherzone bezeichnet wird (AHORNER 1970, ILLIES 1982, REINECKER & SCHNEIDER 2002). Der sinistrale Versatz dieser Zone äußert sich an der Oberfläche in fiederartig angelegten Dehnungsbrüchen (Hohenzollern-Graben, Achalm-Graben) und in parallelem flexurartigem Versatz von Klifflinie und Schwäbischem Lineament (ILLIES 1978, 1982, REINECKER & SCHNEIDER 2002). Durchgehende Trennbrüche sind dagegen im höheren Deckgebirge nicht ausgebildet und erscheinen daher nicht im Modell. Unterhalb des Mittleren Muschelkalks, der im gesamten Schichtstufenland den wichtigsten tektonischen Entkopplungshorizont zwischen tieferem und höherem Deckgebirge bildet, ist jedoch mit hoher, in der seismisch aktiven Zone im Grundgebirge mit größter Wahrscheinlichkeit mit etwa rheinisch streichenden Bruchscharen zu rech-

nen. Im Grundgebirge folgen die Bewegungsbahnen möglicherweise kimmerisch angelegten Bruchzonen am Westrand der mesozoischen Mittelschwäbischen Senke. Oberhalb des Mittleren Muschelkalks bildeten sich dagegen dextral bewegte Dehnungsbrüche in herzynischer Richtung aus (Achalm-Graben, Hohenzollern-Graben), die hier der konjugierten antithetischen Scherfläche entspricht (ILLIES 1978, 1982, REINECKER & SCHNEIDER 2002). Gekrümmte Scherflächen westlich der Albstadt-Scherzone weisen auf eine gegen den Uhrzeigersinn gerichtete Rotation von Teilschollen und wohl auch des gesamten Segments hin (ILLIES 1978), in der sich ihre Position zwischen den sinistralen Scherzonen am Oberrheingraben und in der Albstadt-Scherzone abbildet.

Die Albstadt-Scherzone wird östlich anschließend von der Lauchert-Mulde begleitet. Östlich davon wendet sich das generelle Schichtenfallen gegen SE auf das Molassebecken zu, wird jedoch durch eine dem Nördlichen Schichtstufenland ähnliche Gliederung in Kuppeln und Mulden überlagert. Auffälligste Struktur ist hier die annähernd runde Uracher Mulde im Gebiet der Mittleren Alb. Der Nordrand dieses Segments wird entlang der Hohenstaufen-Störungszone von einer lang ausgezogenen Struktur begleitet, der Albershäuser Kuppel. Die südliche Begrenzung stellt die Molasseflexur. Die Albershäuser Kuppel ist durch die Filstal-Mulde, einem nordöstlichen Ausläufer der Uracher Mulde, teilweise vom südlich anschließenden Buttenhäuser Sattel abgetrennt, der sich nach Südwesten als südliche Begrenzung der Uracher Mulde fortsetzt. Östlich des Buttenhäuser Sattels zeigt sich eine weitere, breite Muldenstruktur im Gebiet der Ostalb, die Heidenheimer Mulde. Erst kurz vor der Landesgrenze biegen die Streichlinien wieder nach Südosten um und deuten so südlich des Schwäbischen Lineaments einen Ries-Sattel als Nachklang der einstigen Ries-Tauber-Schwelle an.

3.2.5 Nördliches Schichtstufenland

Nördlich des Schwäbischen Lineaments schließt sich das Nördliche Schichtstufenland an, dessen Struktur im Deckgebirge stärker als jene des Südlichen Schichtstufenlandes von erzgebirgisch und herzynisch streichenden Scherbrüchen und von flachen Mulden und Kuppeln geprägt wird. Die nordwestliche Begrenzung dieser Zone wird südlich Ubstadt durch die Randbrüche des Oberrheingrabens, zwischen Ubstadt und Walldürn durch eine alte Störungszone gebildet (Ubstadt–Walldürn-Störungszone, „Nordbadisches Lineament“), in deren Umfeld bereits um die Kreide-Tertiär-Grenze vulkanische Aktivität an rheinisch streichenden Sekundärbrüchen belegt ist (Katzenbuckel, Steinsberg, Neckarbischofsheim).

Nach Nordosten geht die Struktur über eine Flexur in den Thüingersheimer Sattel über (ABDULLAH 1936) bevor sie sich, außerhalb des Landesgebiets, in der Karlstadt–Kitzinger Störungszone verliert.

Der Vergleich der Karte der Grundgebirgs-Oberfläche mit den Karten für die Basisflächen des Deckgebirges (hier nur mit Zechstein und Trias vertreten) zeigt einen deutlichen Einfluss der postvariskischen Struktur auf die heutige Schichtlagerung. Im Süden hebt sich über der alten Nordschwarzwald-Schwelle zwischen den Störungszone des Schwäbischen Lineaments und der Neckar–Jagst-Furche der Schwäbisch-Fränkische Sattel (CARLÉ 1955) heraus, der von zahlreichen herzynisch streichenden Quersprünge weiter gegliedert wird. Die Orientierung der Quersprünge deutet auf eine erste Anlage als Sekundärbrüche (Riedelbrüche) zum Schwäbischen Lineament unter rechtslateralem Bewegungssinn hin und damit auf eine stefanisch-frühpermische Vorzeichnung im Untergrund. Ihre (alpidische) Überformung nach linkslateraler Reaktivierung des Schwäbischen Lineaments hat zu kleinräumig komplex wechselnden Ab- und Aufschiebungen geführt, wobei Dehnungsstrukturen insbesondere an den linksseitigen Beugungen des Schwäbischen Lineaments überwiegen (Fildergraben, Freudenstadt-Graben).

Analog der Zweiteilung des Südlichen Schichtstufenlandes zeigen sich auch im Schwäbisch-Fränkischen Sattel deutliche Unterschiede zwischen der westlichen und der östlichen Hälfte, weshalb auch hier zwei tektonische Segmente unterschieden werden können. Östlich von Fils- und Remsmündung fallen die Schichten sehr schwach und generell nach Süden ein und werden dabei von den Störungen nur wenig beeinflusst (Rems–Jagst-Sattel). Westlich dieser Linie wendet sich das Schichtenfallen rasch gegen Osten und wird durch grabenartige Vertikalbewegungen an den Quersprünge stark modifiziert. Von Plochingen bis zur Hornisgrinde steigt dabei die Grundgebirgsoberfläche um etwa 1 000 m auf (Hornisgrinde–Filder-Schollenfeld). Die größte Grabenstruktur in dieser Scholle ist der Fildergraben, unter dem sich im Grundgebirge, nach Ausweis der seismischen Aktivität, offenbar die Albstadt-Störungszone bis in den Raum Ludwigsburg fortsetzt. Gekrümmte Scherflächen weisen auch hier auf gegen den Uhrzeigersinn gerichtete Rotationen des Segments hin (ILLIES 1978), die auch zwischen Einzelschollen des Grundgebirges durch unterschiedlich orientierte variskische Gefüge belegt sind (KESSLER & LEIBER 1994).

Nördlich der Neckar–Jagst-Furche ist über dem permischen Kraichgau-Becken weiterhin die Fränkische Senke (CARLÉ 1955: Fränkische Mulde) in drei nur

undeutlich gegeneinander abgegrenzten Teilmulden erkennbar, die als Kraichgau-, Stromberg- und Löwensteiner Mulde bekannt sind (CARLÉ 1955). Den Ostrand der Fränkischen Senke begleiten mehrere herzynisch streichende Störungszone (Salltal-, Niedernhall-, Adelsheim-Störungszone). Weiter östlich hebt sich der Fränkische Schild über der alten Ries–Tauber-Schwelle heraus, in dem nördlich und südlich der NE streichenden Hollenbacher Mulde nochmals ein nördlicher Assamstädter und ein südlicher Schrozberger Schild unterschieden wird. Im Schrozberger Schild zeigt sich dabei eine weitere, in der Schichtlagerung als schmale „Furche“ erscheinende Scherzone, die Fränkische Furche, die nach Westen unter spitzem Winkel auf die Neckar–Jagst-Furche zuläuft. Nördlich des Fränkischen Schildes senkt sich über dem permischen Graben von Ranungen die Bauland-Mulde ein. Im Norden der Region steigen die Schichtflächen wieder gegen den sich im Streichen der Ubstadt–Walldürn-Störungszone aufwölbenden Thüingersheimer Sattel an.

3.2.6 Odenwald

Während geographisch der Südrand des Odenwalds dem Ausstrich des Buntsandsteins folgt, ist der Südrand der tektonischen Region Odenwald in Baden-Württemberg, nur geringfügig davon abweichend, an der fast geradlinigen Ubstadt–Walldürn-Störungszone erreicht, die vom Südrand der Langenbrückener Senke nach Nordosten in den Thüingersheimer Sattel streicht. Im Süden reicht die tektonische Region damit noch über den eigentlichen Odenwald hinaus bis in den nordwestlichen Kraichgau hinein, wo im Zwickel zwischen Grabenrand-Verwerfung und Ubstadt–Walldürn-Störungszone die Langenbrückener Senke als Dehnungsstruktur um mehr als 500 m eingesenkt ist.

Im Landesgebiet ist diese Region durch generell nach Südosten gerichtetes Schichtenfallen an der Südabdachung des Odenwalds geprägt, das jedoch durch zahlreiche von Norden einstreichende Scherbrüche überlagert ist. Während diese angenähert N–S orientierten Störungen, die zwischen rheinischen und eggischen Richtungen pendeln können, hier das dominierende Element darstellen, treten die im Schichtstufenland vorherrschenden herzynischen und angenähert erzgebirgischen Bruchrichtungen nördlich der Ubstadt–Walldürn-Störungszone abrupt in den Hintergrund. Der Westrand der Zone liegt am hier von rheinisch auf eggisch umbiegenden Randbruch des Oberrheingrabens.



Lage der Profilschnitte

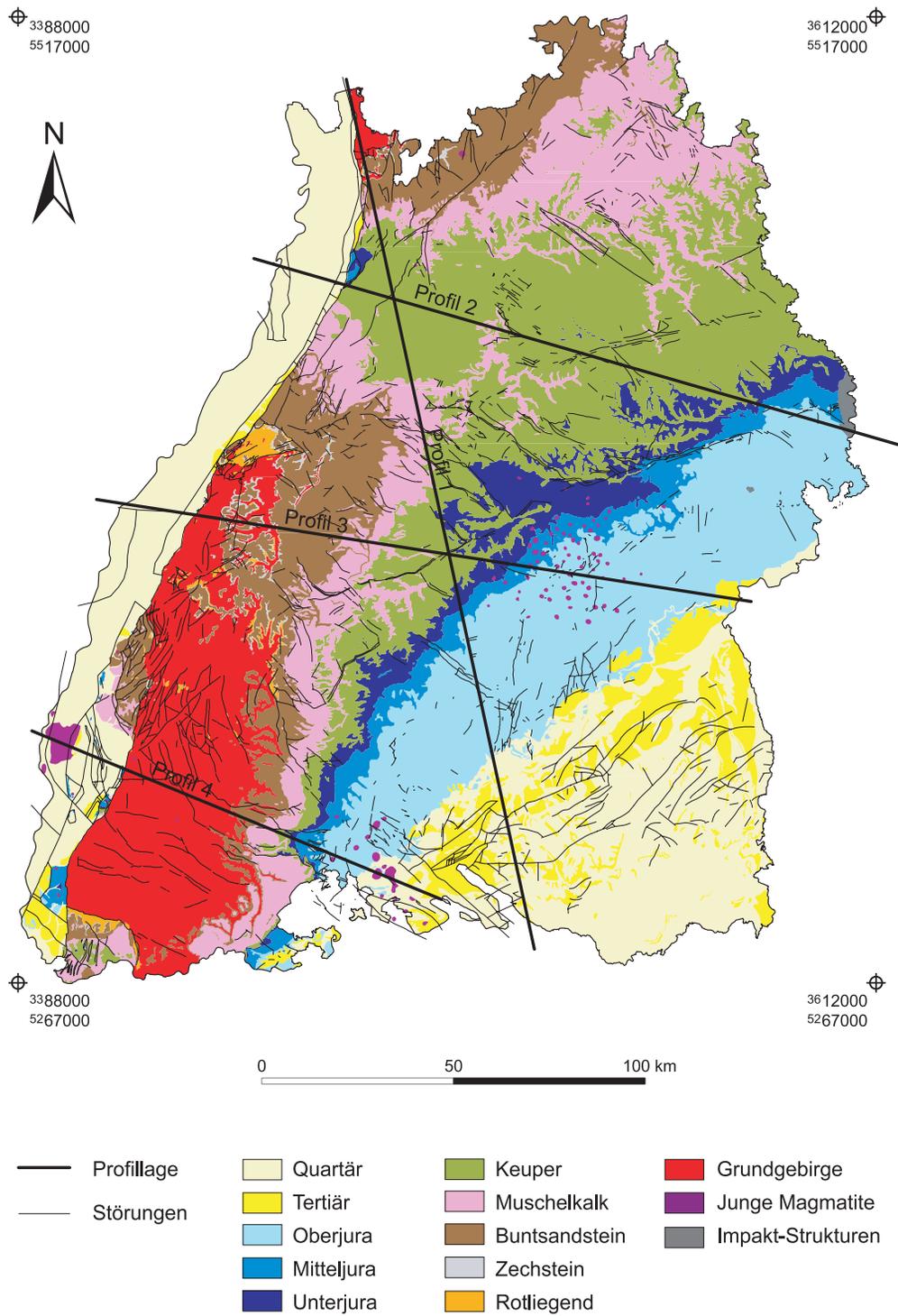


Abb. 32 Übersicht über die Lage der Profilschnitte

3.3 Profilschnitte durch Baden-Württemberg

3.3.1 Profilschnitt 1: Odenwald – Bodensee

Die erste Schnittlinie beginnt bei Hemsbach im nördlichen Oberrheingraben. Das Kristallin des Odenwalds wird zwischen Weinheim und Dossenheim nur ein kurzes Stück weit überquert und grenzt an der, hier als Einzelstörung modellierten, etwa W–E streichenden Schauenburg-Störungszone gegen das Deckgebirge des Buntsandstein-Odenwalds. Südlich davon streicht die Schnittlinie weiter über Kraichgau, Strohgäu, Schönbuch und Mittlere Alb nach Oberschwaben und an den Bodensee.

Deutlich heben sich unter dem Deckgebirge drei Permokarbon-Becken ab, im Norden das Kraichgau-Becken, unter Schönbuch und Albrand das Schramberg-Becken und im Süden das hier nur noch gering entwickelte Nordschweizer Becken. Darüber breitet sich diskordant das Tafeldeckgebirge aus, das im Süden nochmals von den känozoischen Sedimenten des Molassebeckens überlagert wird.

Die Schnittlage bildet insbesondere die Permokarbon-Becken, die Oberflächengestalt des Schichtstufenlandes und das Molassebecken gut ab. Die Molasseflexur und ihre Position über dem Südrand der alten Südschwarzwald-Schwelle sind dabei deutlich zu erkennen. In der Mächtigkeitsverteilung des Deckgebirges und in der heutigen Schichtlagerung zeigt sich zudem im Nördlichen Schichtstufenland der Einfluss des permischen Untergrundes, der südlich des Schwäbischen Lineaments (schematisch modelliert, im Schönbuch geschnitten) kaum noch eine Rolle spielt.

3.3.2 Profilschnitt 2: Kraichgau – Ries

Der zweite Profilschnitt verbindet den Oberrheingraben mit dem Nördlinger Ries. Den Oberrheingraben kreuzt die Schnittlinie nahezu senkrecht zum Streichen des Grabenrandes und zeigt die abrupte Absenkung des Deckgebirges unter dem Känozoikum und die im Bereich des Kraichgau-Beckens nur schwache Aufwölbung der Grabenschulter. Eine differenzierte Darstellung des Störungsmusters konnte im Rahmen dieses Modells noch nicht vorgenommen werden, weshalb die abgebildete Geometrie nur einen allgemeinen Eindruck über die Vertikalbewegungen erlaubt.

Östlich des Grabens quert die Profillinie das Kraichgau-Becken spitzwinklig zu dessen Streichen und erreicht unter dem Welzheimer Wald den Vergitterungsbereich zwischen Nordschwarzwald und Ries-Tauber-Schwelle. Im Deckgebirge ist die Ries-Tauber-Schwelle insbesondere in der Trias am Auskeilen des Buntsandsteins und in der Mächtigkeitsreduktion des Muschelkalks zu erkennen. Die Geländemorphologie wird über fast die gesamte Profillinie vom Keuper bestimmt, nur am Neckar ist das Gelände bis in den Muschelkalk eingetalt. Bei Aalen erreicht der Schnitt den Jura der Ostalb, der hier am Schwäbischen Lineament in der Albrandflexur nach Osten einfällt.

3.3.3 Profilschnitt 3: Hornisgrinde – Illermündung

Auch der dritte Profilschnitt beginnt im Oberrheingraben, über dem die Topographie jedoch rasch in den Nordschwarzwald aufsteigt und auf der Buntsandstein-Kappe der Hornisgrinde ihren höchsten Punkt erreicht (1 164 m ü. NN). Von hier fallen die Schichten über das Schwäbische Lineament hinweg bis in die Uracher Mulde ab, in deren Gebiet vier, wiederum vereinfacht dargestellte, Vulkanschlote des Uracher Vulkangebietes das Gebirge durchschlagen. Südlich davon quert die Schnittlinie die Albhochfläche und den Nordrand des Molassebeckens erreicht. Die Molasseflexur befindet sich in der Schnitttrichtung erst auf bayerischem Landesgebiet und erscheint hier darum nicht mehr.

Das Permokarbon des Schramberg-Beckens nimmt wegen der spitzwinklig zur Beckenachse einstreichenden Profillinie im Westen nur langsam an Mächtigkeit zu, keilt aber im Süden rasch gegen die Südschwarzwald-Schwelle aus. Dagegen kreuzt das Profil die rheinisch streichenden Mächtigkeitsstrukturen des Deckgebirges annähernd senkrecht. Hohe Mächtigkeiten des Buntsandsteins und Mitteljuras im Oberrheingraben weisen auf die Badische Senke, die erhöhten Mächtigkeiten im östlichen Schwarzwald auf die Westschwäbische Senke hin. Die Mittelschwäbische Senke zeigt sich über der Uracher Mulde insbesondere im Mitteljura.

3.3.4 Profilschnitt 4: Kaiserstuhl – Hegau

Der vierte Schnitt verbindet die beiden südlichen Vulkangebiete des Landes und erstreckt sich dabei vom Oberrhein bis an den Bodensee. Im Oberrheingraben beherrscht der Kaiserstuhlvulkan das Bild und begrenzt zugleich die Permokarbon-Sedimente des Breisgau-Beckens gegen die tief versenkte Zentralschwarzwald-Schwelle im Westen. Östlich



Profilschnitt 1: Odenwald — Bodensee

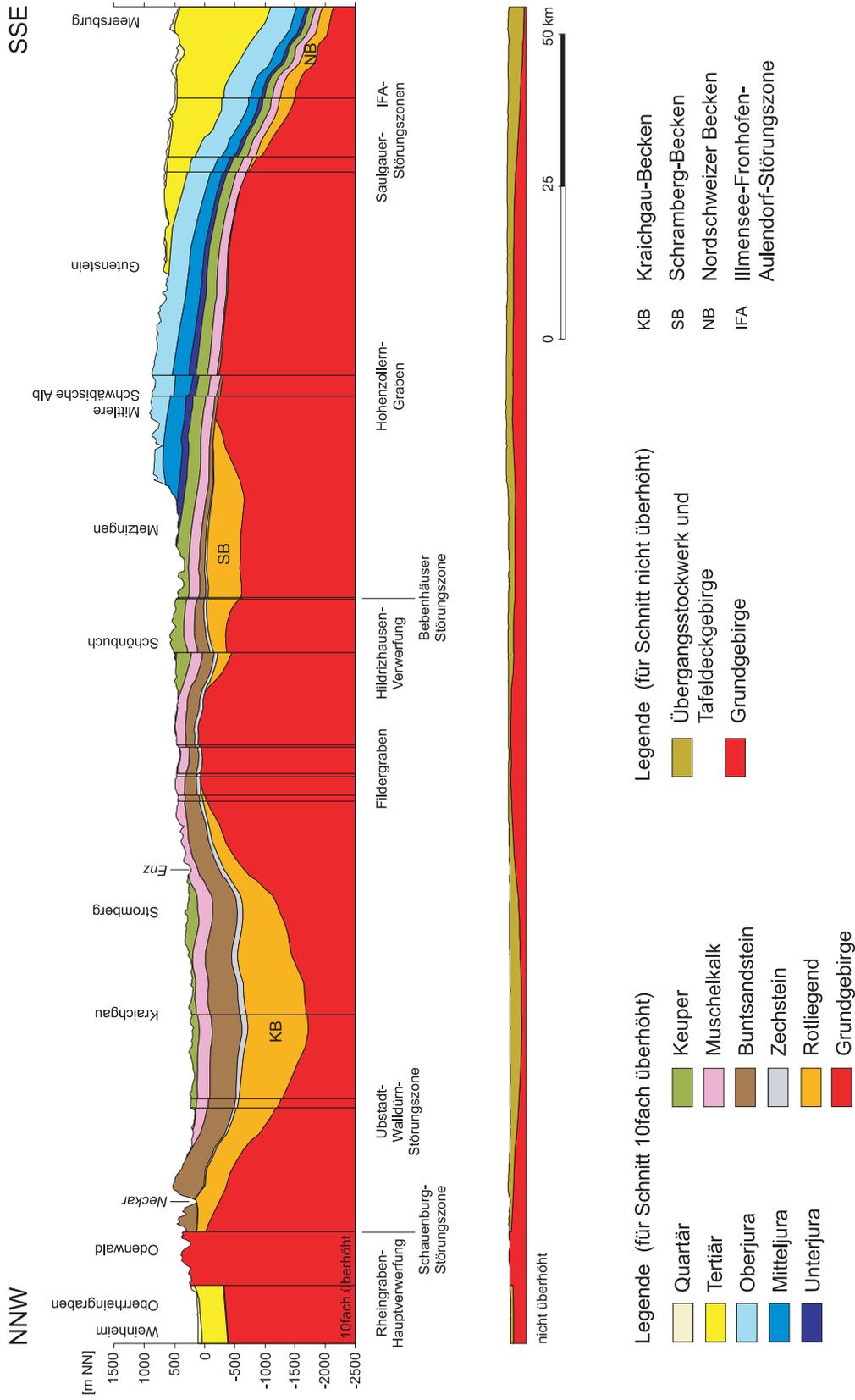


Abb. 33 Profilschnitt 1: Odenwald – Bodensee (Erläuterung s. Text).

Profilschnitt 2: Kraichgau — Ries

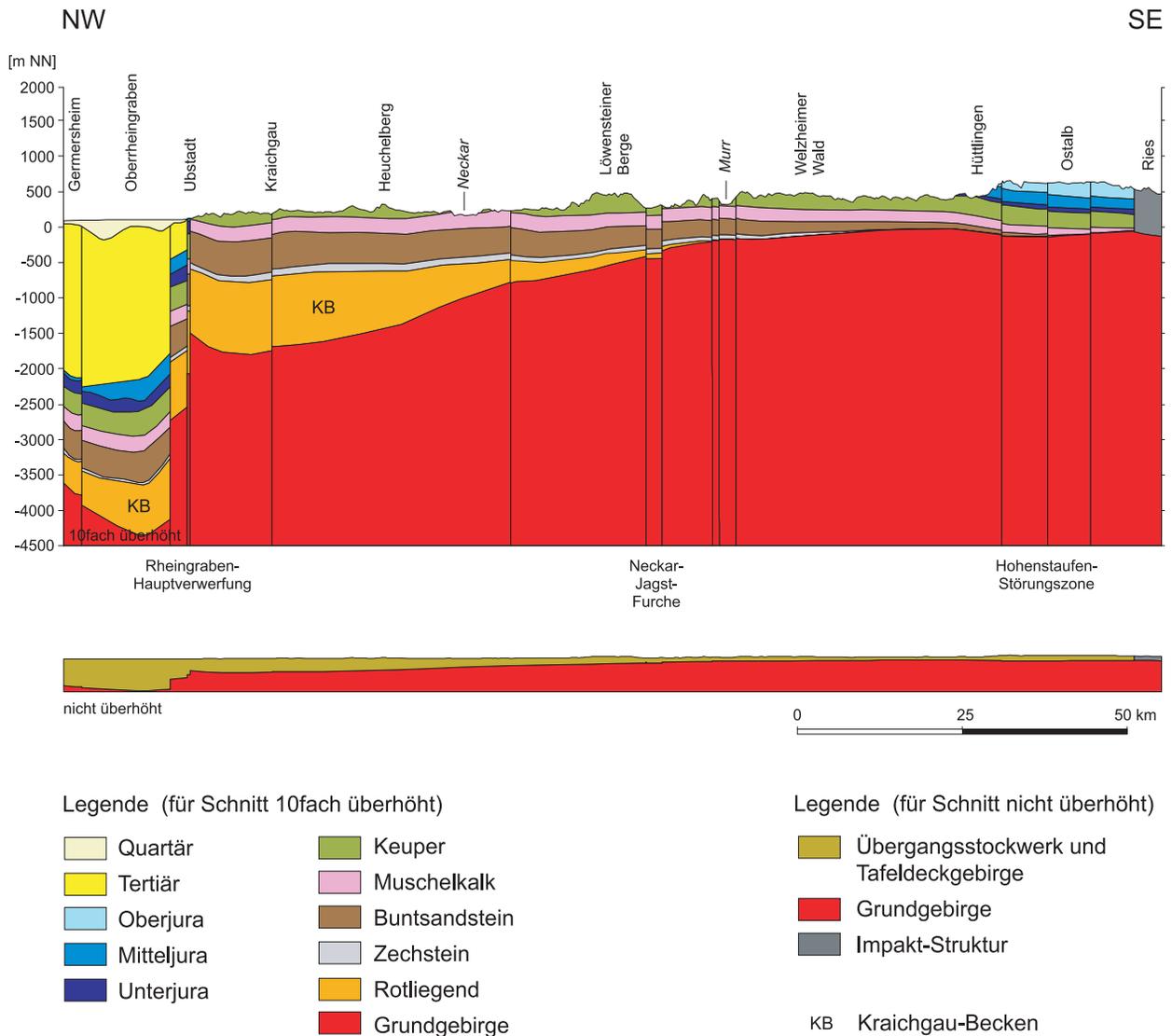


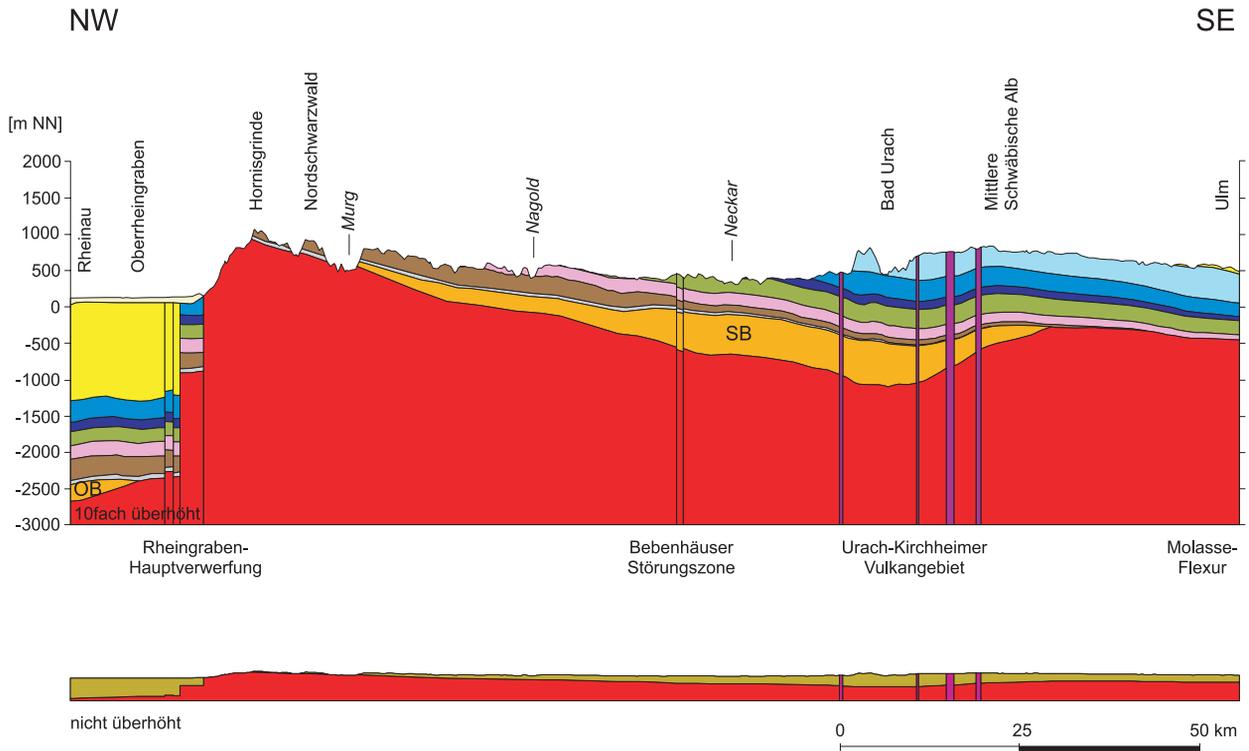
Abb. 34 Profilschnitt 2: Kraichgau – Ries (Erläuterung s. Text).

des Kaiserstuhls zeigen sich die Grabenrandschollen der Freiburger Bucht, wiederum modellbedingt hier nur vereinfacht dargestellt. Östlich davon hebt sich das Kristallgebiet des Südschwarzwaldes breit heraus, an dessen Ostflanke das Deckgebirge rasch und ohne Flexur unter das Molassebecken einfällt. Das Profil verläuft etwa im Streichen der

Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Störungszone, die daher nur durch wenige Querbrüche in Erscheinung tritt. Östlich des Hohenstoffeln setzt unter dem Deckgebirge das Permokarbon des Nordschweizer Beckens ein, dessen Beckenachse jedoch nicht mehr erreicht wird.



Profilschnitt 3: Hornisgrinde — Illermündung



Legende (für Schnitt 10fach überhöht)

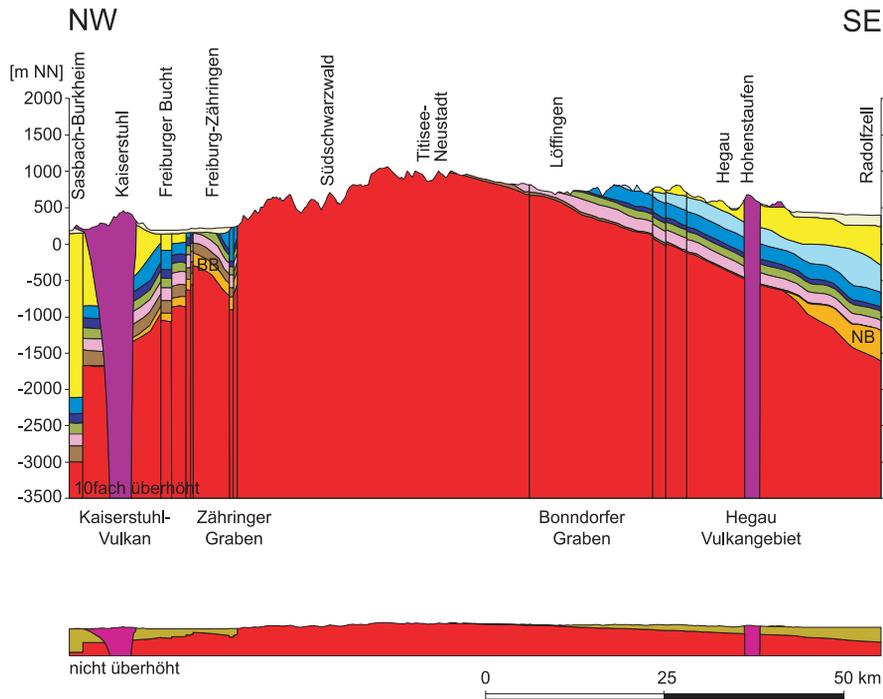
Quartär	Keuper
Tertiär	Muschelkalk
Junge Magmatite	Buntsandstein
Oberjura	Zechstein
Mitteljura	Rotliegend
Unterjura	Grundgebirge

Legende (für Schnitt nicht überhöht)

Übergangsstockwerk und Tafeldeckgebirge
Grundgebirge
Junge Magmatite
SB Schramberg-Becken
OB Offenburg-Becken

Abb. 35 Profilschnitt 3: Hornisgrinde – Illermündung (Erläuterung s. Text).

Profilschnitt 4: Kaiserstuhl — Hegau



Legende (für Schnitt 10fach überhöht)

Quartär	Keuper
Tertiär	Muschelkalk
Junge Magmatite	Buntsandstein
Oberjura	Zechstein
Mitteljura	Rotliegend
Unterjura	Grundgebirge

Legende (für Schnitt nicht überhöht)

Übergangsstockwerk und Tafeldeckgebirge
Grundgebirge
Junge Magmatite
BB Breisgau-Becken
NB Nordschweizer Becken

Abb. 36 Profilschnitt 4: Kaiserstuhl – Hegau (Erläuterung s. Text).



Literatur

Die als Datenquelle benutzten Blätter bzw. Erläuterungen oder Beihefte der Geologischen Karte von Baden-Württemberg 1:25 000 (GK 25) und der vorläufigen Geologischen Karte von Baden-Württemberg 1:25 000 (GK 25v), sind im Anhang durch ihre Blattschnittsnummer bezeichnet. Sie sind in der folgenden Aufstellung nur angeführt, soweit sie einzeln im Text zitiert wurden.

- ABDULLAH aus Kabul (1936): Das Schichtgebirge bei Walldüren südöstlich des Odenwaldes. – *Bad. Geol. Abh.*, **8**: 3–45; Karlsruhe.
- AHORNER, L. (1970): Seismo-tectonic relations between the graben zones of the Upper and Lower Rhine Valley. – In: ILLIES, J.H. & MUELLER, S. (eds.): *Graben Problems*: 155–166; Stuttgart (Schweizerbart).
- AHORNER, L. & SCHNEIDER, G. (1974): Herdmechanismen von Erdbeben im Oberrhein-Graben und in seinen Randgebirgen. – In: ILLIES, J.H. & FUCHS, K. (eds.): *Approaches to Taphogenesis*, IUCG Sci. Rep., **8**: 104–117; Stuttgart (Schweizerbart).
- ALBERTI, F.A.V. (1826): Die Gebirge des Königreichs Württemberg in besonderer Beziehung auf Halurgie. – 326 S.; Tübingen u. Stuttgart (Cotta).
- ALLENBACH, R.P. (2001): Synsedimentary tectonics in an epicontinental sea: A new interpretation of the Oxfordian basins of northern Switzerland. – *Eclogae Geol. Helv.*, **94**: 265–287; Basel.
- ANDREAS, D., LÜTZNER, H. & SCHNEIDER, J.W. (2005): Karbon des Thüringer Waldes, der Kraichgau-Main-Senke, der Thüringisch-Fränkischen Graben- bzw. Riftzone und Thüringisch-Nordostbayerisches Scherzonensystem. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): *Stratigraphie von Deutschland V – Oberkarbon*, Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, **254**: 403–418; Frankfurt.
- BACHMANN, G.H. & BRUNNER, H. (1998): Nordwürttemberg. – *Stg. Geol. Führer*, **90**: 403 S.; Berlin (Borntraeger).
- BACHMANN, G.H. & MÜLLER, M. (1992): Sedimentary and structural evolution of the German Molasse Basin. – *Eclogae Geol. Helv.*, **85**: 519–530; Basel.
- BACKFISCH, S. (1984): Die Petrographie der Rotliegendesandsteine Südwestdeutschlands: Ein Beitrag zur Diagenese vulkanoklastischer Sandsteine. – *Diss. Univ. Heidelberg*: 220 S., 14 Taf. [unveröff.].
- BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingraben. – In: ILLIES, J.H. & FUCHS, K. (eds.): *Approaches to Taphogenesis*, IUCG Sci. Rep., **8**: 78–87, 1 Taf.; Stuttgart (Schweizerbart).
- BERTLEFF, B.W. (1986): Das Strömungssystem der Grundwässer im Malm-Karst des West-Teils des süddeutschen Molassebeckens. – *Abh. Geol. LA Baden-Württ.*, **12**: 271 S.; Freiburg i. Br.
- BERTLEFF, B.W. (1987): Das Strömungssystem der Grundwässer im Malm-Karst des West-Teils des süddeutschen Molassebeckens. – *Jh. Ges. Naturk. Württ.*, **142**: 57–72; Stuttgart.
- BEUTLER, G. & NITSCH, E. (2005): Paläogeographischer Überblick. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): *Stratigraphie von Deutschland IV – Keuper*, Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **253**: 15–30; Frankfurt.
- BGLA (1996): Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000 (4. Aufl.). – 329 S.; München (BGLA).
- BILHARZ, A. (1934): Erläuterungen zu Blatt Baden (Nr. 67). – *Geol. Spezialkt. Baden*, **67**: 144 S., 2 Beil.; Freiburg i. Br. [Nachdruck 1985: *Geol. Kt. 1:25 000 Baden-Württ.*, Bl. 7215 Baden-Baden; Stuttgart].
- BLOOS, G. (1976): Untersuchungen über Bau und Entstehung der feinkörnigen Sandsteine des Lias (Hettangium und tiefstes Sinemurium) im schwäbischen Sedimentationsbereich. – *Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart*, NF, **71**: 269 S., 27 Taf.; Stuttgart.
- BOIGK, H. & SCHÖNEICH, H. (1970): Die Tiefenlage der Perm-basis im nördlichen Teil des Oberrheingrabens. – In: ILLIES, J.H. & MUELLER, S. (eds.): *Graben Problems*: 45–55; Stuttgart (Schweizerbart).
- BOIGK, H. & SCHÖNEICH, H. (1974): Perm, Trias und älterer Jura im Bereich der südlichen Mittelmeer-Mjösen-Zone und des Rheingrabens. – In: ILLIES, J.H. & FUCHS, K. (eds.): *Approaches to Taphogenesis*, IUCG Sci. Rep., **8**: 60–71; Stuttgart (Schweizerbart).
- BRANDES, T. (1919): Die varistischen Züge im geologischen Bau Mitteldeutschlands. – *N. Jb. Miner. Geol. Paläont.*, BB **43**: 190–250; Stuttgart.
- BRÄUHÄUSER, M. & SAUER, A. (1913): Erläuterungen zu Blatt Alpirsbach (Nr. 117). – *Erl. Geol. Spezialkt. Kgr. Württ.*, Bl. **117**: 134 S.; Stuttgart. [Reprint 1971: *Geol. Kt. 1:25 000 Baden-Württ.*, Erl. Bl. 7616 Alpirsbach; Stuttgart].
- BRENNER, K. (1973): Stratigraphie und Paläogeographie des oberen Mittelkeupers in Südwest-Deutschland. – *Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart*, NF, **68**: 101–222; Stuttgart.
- BRENNER, K. (1978): Profile aus dem Oberen Mittelkeuper Südwest-Deutschlands. Sammlung und Revision der bis 1978 veröffentlichten Profile aus dem Oberen Mittelkeuper Südwest-Deutschlands. – *Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart*, NF, **72**: 103–239; Stuttgart.

- BREYER, F. (1956): Ergebnisse seismischer Messungen auf der süddeutschen Großscholle besonders im Hinblick auf die Oberfläche des Varistikums. – Z. dt. geol. Ges., **108**: 21–36; Hannover.
- BREYER, F. (1974): Structure and development of the southern part of the Rhine Graben according to geological and geophysical observations. – In: ILLIES, J.H. & FUCHS, K. (eds.): Approaches to Taphogenesis, IUCG Sci. Rep., **8**: 145–155; Stuttgart (Schweizerbart).
- BRUNNER, H. (1998) mit Beitr. v. BRUDER, J., FRANZ, M., KOBLER, H.-U., MÜLLER, S., PLUM, H., PRESTEL, R., REIFF, W., ROGOWSKI, E., SCHOBER, T., SIMON, T., SCHLOZ, W. & WURM, F.: Erläuterungen zum Blatt Stuttgart und Umgebung [6. Aufl.]. – Geol. Kt. Baden-Württ. 1: 50 000, Erl. Bl. **Stuttgart u. U.**: 298 S., 4 Beil.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- BRUNNER, H. & HINKELBEIN, K. (1988): Fotolineationen für die Gebiete der TK50: L6920 Heilbronn, L6922 Sulzbach an der Murr, L7120 Stuttgart-Nord und L7122 Backnang. – Jh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **30**: 117–123, 4 Beil.; Freiburg i. Br.
- BRUNNER, H. & HINKELBEIN, K. (1998): Geologie und Tektonik im Bereich der Vellberger Störungszone (GK25: Blatt 6925 Obersontheim). – Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., NF, **80**: 483–516; Stuttgart.
- BRUNNER, H. & HINKELBEIN, K. (2000): Erläuterungen zum Blatt Heilbronn und Umgebung, – Geol. Kt. Baden-Württ. 1: 50 000, Erl. Bl. **Heilbronn u. U.**: 68 S., 11 Beil.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- BRUNNER, H., ETZOLD, A., HAGDORN, H., SCHRÖDER, B., SCHWARZ, H.-U., SIMON, T., WURM, F. & ZIMMERMANN, E. (1981): Schichtenfolge und geologische Bedeutung der Thermalwasserbohrung Aalen 1. – Jh. Ges. Naturk. Württ., **136**: 45–104; Stuttgart.
- BRUNNER, H., HINKELBEIN, K. & SIMON, T. (1988): Geologie und Tektonik im Gebiet von Ellenweiler (Gmde. Oppenweiler, Rems-Murr-Kreis). – Jh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **30**: 167–200, 4 Beil.; Freiburg i. Br.
- BRUNNER, H., HINKELBEIN, K., SIMON, T. & WALLRAUCH, E. (1990): Trias, Tektonik und Ingenieurgeologie in Nordostwürttemberg (Exkursion B am 19. und 20. April 1990). – Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., NF, **72**: 57–94; Stuttgart.
- CARLÉ, W. (1955): Bau und Entwicklung der Südwestdeutschen Großscholle. – Beih. Geol. Jb., **16**: 272 S., 4 Taf.; Hannover.
- CARLÉ, W. (1982a): Geologie und Hydrogeologie der Mineral- und Thermalwässer von Bad Überkingen, Landkreis Göppingen, Baden-Württemberg (II). – Geol. Jb., C **31**: 3–72; Hannover.
- CARLÉ, W. (1982b): Vorkommen und Genese der Mineral-Säuerlinge und des Thermalwassers von Bad Teinach, Stadt Bad Teinach-Zavelstein, Landkreis Calw, Baden-Württemberg. – Geol. Jb., C **31**: 73–225, 2 Beil.; Hannover.
- CARLÉ, W. & WURM, F. (1971): Die wissenschaftlichen Ergebnisse der Tiefbohrung Allmersbach am Weinberg, Landkreis Backnang, Baden-Württemberg (Stratigraphie, Petrographie, Paläogeographie, Hydrologie). – Jh. Geol. LA Baden-Württ., **13**: 171–221; Freiburg i. Br.
- CLOOS, H. (1939): Ein Blockbild von Deutschland. Erläuterungen zu einer Tafel. – Geol. Rdsch., **31**: 148–153; Stuttgart.
- CLOOS, H. (1941): Bau und Tätigkeit von Tuffschloten, Untersuchungen an dem Schwäbischen Vulkan. – Geol. Rdsch., **32**: 709–800; Stuttgart.
- DEECKE, W. (1933): Die Tektonik des Schwarzwälder Grundgebirges. – Fortschr. Geol. Paläont., **10** (31): 141–346; Berlin.
- DEKORP Research Group (1985): First results and preliminary interpretation of deep-reflection seismic recordings along profile DEKORP 2-South. – J. Geophys. **57**: 137–163.
- DOEBL, F. & OLBRECHT, W. (1974): An isopach map of the Tertiary base in the Rhinegraben. – In: ILLIES, J.H. & FUCHS, K. (eds.): Approaches to Taphogenesis, IUCG Sci. Rep., **8**: 72–72, 1 pl.; Stuttgart (Schweizerbart).
- DOLDE, O. & SCHOLZ, G. (1972): Der Salltalgraben. – Jh. Ges. Naturk. Württ., **127**: 43–49; Stuttgart.
- DONGUS, H. (1977): Die Oberflächenformen der Schwäbischen Alb und ihres Vorlandes. – Marburger Geogr. Schr., **72**: 486 S., 32 Beil.; Marburg.
- DÜRR, R. (1982): Strukturgeologische Untersuchungen im Bereich der Neckar–Jagst-Furche (Baden-Württemberg). – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, NF, **77**: 75–146; Stuttgart.
- EDEL, J.-B., SCHULMANN, K. & ROTSTEIN, Y. (2007): The variscan tectonic inheritance of the Upper Rhine Graben: evidence of reactivations in the Lias, Late Eocene – Oligocene up to the recent. – Geol. Rdsch., **96**: 305–325; Berlin.
- FALKE, H. (1971): Die Paläogeographische Entwicklung des Oberkarbons in Süddeutschland. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westfalen, **19**: 167–172; Krefeld.
- FALKE, H. (1977): Zur Paläogeographie des kontinentalen Perm in Süddeutschland. – Abh. Hess. LA f. Bodenforsch., **60**: 223–234; Wiesbaden.
- FRANK, M. (1930): Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des Lias α in Süddeutschland. – Mitt. Geol. Abt. Württ. Stat. LA, **13**: 242 S., 4 Taf.; Stuttgart.



- FRANK, M. (1937): Paläogeographischer Atlas von Südwestdeutschland. – Mitt. Geol. Abt. Württ. Stat. LA, **17**: 111 S.; Stuttgart.
- FREYBERG, B.V. (1935): Zur Paläogeographie des Jungpaläozoikums in Deutschland. – Z. dt. geol. Ges., **87**: 193–209; Berlin.
- FRISCH, W. & MESCHÉDE M. (2005): Plattentektonik. Kontinentverschiebung und Gebirgsbildung. – 196 S.; Darmstadt (Primus).
- Geotherm. Synthese (1979): Geologisches Landesamt Baden-Württemberg / Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Hrsg., 1979): Geothermische Synthese des Oberrheingrabens / synthèse géothermique du Fossé Rhénan Supérieur [Bearb. TIETZE, R., NEEB, I., WALGENWITZ, F. & MAGET, P.]. – Commission of the European Communities, Directorate general for Research, Science and Education, Programme on Geothermal Energy: 100 S., 23 Anl., 4 Beil.; Freiburg i. Br. & Strasbourg (GLA Baden-Württ. und Service Géologique Regional Alsace).
- Geotherm. Synthese (1981): Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg., 1981): Geothermische Bestandsaufnahme des Oberrheingrabens zwischen Karlsruhe und Mannheim, Anteil Baden-Württemberg [Bearb. NÄGELE, R. & TIETZE, R.]. – Commission of the European Communities, Directorate general for Research, Science and Education, Programme on Geothermal Energy: 72 S.; Freiburg i. Br. (GLA Baden-Württ.).
- GEYER, M. (2003): Vulkane im Hegau 1:50000. Geologische Streifzüge durch den Hegau, am westlichen Bodensee und der angrenzenden Schweiz. – 1 Kt., 110+72 S.; Stuttgart (Landesvermessungsamt Baden-Württemberg).
- GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. (1991): Geologie von Baden-Württemberg [4. Aufl.]. – 482 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- GROSCHOFF, R. (1966): Einige Einzelheiten zum tektonischen Bild der Bebenhäuser Grabenzone zwischen Hagelloch und Bebenhausen. – Jh. Ver. Vaterl. Naturk. Württ., **121**: 149–154; Stuttgart.
- GROSCHOFF, R., KESSLER, G., LEIBER, J., MAUS, H., OHMERT, W., SCHREINER, A. & WIMMENAUER, W. (1996) mit Beitr. v. ALBIEZ, G., HÜTTNER, R. & WENDT, O.: Erläuterungen zum Blatt Freiburg i. Br. und Umgebung [3. erg. Aufl.]. – Geol. Kt. Baden-Württ. 1:50000, Erl. Bl. **Freiburg i. Br. u. U.**: 364 S., 7 Taf., 1 Beil.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- GÜMBEL, C.W. (1866): Die geognostischen Verhältnisse des fränkischen Triasgebietes. – Bavaria, Landes- und Volkskunde des Königreichs Bayern, Bd. **4** (1): 3–77; München.
- GÜK500: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (Hrsg., 1998): Geologische Übersichtskarte von Baden-Württemberg 1:500000 [2. erg. Aufl.]. – 1 Kt.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- HAHN, A. & PUCHER, R. (1982): Die magnetischen Anomalien des Oberrheingrabens. – Geol. Jb., E **23**: 81–96; Hannover.
- HANN, H.P., CHEN, F., ZEDLER, H., FRISCH, W. & LOESCHKE, J. (2003): The Rand Granite in the southern Schwarzwald and its geodynamic significance in the Variscan belt of SW Germany. – Geol. Rdsch., **92**: 821–842; Berlin.
- HAUNSCHILD, H. & OTT, W.-D. (1982): Profilbeschreibung, Stratigraphie und Paläogeographie der Forschungsbohrung Dinkelsbühl 1001. – Geol. Bavarica, **83**: 5–55; München.
- HGD Strohgäu: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1985): Hydrogeologische Dokumentation Strohgäu. – Archiv LGRB, Freiburg i. Br. [unveröff.].
- HGE Mittlere Alb: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (Hrsg., 2004): Mittlere Alb, Mappe 2: Grundwasserdynamik, Grundwassergleichen. – Hydrogeol. Erkundung Baden-Württ., 3 Kt., 21 S. Erl., 1 Anl., 1 CD-ROM; Freiburg i. Br. (LGRB).
- HGE Enzkreis: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (Hrsg., 2002): Enzthal-Pforzheim, Mappe 2: Hydrogeologischer Bau, Grundwassergleichen. – Hydrogeol. Erkundung Baden-Württ., 9 Kt., 21 S. Erl., 1 Anl.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- HGE Taubertal: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (Hrsg., 2003): Taubertal, Mappe 2: Hydrogeologischer Bau. – Hydrogeol. Erkundung Baden-Württ., 6 Kt., 25 S. Erl., 1 Anl., 1 CD-ROM; Freiburg i. Br. (LGRB).
- HGK Bühl-Offenburg: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg., 1979): Bühl-Offenburg. – Hydrogeol. Kt. Baden-Württ., 7 Kt., 84 S. Erl.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- HGK Erolzheimer Feld: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg., 1982): Erolzheimer Feld / Illertal. – Hydrogeol. Kt. Baden-Württ., 11 Kt., 100 S. Erl.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- HGK Isny: Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Hrsg.): Isny. – Hydrogeol. Kt. Baden-Württ., Freiburg i. Br. (LGRB). [in Vorb.]
- HGK Kaiserstuhl: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg., 1978): Kaiserstuhl-Markgräfer Land. – Hydrogeol. Kt. Baden-Württ., 21 Kt., 65 S. Erl.; Freiburg i. Br. (LGRB).

- HGK Klettgau (1992): Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg., 1992): Klettgau. – Hydrogeol. Kt. Baden-Württ., 11 Kt., 70 S. Erl., 4 Anl.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- HGK Leutkircher Heide (1990): Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg., 1990): Leutkircher Heide und Aitrachtal. – Hydrogeol. Kt. Baden-Württ., 10 Kt., 122 S. Erl.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- HOMILIUS, J. & SCHREINER, A. (1991) mit Beitr. von DÜRBAUM, H.-J. & LEIBER, J.: Geoelektrische Untersuchungen in der Freiburger Bucht. – Geol. Jb., E **48**: 43-70; Hannover.
- HÜTTNER, R. (1991): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens – Ein Überblick mit historischer Rückschau. – Geol. Jb., E **48**: 17–42; Hannover
- ILLIES, H. (1956): Der Mittlere Dogger im badischen Oberrheingebiet. – Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., **46**: 5–52; Freiburg i. Br.
- ILLIES, H. (1962): Oberrheinisches Grundgebirge und Rheingraben. – Geol. Rdsch., **52**: 317–332; Stuttgart.
- ILLIES, J.H. (1974): Taphrogenesis and plate tectonics. – In: Approaches to Taphrogenesis, IUGC Rep., **8**: 433–460; Stuttgart (Schweizerbart).
- ILLIES, J.H. (1978): Neotektonik, geothermale Anomalie und Seismizität im Vorfeld der Alpen. – Oberrhein. Geol. Abh., **27**: 11-31; Karlsruhe.
- ILLIES, J.H. (1982): Der Hohenzollerngraben und Intraplatten-Seismizität infolge Vergitterung lamellärer Scherung mit einer Riftstruktur. – Oberrhein. Geol. Abh., **31**: 47-78; Karlsruhe.
- KÄDING, K.C. (1978): Die Grenze Zechstein-Buntsandstein in Hessen, Nordbayern und Baden-Württemberg. – Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., NF, **60**: 223-252; Stuttgart.
- KÄMPFE, C. (1984): Tiefbohrungen in Baden-Württemberg und umgebenden Ländern. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, NF, **80**: 313 S.; Stuttgart.
- KATZUNG, G. & EHMKE, G. (1993): Das Prätertiär von Ostdeutschland. – 139 S.; Köln (Loga).
- KAZMIERCZAK, M., BRUNNER, H. & HINKELBEIN, K. (1999): Geologie und Tektonik im Bereich der Haslacher Störungzone (GK 25: Blatt 7419 Haslach). – Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., NF, **81**: 365-390; Stuttgart.
- KESSLER, G. & LEIBER, J. (1994) mit Beitr. v. KÄSS, W., MÜNZING, K. & OHMERT, W.: Erläuterungen zu Blatt 7631 Lahr / Schw.-Ost. – Geol. Kt. 1 : 25 000 Baden-Württ., Erl. Bl. **7613**: 305 S., 5 Beil.; Freiburg i. Br.
- KOWALCZYK, G., MURAWSKI, H. & PRÜFERT, J. (1978): Die Paläogeographische und strukturelle Entwicklung im Südteil der Hessischen Senke und ihrer Randgebiete seit dem Perm. – Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver., NF, **60**: 181–205; Stuttgart.
- KRIMMEL, V. (1980): Epirogene Paläotektonik zur Zeit des Keupers (Trias) in Südwestdeutschland. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, NF, **76**: 1–74; Stuttgart.
- LAUBSCHER, H.P. (1970): Grundsätzliches zur Tektonik des Rheingrabens. – In: ILLIES, J.H. & MUELLER, S. (eds.): Graben Problems: 79–87; Stuttgart (Schweizerbart).
- LAUBSCHER, H.P. (2004): The southern Rhine graben: A new view of the initial phase. – Geol. Rdsch., **93**: 341–347; Berlin.
- LEIBER, J. & MÜNZING, K. (1979): Perm und Buntsandstein zwischen Schramberg und Königsfeld (Mittlerer Schwarzwald). – Jh. Geol. L.-A. Baden-Württ., **21**: 107–136; Freiburg i. Br.
- LEIBER, J. & MÜNZING, K. (1985): Geologische Ergebnisse einiger Buntsandsteinbohrungen bei Königsfeld (Mittlerer Schwarzwald). – Jh. Geol. L.-A. Baden-Württ., **27**: 25–40; Freiburg i. Br.
- LEIBER, J. & SIMON, T. (2004): Ergebnisse der Tiefbohrung Waldenburg (Hohenlohe, Süddeutschland). – Hallesches Jb. Geowiss., Reihe B, Beih., **18**: 99–107; Halle.
- LEMCKE, K. (1988): Das Bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit. – Geologie von Bayern, **1**: 175 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- LGBRP (2005): Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Geologie von Rheinland-Pfalz. – 400 S., 2 Anl.; Stuttgart (Schweizerbart).
- LGRB (1999): Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (Hrsg.): Anwendungen geowissenschaftlicher Informationssysteme am Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg. – LGRB-Informationen, **11**: 82 S.; Freiburg i. Br.
- LÖFFLER, M. (1992): Das Permokarbon des Nordschwarzwaldes – Eine Fallstudie am Beispiel des Beckens von Baden-Baden. – Diss. Univ. Karlsruhe: 284 S.; Karlsruhe.
- LÜSCHEN, E., WENZEL, F., SANDMEIER, K.J., MENGES, D., RÜHL, T.H., STILLER, M., JANOTH, W., KELLER, F., SÖLLNER, W., THOMAS, R., KROHE, A., STENGER, R., FUCHS, K., WILHELM, H., EISBACHER, G. (1987): Near-vertical and wide-angle seismic surveys in the Black Forest, SW-Germany. – J. Geophys., **62**: 1–30; Berlin.
- LUTZ, M. & ETZOLD, A. (2003): Der Keuper im Untergrund des Oberrheingrabens in Baden. – Jh. LGRB Baden-Württ., **39**: 55–110; Freiburg i. Br.



- MAAS, R. & VOGELLEHNER, D. (2005): Das Oberkarbon des Schwarzwaldes. In: DSK (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland V: Oberkarbon. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **254**: 395–402; Frankfurt.
- MALLET, J.L. (1992): Discrete smooth interpolation in geometric modeling. – *Computer Aided Design*, **24**: 178–191; London.
- MATTMÜLLER, C.R. (1994): Ries und Steinheimer Becken. – 152 S.; Stuttgart (Enke).
- MÄUSSNEST, O. (1974): Die Eruptionenpunkte des Schwäbischen Vulkans. – *Z. Dt. Geol. Ges.*, **125**: 23–54; Stuttgart.
- MENNING, M., BENEK, R., BOY, J., EHLING, B.-C., FISCHER, F., GAITZSCH, B., GAST, R., KOWALCZYK, G., LÜTZNER, H., REICHEL, W. & SCHNEIDER, J.W. (2005): Das Rotliegend in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002 – „Paternoster-Stratigraphie“ auf dem Rückzug. – *Newsl. Stratigr.*, **41**: 91–122; Stuttgart.
- MESCHÉDE, M., ASPIRON, U. & REICHERTER, K. (1997): Visualization of tectonic structures in shallow depth high-resolution ground-penetrating radar (GPR) profiles. – *Terra Nova*, **9**: 167–170; Oxford.
- MEYER, R.K. & SCHMIDT-KALER, H. (1989): Paläogeographischer Atlas des süddeutschen Oberjura (Malm). – *Geol. Jb.*, A **115**: 77 S., 10 Taf.; Hannover.
- ORTLAM, D. (1968): Neue Ergebnisse aus dem höheren Buntsandstein des nördlichen Schwarzwaldes und des Kraichgau. – *Geol. Jb.*, **86**: 693–750; Hannover.
- PAULUS, K.E. (1868): Begleitworte zur geognostischen Specialkarte von Württemberg. Atlasblatt Wildbad mit den Umgebungen von Wildbad, Herrenalb, Loffenau, Dobel und Neuenbürg. – 21 S.; Stuttgart (Kgl. stat.-topogr. Bureau).
- PAULUS, K.E. (1875): Begleitworte zur geognostischen Specialkarte von Württemberg. Atlasblatt Oberndorf mit den Umgebungen von Oberndorf, Rottweil, Schramberg, Dunningen etc. – 17 S., 1 Taf.; Stuttgart (Kgl. stat.-topogr. Bureau).
- PFLUG, R. (1982): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. – 145 S.; Darmstadt (WBG).
- PITTET, B. & STRASSER, A. (1998): Depositional sequences in deep-shelf environments formed through carbonate-mud import from the shallow platform (Late Jurassic, German Swabian Alb and eastern Swiss Jura). – *Eclogae Geol. Helv.*, **91**: 149–169; Basel.
- PLUM, H. & ARMBRUSTER, V. (in Vorb.): Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg. – LGRB-Informationen, **20**; Freiburg i. Br.
- REINECKER, J. & SCHNEIDER, G. (2002): Zur Neotektonik der Zollernalb: Der Hohenzollerngraben und die Albstadt-Erdbeben. – *Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver.*, NF, **84**: 391–417; Stuttgart.
- REUTHER, C.-D. (1981): Das Störungsmuster des Hirschberges nordwestlich von Ludwigsburg (Südwestdeutschland) und seine tektonische Deutung. – *Z. dt. Geol. Ges.*, **132**: 149–157; Hannover.
- RÖPER, H.-P. (1980): Zur Petrographie und Genese des Karneol-Dolomit-Horizontes (Grenze Rotliegend/Buntsandstein) im Gebiet des Mittleren Schwarzwaldes. – Diss. Univ. Heidelberg: 289+62 S., 4 Beil. [unveröff.]
- ROSENDAHL, W., JUNKER, B., MEGERLE, A. & VOGT, J. (Hrsg., 2006): Schwäbische Alb. – Wanderungen in die Erdgesch., **18**: 158 S.; München.
- ROTSTEIN, Y., BEHRMANN, H.J., LUTZ, M., WIRSING, G. & LUZ, A. (2005): Tectonic implications of transpression and transtension: Upper Rhine Graben. – *Tectonics*, **24**, doi: 10.1029/2005TC001797.
- RUPF, I. (2001): Großmaßstäbliche dreidimensionale Faltenmodellierung mit GOCAD (TU Bergakademie Freiberg) – Fallstudie Dachschieferlagerstätte Schmiedebach (Saxothuringia/Mitteuropäische Varisziden). – *Z. Geol. Wiss.*, **29**: 371–382; Berlin.
- RUPF, I. (2007): GIS-Systeme und 3D-Modellierungssoftware – Möglichkeiten für eine gemeinsame Nutzung für geologische Fragestellungen. – *Wiss. Mitt. Inst. Geol. Freiberg*, **35**: 179–184; Freiberg.
- SAWATZKI, G. & HANN, H.P. (2003): Badenweiler-Lenzkirch-Zone (Südschwarzwald). – *Geol. Kt. Baden-Württ.* 1: 50 000, Erl. Bl. **Badenweiler – Lenzkirch-Zone**: 182 S, 2 Beil.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- SCHNEIDER, J. (1961): Der Jura in Erdölbohrungen des westlichen Molassetroges. – In: *Festschrift Hermann Aldinger*, herausgegeben von seinen Schülern: 163–172; Stuttgart (Schweizerbart).
- SCHÖNENBERG, R. (1973): Zur Tektonik des südwestdeutschen Schichtstufenlandes unter dem Aspekt der Plattentektonik. – *Oberrh. Geol. Abh.*, **22**: 75-86; Karlsruhe.
- SCHÖNENBERG, R. & NEUGEBAUER, J. (1997): Einführung in die Geologie Europas (7. Aufl.). – 385 S.; Freiburg i. Br. (Rombach).
- SCHUMACHER, M.E. (2002): Upper Rhein Graben: Role of preexisting structures during rift evolution. – *Tectonics*, **21**, doi: 10.1029/2001TC900022.
- SCHREINER, A. (1992): Erläuterungen zu Blatt Hegau und westlicher Bodensee [3. Aufl.]. – *Geol. Kt. 1:50.000 Baden-Württ., Erl. Bl. Hegau u. westl. Bodensee*: 290 S., 11 Taf., 7 Beil.; Freiburg i. Br. (GLA).
- SEEGIS, D.B. (1997): Die Lehrbergschichten im Mittleren Keuper von Süddeutschland – Stratigraphie, Petrographie, Paläontologie, Genese. – Diss. Univ. Stuttgart [1996]: 382 S., 27 Taf.; Remshalden-Buoch (Hennecke).

- SEIBOLD, E. (1951): Das Schwäbische Lineament zwischen Fildergraben und Ries. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **93**: 285-324; Stuttgart.
- SIMON, T. (2003): Natürliche Auslaugung von Steinsalzlagern. – Museo, **20**: 152–159; Heilbronn.
- SITTLER, C. (1969): Le fossé Rhénan en Alsace aspect structurale et histoire géologique. – Rev. géogr. phys. Géol. dynam., (2) **11**: 465–494; Paris.
- SISSINGH, W. (2006): Kinematic sequence stratigraphy of the European Cenozoic Rift System and Alpine Foreland Basin: correlation with Mediterranean and Atlantic plate-boundary events. – Geol. Mijnbow, **85**: 77–129; Utrecht.
- STILLE, H. (1928): Die oberkarbonisch-altdyadischen Sedimentationsräume Mitteleuropas in ihrer Abhängigkeit von der variscischen Tektonik. – Congr. Stratigr. Carbonifère, Heerlen 1927: 697–730, pl. 17; Liège.
- STRIGEL, A. (1912): Geologische Untersuchungen der permischen Abtragungsfläche im Odenwald und in den übrigen deutschen Mittelgebirgen (ein paläogeographischer Versuch), I. – Verh. naturhist.-med. Ver. Heidelberg, NF, **12**: 63–172, 5 Kt.; Heidelberg.
- STRIGEL, A. (1922): Zur Paläogeographie des Schwarzwaldes. Die Abrasionsfläche als klimatisch-tektonisches Problem des oberen Perms. – 155 S., 5 Beil.; Heidelberg (Ehrig).
- THÜRACH, H. (1909): Erläuterungen zu Blatt Heidelberg (Nr. 23) [2. Aufl.]. – Geol. Specialkt. Ghzgt. Baden, Erl. Bl. **23**: 95 S.; Heidelberg. [Reprint 1984, 1995 der 3. Aufl. von 1918: Geol. Kt. Baden-Württ. 1:25000, Erl. Bl. 6518 Heidelberg-Nord; Freiburg i. Br.].
- TRUSHEIM, F. (1964): Über den Untergrund Frankens. Ergebnisse von Tiefbohrungen in Franken und Nachbargebieten 1953-1960. – Geol. Bavarica, **54**: 92 S., 13 Beil.; München.
- VILLINGER, E. (1999): Freiburg im Breisgau – Geologie und Stadtgeschichte. – LGRB-Informationen, **12**: 60 S., 2 Beil.; Freiburg i. Br.
- VILLINGER, E. (2005): Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg – Regelwerk für eine einheitliche Nomenklatur. – LGRB-Informationen, **17**: 8–24; Freiburg i. Br.
- VOLLRATH, P. (1923): Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des fränkischen Wellengebietes. – N. Jb. Miner. Geol. Paläont., BB **50**: 120–288; Stuttgart.
- WAGNER, G. (1913): Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des Oberen Muschelkalks und der Lettenkohle in Franken. – Geol. Paläont. Abh., NF, **12**: 275–451; Jena.
- WAGNER, G. (1960): Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte mit besonderer Berücksichtigung Süddeutschlands (3. Aufl.). – 694 S.; Öhringen (Rau).
- WAGNER, G. & KOCH, A. (1961): Raumbilder zur Erd- und Landschaftsgeschichte Südwestdeutschlands. – 32 S.; Stuttgart (Spectrum).
- WEINELT, W. (1955): Beiträge zur Paläogeographie und Lithogenese der Bleiglanz-Bank des Mittleren Keupers im Raume zwischen Klettgau und Coburg. – Diss. Univ. Würzburg: 121 S.[unveröff.]
- WEINLAND, K. (1983): Die Neckar–Kocher–Jagst-Mulde und der Horst von Ellenweiler, eine Zusammenschau. – Jh. Ges. Naturk. Württ., **138**: 85–130; Stuttgart.
- WERNER, W. & DENNERT, V. (2004): Lagerstätten und Bergbau im Schwarzwald – Ein Führer unter besonderer Berücksichtigung der für die Öffentlichkeit zugänglichen Bergwerke. – 334 S.; Freiburg i. Br. (LGRB).
- WEYL, R. (1936): Stratigraphie und Tektonik der Grundgebirgsgrenze zwischen Kinzig und Elz im mittleren Schwarzwald. – Bad. Geol. Abh., **8**: 46–126; Karlsruhe.
- WIEDEMANN, H.U. (1968): Eine neue Schichtlagerungskarte für die östliche Hälfte des „Schwäbischen Lineaments“. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **130**: 106–111; Stuttgart.
- WILD, H. (1980): Das Salzlager des Mittleren Muschelkalkes im süddeutschen Raum, Schichtenfolge und Ausbildung. – 5th Symp. Salt, **1**: 185–192; Stuttgart.
- WILFARTH, M. (1932): Epirogenese und Altersbestimmung permischer Sedimente im Schwarzwald. – Jber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver. NF, **21**: 15–65; Stuttgart.
- WIRSING, G. & LUZ, A. (2007): Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg). – LGRB-Informationen, **19**: 130 S.; Freiburg i. Br.
- WURSTER, P. (1997): Zeichnungen zur Geologie Europas [Hrsg. von Wilhelm Meyer]. – 76 S.; Wiehl (Galunder).
- ZIEGLER, P.A. & DÉZES, P. (2005): Evolution of the lithosphere in the area of the Rhine Rift System. – Geol. Rdsch., **94**: 594–614; Berlin.
- ZIEGLER, P.A., SCHUMACHER, M.E., DÉZES, P., VAN WEES, J.-D. & CLOETINGH, S. (2004): Post-variscan evolution of the lithosphere in the Rhine Graben area: constraints from subsidence modelling. – Geol. Soc. London Spec. Publ., **223**: 289–317; London.



Anhang

Anhang 1

Modellierte tektonische Elemente

Nördliches Schichtstufenland

Störung	Beschreibung	Quellen	
Niedernhaller Störungszone	NW–SE streichende Abschiebung, SW-Teil abgesunken	Literatur:	GEYER & GWINNER (1991), BRUNNER et al. (1990)
Kirchensaller Verwerfung	Teil der Salltal-Störungszone, NW–SE streichende Abschiebung, SW-Teil abgesunken	Literatur:	GEYER & GWINNER (1991), BRUNNER et al. (1990), DOLDE & SCHOLZ (1972)
Sindringer Verwerfung	Teil der Salltal-Störungszone, NW–SE streichende Abschiebung, SW-Teil abgesunken	Literatur:	GEYER & GWINNER (1991), BRUNNER et al. (1990), DOLDE & SCHOLZ (1972)
Ohrnberger Verwerfung	Teil der Salltal-Störungszone, NW–SE streichende Abschiebung, SW-Teil abgesunken	Literatur:	GEYER & GWINNER (1991), BRUNNER et al. (1990), DOLDE & SCHOLZ (1972)
Fränkische Furche	SW–NE streichende Störungszone bzw. Flexur	Literatur:	GEYER & GWINNER (1991)
		GK25:	6824
Kirchberger Verwerfung	NW–SE streichende Störungszone, NE-Teil abgesunken	Literatur:	GEYER & GWINNER (1991)
		GK25:	6826
Vellberger Störungszone	NW–SE streichende Störungszone, NE-Teil abgesunken	Literatur:	BRUNNER et al. (1990), BRUNNER & HINKELBEIN (1998)
Neckar–Jagst-Furche	SW–NE streichende Störungszone, z. T. als Graben ausgebildet	Literatur:	DÜRR (1982), WEINLAND (1983), BRUNNER et al. (1988), BRUNNER et al. (1990)
		GK25:	6924
Fildergraben	NW–SE streichendes Störungssystem, bestehend aus den Störungszone von Schwieberdingen-Kallenberg, Cannstatt, Schurwald im N und den Störungszone von Vaihingen, Sindelfingen und Waldenbuch im S	Literatur:	BRUNNER et al. (1998)
		GK25:	7321
Freudenstadtgraben	NW–SE streichende komplexe Grabenstruktur	Literatur:	MESCHÉDE et al. (1997)
		GK25:	7516, 7517
Hildrizhauser Verwerfung	NW–SE streichende Störungszone, NE-Teil abgesunken	Literatur:	KAZMIERCZAK, BRUNNER & HINKELBEIN (1999), GROSCOPF (1966)
		GK25:	7420
Elztal-Störungszone (Schwäbisches Lineament, W-Abschnitt)	SW–NE streichendes sinistrales Störungssystem im mittleren Schwarzwald, vertikale Versatzbeträge wechseln innerhalb kurzer Distanzen stark, Teil des Schwäbischen Lineaments	Literatur:	DEECKE (1933), GROSCOPF et al. (1996)
Bebenhäuser Störungszone (Schwäbisches Lineament, mittl. Abschnitt)	SW–NE streichendes sinistrales Störungssystem zwischen Schwarzwald und Fildergraben, vertikale Versatzbeträge wechseln innerhalb kurzer Distanzen stark zwischen Graben- und Horstschollen, Teil des Schwäbischen Lineaments	Literatur:	GROSCOPF (1966)
		GK25:	7517, 7518, 7519, 7419, 7420, 7321
Hohenstaufen-Störungszone (Schwäbisches Lineament, E-Abschnitt)	SW–NE streichendes sinistrales Störungssystem zwischen Fildergraben und Ries, vertikale Versatzbeträge wechseln innerhalb kurzer Distanzen stark, Teil des Schwäbischen Lineaments	Literatur:	SEIBOLD (1951), WIEDEMANN (1968)



Südliches Schichtstufenland

Störung	Beschreibung	Quellen	
Achalm-Graben	NW–SE streichender Halbgraben, nördliche Begrenzung durch Störung, Südgrenze Flexur	Literatur:	GEYER & GWINNER (1991)
		GK25:	7521, 7420
Rottenburger Flexur	2 NW–SE streichende Abschiebungen, NE-Teil ist jeweils abgesunken	Literatur:	-
		GK25:	7519
Harthäuser Graben	SW–NE streichender Graben	Literatur:	-
		GK25:	7717
Hohenzollerngraben	NW–SE streichendes Grabensystem aus mehreren Teilstörungen, Versatzbeträge etwa 100 m	Literatur:	REINECKER & SCHNEIDER (2002)
		GK25:	7619, 7720
Lauchertgraben	N–S streichendes Grabensystem	Literatur:	-
		GK25:	7821
Gauinger Verwerfung	N–S streichendes Abschiebungssystem mit 2 Hauptstörungen	Literatur:	-
		GK25:	7622, 7722, 7822
Lautertal Störung	SW–NE streichende Störung, SE-Scholle etwa 70 m abgesunken	Literatur:	BERTLEFF (1986)
		GK25:	7723, 7623
Schramberger Verwerfung	NNW–SSE streichende Störung, E-Teil abgesunken, im Rotliegenden aktiv, känozoische Reaktivierung	Literatur:	CARLÉ (1955)
		GK25:	7716, 7917
Triberger Verwerfung	auch Kesselberg-Verwerfung E-Teil abgesunken, im Rotliegenden aktiv, känozoische Reaktivierung	Literatur:	CARLÉ (1955)
		GK25:	7815

Molassebecken

Störung	Beschreibung	Quellen	
Saulgauer Hauptverwerfung	NE–SW streichende Störungszone, NW–Teil abgesunken, max. 200 m vertikaler Versatzbetrag	Literatur:	BERTLEFF (1986), BERTLEFF (1987)
Störungszone Illensee-Fronhofen-Aulendorf	NE–SW streichende Störungszone, NW–Teil abgesunken, max. 100 m vertikaler Versatzbetrag	Literatur:	BERTLEFF (1986), BERTLEFF (1987)
		GK25:	
Krumbacher Verwerfung	NE–SW streichende Störungszone, NW–Teil abgesunken, max. 140 m Versatzbetrag	Literatur:	BERTLEFF (1986), BERTLEFF (1987)
Schwackenreuther Verwerfung	NE–SW streichende Störungszone, NW–Teil etwa 40 m abgesunken	Literatur:	BERTLEFF (1986), BERTLEFF (1987)
Störungszone Ochsenhausen-Kirchberg a. d. Iller	NE–SW streichende Störungszone, NW–Teil max. 50 m abgesunken	Literatur:	BERTLEFF (1986), BERTLEFF (1987)
Störungszone Eichberg-Kirchdorf a. d. Iller	flaches Grabensystem, SE–NW streichend	Literatur:	BERTLEFF (1986), BERTLEFF (1987)
Störungszone Mönchsrot-Ellwangen	NE–SW streichende Störungszone, NW–Scholle etwa 50 m abgesunken	Literatur:	BERTLEFF (1986), BERTLEFF (1987)
Störungszone Bad Waldsee	NE–SW streichende Störungszone, SE–Scholle max. 25 m abgesunken	Literatur:	BERTLEFF (1986), BERTLEFF (1987)

Südschwarzwald – Dinkelberg – Hegau

Störung	Beschreibung	Quelle	
Freiburg–Bonndorf–Bodensee-Zone	160 km lange NW–SE verlaufende Störungszone, mit den Bruchstrukturen der Freiburger Bucht, der Bonndorfer Zone und den Bodenseebrüchen	Literatur:	CARLÉ (1955)
Bonndorfer Zone	NW–SE streichende Bruchzone, Sprunghöhen bis 150 m (Vertikalversätze im Modell nicht integriert)	Literatur:	CARLÉ (1955)
Randen Verwerfung	Teil der Bodenseebrüche, SW-Randstörung des Hegau Grabens NW–SE streichend, NE-Scholle um 240 m abgesenkt	Literatur:	SCHREINER (1992)
Schienerberg Verwerfung	Teil der Bodenseebrüche NW–SE streichend, NE-Scholle um 100 m abgesenkt	Literatur:	SCHREINER (1992)
Mindelsee Verwerfung	Teil der Bodenseebrüche NE-Randstörung des Hegau Grabens NW–SE streichend, SW-Scholle um 120 m abgesenkt	Literatur:	SCHREINER (1992)
Fridingen Verwerfung	Teil der Bodenseebrüche NW–SE streichend, SW-Scholle um 20 m abgesenkt	Literatur:	SCHREINER (1992)
Badenweiler–Lenzkirch-Zone	variskisch angelegte, E–W streichende Störungszone, Reaktivierung im Perm als dextrale Blattverschiebung Nordstörung: Überschiebungsbahn, nach Norden einfallend Südstörung: Abschiebung	Literatur:	HANN et al. (2003), LÜSCHEN et al. (1987), SAWATZKI & HANN (2003)
Schwarzwald-Südrandverwerfung	WNW–ESE streichend; Hochscholle im N: Schwarzwaldgranite; Tiefscholle im S: Rotliegend der Weitenauer Vorberge	Literatur:	-
		GK 25:	8312, 8313, 8413
Zentraler Dinkelberggraben	herzynisch streichendes Grabensystem mit der Nordschwabenstörung (NE-Rand) und der Rheinfeldenstörung (SW-Rand)	Literatur:	LAUBSCHER (2004)
		GK 25:	8312, 8313
Dinkelberg-Keilgräben	NNE–SSW streichende Keilgräben, Versatz: max. 100 m, Abscherhorizont: Mittlerer Muschelkalk	Literatur:	LAUBSCHER (2004)
		GK 25:	8312, 8412



Oberrhein Graben (Auswahl)

Störung	Beschreibung	Quelle	
Rheingraben-Hauptverwerfung	NNE – SSW streichende östliche Haupttrandverwerfung des Oberrheingrabens, häufig mehrere parallele Teilstörungen, Versatzbeträge bis 1500 m	Literatur:	PFLUG (1982), Geotherm. Synthese (1979, 1981) u. a.
Innere Grabenrandverwerfung	NNE – SSW streichende Verwerfung im Bereich der Freiburger Bucht, Versatzbetrag etwa 2000 m	Literatur:	VILLINGER (1999), GROSCOPF et al. (1996)
Bamlacher Graben	NW – SE verlaufende Grabenstruktur im südlichen ORG, Versatz etwa 600 m	Literatur:	Geotherm. Synthese (1979, 1981), VILLINGER (1999), GROSCOPF et al. (1996)
Störungen der Freiburger Bucht	komplexes Störungsmuster aus rheinischen und herzynischen Elementen, W-Teil der Zone Freiburg – Bonndorf – Bodensee	Literatur:	Geotherm. Synthese (1979, 1981), VILLINGER (1999), GROSCOPF et al. (1996)
		GK25:	7913
Tuniberg-Westrandverwerfung	Teil der Freiburger Bucht, rheinisch streichende Störung begrenzt die Tuniberg-Hochscholle, Versatz: max. 1000 m	Literatur:	Geotherm. Synthese (1979, 1981), VILLINGER (1999), GROSCOPF et al. (1996)
Tuniberg-Ostrandverwerfung	Teil der Freiburger Bucht, trennt die Tuniberg-Hochscholle vom Tuniberg-Ostrandgraben, Versatz: max. 300 m	Literatur:	Geotherm. Synthese (1979, 1981), VILLINGER (1999), GROSCOPF et al. (1996)
Hunnenbuck-Verwerfung	Teil der Freiburger Bucht, trennt die Hunnenbuck-Scholle im W vom Tuniberg-Ostrandgraben, Versatz: etwa 200 m	Literatur:	Geotherm. Synthese (1979, 1981), VILLINGER (1999), GROSCOPF et al. (1996)
Nimberg-Westrandverwerfung	Teil der Freiburger Bucht, NNW – SSE streichende Störung, begrenzt die Nimberg-Hochscholle, Versatz: max. 500 m	Literatur:	Geotherm. Synthese (1979, 1981), VILLINGER (1999), GROSCOPF et al. (1996)
Nimberg-Ostrandverwerfung	Teil der Freiburger Bucht NNW – SSE streichende Störung, begrenzt die Nimberg-Hochscholle, Versatz: max. 100 m	Literatur:	Geotherm. Synthese (1979, 1981), VILLINGER (1999), GROSCOPF et al. (1996)

Odenwald

Störung	Beschreibung	Quelle	
Otzberg-Verwerfung	NNE streichendes Störungssystem, bereits variskisch angelegt, Reaktivierung im Tertiär, trennt Bergsträßer und Böllsteiner Odenwald	Literatur:	GEYER & GWINNER (1991)

Anhang 2

Eingangsdaten für die Mächtigkeitsverteilungen

Geologische Einheit	Modellierung	Quellen	
Mächtigkeit Känozoikum	keine Literaturangaben, Berechnung durch Subtraktion der Tertiär- bzw. Quartärbasis von der Geländeoberfläche		
Quartär	Modellierung der Quartärfüllung des Oberrheingrabens und des Molassebeckens, Ergänzung fehlender Bereiche mit Hilfe von Bohrungen – keine Kartendarstellung!	Literatur	BARTZ (1974), LGRB (unveröff. Mskr.-Karten), WIRSING & LUZ (2007)
Tertiär	keine Mächtigkeitsmodellierung!	Literatur	-
Restmächtigkeiten Oberjura	keine Übersichtsdarstellungen von oberjurassischen Restmächtigkeiten in der Literatur, Berechnung im Ausstrichbereich durch Subtraktion der Basis Oberjura von der Geländeoberfläche, Berechnung im Molassebecken und im ORG durch Interpolation von Bohrungen	Literatur	-
		GK 25	7127, 7225, 7226, 7228, 7324, 7325, 7423, 7424, 7425, 7520, 7720, 7722
Primärmächtigkeiten Mitteljura und Restmächtigkeiten Oberjura	keine Übersichtsdarstellungen in der Literatur vorhanden, Modellierung von Primär- und Restmächtigkeiten mit Hilfe von Bohrungen und Angaben der GK25	Literatur	-
		GK 25	7126, 7127, 7225, 7226, 7228, 7324, 7325, 7423, 7424, 7521, 7522, 7619, 7620, 7621, 7622, 7719, 7720, 7722, 7920
Primärmächtigkeiten Unterjura	Modellierung auf der Grundlage von BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974), Modifizierung nach Bohrungen und GK25-Angaben	Literatur	BOIGK & SCHÖNEICH (1970), BOIGK & SCHÖNEICH (1974)
		GK 25	7126, 7127, 7225, 7228, 7324, 7425, 7520, 7521, 7522, 7619, 7620, 7621, 7622, 7719, 7722, 7920
Primärmächtigkeiten Keuper	Modellierung auf der Grundlage von BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974) und weiterer Literatur, Modifizierung nach Bohrungen und GK25-Angaben	Literatur	BOIGK & SCHÖNEICH (1970), BOIGK & SCHÖNEICH (1974), GEYER & GWINNER (1991), KRIMMEL (1980)
		GK 25	7126, 7127, 7324, 7425, 7521, 7522, 7619, 7621, 7622, 7722, 7920
Primärmächtigkeiten Muschelkalk	Modellierung auf der Grundlage von GEYER & GWINNER (1991), BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974) und weiterer Literatur, Modifizierung nach Bohrungen und GK25-Angaben	Literatur	BOIGK & SCHÖNEICH (1970), BOIGK & SCHÖNEICH (1974), GEYER & GWINNER (1991)
		GK 25	7126, 7920, 7127, 7324, 7425, 7521, 7522, 7621, 7722, 7920
Primärmächtigkeiten Buntsandstein	Modellierung auf der Grundlage von BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974) und weiterer Literatur, Subtraktion der Tigersandsteinmächtigkeiten, Modifizierung nach Bohrungen und GK25-Angaben	Literatur	BOIGK & SCHÖNEICH (1970), BOIGK & SCHÖNEICH (1974), GEYER & GWINNER (1991), LEIBER & SIMON (2004), TRUSHEIM (1964)
		GK 25	7126, 7920, 7324, 7425, 7521, 7522, 7621, 7722, 7920
Primärmächtigkeiten Zechstein	Modellierung auf der Grundlage von BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974) und weiterer Literatur, Ergänzung von Bereichen mit terrestrischem Zechstein, Modifizierung nach Bohrungen und GK25-Angaben	Literatur	BOIGK & SCHÖNEICH (1974), GEYER & GWINNER (1991), TRUSHEIM (1964)
		GK 25	7116, 7117, 7118, 7216, 7217, 7316, 7317, 7416, 7515, 7516, 7518, 7522, 7716, 8312, 8412
Primärmächtigkeiten Oberkarbon und Rotliegend	Modellierung auf der Grundlage von BOIGK & SCHÖNEICH (1970, 1974) und weiterer Literatur, starke Modifikation mit Hilfe von Bohrungen	Literatur	BOIGK & SCHÖNEICH (1970), BOIGK & SCHÖNEICH (1974), TRUSHEIM (1964)
		GK 25	7126, 7425, 7522



Anhang 3

Eingangsdaten für die Raumlage geologischer Einheiten

Geologische Einheit	Modellierung	Quellen	
Basis Quartär (hier ohne Karte)	Subtraktion der Mächtigkeitsverteilung von der Geländeoberfläche	Literatur	HGK Isny, HGK Bühl-Offenburg, HGK Kaiserstuhl-Markgräfler Land, HGK Klettgau, HGK Erolzheimer Feld, HGK Leutkircher Heide
Basis Tertiär Referenzfläche	Modellierung auf der Grundlage von Interreg III-Projekt (in Vorb.) und DOEBL & OLBRECHT (1974)	Literatur	DOEBL & OLBRECHT (1974), Geotherm. Synthese ORG (1979, 1981), Interreg III-Projekt (in Vorb.), GK50 Bodensee
Basis Oberjura	Molassebecken, Schwäbische Alb: Modellierung durch Subtraktion der ox1-Mächtigkeitsverteilung von der Basis ox2 (nach Interreg III-Projekt) Oberrheingraben: Modellierung durch Addition von Mitteljuramächtigkeiten auf die Mitteljurabasis	Literatur	Interreg III-Projekt (in Vorb.), HGE Mittlere Alb
		GK 25	7620, 8117, 8217
Basis Mitteljura	Addition der Unterjuramächtigkeiten auf die Unterjurabasis	Literatur	-
Basis Unterjura	Addition der Keupermächtigkeiten auf die Keuperbasis	Literatur	GROSCHOPF (1966), KÄMPFE (1984), SEIBOLD (1951), WIEDEMANN (1968)
		GK 25	7224, 7320, 7321, 7420, 7421, 7622, 7915
Basis Keuper Referenzfläche	Modellierung auf der Grundlage nebenstehender Eingangsdaten	Literatur	BRUNNER et al. (1990), BRUNNER & HINKELBEIN (1998), DOLDE & SCHOLZ (1972), KÄMPFE (1984), KAZMIERCOZAK et al. (1999), VILLINGER (1999), Geotherm. Synth. (1979, 1981), BACHMANN & BRUNNER (1998), BERTLEFF (1986), GK50 Freiburg und Umgebung, GK50 Stuttgart und Umgebung, HGD Strohgäu, HGE Taubertal, HGE Enzkreis
		GK 25	6622, 6623, 6625, 6824, 6924, 7319, 7418, 7913, 7917, 8316/8416
Basis Muschelkalk	Subtraktion der Muschelkalkmächtigkeiten von der Keuperbasis, Ergänzung im Ausstrichbereich	Literatur	HGE Taubertal, HGE Enzkreis
		GK 25	7018, 7019, 7117, 7118, 7119, 7216, 7219, 7318, 7319, 7417, 7418, 7419, 7516, 7518, 7519, 7716
Basis Buntsandstein	Subtraktion der Buntsandsteinmächtigkeiten von der Muschelkalkbasis, Ergänzung im Ausstrichbereich	Literatur	TRUSHEIM (1964), Geotherm. Synthese (1979) HGE Enzkreis
		GK 25	7217, 7317, 7816
Basis Zechstein	Subtraktion der Zechsteinmächtigkeiten von der Buntsandsteinbasis, Ergänzung im Ausstrichbereich	Literatur	TRUSHEIM (1964)
Basis Rotliegendes und Oberkarbon	Subtraktion der Rotliegend- und Oberkarbonmächtigkeiten von der Zechstein-, Buntsandstein- oder Muschelkalkbasis, Ergänzung im Ausstrichbereich	Literatur	TRUSHEIM (1964)
Oberfläche Grundgebirge	Kombination der Daten von Basis Rotliegend- und Oberkarbon, Zechstein, Buntsandstein und Muschelkalk, Geländeoberfläche im Ausstrichbereich	Literatur	BREYER (1956), KÄMPFE (1984)
		GK 25	7317, 7816, 7916



LGRB - Informationen des Regierungspräsidium Freiburg - Abteilung 9

Bis Heft 9 Informationen des **GLA** – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg . **Bis Heft 15** Informationen des **LGRB** – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg

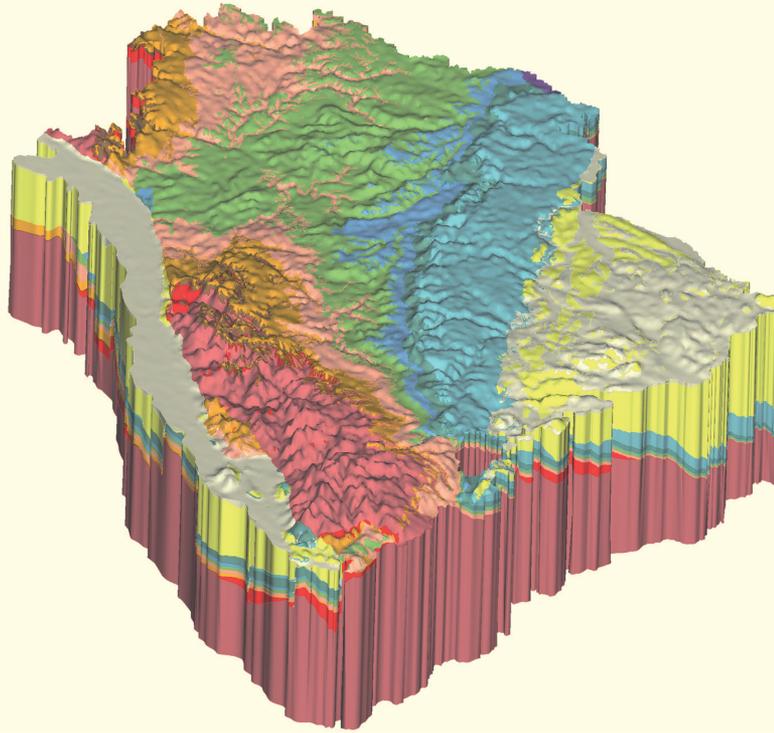
 Heft 6 (1994)	Ergiebigkeitsuntersuchungen in Festgesteinsaquiferen 114 S., 65 Abb., 11 Tab.	10,- €
 Heft 10 (2001)	Wechselwirkungen zwischen Baggerseen und Grundwasser 64 S., 42 Abb., 15 Tab., 1 CD-ROM	10,- €
 Heft 12 (1999)	Freiburg im Breisgau – Geologie und Stadtgeschichte 60 S., 28 Abb., 2 Tab., 1 Taf., Beilage: 2 Kt.	5,- €
 Heft 15 (2004)	Exotische Gehölze im Kirchheimer-Arboretum Freiburg 36 S., 48 Abb.	5,- €
 Heft 16 (2005)	Ingenieurgeologische Gefahren in Baden-Württemberg 79 S., 46 Abb.	10,- €
 Heft 17 (2005)	Ergebnisse neuer Forschungsbohrungen in Baden-Württemberg 150 S., 17 Abb., 7 Tab., 3 Taf.	10,- €
 Heft 18 (2006)	Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006 202 S., 209 + 12 Abb., 15 Tab., 1 Kt.	10,- €
 Heft 19 (2007)	Hydrogeologischer Bau und Aquifereigenschaften der Lockergesteine im Oberrheingraben (Baden-Württemberg) 130 S., 118 Abb., 12 Tab.	10,- €
 Heft 20 (in Vorb.)	Hydrogeologische Einheiten in Baden-Württemberg	

Nicht aufgeführte Heftnummern sind zur Zeit vergriffen.

Preise zzgl. Versandkosten

Beilagen

- Beilage 1: Schichtlagerung Grundgebirgsoberfläche
- Beilage 2: Schichtlagerung Basis Oberkarbon und Rotliegend
- Beilage 3: Schichtlagerung Basis Zechstein
- Beilage 4: Schichtlagerung Basis Buntsandstein
- Beilage 5: Schichtlagerung Basis Muschelkalk
- Beilage 6: Schichtlagerung Basis Keuper
- Beilage 7: Schichtlagerung Basis Unterjura
- Beilage 8: Schichtlagerung Basis Mitteljura
- Beilage 9: Schichtlagerung Basis Oberjura
- Beilage 10: Schichtlagerung Basis Tertiär



Am Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Abt. 9 im RP Freiburg) wurde seit 2005 ein digitales, geometrisches Übersichtsmodell des geologischen Untergrundes von Baden-Württemberg erstellt. Es umfasst neben den lithostratigraphischen Haupteinheiten überregionale Bruchstrukturen, junge vulkanische Bildungen und Impaktkrater. Zweck der Modellierung ist, neben einer verständlichen Darstellung der komplexen Verhältnisse im Untergrund, eine Konsistenzprüfung des hausinternen Karten- und des Bohrdatenarchivs sowie die Ableitung eines landesweit konsistenten Mächtigkeits- und Schichtlagerungsdatensatzes für die geologischen Haupteinheiten. Die Modelldaten werden zudem für weiterführende Fragestellungen, wie das „Informationssystem Oberflächennahe Geothermie“ genutzt. Das Modell ist auf einen Zielmaßstab von 1:500000 ausgelegt, wobei die Auflösung aufgrund unterschiedlicher Informationsdichte regional abweicht.

Das Modell liefert neue und detailliertere Einsichten in die untertägige Verbreitung, Raumlage und Mächtigkeitsverteilung der geologischen Einheiten. Durch den Abgleich einer weitaus höheren Zahl von Bohrdaten zeichnen sich darin verschiedene paläogeographische Elemente deutlicher als in früheren Mächtigkeitskarten in ihrer räumlichen Lage und ihrer zeitlichen Entwicklung ab. So lassen sich nunmehr postvariskische, kimmerische und alpidische Strukturen klarer in ihrer Entwicklung und ihrem Einfluss auf spätere und insbesondere neotektonische Bruchmuster verfolgen. Die erstmals landesweit nach einheitlicher Grundlage erstellten Schichtlagerungskarten bieten einen in sich konsistenten Überblick des Kenntnisstandes über die heutigen Strukturen im Untergrund von Baden-Württemberg.